

Physical chemical treatment of water for cooling engines in electricity generation

TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA PARA EL ENFRIAMIENTO DE MOTORES EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Ing. Viviana Acosta Nardín*; MSc. Alexia Esther Nardín Anarela**

El presente artículo cubre una revisión bibliográfica sobre el tratamiento químico del agua usada para el enfriamiento de los motores de combustión interna en grupos electrógenos. El texto incluye conceptos asociados a la generación distribuida, los sistemas de enfriamiento y sus características, los principales problemas ocasionados por el agua en el sistema de enfriamiento, la corrosión y cómo prevenirla con el empleo de inhibidores y diferentes tratamientos químicos para condicionar el agua, entre ellas la ósmosis inversa.

Palabras clave: Tratamiento de agua, sistema de enfriamiento, corrosión

This article covers a bibliographic review on the chemical treatment of water, used for the cooling of internal combustion engines, in generating sets. The text includes concepts associated with the generation distributed, cooling systems and their characteristics, the main problems caused by water in the cooling system, corrosion and how to prevent it with the use of inhibitors and different chemical treatments to condition the water, including reverse osmosis.

Keywords: Water treatment, cooling system, corrosion

Recibido: 12 de diciembre 2021

Aceptado en forma final: 10 de mayo 2022

*  <https://orcid.org/0000-0002-1888-2422>

**  <https://orcid.org/0000-0001-9319-6601>

Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte y Loynaz, Cuba



INTRODUCCIÓN

La generación distribuida es una opción que se emplea para llevar la electricidad a lugares de difícil acceso como islas, pequeños asentamientos y parajes intrincados con capacidades entre 7 kVA y 500 kVA. Los grupos electrógenos de combustible fueloil usan motores de combustión interna para la generación de electricidad los cuales necesitan agua de enfriamiento. Estos sistemas requieren de agua de elevada calidad con el objetivo de evitar que existan incrustaciones en el sistema de enfriamiento y corrosión.¹

El estudio sobre el tratamiento de agua para enfriamiento en los motores de combustión interna resulta importante para lograr trabajar con un agua de calidad, que responda a las necesidades del sistema de enfriamiento y asegure en gran medida la generación de electricidad en las centrales eléctricas fueloil con motores de combustión interna. El agua de buena calidad evita las fallas por concepto de calentamiento en los motores y altas temperaturas que causan paradas innecesarias y provocan una disminución de la energía entregada.²

LA IMPORTANCIA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS A FUELOIL PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La denominación "generación distribuida" es un concepto basado en el acercamiento de la generación de electricidad a los consumidores. Surgió con motivo de la crisis energética que tuvo lugar en el año 2004.¹

Los grupos electrógenos usados en la generación distribuida son sistemas a motor que queman combustibles fósiles (diésel y fuel oil) y pueden ser usados tanto para generar electricidad de forma permanente (con motores grandes) o para situaciones de emergencia (motores pequeños). Estas tecnologías han tenido un impacto positivo en el medio ambiente, ya que tienen menores tasas de

consumo específico de combustible (234 g/kW h), frente a las plantas termoeléctricas basadas en la quema de petróleo crudo (284 g/kWh en promedio). Varios autores coinciden en los beneficios que ofrece tanto para el usuario como para el suministrador ya que ofrece un incremento en la confiabilidad, un uso eficiente de la energía, reducción de pérdidas en transmisión y distribución, facilita el abastecimiento en zonas remotas y hay una disminución de la inversión con respecto a otras tecnologías como las termoeléctricas.³

SISTEMAS CERRADOS DE ENFRIAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Los motores de combustión generan bastante calor por lo que es esencial que estos tengan un sistema de refrigeración. En la **figura 1** se muestra un sistema de enfriamiento con todas las partes que este contiene. El sistema de enfriamiento en el motor sirve para evitar temperaturas excesivamente elevadas y, a la vez, conservar una temperatura lo suficientemente alta para su funcionamiento eficaz. La refrigeración mantiene una temperatura de funcionamiento alrededor de 120°C en la culata del motor, con el fin de evitar una dilatación exagerada de la misma, asegurar las propiedades lubricantes del aceite del motor y garantizar una buena carburación.⁴

