

Use of the Acrylated Polyorganic Additive to achieve the performance of the systems in the desalination process

Jesús Cantor^a , Aleida Cantor^b 

a Soluciones Tecnológicas y Ecológicas Hefziba MayAlf. San Joaquín, Carabobo, Venezuela.

b Facultad de Ingeniería, Dpto. de Física Universidad de Carabobo, Venezuela.

Abstract. - The acrylated polyorganic additive is a formulation specially designed to remove and control scale, and passivate metallurgical processes in seawater desalination systems and medium- and high-pressure boilers. It is added continuously using a dosing pump at a point of good agitation to ensure its homogenization throughout the system. First, the IDE Water Technologies desalination machine underwent a chemical cleaning process in operation with this polymeric product, dosing continuously as if it were a preventative program. Once the dosage was set, the product was absorbed by the existing deposits. The objective of the test involved the execution of a series of actions and technical evaluations that led to controlling and minimizing corrosion and scale problems in the systems. This variable was established with measurements taken during 24 hours of production on one day, where 12 data points were taken every two hours, averaging the hourly desalinated water production over 32 days. The sample was then stratified by 8 days to again average desalinated water production and establish a trend. Graphing showed sustained growth in water production efficiency and the chemical cleaning program's performance despite the adjustments. The trend line conformed to a linear mathematical relationship between hourly production and the number of days sampled or stratified.

Keywords: Acrylated polymer, desalination, corrosion.

Uso del Aditivo Poliorgánico Acrylatado para alcanzar el rendimiento de los sistemas en el proceso de desalinización

Resumen. - El aditivo poliorganico acrylatado, es una formulación especialmente diseñada para remover, controlar incrustaciones y pasivar las metalurgias en sistemas desalinizadores de agua de mar y calderas de mediana y alta presión. Se adiciona de forma continua mediante una bomba dosificadora en un punto de buena agitación que asegure su homogeneización en el sistema. Primeramente, la máquina desalinizadora de tecnología IDE Water Technologies fue sometida a un proceso de limpieza química en operación con este producto polimérico, dosificando de forma continua como si fuese un programa preventivo. Una vez fijada la dosis, el producto fue absorbido por los depósitos ya existentes. El objetivo de la prueba involucró la ejecución de una serie de acciones y evaluaciones técnicas que conllevaron a controlar y minimizar los problemas de corrosión e incrustación en los sistemas, pero esta variable se estableció, con las mediciones en 24 horas de producción, un día, donde se tomaron 12 datos cada 2 horas, promediando la producción de agua desalada por horas en 32 días. Luego se estratificó en 8 días, en una muestra, para promediar nuevamente la producción de agua desalada y así establecer la tendencia. Al graficar, se observó un crecimiento sostenido en el rendimiento en la producción de agua y la actuación del programa químico en la limpieza a pesar de los ajustes. La línea de tendencia se ajustó a una relación matemática lineal entre la producción por horas y los días muestreados o estratificados.

Palabras clave: polímero acrylatado, desalinización, corrosión.

1. Introducción

La calidad y accesibilidad del agua plantea un grave problema de escasez económica: el 97,5% del stock de agua de la Tierra está compuesto por agua salada y solamente el 0,3% del 2,5% restante constituye el agua dulce de los ríos y los lagos, que moviliza el “ciclo hidrológico” anual. A continuación, se mencionan los métodos a

considerar para obtener agua desalinizada para algún proceso en específico:

- 1.- La desalinización o desalación es el proceso de eliminar la sal o las sales del agua de mar o salobre, obteniendo agua dulce.
- 2.- Los sólidos disueltos (TDS) del agua es la medida de la cantidad de sales o salinidad del agua. A mayor TDS, más concentrada. Con un proceso químico estos se pueden desechar.
- 3.- El agua de mar se encuentra en una concentración de 10 000 a 50 000 ppm (mg/ L)

* Autor para correspondencia:

Correo-e: hefzibaquimicos@gmail.com

(potable menor a 500 ppm). Este método está vinculado con el punto 1.

