

Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia

Maintenance plan for the reverse osmosis membranes in the cycle I demineralization Plant of the Termozulia plant

Diego Alejandro Atencio Fuentes

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: diegoatencio13@gmail.com

César García

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: cgarcia@uru.edu.ve

Recibido: 24-01-2022

Aceptado: 18-04-2022

Resumen

El objetivo de este estudio fue diseñar un plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia. Para ello, se utilizó la revisión documental y la entrevista para determinar las variables que afectan la operatividad del sistema, así como para la descripción y las fallas del proceso de lavado; logrando recopilar la información necesaria para finalmente proponer un procedimiento adecuado para la limpieza de las membranas. Variables como caída de presión, flujo de permeado y rechazo, conductividad eléctrica y presión en la línea de bisulfito de sodio tienen mayor incidencia en la operatividad del sistema. Por otro lado, el lavado químico es el más importante, además, pudieron analizarse las fallas que entorpecían el proceso de lavado, en búsqueda de corregir estas fallas, se propone el plan de mantenimiento que garantiza el adecuado funcionamiento y larga vida útil de las membranas.

Palabras clave: Ósmosis inversa, membranas, lavado químico, plan de mantenimiento.

Abstract

The objective of this study was to design a maintenance plan for the reverse osmosis membranes in the demineralization plant of cycle I of Planta Termozulia. For this purpose, a documentary review and an interview were used to determine the variables that affect the operability of the system, as well as the description and the failures of the cleaning process; gathering the necessary information to finally propose an adequate procedure for the cleaning of the membranes. Variables such as pressure drop, permeate and rejection flow, electrical conductivity and pressure in the sodium bisulfite line have a greater incidence on the system's operability. On the other hand, chemical cleaning is the most important, in addition, the failures that hindered the cleaning process were analyzed, and in order to correct these failures, a maintenance plan was proposed to guarantee the proper operation and long life of the membranes.

Key words: Reverse osmosis, membranes, chemical cleaning, maintenance plan.

Introducción

En la actualidad, millones de personas en el mundo viven con un suministro eléctrico insuficiente o poco confiable forzando a los países al mejoramiento continuo de fuentes de energía eléctrica que den abasto para cubrir la demanda energética, volviéndose uno de los principales retos a cumplir para garantizar una mejor calidad de vida a sus habitantes. Desde el año 2010 el suministro eléctrico en Venezuela se ha visto gravemente afectado. Casi una década después, el problema aún persiste, donde el sistema eléctrico se ha deteriorado, especialmente en el estado Zulia.

Dicho estado cuenta con la termoeléctrica Planta Termozulia (PTZ), la cual cuenta con instalaciones conexas a los turbogeneradores, tales como: sistema de recepción, tratamiento (centrifugado y filtrado), almacenamiento y bombeo de combustible líquido (diésel automotor), plantas de pretratamiento de agua (pretratamiento y desmineralización), sistemas de tratamiento de agua de efluentes, aguas servidas, sistemas de aire comprimido para instrumentos y servicios y transformadores. En PTZ se genera electricidad utilizando turbinas de reacción propulsadas por gasoil automotriz, gas natural o vapor a través de la combustión de combustibles fósiles y según Veneagua [1, p.24] “Específicamente en los sistemas de generación de vapor por recuperación de calor se requiere un agua de alta calidad para su funcionamiento; la calidad del agua viene dada por la eficiencia de los sistemas de pretratamiento y desmineralización de la planta”.

Las aguas utilizadas para la generación de vapor deben ser correctamente tratadas, ya que contienen alto contenido de sales e impurezas, que al ser sometidos a altas temperaturas precipitan, y según la Asociación Chilena de Seguridad, Abarca [2, p.4]: “Se adhieren a las superficies más calientes de la caldera, especialmente en los tubos en forma de costras duras llamadas incrustaciones, lo que entorpece la transmisión del calor, permitiendo el sobrecalentamiento de estas superficies metálicas y posibles explosiones”. Por esta razón, la Planta Termozulia cuenta con un área de pretratamiento y desmineralización del agua, con el cual se procesa para hacerla apta para su uso en los turbogeneradores y lograr una eficiente generación de energía eléctrica.

Uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua es la ósmosis inversa, el cual, según Carbotecnia [3] es un proceso en el cual se reduce el caudal a través de una membrana semipermeable y se ejerce una fuerza de empuje superior a la presión osmótica en dirección opuesta al proceso de ósmosis. Logrando separar las sustancias que se encuentran en el agua en un lado de la membrana (concentrado) y del otro lado se obtiene una solución diluida baja en sólidos disueltos (permeado). El área de pretratamiento y desmineralización en el ciclo I de Planta Termozulia tiene problemas durante su operación, específicamente en el sistema de ósmosis inversa, en el cual las membranas presentan un ensuciamiento prematuro e incrustaciones durante su operación, lo que conlleva a un lavado más frecuente de estas y una reducción de su vida útil.

Por tal motivo, en esta investigación se propone un adecuado plan de mantenimiento y lavado que permita el correcto funcionamiento y operatividad del área de pretratamiento y desmineralización del agua en el ciclo I de Planta Termozulia. La propuesta, asegura un suministro de agua desmineralizada que cuenta con las características requeridas para poner en funcionamiento el sistema de generación de vapor por recuperación de calor, asimismo, se garantizaría un máximo aprovechamiento de los equipos utilizados para la generación de energía eléctrica, logrando mantenerlos en buen estado e incrementar su eficiencia. Asegurando un suministro de energía eléctrica más confiable para los habitantes del estado Zulia, mejorando el servicio eléctrico en el estado y por ende la calidad de vida de los zulianos.

Una de las bases para la elaboración de esta investigación fue el Trabajo Especial de Grado de Segovia [4] titulado “Propuesta de optimización del sistema pretratamiento de agua y ósmosis inversa de la Planta Termozulia en el Complejo Termoeléctrico General Rafael Urdaneta (CTGRU) de Enlven”, donde se seleccionaron los equipos mayormente involucrados para realizarles una serie de pruebas. Observando los tipos de contaminantes que había en las membranas para posteriormente precisar las causas que originaron el ensuciamiento. Del mismo modo, en la investigación de Segovia [4] se determinó que el agua que alimentaba al sistema de ósmosis presentaba algunas irregularidades, estableciendo las dosis correctas de químicos que debían ser agregados al agua en el pretratamiento.

El presente artículo deriva del Trabajo Especial de Grado desarrollado por Atencio [5] titulado “Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia”. En este sentido, para llevar a cabo el desarrollo del plan de mantenimiento se utilizaron los datos, registros, manuales e informes de la planta de ósmosis inversa de ciclo I de Planta Termozulia. Se identificaron las variables que afectan el funcionamiento de la planta de ósmosis, se describió el proceso de lavado que era ejecutado. Analizando las fallas que hubo en el proceso de lavado cuando la planta se encontraba operativa, se propuso un plan de mantenimiento en donde se busca corregir las fallas y el adecuado funcionamiento de las membranas y del sistema en general.