En los sistemas de recirculación cerrados, como el de los motores de combustión, el calor del proceso se transfiere al agua de enfriamiento por conducción o por medio de otro equipo de transferencia de calor. En estos sistemas no se evapora ni se concentra el agua. Se dice que un sistema es "cerrado" cuando está diseñado para llenarse de agua una sola vez, cerrarse y funcionar después durante largos períodos sin que se agreguen cantidades significativas de agua de reposición. En el sistema de enfriamiento cerrado, el calor, normalmente es disipado por un circuito de enfriamiento abierto o aire forzado que pasa por encima de los tubos que contienen el agua del sistema cerrado.⁴

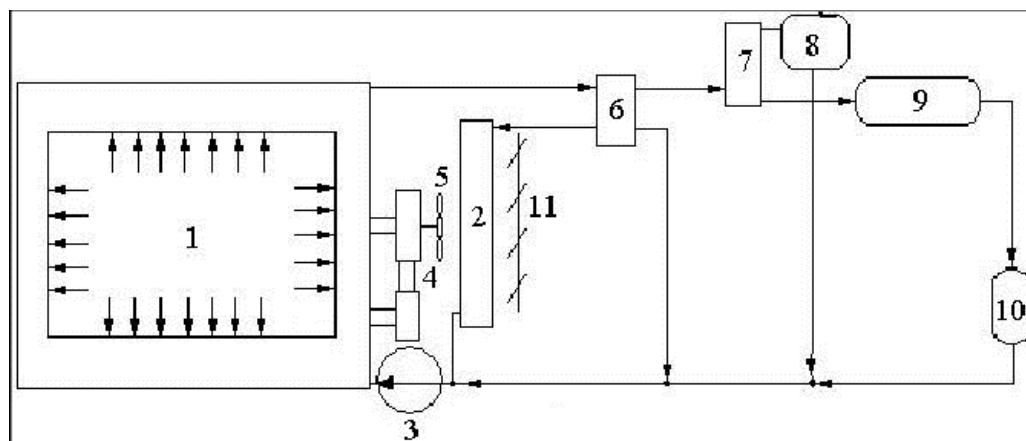


Figura 1. Composición general de un sistema de enfriamiento cerrado: 1-Motor, 2-Radiador, 3-Bomba, 4-Accionamiento del ventilador, 5-Ventilador, 6-Termostato, 7-Caja de agua, 8-Tanque de expansión o desgasificador, 9-Calentador del habitáculo, 10-Intercambiador de calor de los gases de escape, 11-Persianas de control del flujo de aire.⁴

PRINCIPALES PROBLEMAS OCASIONADOS POR EL AGUA DE ENFRIAMIENTO EN EL SISTEMA

Ya se ha indicado que el enfriamiento del motor de combustión interna es fundamental en la prevención de averías por sobrecalentamiento, sin embargo, se pueden generar otro tipo de fallas en el motor debidas a la corrosión por picaduras, cavitación, erosión, agrietamiento de culatas, agarrotamiento de anillos en los pistones o taponamiento de radiadores, fatiga del material del sistema y formación de depósitos sólidos. Por lo tanto, resulta imprescindible que el sistema de refrigeración del motor siempre funcione perfectamente. De no ser así, la vida útil del motor disminuirá drásticamente. Es por ello que el agua a usar debe recibir el tratamiento apropiado y cumplir con los parámetros establecidos de pH, conductividad, nitritos y contenido de metales como hierro y cobre. Además, puede ocurrir contaminación del agua con combustible o lubricante por lo que debe verificarse a intervalos regulares.⁵

La corrosión fuerte en los sistemas cerrados de enfriamiento con agua causa reducción de los flujos, fugas alrededor de los conductos y, en casos extremos, rotura total de la bomba de agua. La reducción de flujo es debida a la formación de incrustaciones que disminuyen el diámetro para la circulación del agua de enfriamiento, por lo que en estas secciones el fluido pasa con mayor velocidad, y el contacto del refrigerante con el motor durará menos tiempo, disminuyendo la remoción del calor y perjudicando el rendimiento del equipo.⁶