4.- De acuerdo a la calidad de la fuente, la calidad y cantidad de agua requerida, el espacio disponible y disponibilidad financiera, se determina el proceso más conveniente para la obtención de agua. [1]

En la Figura 1 se muestra los elementos químicos disueltos en el agua de mar.

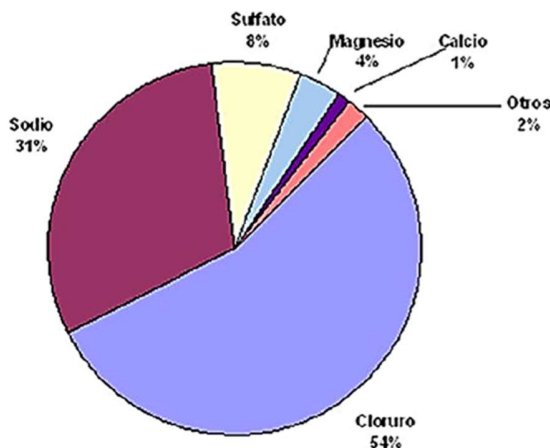


Figura 1. Elementos químicos disueltos en el agua de mar (%)

En la Tabla 1 se indican los elementos químicos disueltos en el agua de mar en ppm o trazas.

1.1 Características básicas de la tecnología de desalinización

Tecnología térmica: se basa en el principio de la evaporación y la condensación del agua (ver figura 2). Se le critica por el hecho de consumir mayor energía y ser menos eficiente. Existe una variedad de este proceso, uno de ellos es la destilación de múltiples efectos: es fácil de operar y produce un agua de muy buena calidad, de menos 10 ppm de TSD. [2]

1.1 Características básicas de la tecnología de desalinización

Tecnología térmica: se basa en el principio de la evaporación y la condensación del agua (ver figura 2). Se le critica por el hecho de consumir mayor energía y ser menos eficiente. Existe una variedad de este proceso, uno de ellos es la destilación de múltiples efectos: es fácil de operar y produce un

agua de muy buena calidad, de menos 10 ppm de TSD. [2]

Tabla 1. Principales elementos químicos (ppm)

CATIONES	ppm
Sodio Na ⁺	10,556
Magnesio Mg ⁺⁺	1,272
Calcio Ca ⁺⁺	400
Potasio K ⁺	380
Estroncio Sr ⁺⁺	13
TOTAL	12,621
ANIONES	ppm
Cloruro Cl ⁻	18,980
Sulfato SO ₄ ⁻²	2,649
Bicarbonato HCO ₃ ⁻	140
Flúor F ⁻	1,4
Bromo Br ⁻	65
TOTAL	21,834
TSD	34,455

1.1 Características básicas de la tecnología de desalinización

Tecnología térmica: se basa en el principio de la evaporación y la condensación del agua (ver figura 2). Se le critica por el hecho de consumir mayor energía y ser menos eficiente. Existe una variedad de este proceso, uno de ellos es la destilación de múltiples efectos: es fácil de operar y produce un agua de muy buena calidad, de menos 10 ppm de TSD. [2]

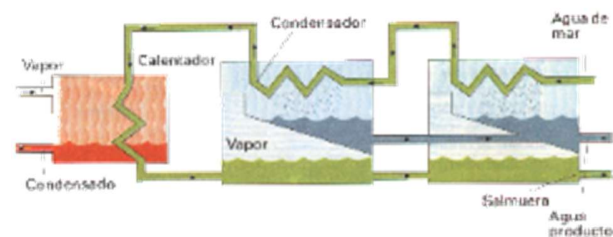


Figura 2. Proceso térmico: desalinización térmica

Tecnología térmica de compresión: similar a la de múltiple efecto, solo que incorpora un compresor (ver figura 3) para comprimir el vapor en la primera etapa para el arranque. Este sistema consume menos energía y es más eficiente que el de destilación de varias etapas. [3]

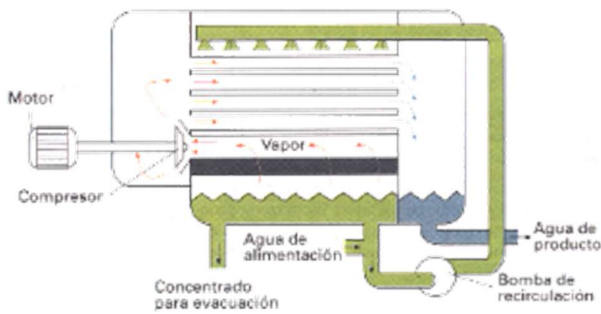


Figura 3. Proceso térmico de compresión

1.2 Desalinización membrana

Tecnología ósmosis reversa: en los últimos años ha experimentado un crecimiento acelerado debido a las investigaciones presionadas por la creciente demanda de agua.