Materiales y Métodos

Este apartado consiste en explicar la metodología utilizada para desarrollar la presente investigación. En este sentido, la investigación se encuentra dividida en cuatro fases, las cuales son:

Fase I. Identificación de las variables que afectan la operatividad del sistema de ósmosis inversa durante su funcionamiento

Utilizando la técnica de revisión documental, se tomó del manual de operaciones la lista de dispositivos de instrumentación y seguridad de la planta de agua desmineralizada, se identificaron las variables que afectan el funcionamiento de la planta de ósmosis. Para el desarrollo de este objetivo también se utilizó el diagrama de flujo de procesos (DFP) y el diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) del sistema de agua desmineralizada de la planta. Se ubicaron los transmisores e indicadores más importantes que son indispensables para el óptimo funcionamiento del sistema. Posteriormente, utilizando la matriz de categorías, se tabularon todos los datos recogidos, identificando, el instrumento, la variable que controla, el valor máximo o mínimo al cual el sistema de control arroja alerta y la consecuencia de no controlar correctamente esa variable.

Fase II. Descripción del proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

Para describir el proceso de lavado de membranas de ósmosis inversa, por medio de la revisión documental se utilizó la filosofía de control realizada por el fabricante; en él se encuentra descrito el procedimiento de enjuague automático realizado por el sistema de control y los equipos e instrumentos que intervienen en el mismo. También, se empleó el libro de registros de lavados de ósmosis inversa, realizado por los técnicos encargados de la limpieza química de las membranas durante el año 2017; en él se encuentran registrados los productos químicos utilizados y tipo de lavado químico que se realizaba, sirviendo de soporte para la descripción de los lavados químicos.

Adicionalmente, se realizó una conversación al supervisor de la limpieza química y los operadores encargados de ejecutarla, utilizando esta información recogida a través de la técnica de entrevista, se complementa lo descrito por los registros y manuales, logrando presentar la descripción del proceso de limpieza aplicado a las membranas de ósmosis inversa.

Fase III. Análisis de las fallas en el proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

Empleando el libro de registros de lavados de ósmosis inversa durante el año 2017, utilizando el instrumento matriz de categorías, se realizó una tabla que contiene la fecha del lavado; tren, paso y etapa que se lavó, tipo de lavado (alcalino o ácido) empleado, producto químico, cantidad de producto, tiempo de lavado y observaciones realizadas. Esta tabla sirvió para identificar la frecuencia con la que se realizaron los lavados y se comparó lo descrito en la tabla con lo que establecen las especificaciones de Nalco y lo que establece el proveedor de los productos de limpieza de las membranas. En base a esto, se presentan las fallas operacionales de planta.

Fase IV. Propuesta de un procedimiento adecuado para la limpieza de las membranas de ósmosis inversa

Buscando mejorar las fallas detectadas, a través de la revisión documental, se investigó productos de limpieza más efectivos que existen en el mercado y pueden utilizarse en el lavado de las membranas. Con base a sus propiedades y costo se presentó la propuesta de lavado y mantenimiento, la cual incluye un formato para el registro de los lavados de la planta de ósmosis inversa y nuevos productos químicos para agregar al agua de alimentación del sistema de ósmosis.

Resultados y Discusión

En este apartado se presentarán los resultados expuestos para cada fase y de la misma forma se discutirán y explicarán los mismos de forma detallada.

Fase I. Identificación de las variables que afectan la operatividad del sistema de ósmosis inversa durante su funcionamiento

Según su relación con el ensuciamiento o daño de las membranas se especificaron tres tipos de variables: variables Tipo C (tienen poca incidencia en el funcionamiento del sistema), variables Tipo B (tienen mediana incidencia en el funcionamiento del sistema) y variables Tipo A (tienen alta incidencia en el funcionamiento del sistema). Elaborándose una tabla para cada tipo de variable, que incluye la justificación o razón del porqué se le dio esa clasificación. En la Tabla 1 se tienen las variables Tipo C, estas son indicativo de que hay un problema en el funcionamiento del sistema, el cual es necesario corregir. No obstante, que estas variables se encuentren en un valor fuera del especificado no necesariamente significa que las membranas están presentando problemas.

Tabla 1. Variables Tipo C [5]

Variable	Justificación
Diferencial de presión en los filtros de cartucho	No inciden en las membranas, se soluciona cambiando el filtro
pH a la salida del primer paso de OI	Fácil de corregir, añadiendo ácido sulfúrico
Flujo a la entrada del segundo paso de OI	Se soluciona cerrando la válvula de entrada
Presión en la línea de dosificación de anti incrustante	Solo hace daño a largo plazo
Flujo de entrada al primer paso de OI	Se soluciona cerrando la válvula de entrada

La mayoría de las variables Tipo C, que se encuentran en la Tabla 1, son fáciles de corregir y generalmente no presentan como consecuencia mayores inconvenientes; como es el caso del diferencial de presión en los filtros de cartucho, esta variable indica que el filtro se encuentra obstruido, es decir, no es un indicativo de que las membranas estén sucias o estén presentando algún problema. En el caso de que el flujo de entrada hacia el paso sea muy alto, esto se soluciona sencillamente cerrando la válvula, lo cual no genera mayores complicaciones y no existirá ningún daño en las membranas.

A continuación, se mencionan las variables Tipo B, las cuales se encuentran en Tabla 2, estas variables también son indicativo de que hay un problema con el funcionamiento en el sistema, asimismo, si estas no se corrigen, a mediano o largo plazo pueden generar daños en las membranas. Por otro lado, estas variable también pueden ser corregidas fácilmente; al estabilizarse el valor de la variable, esta no debería provocar mayores inconvenientes en el funcionamiento del sistema ni en las membranas.

Tabla 2. Variables Tipo B [5]

Variable	Justificación
Turbidez	Se corrige en el pretratamiento
Potencial de óxido reducción antes de ingresar al sistema de OI	Se corrige inyectando bisulfito de sodio. Una mala lectura ocasionaría problemas
pH antes de ingresar al sistema de OI	El anti incrustante pierde efectividad, se corrige inyectando ácido sulfúrico
Diferencial de presión en la succión de las bombas de alta presión del primer paso de OI	Solo afectaría a las membranas si se mantiene la falla a largo plazo
Conductividad antes de entrar al sistema	El sistema requiere cierto valor de conductividad para que no haya problemas con las membranas
Diferencial de presión en la succión de bombas de alta presión segundo paso OI	No hay un paso adecuado de agua por las membranas, solo afectaría a largo plazo
pH del permeado a la salida del segundo paso	Un pH muy alcalino puede provocar incrustaciones, se corrige añadiendo anti incrustante
Flujo de dosificación de anti incrustante	Un bajo flujo de anti incrustante ocasionaría incrustaciones en las membranas a mediano plazo

Analizando las variables Tipo B especificadas en la Tabla 2, en el caso del diferencial de presión en la succión de las bombas de alta presión del primer paso de OI y el diferencial de presión en la succión de las bombas de alta presión del segundo paso de OI, al no ser corregida esta variable, afectará el funcionamiento de las membranas, ya que por la falta de presión se impide el paso del agua a través de las membranas.