TIPOLOGÍA Y CAUSAS DE LA CORROSIÓN EN LOS SISTEMAS CERRADOS DE ENFRIAMIENTO

La corrosión puede considerarse como el fenómeno de deterioro que sufren los materiales a consecuencia de su interacción con el medio ambiente que los rodea dando como resultado la pérdida de una o varias de sus propiedades superficiales y/o estructurales. Provoca, por ejemplo, que las piezas realizadas en aleaciones como el acero, o con metales como el cobre y el zinc, vuelvan a sus estados nativos como compuestos químicos o minerales. Como sabemos, el hierro, se encuentra en la naturaleza en forma de compuesto oxidado, pero cuando se procesa para formar hierro o acero pierde el oxígeno y se convierte en hierro elemental. En presencia de agua y oxígeno, el acero es atacado sin cesar con la consecuente formación de óxido donde antes teníamos hierro elemental.⁷ En la **figura 2** se observa el caracol del turbo compresor de un motor de combustión interna para la generación de electricidad con evidente oxidación de su superficie.

A continuación se mencionarán y describirán brevemente los diferentes tipos de corrosión comunes en los sistemas de enfriamiento.

Erosión por cavitación y Picaduras: La erosión es una combinación de acción mecánica y química o electroquímica que produce corrosión. Las picaduras son formas de corrosión que implican la oxidación puntual de una pieza metálica. Se produce por la acumulación de agentes oxidantes y un incremento del pH del medio, lo que propicia el deterioro de



Figura 2. Imagen del caracol del turbo compresor de un motor de combustión interna para la generación de electricidad con oxidación en su superficie. (Fotografía de las autoras)



Figura 3. Corrosión por picadura en tubería de acero para agua. Imagen de dominio público (Original de "The History Trust of South Australian, South Australian Government").

la capa pasivada, permitiendo que la corrosión se desarrolle en estas zonas puntuales. Cuando las picaduras se van ahondando durante un período prolongado, no hay ninguna manera práctica de detenerlas antes de que den lugar a perforaciones. La erosión por cavitación ocurre en sistemas de transporte de líquidos, hechos de materiales pasivados, donde por cambios de presión en el sistema, se producen flujos turbulentos que forman burbujas de aire, las cuales implosionan contra el material del sistema, deteriorando la capa de pasivación, facilitando el desarrollo del proceso de corrosión, de forma similar a la corrosión por picaduras, cuya diferencia se observa, en que el efecto de la cavitación es de mayor tamaño. En la **figura 3** puede observarse una pieza de aluminio con corrosión por picadura en su superficie con orificios de 1 mm de diámetro. El tratamiento químico del agua de enfriamiento y los aditivos refrigerantes cubren las superficies metálicas y controlan la erosión por cavitación y las picaduras. Por esta razón, la prevención es la mejor práctica para evitar la aparición de picaduras.⁸

Oxidación y formación de Herrumbre: La herrumbre es el resultado de la oxidación dentro del sistema de enfriamiento. El calor y el aire húmedo aceleran este proceso. La herrumbre



Figura 4. Imagen del caracol del turbo compresor de un motor de combustión interna (Fotografía de las autoras).

deja depósitos de fragmentos o polvillo que pueden obstruir el sistema de enfriamiento, lo cual causa desgaste acelerado y reduce la eficacia de la transferencia de calor. La oxidación del metal puede verse en la **figura 4** que muestra el caracol de un turbo compresor de un motor de combustión interna.⁸

Relación Inapropiada de Acidez/Alcalinidad: El agua tratada y almacenada que pasa al sistema de enfriamiento debe tener las condiciones óptimas de acidez/alcalinidad. La menor corrosión en los sistemas de enfriamiento ocurre a pH entre 8,5 y 10,0. Es por esto, que es tan importante el ajuste de pH, como parte del tratamiento químico del agua que va a circular por estos sistemas de enfriamiento.⁸

Corrosión Galvánica: Las corrientes eléctricas que fluyen por el agua refrigerante entre dos metales diferentes causan la corrosión galvánica. El agua refrigerante sirve de conductor eléctrico entre los metales. El flujo de electricidad ocurre cuando existe una fuerza electromotriz entre dos metales diferentes. La corrosión galvánica ocurre en el metal electroquímicamente más activo. Por esta razón, se debe lograr una conductividad eléctrica del agua apropiada para cada sistema, en base al tipo de metales presentes.⁸

Con este objetivo se trata el agua usando osmosis inversa, ya que su membrana logra disminuir la conductividad eléctrica del agua hasta lograr los valores requeridos, los cuales dependen de cada caso y los establece el fabricante. No obstante, frecuentemente se usa como parámetro de calidad una conductividad eléctrica menor de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el agua tratada para enfriamiento de motores.