- Es más eficiente y requiere menos energía.
- Se le critica el hecho de utilizar sistemas de bombeos con presiones muy altas. Equipos de chequeo como manómetros, termómetros y flujómetros muy resistentes a las condiciones de operación.
- Mantenimiento predictivo y correctivo complicado.
- Pretratamiento muy exigente.

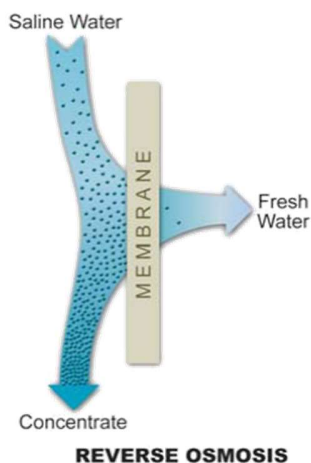


Figura 4. Ósmosis reversa

Problemática de cada tecnología que se presenta en su aplicación en la obtención de agua para el proceso industrial

A continuación se mencionan los problemas que se pueden presentar en el proceso de desalinización para la obtención de agua para llevar a cabo un proceso industrial:

- Pre-tratamiento: filtración (arena y cartucho) (OR) Y STME.
- Control biológico: OR y STME.
- Incrustaciones: temperatura superior a 50°C. (STME).
- Cambio de membranas cada 5 años (OR).
- Instrumentación costosa y sofisticada. (OR).
- Uso de ácido sulfámico para limpieza (STME).
- Efluentes con altas concentraciones de sales y residuos de químicos.

Soluciones químicas que permiten la obtención de agua para un proceso industrial

A continuación se mencionan los pasos a seguir para implementar un proceso químico.

- Biocidas: hipoclorito de sodio.
- Anti- incrustantes: fosfonatos / acrilatos.
- Limpieza química correctiva: sulfámico.
- Potabilización de agua: bicarbonato de sodio, soda en escama, cloruro de calcio.
- Inspecciones de los equipos.

Por lo antes expuesto, se propone el aditivo poliorganico acrylado, el cual posee también excelentes propiedades removedoras, penetrantes y dispersantes de los depósitos orgánicos, es un excelente inhibidor de corrosión de metales como hierro negro, aluminio, zinc, cobre, bronce, níquel y acero inoxidable. [4] [5].

Ventajas del producto aditivo

- Productos no corrosivos.
- Biodegradables.
- De baja toxicidad.
- No irritante.
- Menos paradas del equipo para limpiezas químicas.

- Producto concentrado.
- Dosis muy bajas para el control de la corrosión e incrustaciones.
- Se disuelve fácilmente en el agua.

Instrucciones de uso del aditivo

Se adiciona de forma continua mediante una bomba dosificadora en un punto de buena agitación que asegure su homogeneización en el sistema. Las dosis óptimas serán determinadas, ya que dependerá de las características de cada sistema y de la problemática particular.

Especificaciones del aditivo poliorgánico acrylatado

A continuación se indican las características del aditivo:

Tabla 2. Especificaciones químicas del aditivo poliorganico acrylado

Aspecto	Líquido semi transparente
Densidad	1,000 – 1, 080 g/cc
pH al 100%	1,5 - 2,5
Solubilidad	Completa en agua
Estabilidad	Muy suave
Olor	Suave, irritante
% volátil por volumen	Nulo
Punto de ebullición	Mayor a 100 °C.