Sin embargo, estas no presentarán daños a corto plazo, y una vez sea corregido, el sistema seguirá funcionando correctamente y las membranas no presentarán mayores problemas. En el caso del pH antes de ingresar al sistema o el pH a la salida del permeado del segundo paso, estas variables de alguna forma sí pueden llegar a afectar a las membranas, incluso generar incrustaciones. No obstante, solo podrían causar daño a largo plazo, además de que son fáciles de corregir. Finalmente se tienen las variables de alta incidencia, encontradas en la Tabla 3:

Tabla 3. Variables Tipo A [5]

Variable	Justificación
Diferencial de presión en el banco de OI primer paso primera etapa	Posible obstrucción en las membranas, ocasionando daños en las mismas. Debe corregirse inmediatamente
Diferencial de presión en el banco de OI primer paso segunda etapa	
Diferencial de presión en el banco de OI segundo paso primera etapa	
Diferencial de presión en el banco de OI segundo paso segunda etapa	
Flujo de rechazo del primer paso de OI	Un bajo flujo de permeado significa que las membranas se encuentran obstruidas. Un alto flujo significa que están rotas.
Conductividad del permeado a la salida del primer paso de OI	La membrana no está haciendo su trabajo, puede estar rota
Flujo del rechazo del segundo paso de OI	Las membranas están obstruidas o hay una avería en el sistema
Flujo permeado segundo paso OI	Un bajo flujo de permeado significa que las membranas se encuentran obstruidas. Un alto flujo significa que están rotas.
Conductividad del permeado a la salida del segundo paso	La membrana no está haciendo su trabajo, puede estar rota
Presión en la línea de dosificación de bisulfito de sodio	El ingreso de cloro hacia las membranas puede dañarlas permanentemente
Flujo de dosificación de bisulfito de sodio	
Presión del permeado a la salida del primer paso de OI	Una variación en la presión indica una variación en el flujo; lo que significa que las membranas están obstruidas o rotas
Presión del permeado a la salida del segundo paso de OI	

La Tabla 3 se mostró las variables Tipo A, dado que son seleccionadas por dos principales razones: la primera es que su variación (aumento o disminución respecto al valor de referencia) es indicativo de que las membranas están presentando problemas y la segunda razón es que, si estas variables no son corregidas inmediatamente, podrían disminuir la efectividad de las membranas, acortar su tiempo de vida e incluso causar un daño irreversible en las mismas. Por ello que son consideradas las más influyentes en la operatividad del sistema de ósmosis inversa. Como es el caso del flujo en la línea de dosificación de bisulfito de sodio, si hay un flujo muy alto y esta variable no es corregida en un corto periodo de tiempo, podría haber un ingreso de cloro hacia las membranas.

En el caso de la conductividad eléctrica a la salida del primer y segundo paso, es una variable muy importante a tomar en cuenta, ya que, si el agua a la salida de alguno de los pasos posee una alta conductividad, las membranas no están haciendo nada, no están reteniendo las partículas, por lo tanto, lo más probable es que haya una ruptura en ellas.

Fase II. Descripción del proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

El fabricante de las membranas de ósmosis inversa no explica un procedimiento detallado de cómo debe ser realizado el proceso, solo establece que dentro del banco de ósmosis se encuentran las bombas de enjuague (P-115A/B), la bomba de solución de limpieza (P-110) y el tanque de solución de limpieza (T-110). Se debe realizar el proceso de lavado cuando: la presión de entrada aumente 10%, la productividad baje un 10% o cuando la presión diferencial de las membranas aumente más de un 10%. Para el correcto funcionamiento del sistema de ósmosis inversa, se emplean los siguientes lavados:

- Lavado con solución de preservación

En caso de que el sistema de ósmosis inversa deba quedar fuera de servicio durante algunos días, es necesario realizar un enjuague al sistema; utilizando una solución de preservación que consiste en bisulfito de sodio al 0.5%. Es decir, esta solución de preservación quedará dentro del sistema durante el tiempo que el mismo se encuentre fuera de servicio.

- Enjuague automático

Cuando el sistema se detiene por alguna razón, es decir, hay un paro de planta; el agua pretratada deja de ingresar al sistema de ósmosis inversa, se detienen automáticamente las bombas de alta presión, las cuales son las encargadas de suministrar el agua pretratada. Inmediatamente la bomba de enjuague se activa, la cual toma agua del tanque de agua desmineralizada para hacer un retrolavado, el agua circula por todo el sistema, enjuagando las membranas y evitando que permanezcan sustancias de incrustación que puedan dañar las membranas.

- Lavado químico en el sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I

Con el fin de que la planta tenga un buen funcionamiento y, las membranas no disminuyan su tiempo de vida, se requiere de un lavado químico cada cierto tiempo. Se recomienda que sea 3 a 4 veces al año, sin embargo, establecer una frecuencia de lavado ideal se hace complicado, ya que esto depende de la calidad del agua que ingresa al sistema de ósmosis inversa.

Es importante destacar que el sistema de ósmosis inversa está conformado por dos trenes que a su vez se dividen en dos pasos cada uno y los pasos se dividen en dos etapas. Para explicar el proceso de limpieza química se considerará el lavado de una sola etapa, ya que el procedimiento es el mismo para todas las demás. Una vez se evidencie que el rechazo de sales disminuye entre un 10 y 15% o que el diferencial de presión aumenta entre un 10 a 15%, se hace necesario realizar la limpieza química en el tren.

Se inicia con la preparación de la solución de limpieza. Primero, es necesario recordar que a las membranas se les pueden realizar dos tipos de lavados: alcalino o ácido. El tipo de lavado y producto químico a utilizar dependen del tipo de ensuciamiento que presenten las membranas. Es decir, para el lavado de las membranas se pueden emplear diferentes productos químicos y sustancias. Por ello, en el procedimiento

descrito para la preparación de la solución de limpieza no se especifican cantidades ni productos químicos a utilizar. Sin embargo, en la Tabla 4 se mencionan algunos productos usados para la limpieza.