Escamilla y Depósitos: La formación de escamilla y depósitos viene determinada por las diferentes características del agua usada (pH, la dureza del calcio y del magnesio, la dureza total y la temperatura). El uso de agua de enfriamiento con aditivos es un factor importante en la formación de escamilla y de depósitos. Los tipos de escamilla que se encuentran frecuentemente en el sistema de enfriamiento son silicatos, carbonato de calcio, sulfato de calcio, y las sales solubles de hierro, cobre y plomo.⁷

La escamilla y los depósitos producen daños en el sistema de enfriamiento porque actúan como aisladores y barreras contra la transferencia de calor y reducen la eficacia del sistema de enfriamiento. Este depósito delgado de escamilla puede reducir la transferencia de calor en un 40%.⁷

PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN EN SISTEMAS CERRADOS DE ENFRIAMIENTO

Para afrontar los problemas causados por la corrosión se han desarrollado diversas tecnologías cuya selección e

implementación suele ser específica para un sistema dado.

La prevención de la corrosión en los sistemas de enfriamiento debe venir desde el comienzo del proceso: el agua debe ser tratada químicamente mediante el pre-tratamiento y la ósmosis inversa. La ósmosis inversa es una técnica para extraer sólidos disueltos del agua, tales como las sales, utilizando una membrana semipermeable. Esta técnica ha evolucionado más rápidamente que cualquier otra tecnología de desalinización, principalmente debido a su competitivo consumo de energía y a los bajos costos de producción de agua.⁹

La ósmosis inversa acompañada de una etapa de pre-tratamiento permite lograr parámetros adecuados de dureza menor de 10 mg/L de CaCO_3 , conductividad menor de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sulfatos menor de 50 mg/L y pH entre 8,5 y 10, evitando que provoque incrustaciones, erosión o corrosión por picadura en las piezas y partes que componen el sistema de enfriamiento del motor de combustión interna, haciéndolo más duradero.¹⁰

Una opción adecuada y versátil para la protección directa o complementaria de una variedad importante de metales en medio acuoso es el uso de inhibidores de corrosión. Estos inhibidores previenen la corrosión ya que forman una película protectora en el metal y alargan la vida útil de los equipos y tuberías del sistema de enfriamiento. Esta película puede verse en las **figuras 5 y 6**, donde se aprecian partes del sistema de enfriamiento por donde transita el refrigerante.



Figura 5. Cámara de agua del sistema de enfriamiento preservado en su interior con inhibidor a base de nitrito. (Fotografía de las autoras)

Como puede observarse el metal está preservado con un inhibidor a base de nitritos que forma una película protectora en el metal de color amarillo oscuro.

Teniendo en cuenta la reacción electrolítica que bloquean, los inhibidores de corrosión se clasifican en anódicos, catódicos o mixtos dependiendo de si se usan para detener la reacción anódica, disminuir la reacción catódica o hacer ambas cosas a la vez. Un inhibidor puede mostrar características tanto anódicas como catódicas, pero una de ellas puede predominar sobre la otra, y tanto anódicos como catódicos son formadores de películas protectoras. Los inhibidores anódicos están compuestos por cromatos, nitritos, ortofosfatos, bicarbonatos, silicatos y los catódicos están compuestos por carbonatos, polifosfatos, fosfonatos y zinc.¹¹

Cuando se introdujeron los inhibidores por primera vez en sistemas de agua, frecuentemente estaban compuestos por componentes aislados activos. Con el tiempo, se ha demostrado que algunos ingredientes mejoran el rendimiento de otros por el principio de sinergismo.¹¹

Las sustancias inhibidoras por su naturaleza química pueden ser inorgánicas y orgánicas. Entre las inorgánicas se puede mencionar el dicromato de potasio, el silicato sódico,