1.3 Antiincrustantes en un proceso de desalinización

Otro aditivo que se puede proponer es el siguiente:

Ácido fosfino-carboxílico. Grupo polímeros [4]

En diversas investigaciones se ha encontrado que los antiincrustantes poliméricos son particularmente efectivos contra silicatos metálicos e ineficaces contra precipitados de sílice simple, convirtiéndolo en una buena opción para la creación de antiincrustantes. Generalmente, las bacterias, los virus y otros microorganismos son los más importantes asociados con la corrosión microbiana. [6] [7]

El ácido fosfino-carboxílico (PPCA) es un polímero reconocido por sus propiedades de dispersión en lo que corresponde a la escala de carbonato y fosfato de calcio dentro del sistema de

circulación de agua fría. En los sistemas de ósmosis inversa actúa la prevención de depósitos de incrustaciones minerales. Tiene una buena inhibición de incrustaciones de sulfato de bario, sulfato de estroncio e incrustaciones de sílice. El contenido de carbohidratos en EPS es mayor en la biopelícula de la agresiva cepa *Desulfovibrio sp.* Kiev-10 que en las bacterias de plancton, así como en comparación con la biopelícula de la menos agresiva *Desulfovibrio desulfuricans* cepa Kiev-45. La producción específica de EPS de la cepa agresiva en la biopelícula formada sobre el acero es tres órdenes mayor que en las células de plancton. [4]

Este polímero es un agente eficaz de control de incrustaciones y dispersante, por lo cual es utilizado principalmente en calderas y limpieza industrial; dispersa eficazmente partículas como limo y arcilla. Tiene ventajas en estabilidad térmica y fuerte tolerancia al cloro. De acuerdo con la acción del aditivo polimérico sobre las incrustaciones tiene propiedades importantes, incluida la efectividad de baja concentración y la resistencia a altas temperaturas. [1] [5]

2. Metodología

Los sistemas desalinizadores tienen asignados por los fabricantes aditivos para el mantenimiento de las máquinas, pero estas deben estar en paradas de operación durante aproximadamente un mes de trabajo. Se procedió a probar o sustituir con otro aditivo que tiene la particularidad de ser agregado en operación, y por menos cantidad de aditivo para que las condiciones de los equipos indiquen o muestren que su mantenimiento se encuentra en condiciones óptimas y además de producir más agua desalinizada.

Para validar esta afirmación, se tomó como base de datos el informe técnico, donde se indicó el desarrollo de la aplicación del aditivo en un periodo de 4,5 semanas estratificadas o de muestreo.

La prueba de adicionar un aditivo químico se realizó por un tiempo promedio de 4,5 semanas de forma continua, donde se hicieron una serie de ajustes en la formulación del producto, de acuerdo de los resultados de los análisis físicos químicos,

residual de orto fosfato, en el agua salada. Este parámetro fue el eje principal de la prueba, dado que, con el kit de análisis, no se detectaba de forma rápida y sencilla, hubo que someter las muestras a acondicionamientos para lograrlo.

Debido a esto, fue necesario hacer un primer ajuste que consistió en aumentar la presencia del polímero en el tambor y mantener la preparación de la mezcla de inyección en un tambor de 208 litros y dos de agua tratada. La inyección de la mezcla se controló mediante los rotámetros y el nivel del tanque que solo debía descender 1,5 cm por cada 8 horas o 4,5 cm por día. Aunado a esto, el primer ajuste en la fórmula se hace porque hay una relación entre la dosis inyectada de producto, el caudal de agua a tratar y el grado de ensuciamiento de los tubos, siendo fijas las dos primeras condiciones se determina que la última es la que hace el desbalance de la relación. Una mayor presencia del polímero en la mezcla de

inyección es lo que garantiza un restablecimiento del balance óptimo, ya que el caudal del agua a tratar es constante. Realizado el primer ajuste, la prueba se concentra en evitar el crecimiento de los depósitos ya existentes y mantener limpias las superficies que ya lo están.

3. Análisis y discusión de resultados

El objetivo de la prueba involucró la ejecución de una serie de acciones y evaluaciones técnicas que conllevan a controlar y minimizar los problemas de corrosión e incrustación en los sistemas, comenzó con las mediciones en 24 horas de producción, un día, donde se tomaron 12 datos cada 2 horas, promediando la producción de agua desalada por horas (ver Tabla 2).