Tabla 4. Productos empleados en el lavado químico [5]

	Sustancias empleadas	
	Lavado alcalino	Lavado ácido
Producto de limpieza	Hydroclean 212 original Tripolifosfato de sodio	Hydroclean 3100 original Ácido cítrico
Ajustador de pH	Soda cáustica	Ácido sulfúrico

Como se comentó, en la Tabla 4 se indican algunos los productos químicos encontrados en los registros, estos son los que más frecuentemente se utilizaban para ejecutar el lavado de las membranas. Como se observa, se tienen tres columnas, en donde se especifican los productos de limpieza y ajustadores de pH utilizados para cada tipo de lavado (alcalino y ácido). Cabe destacar que algunos de estos productos químicos se mencionan por su nombre comercial, como lo son el Hydroclean 212 original y el Hydroclean 3100 original. El tripolifosfato de sodio y el ácido cítrico también son productos químicos empleados para la limpieza. Por otro lado, en la última fila de la Tabla 4 se tienen los ajustadores de pH, estos se usan para llevar la solución de limpieza al pH requerido para ejecutar el lavado.

Para una mejor comprensión de los procesos realizados en el lavado químico de las membranas, en la Figura 1, se presenta un esquema de los equipos involucrados en el proceso de limpieza y la forma en que se encuentran conectados. Con todo esto es posible visualizar la manera en que se realizan cada uno de los procesos descritos.

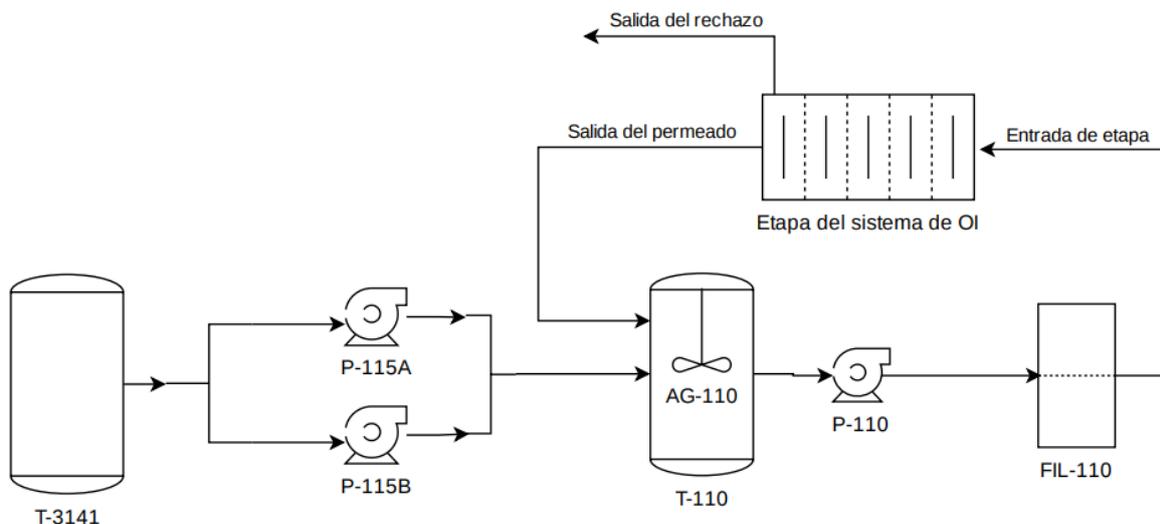


Figura 1. Esquema del sistema de lavado [5]

- Preparación de la solución de limpieza

Se cuenta con el tanque de solución de limpieza T-110, el cual se llena hasta aproximadamente un 80% de su capacidad con agua desmineralizada; las bombas de enjuague P-115A/B succionan el agua desmineralizada del tanque T-3141 y la envían al tanque T-110, esto se observa en la Figura 1. El siguiente paso es la adición del producto de limpieza, donde el tipo de producto y la cantidad a emplear dependerán del tipo de lavado que se le vaya a realizar al sistema. Para la preparación de la solución de limpieza alcalina, algunos de los productos frecuentemente empleados se mencionan en la Tabla 4. Luego de ser añadido el producto de limpieza, se debe ajustar el pH de la solución con el ajustador hasta que alcance un pH de entre 10.5 y 11.5.

Por otro lado, para preparar la solución de limpieza ácida se ejecuta un procedimiento similar al de la solución de limpieza alcalina; el tanque T-110 se llena hasta un 80% de su capacidad con agua desmineralizada y se añade el producto químico hecho especialmente para este tipo de lavado, algunos de estos se mencionan en

la Tabla 4. Luego de ser agregado el producto de limpieza, se debe ajustar el pH de la solución con el ajustador, hasta que alcance un pH aproximadamente de entre 2 y 3.

- Preparación del tren para el lavado

Cada uno de los procedimientos mencionados serán ejecutados en el paso que se encuentre fuera de servicio para lavar alguna de sus etapas. Primero, se debe cerrar la válvula que regula el agua de alimentación que ingresa a cada etapa, también se cierran las válvulas de salida de permeado y rechazo de cada etapa del sistema de ósmosis inversa. Todo esto para que el tren quede preparado para hacer las conexiones necesarias para la recirculación de la solución de limpieza en toda la etapa que requiera ser lavada.

Para que el lavado se efectúe de forma correcta y haya una recirculación de la solución de limpieza, se debe conectar la manguera de aplicación a la salida del filtro de cartuchos FIL-110, el otro extremo de la manguera de aplicación debe ser conectado a la entrada de manguera de la etapa que requiere ser lavada. Posteriormente, se debe conectar la manguera de retorno de la solución de limpieza a la salida del rechazo de la etapa que se desea lavar, el otro extremo de la manguera de retorno se conecta a la entrada de manguera del retorno de solución de limpieza del tanque T-110.

- Puesta en marcha del lavado químico

Para la puesta en marcha del lavado se deben revisar cada uno de los equipos involucrados en esta parte del procedimiento. Primero, la bomba de solución de limpieza P-110 y el filtro de cartucho FIL-110 deben ser alineados abriendo manualmente las válvulas de succión y descarga de los mismos. Se debe encender el agitador AG-110 que se encuentra en el tanque de limpieza T-110 y esperar el tiempo recomendado por el proveedor del producto químico para obtener una solución homogénea. Finalmente, con una resistencia se eleva la temperatura de la solución de limpieza hasta aproximadamente unos 40°C.

Una vez hechas todas las alineaciones y procedimientos, se arranca la bomba de limpieza P-110, inmediatamente se procede a comprobar la inexistencia de fugas en el circuito conectado, en caso de haber una fuga, esta debe ser corregida. La solución atraviesa las membranas y es devuelta al tanque T-110, es decir, queda recirculando en la etapa; el tiempo de recirculación es de aproximadamente una hora. Luego de pasada la hora en donde la solución de limpieza estuvo en recirculación, las membranas deben dejarse en remojo con la solución limpiadora durante otra hora (esto se conoce como tiempo de remojo), es decir, se detiene la bomba P-110 por una hora. Finalizado el tiempo, se enciende nuevamente la bomba y se deja la solución en recirculación durante dos horas más, para un total de cuatro horas de lavado. Mientras se está realizando el lavado, se deben estar revisando constantemente todos los equipos involucrados en el mismo.