Figura 6. Interior de la culata del motor de combustión interna preservado con inhibidor a base de nitritos (Fotografía de las autoras).

el sulfato de cinc, el carbonato cálcico, los compuestos de arsénico y otros. En estos, la parte activa de la sustancia puede ser el anión (como en el caso del $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), el catión (como el Zn^{2+}) o el compuesto en conjunto, como en el caso del CaCO_3 . Los orgánicos son aún mucho más abundantes y variados con grupos funcionales diversos. Como ejemplos típicos se pueden mencionar las aminas alifáticas y aromáticas, las tioureas, azúcares, sustancias fósforo-orgánicas, etc. Además, existen inhibidores formados por un ion orgánico y otro inorgánico, como el nitrito de ciclohexilamonio y muchos otros.¹²

Del mismo modo se puede hacer algunas mezclas con los inhibidores de incrustación formando productos multifuncionales que actúan como inhibidores de corrosión e incrustación.¹¹

TRATAMIENTO DEL AGUA USANDO ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es el proceso en el cual se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semipermeable, desde una solución más concentrada a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión.¹³

Típicamente está compuesta por un módulo de membranas semipermeables que retienen del 90 al 99 % de todos los elementos minerales disueltos, del 95 al 99% de la mayoría de las sustancias orgánicas y el 100 % de las materias coloidales más finas, bacterias, virus y sílice coloidal. Estas membranas separan la corriente de alimentación en dos corrientes, permeado y concentrado. El permeado es el fluido que pasa a través de la membrana, este permeado por decirlo comúnmente es la solución clarificada luego del proceso de ósmosis inversa.¹⁴

En la **figura 7** se observa un módulo de 10 membranas de ósmosis inversa instalado en una planta de tratamiento químico de agua, que producen un caudal de 1,5 m³/h de agua dirigida al enfriamiento de motores de combustión interna para la generación de electricidad.

La tecnología de desalinización por ósmosis inversa ha resultado más atractiva para su empleo en países en desarrollo debido a la disminución de sus costos de adquisición y de explotación, llegando a ser el costo de producción del metro cúbico de agua desalinizada, de menos de 0,5 euros, con un consumo promedio de energía de 3,0 a 3,2 kW h/m³. En general los procesos de membrana se caracterizan por su bajo consumo energético.³

Sin embargo, las membranas tienen un tiempo de vida útil limitado y una tendencia a la compactación por lo



Figura 7. Módulo de membranas de ósmosis inversa (Fotografía de las autoras).

que es necesario acondicionar el agua que entra a la ósmosis inversa.⁹

ESQUEMAS DE PRE TRATAMIENTO A EMPLEAR ANTES DE LA ÓSMOSIS INVERSA

Para asegurar la duración máxima de las membranas es necesario un pre-tratamiento específico según la procedencia del agua, esta puede ser subterránea que son aquellas que se encuentran bajo la superficie de la tierra en pozos y acuíferos o superficial que son las que se encuentran en la superficie de la tierra en ríos, lagos y presas y proceden por lo general de las precipitaciones.¹⁵

Para la selección del pre tratamiento adecuado se debe caracterizar la fuente de abasto, determinando su grado de dureza y clasificándola según sus contaminantes.¹⁶

Para ello se utilizan técnicas como la prueba de jarras que determina si el agua necesita tratamiento con coagulantes, la determinación de sólidos suspendidos fijos, volátiles, sedimentables, el pH, conductividad, dureza total y cálcica, concentración de diversos elementos químicos como

cloruros, sílice, sulfatos, hierro, materia orgánica, alcalinidad. Así como el índice de Langelier que indica la probabilidad de que el agua produzca incrustaciones o corrosión en el sistema según su pH.¹⁷⁻²⁰

En la **tabla 1** se resumen los diferentes equipos o procesos a emplear en el pre tratamiento para diferentes contaminantes que pueden estar presentes en el agua de abasto.