En la Tabla 4 se tomaron 8 días, para luego promediar nuevamente los días para obtener la producción de agua desalada por horas/día.

Tabla 3. Producción de agua desalada. Promedio operación planta en 16 días.

Horas	0:00:00	2:00:00	4:00:00	6:00:00	8:00:00	10:00:00	12:00:00	14:00:00	16:00:00	18:00:00	20:00:00	22:00:00	Ton/H
	50,00	50,00	49,00	51,00	52,1	50,49	51,77	51,03	51,28	49,69	50,19	50,71	50,61
	51,15	51,99	51,8	52,42	53,13	52,85	52,76	50,29	53,00	53,00	53,10	51,00	52,21
	51,04	52,47	53,30	53,74	52,40		53,83	53,00	51,90	56,10	53,10	55,21	53,28
	51,84	53,48	53,12	52,86	55,14	53,20	55,78	53,62	53,00	54,00	53,00	51,00	53,34
	56,00	55,00	51,00	52,00	53,32	54,15	51,92	51,37	52,10	49,89	54,30	52,09	52,76
	53,80	52,09	52,62	52,37	52,00	52,00	54,00	51,00	52,93	51,76	54,06	52,46	52,59
Producción	52,81	50,08	51,25	51,55	53,50	54,30	53,00	52,10	54,00	53,00	52,00	51,00	52,38
	52,89	52,00	52,86	51,94	55,00	53,00	54,00	50,00	52,00	50,00	53,00	54,00	52,56
	52,83	50,90	51,15	52,63	51,60	52,30	51,23	51,94	49,8	52,24	52,56	51,14	51,69
	54,39	53,40	51,66	51,99	52,00	51,00	52,00	51,00	53,00	52,00	51,00	52,00	52,12
	50,53	54,10	51,19	53,90	51,00	51,00	50,00	52,00	63,00	52,00	52,00	52,00	52,73
	53,10	53,10	53,00	53,00	53,00	53,00	51,00	53,00	52,09	54,10	51,29	50,69	52,53
	51,57	52,03	49,80	53,00	50,00	55,00	55,00		54,39	54,19	56,68		53,17
	53,19	55,00	54,40	57,10	56,00	56,00	56,00	54,00	55,17	53,9	52,80	54,60	54,85
	53,60	55,77	52,86	55,71	55,20	55,00	42,00	58,00	55,19	56,51	55,39	54,58	54,15
	55,40	52,60	55,10	54,70	53,62						5,60	57,20	47,75

Tabla 4. Producción de agua desalada. Promedio operación planta por días.

Días	Horas	1 día	2do día	tercer día	cuarto día	quinto día	sexto día	7mo día	8vo día	Ton/horas/día
8	192	50,61	52,20	52,96	53,96	52,76	52,59	52,38	52,55	52,50
16	384	51,70	52,12	51,89	52,61	53,05	54,85	54,19	54,19	53,08
24	576	55,50	55,07	55,31	54,32	55,53	54,51	56,25	57,28	55,47
32	768	58,20	55,89	57,07	57,92	57,00	54,56	55,35	54,22	56,27

Con respecto a que la máquina, presenta una producción nominal de 60 toneladas/horas de agua desalada, los datos reportados (ver Tablas 3 y 4) en el informe y graficados (ver Figura 5) pertenecen a un mes y dos días. Se tomaron los datos del día y se promediaron, luego se tomaron 8 días o sea una semana y un día adicional. Se observó un crecimiento sostenido en el rendimiento en la producción de agua y la actuación del programa químico en la limpieza a pesar de los ajustes. La línea de tendencia está ajustada a una relación matemática lineal entre las variables señaladas.

Además, se realizó una prueba de homogeneidad para verificar la hipótesis del crecimiento sostenido en el rendimiento en la producción de agua desalinizada y la actuación del programa químico en la limpieza de las incrustaciones de la máquina, llegando a los siguientes resultados que se muestran en la tabla 5. El límite de significación del 5% es el más utilizado, por lo que los valores de *chi cuadrado* menores de 7,8 se consideran insignificantes y es evidencia de que la hipótesis queda comprobada y aceptada en relación a la actuación del aditivo en el incremento de la producción de agua desalinizada para un proceso industrial.