Para garantizar que no haya rastros de la solución de limpieza en el sistema de ósmosis, es necesario enjuagar las membranas. Después de realizado el lavado, se detiene el proceso, por lo tanto, se apaga la bomba P-110 y se drena la solución de limpieza, la cual se encuentra impregnada del sucio arrastrado de las membranas. Una vez el tanque T-110 esté vacío, empleando las bombas P-115A/B, se le debe añadir agua desmineralizada proveniente del tanque T-3141. Luego se debe encender la bomba P-110 para recircular el agua, enjuagando las membranas y eliminando los restos de solución de limpieza que pudieran haber quedado.

Se debe estar observando cómo sale el agua de enjuague del sistema, mientras esta siga saliendo muy turbia, se debe ir drenando, y a su vez se debe ir añadiendo agua limpia (agua desmineralizada tomada del tanque T-3141). Este proceso debe realizarse hasta obtener un agua completamente limpia. Luego, se debe ajustar el sistema como se encontraba originalmente. Finalmente, se pone en marcha el sistema de ósmosis y se verifica que la caída de presión se encuentre en un valor normal, confirmando que el sistema está funcionando correctamente.

Fase III. Análisis de las fallas en el proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

Para la identificación y posterior análisis de las fallas en el proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa se construyó una tabla utilizando el libro de registros de lavados de ósmosis inversa, la cual puede ser consultada en el Trabajo Especial de Grado de Atencio [5] etiquetada como Tabla 4.7. En dicha Tabla

se tienen las fechas en las que se realizó cada lavado químico durante el año 2017. También, se encuentran el tren, paso y etapa al cual se le realizó el lavado, ya que como se mencionó en la explicación del procedimiento para el lavado químico, en la planta de agua desmineralizada existen dos trenes (T1 y T2) de ósmosis inversa, exactamente iguales. De manera que si es necesario parar un tren, el otro se pone en funcionamiento. Solo se pone funcionamiento un tren a la vez, y cada uno está conformado por dos pasos y a su vez los pasos se dividen en dos etapas. Como se detalla en la Figura 2.

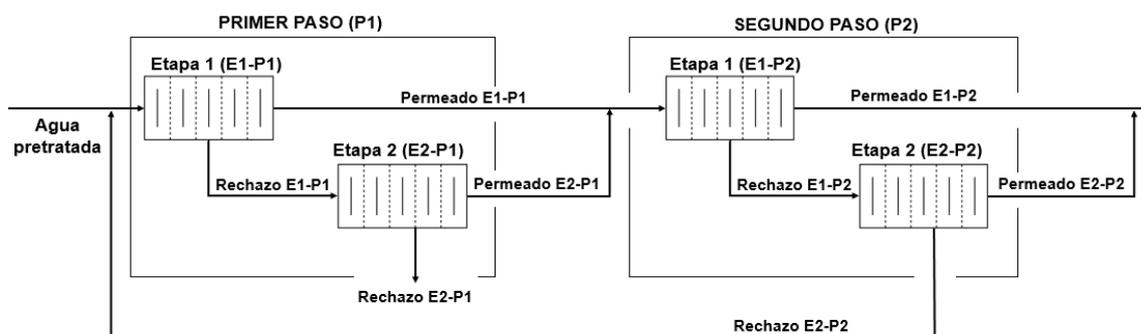


Figura 2. Esquema de los pasos y etapas en un tren de OI [5]

En la Figura 2 se explica cómo se relacionan los pasos y las etapas. El agua pretratada ingresa al Primer Paso en la Etapa 1. El permeado de la Etapa 1, que en este caso, se llama Permeado E1-P1 pasa directo al segundo paso del sistema. Mientras que el rechazo de la Etapa 1, llamado Rechazo E1-P1 ingresa a la Etapa 2 del Primer Paso. El permeado de la Etapa 2 (Permeado E2-P1) se conecta con el Permeado E1-P1, siendo ambas la alimentación del Segundo Paso. Finalmente, el Rechazo E2-P1 se desecha debido al alto contenido de sales. El mismo proceso sucede en el Segundo Paso, a diferencia de que el Rechazo E2-P2 se recircula a la alimentación del sistema, es decir, se mezcla con el agua pretratada antes de entrar al Primer Paso.

Es importante conocer el funcionamiento del sistema de ósmosis inversa de forma detallada, permitiendo una mejor comprensión de la Tabla 4.7 del Trabajo Especial de Grado de Atencio [5], ya que el lavado no se le realiza al tren completo ni al paso completo. La solución de limpieza se aplica una etapa a la vez. En dicha tabla se encuentran también los productos químicos y cantidades utilizadas, el tiempo que estuvo en recirculación, la solución de limpieza (tiempo de lavado) y, por último, las observaciones que pudieron ejecutarse mientras se ejecutaba el lavado. Las fallas en el proceso fueron las siguientes:

- Un solo tren operativo

Solo se le realizaron lavados al segundo tren del sistema, lo cual indica que el primer tren se encontraba fuera de servicio. La ausencia de uno de los trenes afecta la producción de agua desmineralizada. Si ambos trenes funcionaran, cuando el lavado químico es requerido y el tren a lavar queda fuera de servicio, el otro tren se hace cargo de la producción, por lo tanto, el sistema debería funcionar ininterrumpidamente. Al haber un solo tren operativo, hay que hacer lavados más frecuentes, propiciando una reducción de la vida útil de las membranas; esto implica mayores costos en limpieza y paradas frecuentes, generando una disminución en la productividad. La producción de agua desmineralizada se vio tan afectada, que incluso el 9 abril del 2017 no se pudo ejecutar el lavado debido al bajo nivel de agua en el tanque T-3141. Por lo antes mencionado, trabajar con un solo tren operativo durante tanto tiempo se considera una falla grave.

Los lavados para el año 2017 se estaban haciendo en intervalos de tiempo muy cortos, es decir, los lavados eran muy frecuentes. Para inicios de ese año, los días 15 de febrero, 21 de febrero y el 10 de marzo se le hizo lavado alcalino al Tren 2/Primer Paso/Etapa 2, es un período de tiempo muy corto entre cada lavado, a pesar de que esta etapa es la que más impurezas debe remover, y, por lo tanto, la que más frecuentemente se debería lavar, el período de tiempo entre cada lavado debería haber sido mayor, siendo indicativo de que había un problema en el sistema.

- Operación del sistema sin corrección del pretratamiento

El objetivo pasó a ser producir la mayor cantidad de agua sin velar correctamente por el adecuado funcionamiento de cada equipo involucrado en la planta, es decir, el sistema de ósmosis seguía produciendo agua, pero, al no cuidar los estándares de mantenimiento, las paradas del sistema se hicieron cada vez más frecuentes, llegando al punto de detener ambos trenes del sistema de ósmosis inversa. Muchas veces el agua se tornaba turbia cuando se realizaban los lavados, lo que indica que había un problema durante el pretratamiento y el agua estaba ingresando turbia al sistema de ósmosis inversa, el cual era sometido a operar a pesar de las condiciones del agua de alimentación.