Tabla 1. Selección de equipos y procesos según los tipos de contaminantes en el pre-tratamiento.²¹⁻³⁹

Tipo de contaminante	Equipo y/o proceso
Material en partículas	Filtración con rejillas o rejillas Johnson para retener las partículas de gran tamaño.
Actividad biológica	Desinfección con cloro, ozono o el uso de luz ultra violeta.
Materia orgánica	Clarificación y floculación, micro o ultrafiltración, filtración con carbón activado.
Cloro, otros oxidantes	Filtración con carbón activado, deoloración con bisulfito de sodio.
CO ₂ , SO ₃ , otros gases	Uso de torre desgasificadora, proceso de ácido/oxidación/filtración.
Alcalinidad	Dosificación con inhibidor ácido.
Dureza	Suavización con cal o con resinas.
Sílice	Uso de inhibidores de Cal en caliente con contenido de magnesio.
Hierro, Manganeseo	Oxidación y filtración, uso de arenas verdes para filtrar.
Finos de carbón	Retención con filtros cartuchos.
CaCO ₃	Uso de anti-incrustantes base de fosfatos, dosificación con ácido, suavización con resinas o con cal.
CaSO ₄ , BaSO ₄ , SrSO ₄	Uso de anti-incrustantes, suavización con resinas o con cal.
Hierro y Manganeseo (solubles)	Uso de dispersantes, arenas verdes, permanganato, oxidación y filtración, ablandamiento con resinas o con cal.
Sílice (soluble)	Uso de dispersante específico para Sílice, calentamiento con intercambiador, ajuste de pH a 8,0, remoción de iones metálicos, suavización con cal en caliente con contenido de magnesio, micro tamizado a presión.
Sólidos suspendidos	Filtración con cartuchos, filtros multicapas, clarificación y floculación.
Coloides	Filtración con cartuchos, clarificación y floculación, filtros multicapas, micro o ultrafiltración, filtro de tierra de diatomeas, poli-electrolitos y cloración.

Por ejemplo, si el agua de abasto es superficial de baja o moderada dureza, pero con contaminantes orgánicos, se debe instalar una cadena de pre-tratamiento que incluya filtros multicapas, coagulación y floculación, filtración con carbón activado y filtros cartuchos y ultrafiltración que logren retener la materia orgánica de bajo peso molecular durante el pre-tratamiento evitando la compactación en las membranas.³⁴

Si el agua de abasto es de pozo o de mar con alta dureza deberán emplearse otros métodos como suavización con cal, con resinas y un inhibidor o agente antiadherente para evitar las incrustaciones inorgánicas en las membranas.³⁵

En la **figura 8** se observa una planta de tratamiento químico para aguas superficiales de baja dureza instalada en una central eléctrica cubana cuyo diseño incluye un filtro bicapa, un filtro de carbón activado, micro tamizado con cartuchos y un módulo de 10 membranas de osmosis inversa.

Si el agua tiene contaminación biológica deberá desinfectarse con cloro, ozono o ultrafiltración, si es muy alcalina se debe ajustar su pH para evitar las incrustaciones en las membranas con el uso de un agente dispersante ácido o si hay presencia de determinadas sustancias como cloro libre, hierro, sílice o manganeso solubles en el agua, deberán emplearse métodos específicos para cada uno como se muestra en la **tabla 1**. Además, es necesario ajustar el pH entre 8,5 y 10 al final del tratamiento químico, rango en el que se minimiza la corrosión en el sistema de enfriamiento, lo que puede lograrse con la adición de una solución de hidróxido de sodio.²²



Figura 8. Imagen de una planta de tratamiento de aguas (Fotografía de las autoras).

CONCLUSIONES

El uso de la tecnología de ósmosis inversa, un correcto diseño del pre-tratamiento a la ósmosis y el uso de inhibidores de corrosión para el tratamiento del agua para sistemas de enfriamiento de motores de combustión interna en la generación de electricidad, permite la disminución de los costos de mantenimiento, evitando averías derivadas de la corrosión en el sistema, lo que ha tenido un impacto a nivel mundial. El principal reto en la actualidad se encuentra en alargar la vida útil de las membranas de ósmosis inversa mediante la elección apropiada del pre-tratamiento y el uso de dispersantes o agentes antiadherentes durante el proceso.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa de Grupos Electrónicos Fuel Oil por sus aportes y a la Dra. C. Sarah Barreto Torrella por su asesoría.