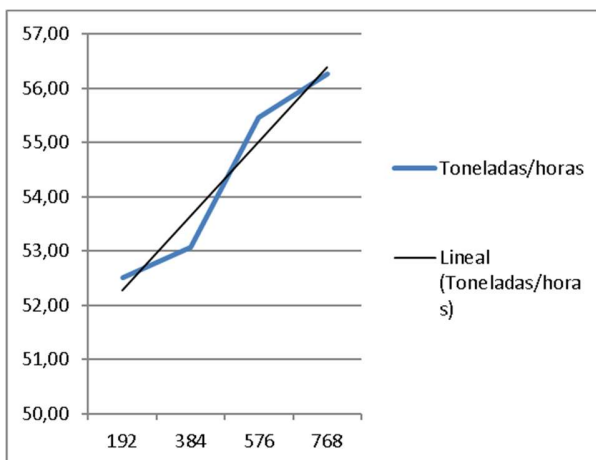


Figura 5. Gráfica de producción de agua salada

Tabla 5. Comparación entre valores obtenidos de producción y la producción nominal

V observado (Ton/H)	52,50	53,08	55,47	56,27
V esperada (Ton/H)	60,00			
Desvíos	0,94	0,80	0,34	0,23
Chi cuadrado	2,31			
Alfa	5%			
Grados de libertad	3			
Chi cuadrado crítico	7,8			

4. Conclusiones

El rendimiento óptimo de una máquina desalinizadora obedece a un modelo matemático probabilístico, ya que las condiciones que obedecen al entorno del proceso están sujetos a eventos ligados estrictamente al azar o aleatorias, que no pueden ser controladas en su totalidad sino, por el contrario, solo pueden ser ajustadas o minimizadas en el momento de la novedad.

Se apoyan en estas premisas los siguientes aspectos:

- La incrustación no es específica o constante para los componentes de la máquina, al pasar el agua por estos depósitos, el polímero es absorbido y puede dejar de actuar.
- El tratamiento químico puede ser más severo en unas zonas y se debilita a medida que avanza, en otras palabras, irregularidad en el proceso de limpieza de los componentes de la máquina.
- Otra posibilidad es el taponamiento, la arenilla desprendida tiene una consistencia y al aglutinarse puede ocasionar obstrucciones.

Cabe destacar que la gráfica mostrada de la producción de agua desalada, se observa un crecimiento en la producción, aun debido a los ajustes en las dosis del polímero, que permitieron vencer las barreras anteriores y que, de continuar con el programa químico, se puede alcanzar un incremento sostenido en la producción de agua y se tiene la garantía de que está ocurriendo un proceso de limpieza gradual.

5. Referencias

- [1] L., Castro Mieles and A. Dueñas-Rivadeneira. “Revisión bibliográfica sobre la eficiencia de antiincrustantes con distintas bases químicas”. *Centro Azúcar*, vol 50, no. 1, 2023.
- [2] L.A. Molina and G. Molina, *Manual de eficiencia energética térmica en la industria*. Bilbao, España. CADEM, 1984.
- [3] E.B. Woodruff, H.B. Lammers, and T.F. Lammers. *Steam-plant operation (Vol. 795)*. New York, USA. McGraw-Hill, 1998.
- [4] W.P. Iverson. “Corrosion of iron and formation of iron phosphide by *Desulfovibrio desulfuricans*”. *Nature*, vol. 217, no. 5135, pp. 1265-1267, 1968.
- [5] V.G. Levich and C.W. Tobias. “Physicochemical hydrodynamics”. *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 110, no. 11, 251C, 1963.
- [6] G.A. Traunterberg and A.C. Askew, J R. () Microbiological Control to Prevent Corrosion in Recirculating Water Systems. *Materials Protection* vol. 3, no. 10, pp. 26-31. 1964
- [7] G. Grossman and A.A. Sonin. “Experimental study of the effects of hydrodynamics and membrane fouling in electro dialysis”, *Desalination*, vol. 10, no. 2, pp 157-180, 1972.