- Ejecución del lavado sin un previo diagnóstico del ensuciamiento

NALCO [6], proveedor de los productos químicos utilizados en el lavado, afirma que para seleccionar el procedimiento y químicos, es necesario realizar diagnóstico del ensuciamiento en las membranas, para de esta forma identificar el tipo de ensuciamiento y agentes contaminantes, y de acuerdo a los resultados, establecer los productos y tipo de lavado a emplear, garantizando un lavado eficiente que elimine completamente el ensuciamiento.

Sin embargo, dicho diagnóstico no se realizaba correctamente al momento de ejecutar los lavados, los lavados alcalinos eran los más frecuentes y casi siempre se utilizaban los mismos productos químicos para la limpieza, en ningún momento se especifica el tipo de ensuciamiento que presentaban membranas, para así determinar el tipo y la cantidad de producto de limpieza a utilizar. De hecho, Veneagua [1] en su manual de operaciones de la planta de ósmosis inversa, especifica 3 tipos de soluciones de limpieza: Solución 1, Solución 2 y Solución 3; en la Tabla 5 se especifican los ingredientes y ajustadores de pH de cada una de las soluciones de limpieza.

Tabla 5. Soluciones de limpieza recomendadas por Veneagua [5]

Solución de limpieza	Ingredientes	Ajustador de pH
Solución 1	Ácido cítrico	Hidróxido de amonio
Solución 2	Tripolifosfato de sodio	Ácido sulfúrico
	Tetrasodio EDTA	
Solución 3	Tripolifosfato de sodio	Ácido sulfúrico
	Dodecibenceno sulfonato de sodio	

Las soluciones de limpieza especificadas en la Tabla 5 se deberían aplicar dependiendo del tipo de ensuciamiento que presenten las membranas, es decir, un diagnóstico del tipo de ensuciamiento es necesario. En el libro de registros de lavados ósmosis inversa no se especifican las razones del porqué se utilizaba el producto químico, es decir, se ejecutaba el lavado sin antes verificar el tipo de contaminante que había en las membranas.

Las soluciones de limpieza especificadas en la Tabla 5 se deberían aplicar dependiendo del tipo de ensuciamiento que presenten las membranas, es decir, un diagnóstico del tipo de ensuciamiento es necesario. En el libro de registros de lavados ósmosis inversa no se especifican las razones del porqué se empleaba el producto químico, es decir, se ejecutaba el lavado sin antes comprobar el tipo de contaminante que había en las membranas, por lo tanto, ejecutar el lavado sin un previo diagnóstico del ensuciamiento se considera una falla.

- Registro inadecuado de los lavados

Por otro lado, el registro diario de los parámetros de operación del equipo de ósmosis inversa y su periódico análisis, garantiza la posibilidad de detectar a tiempo problemas de incrustación u obstrucción de las membranas. Esto permite minimizar los tiempos de lavado y la cantidad de productos químicos, así también, evitar obstrucciones irreversibles. Muchas veces los registros no eran específicos. Parámetros como cantidad de producto químico y tiempo de lavado muchas veces no eran mencionados. Además, el registro se realizaba

de una manera informal, ya que no existía un formato de registros para el lavado químico de las membranas aprobado por la empresa, propiciando su inadecuado registro.

Fase IV. Propuesta de un procedimiento adecuado para la limpieza de las membranas de ósmosis inversa

Tomando en cuenta las variables que afectan el funcionamiento del sistema, junto con la descripción del proceso de lavado que era realizado y el posterior análisis de las fallas, se realizó un plan de mantenimiento, con el cual se busca minimizar la posibilidad de errores durante el proceso de lavado. De esta manera, se espera alcanzar un adecuado mantenimiento de las membranas, para que puedan hacer su función de retener las sales del agua de manera eficaz, garantizando su larga vida útil y que, en general, el sistema de ósmosis inversa opere sin presentar mayores problemas.

- Diagnóstico del tipo de ensuciamiento

Previo al lavado, es necesario identificar los posibles contaminantes depositados en las membranas y asegurar que el producto químico seleccionado eliminará por completo el ensuciamiento, por ello, se debe hacer un correcto diagnóstico del tipo de contaminante que está afectando a la membrana. Esto se logra por observación directa de la membrana, haciendo un análisis sencillo al contaminante que la rodea y también conociendo las características fisicoquímicas del agua que ingresa al sistema de ósmosis inversa, dependiendo de estas, es posible predecir el tipo de ensuciamiento y agentes contaminantes que obstruyen la membrana.

Es por ello que, dependiendo del tipo de contaminante, se proponen los nuevos productos químicos a utilizar en el lavado químico de las membranas. El fabricante es American Water Chemicals (AWC) [7], sus productos químicos de limpieza de membranas están formulados para todo tipo de sistemas de membranas de ósmosis inversa, desde los que se emplean en aplicaciones de alimentos y bebidas hasta aplicaciones de reutilización de agua.

- Productos a emplear para el lavado químico

Todos los productos químicos de limpieza de la AWC están aprobados por la Fundación Nacional de Sanidad (NSF) [7], bajo la norma NSF/ANSI 60 para su uso en sistemas que utilicen membranas para el tratamiento del agua, en este caso, la ósmosis inversa. Para la limpieza del sistema de ósmosis inversa en Planta Termozulia I, en la Tabla 6 se proponen diferentes productos químicos para la limpieza de las membranas, en las cuales no se especifican los componentes del producto, solo se establece su nombre comercial.

El objetivo de contar con varios productos químicos es asegurar que sin importar el tipo de ensuciamiento y lo severa que sea la obstrucción, sea posible contar siempre con un producto químico que elimine por completo los contaminantes. Se establecieron productos químicos para realizar limpiezas alcalinas y ácidas. En la Tabla 6 se indican los contaminantes que elimina dicho producto, el pH del producto químico puro, sin haber sido disuelto en agua y finalmente, se establece la dosis que debe ser empleada de cada producto químico al momento de preparar la solución de limpieza. Para consultar la hoja de información, los productos, dirigirse a los Apéndices presentados en el Trabajo Especial de Grado de Atencio [5].