REFERENCIAS

- Castro, M., Francisco, M., Fuentes, M., Costa, A. Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba. *Rev. Cuba. Ing.*, **2010**. *1(3)*, 41-50.
- Montalvo, J. M. Identificación y control multivariable de una planta piloto de desalinización por osmosis inversa, **2016**.
- Mantilla, J.M., Duque, C.A., Galeano, C.H. Análisis del esquema de generación distribuida como una opción para el sistema eléctrico colombiano. *Rev. Fac. de ing. Univ. Antioq.*, **2008**. *44*, 97-110.
- Piedrahita, R., Alberto, C., Sanchez, C., Alberto, Y. Elementos de diseño de sistemas de enfriamiento de motores de combustión interna. *Scien. Et Tech.*, **2007**. *XIII (34)*, 261-266.
- Almeraya, F.M.; Gaona C.; de la Ita, A; Martínez, A. y Romero R.: "Problemas de Corrosión". Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, 2000.
- Rauchle, F., Díaz, M.I. Inhibición de la corrosión. *Revista de química*, **1990**. *4 (1)*, 226-240.
- Wu, X. Corrosion and erosion behaviours of carbon steel in naphathenic acid media. *Mater. Corros.*, **2002**. *53*, 833-844.
- Salazar-Jimenez, J. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota Técnica). *Tecnología en Marcha*, **2015**. *(28) 3*, 127-136.
- Singh, R. "Membrane Technology anf engineering for water purification". 2a ed. Butterworth-Heinemann: Oxford, 2015.
- Romero López, T.de J., Lafargue, D., González, O., Medina, E. Usode ósmosis inversa en el hotel Breezes Jibacoa para la desalación de agua de consumo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, **2015**. *36 (3)*, 112-125.
- Godínez, L.A., Meas, Y., Ortega-Borges, R., Corona, A. Inhibidores de la Corrosión. *Revista Metalurgia*, **2003**. *39*: 140-158.
- Shalaby, M.N. Application of some commercial non-ionic surfactans in the field of corrosion inhibition. *Mater. Corros.*, **2002**. *(53)*, 827-832.
- Obot I.B., Gasem Z.M., Theoretical evaluation of corrosion inhibition performance of some pyrazine derivatives. *Corrosion Science*, **2014** *(83)*, 359-366.
- Dévora-Isiordia, G.E., López-Mercado, M.E., Fimbres-Weihs, G.A., Álvarez-Sánchez, J. Astorga-Trejo, S. Desalación por ósmosis inversa y su aprovechamiento en agricultura en el valle del Yaqui, Sonora, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, **2016**. *VII (3)*, 155-169
- Mireya V.O., Gonzales-Abreu R.F. Aguas superficiales y subterráneas en el Gran Humedal del Norte de Ciego de Avila. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, **2013**, *(34)*, 3.
- Menendez C. G. *Tratamiento de agua y gestión y Tratamiento de Residuos*, 2012. Cuba: Universidad Tecnológica de La Habana.
- Torres-Avalos, E., Lozano-González, G.A.A. Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Ra Ximhai*, **2017**. *13 (3)*, 393-404.
- Barrera, L., Díaz, A., Lopez, E., Medina, E., Rivera, M., Vallester, E. Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, **2018**. *4(1)*, 23-29.
- Rice, E.W., Baird R.B., Eaton A.D. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2017. EEUU: Water Environment Federation.
- Trujillo, E., Flores, N. Martínez-Miranda, V. Ajuste Del Equilibrio Químico del Agua Potable con Tendencia Corrosiva por Dióxido de Carbono. *Información Tecnológica*, **2008**. *19*, 89-101
- Malaeb, L. Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review. *Desalination*, **2011**. *267*, 1-8.
- Orellana, J.A. Unidad Temática no 6: Tratamiento de aguas. En "Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO", **2005**, 1-123
- Hoslett, J., Malamis, S., Ahmad, D., Boogaert, I., Katsou, E., Ghazal, B.H., Simons, S., Wrobel, L., Jouhara, H. Surface water filtration using granular media and membranes: A review. *Science of the total Environment*, **2018**. *639*, 1268-1282.
- Jiménez, S., Micó, M.M., Arnaldos, M., Medina, F., Contreras, S. State of de arte of produced water treatment. *Chemosphere*, **2017**. *192*: p 186-208.
- Monnot, M.S.L., Cabassud, C. Granular activated carbón filtration plus ultrafiltration as a pretreatment to seawater desalination lines: impact on water quality and UF fouling. *Desalination*, **2016**. *383*, 1-11.
- Altmann, J., Jekel, M. Combination of granular activated carbon adsorption and deep-bed filtration as a single advanced wastewater treatment step for organic micropollutant and phosphorus removal. *Water Research*, **2016**. *92*, 131-139.
- Krasner, S.W., Fen, T.C.L., Westerhoff, P., Fisher, N., Hanigan, D., Karanfil, T., Beita-Sandí, W., Taylor-Edmonds, L., Andrews, R.C. Granular Activated Carbon Treatment May Result in Higher Predicted Genotoxicity in the presence of Bromide. *Environmental Science and Technology*, **2016**. *50*, 17.
- Appleman, T.D., Higgins, C.P. Nanofiltration and granular activated carbon treatment of perfluoroalhyl acids. *Journal of Hazardous Materials*, **2013**. *260(15)*, 740-746.
- Chuang, L., Yangqiao, L. Adsorption and mechanism study for phosphonate antiscalant HEDP removal from reverse osmosis concentrates by magnetic La/Zn/Fe₃O₄ PAC composite, *Colloids Surf. A*, **2021**, *613*, 129056.
- Liu, Q., XU, G. Das, R. Inorganic scaling in reverse osmosis (RO) desalination: Mechanisms, monitoring, and inhibition strategies. *Desalination*, **2019**. *468*, 370
- Shen, L., Huang, Z., Liu, Y., Li, R. Xu, Y., Jakaj, G., Lin, H. Polymeric Membranes Incorporated With ZnO Nanoparticles for membrane Fouling Mitigation: A Brief Review. *Frontiers in Chemistry*, **2020**. *8(224)*, 1-9.
- Goh, PS, Othman, f.M.H.D, Ismail, A.F. Membrane fouling in desalination and its mitigation strategies. *Desalination*, **2018**. *425*: p. 130-135.

33. Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., Melin, T. State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, **2007**, *216*, 1–76.
34. Matin, A., Zaidi, S.M.J., Boyce, M.C. Biofouling in reverse osmosis membranes for seawater desalination: Phenomena and prevention. *Desalination*, **2011**, *281*, 1-16.
35. Matin, A., Rahman, F., Zubair, S. Scaling of reverse osmosis membranes used in water desalination: Phenomena, impact, and control; futures directions. *Desalination*, **2019**, *455* p. 135-157.
36. Matin, A., Tahar, L., Wail, F., Farroque, M. Fouling control in reverse osmosis for water desalination and reuse: Current practices and emerging enviromen-friendly technologies. *Science of the total Environment*, **2021**, *765*, 142721
37. Rezaei, M., Lienhard, D.J.H., Matsuura, M.T. Wetting phenomenon in membrane distillation: mechanisms, reversal, and prevention. *Journal of Membrane Science*, **2018**, *452*, 332-353.
38. Goh, P.S., Matsuura, T., Ismail, A.F., Hilal, N. Resent Trent in membrane processes for desalination. *Desalination*, **2016**, *391*, 43-60.
39. Mosadegh-Sedghia, S., Brissonb, J., Iliutaa, M.C. Wetting phenomenon in membrane contactors – Causes and prevention. *J. Membr. Sci.*, **2013**, *452*, 332–353.

BIBLIOGRAFÍA ESENCIAL

Orellana, J.A. Unidad Temática no 6: Tratamiento de aguas. En “Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO”, **2005**, 1-123.

Menéndez C. G. *Tratamiento de agua y gestión y Tratamiento de Residuos*. Universidad Tecnológica de La Habana: La Habana, 2012.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Acosta Nardin, V. y Nardin Anarela, A.E.: Tratamiento físico químico del agua para el enfriamiento de motores en la generación de electricidad. *Revista de Química*, **2022**, *36(1)*, 26 -34. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/24636>