Tabla 6. Productos químicos para la limpieza alcalina y ácida [5]

Producto químico	Contaminante	pH	Dosis
Alcalino			
AWC C-239	Incrustación difíciles de sulfato de estroncio, sulfato de calcio y sulfato de hierro	9-Oct	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-238	Sulfato de calcio hidratado	7-set	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-236	Sílice polimerizada y depósitos coloidales de sílice	>12	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-218	Películas biológicas, contaminantes orgánicos, arcillas y sílice coloidal	11.8–12.1	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-241	Películas biológicas, contaminantes orgánicos, arcillas, sílice coloidal, sulfatos, fluoruros y silicatos	>12	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-230	Ensuciantes coloidales, lodos y arcillas	Nov-13	2 L del producto por cada 100 L de agua
Ácido			
AWC C-209	Severas incrustaciones de carbonatos y fosfatos	2-Mar	2 kg por cada 100 L de agua
AWC C-217	Incrustaciones de carbonato, fosfato y sulfato, así como también óxidos metálicos	<2	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-225	Severas obstrucciones por óxidos metálicos	1.5–2.5	1.5 kg del producto por cada 100 L de agua

Asimismo, al especificar los tipos de contaminantes que elimina cada producto químico, es posible seleccionar el producto que garantice una limpieza exitosa y que lo que esté impidiendo el buen funcionamiento de las membranas sea eliminado por completo. El procedimiento para la preparación de la solución de limpieza varía según el producto químico. AWC [7] en la mayoría de sus procedimientos recomendados para la preparación de la solución de limpieza, establece que la eficacia de la limpieza puede ser mejorada al calentar la solución limpiadora. No especifican una temperatura, ya que esto depende del tipo de membrana y el pH de la solución. Por lo tanto, la temperatura y el pH de la solución limpiadora deben ser seleccionados. La Tabla 7 establece los límites de temperatura y pH al cual puede trabajar la membrana según su fabricante, Hydranautics. [8]

Tabla 7. Límites de temperatura y pH para el lavado de las membranas de poliamida compuesta (CPA) [8]

Temperatura	50°C	≤ 45 °C	≤ 35 °C	≤ 25 °C
pH	Contactar a Hydranautics	2 a 11.50	1 a 12	1 a 13

En la Tabla 7, dependiendo del pH de la solución, se establece la máxima temperatura a la cual puede elevarse la solución de limpieza, por lo tanto, si se requiere que la solución limpiadora tenga un pH de 12.5, la máxima temperatura a la que puede elevarse, sin causar daños en las membranas, es 25 °C. Cabe destacar que estos límites establecidos son únicamente para las membranas de poliamida compuesta, fabricadas por Hydranautics [8], las cuales son las utilizadas en Planta Termozulia I. Para la elaboración de los procedimientos de lavado a emplear con cada producto químico, también se cuenta con la Tabla 8, la cual indica el pH y la temperatura que debe alcanzar la solución de limpieza según AWC [7]. Asimismo, en la tercera columna se establece la temperatura máxima a la que puede ser llevada la solución de limpieza sin causar daños en la membrana según los límites establecidos por Hydranautics. [8]

Tabla 8. Temperatura máxima permitida en la solución de limpieza [5]

Producto químico	pH solución	Temperatura recomendada por AWC	Temperatura máxima
Alcalino			
AWC C-239	13	40-45°C	25 °C
AWC C-238	7-set	No especifica	40 °C
AWC C-236	Dic-13	No especifica	25 °C
AWC C-218	11.8-12	No especifica	35 °C
AWC C-241	11-Dic	No especifica	35 °C
AWC C-230	10-Nov	No especifica	40 °C
Ácido			
AWC C-209	2-Mar	No especifica	45 °C
AWC C-217	2-2.5	No especifica	45 °C
AWC C-225	1.5-2.5	No especifica	35 °C

Como se aprecia en la Tabla 8, en el caso de producto AWC C-239, la temperatura recomendada por AWC [7] que debe alcanzar la solución de limpieza es 40 a 45 °C, sin embargo, según lo establecido por Hydranautics, [8] cuando la solución de limpieza que va a ser utilizada en sus membranas de poliamida compuesta (CPA) tiene un pH igual o mayor a 13, la máxima temperatura que puede alcanzar dicha solución sin causar ningún daño en las membranas es 25 °C. El pH al que trabaja dicho producto es muy elevado. Por lo tanto, el producto químico AWC C-239 queda descartado para ser empleado en el procedimiento de limpieza de las membranas de ósmosis inversa de Planta Termozulia I.

En cuanto al resto de los productos químicos, AWC [7] no especifica ninguna temperatura, solo menciona que se debe “elevar la temperatura”, la cual debe ser seleccionada según los límites establecidos por el fabricante de las membranas. El objetivo es emplear un lavado químico que se ajuste a los requerimientos del fabricante de las membranas y al proveedor de los limpiadores. Para el resto de los productos limpiadores, las temperaturas a usar serán las que recomienda Hydranautics. [8]. En la Tabla 9 se establecen los procedimientos de preparación de la solución de limpieza, y la presentación del producto, siendo todos los alcalinos líquidos.

Tabla 9. Preparación de solución de limpieza con productos químicos alcalinos y ácidos [5, 7]

Producto químico	Preparación
Alcalino	
AWC C-238 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua. Elevar la temperatura de la solución sin exceder los 40°C y mezclar completamente. La duración de la limpieza depende de la cantidad y naturaleza del ensuciamiento, sin embargo, un mínimo de 6 horas es lo recomendado.
AWC C-236 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. El pH debe ser ajustado entre 12-13. Se debe calentar la solución limpiadora sin exceder los 25°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución por el sistema 15 minutos y remojar las membranas por 15 minutos. Esto se debe repetir tantas veces como sea necesario. El pH debe ser ajustado al rango deseado agregando del mismo producto químico AWC C-236.
AWC C-218 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. El pH debe ser ajustado entre 11.80-12. Se debe calentar la solución limpiadora sin exceder los 35°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución por el sistema 30-60 minutos y remojar las membranas por 30-60 minutos. Esto se debe repetir por un mínimo de 4-6 horas. El pH debe ser monitoreado cada 30 minutos durante la limpieza y si se encuentra debajo del rango deseado se debe ajustar agregando del mismo producto químico AWC C-218.
AWC C-241 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. El pH debe ser ajustado entre 11-12. Se debe calentar la solución limpiadora a aproximadamente unos 35°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución por el sistema 30-60 minutos y remojar las membranas por 30-60 minutos. Esto se debe repetir por un mínimo de 4-6 horas. El pH debe ser monitoreado cada 30 minutos durante la limpieza y si se encuentra debajo del rango deseado, se ajusta agregando del mismo producto químico AWC C-241.
AWC C-230 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. Luego, se debe elevar la temperatura sin exceder los 40 °C, posteriormente se hace circular la solución a través del sistema, monitoreando el pH, el cual se debe encontrar en un rango de entre 10 y 11. Si el pH baja del rango deseado se debe ajustar agregando del mismo producto químico AWC C-230. La duración del ciclo de limpieza depende de la cantidad y la naturaleza del ensuciamiento, es recomendable alternar las veces que sea necesario una hora de circulación y remojar durante 20 minutos.
Ácido	
AWC C-209 (en polvo)	Usar agua permeada. Agregar 2 kg del producto por cada 100 litros de agua. Mezclar completamente, elevar la temperatura de la solución sin exceder los 40°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución limpiadora por el sistema durante 60 minutos y remojar las membranas durante 30-60 minutos para un total de tiempo de limpieza de 4-6 horas. El pH debe mantenerse entre un rango de 2-3 durante todo el procesos de limpieza, en caso que sea necesario ajustar el pH, debe agregarse del mismo producto AWC C-209.
AWC C-217 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua. Mezclar completamente y ajustar el pH a un rango entre 2 y 2.50 agregando más cantidad del producto hasta que el pH alcance el valor deseado. Elevar la temperatura de la solución sin exceder los 40°C y hacer circular la solución durante 60 minutos y luego remojar las membranas por 30 minutos. Esto debe repetirse por un tiempo de exposición total de 2 a 4 horas. El rango del pH debe ser monitoreado cada 15 minutos, cuando el pH se encuentre por encima del rango deseado debe ser ajustado adicionando más AWC C-217.
AWC C-225 (polvo)	Usar agua permeada. Agregar 1.5 kilogramos del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. Se debe calentar la solución limpiadora sin exceder los 40°C y comenzar la circulación de la solución de limpieza durante unas 4 horas.

- Productos químicos a emplear para limpiezas de mantenimiento

La desventaja de utilizar una amplia variedad de productos químicos es que hay algunos tipos de contaminantes que solo se presentarán en ocasiones específicas, por lo tanto, algunos de estos productos limpiadores no será necesario comprarlos en grandes cantidades. La limpieza de mantenimiento es necesaria

realizarla cada 3 a 4 meses, es importante que la membrana no se encuentre severamente obstruida, que solo esté contaminada por sólidos suspendidos o sales insolubles que están presentes en el agua de alimentación y que, por lo tanto, su presencia en el sistema de ósmosis inversa. En consecuencia, al pasar varios meses operando el sistema sin haber presentado problemas durante ese tiempo, se debe hacer la limpieza química de mantenimiento.

Para la selección de los productos químicos a emplear en las limpiezas de mantenimiento, se tomaron en cuenta sus características como agente limpiador, cantidad de contaminantes que es capaz de remover, pH y temperatura de la solución de limpieza. Estos productos químicos deben tener la capacidad de ejecutar una limpieza agresiva, sin causar ningún daño en las membranas y respetando los límites establecidos por el fabricante. En este sentido, se proponen dos productos químicos (uno para la limpieza alcalina y otro para la limpieza ácida), los cuales se establecen en la Tabla 10, donde se indican el pH de la solución de limpieza, el tiempo aproximado que toma ejecutar la limpieza y la temperatura a la que debe ser llevada la solución.

Tabla 10. Productos químicos para las limpiezas de mantenimiento [5]

Producto químico	pH de la solución	Tiempo de limpieza	Temperatura de solución
AWC C-241	11 a 12	4 a 6 horas	35°C
AWC C-217	2 a 2.5	2 a 4 horas	40°C

Para la limpieza alcalina se utilizará el producto químico AWC C-241, ya que este limpiador garantiza la eliminación de una amplia variedad de contaminantes y es efectivo para remover depósitos de hidróxido de hierro. La limpieza es agresiva, con un pH de entre 11-12, un tiempo de limpieza de 4 horas es suficiente, además, es estrictamente necesario no exceder los 35 °C, siendo esta temperatura lo suficientemente elevada para lograr una limpieza exitosa sin generar daños en las membranas.

Para la limpieza ácida se usará el producto químico AWC C-217, ya que además de eliminar diferentes tipos de contaminantes, contiene una mezcla sinérgica de limpiadores y removedor de incrustaciones severas, también es capaz de eliminar ciertos precipitantes inorgánicos, garantizando una limpieza efectiva. Asimismo, un pH de entre 2 - 2.5 y una temperatura de 40 °C, con un tiempo de limpieza corto, permiten ejecutar un lavado agresivo sin causar daño en las membranas. Otra razón por la cual se seleccionó este producto para las limpiezas de mantenimiento, es porque puede ser empleado después de la limpieza alcalina (en caso de ser necesarias ambas limpiezas).

- Nuevo lavado químico en el sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I

Una vez establecidos los productos a utilizar para el lavado químico con sus respectivos procedimientos de preparación para la solución de limpieza y los medidores de SDI y SDT, se hace necesario describir nuevamente el procedimiento de lavado en la planta de ósmosis inversa en el ciclo I de Planta Termozulia. El proceso es similar, sin embargo, cuenta con algunos cambios, que incluyen un medidor de del índice de densidad de sedimentos (SDI) y un medidor de sólidos disueltos totales (SDT) que asegurarán un procedimiento de lavado más adecuado.

El primer paso para la ejecución del lavado consiste en la medición del índice de densidad de sedimentos al agua de alimentación del sistema de ósmosis inversa y verificar que el valor sea menor a 3 unidades. Por ello, es obligatorio medir el SDI antes de cada lavado químico del sistema de ósmosis inversa. Si la medición arroja un valor mayor a tres (3), es necesario hacer una revisión al pretratamiento, evaluar qué tan obstruidas se encuentran las membranas y estimar el tipo de contaminante para utilizar producto químico adecuado. En caso de que la medición del SDI arroje un valor menor o igual a tres (3), se debe proseguir con el procedimiento de limpieza usando los productos químicos recomendados para las limpiezas de mantenimiento.

Para la preparación de la solución de limpieza se cuenta con los mismos equipos: el tanque de solución de limpieza T-110, que debe ser llenado hasta aproximadamente un 80% de su capacidad con agua desmineralizada; encendiendo las bombas de enjuague P-115A/B que succionan el agua desmineralizada del tanque T-3141 y

la envían al tanque T-110. El siguiente paso es la adición del producto químico para la limpieza. Para la preparación de la solución de limpieza se deben seguir los procedimientos establecidos en la Tabla 9.

Seguidamente, se debe preparar el tren para el lavado, el procedimiento es el mismo en este caso, y cada uno de los procedimientos mencionados serán ejecutados en el paso que se encuentre fuera de servicio para lavar alguna de sus etapas. Primero, se debe cerrar la válvula XV-201, la cual regula flujo del agua de alimentación que ingresa al tren, también se cierran las válvulas de salida de permeado y rechazo de cada etapa del sistema de ósmosis inversa. Todo esto para que el tren quede preparado para hacer las conexiones necesarias para la recirculación de la solución de limpieza en toda la etapa que requiera ser lavada.

Para que el lavado se efectúe de forma correcta y haya una recirculación de la solución de limpieza, se debe conectar la manguera de aplicación a la salida del filtro de cartuchos FIL-110, el otro extremo de la manguera de aplicación debe ser conectado a la entrada de manguera de la etapa que requiere ser lavada. Posteriormente, se debe conectar la manguera de retorno de la solución de limpieza a la salida del rechazo de la etapa que se desea lavar, el otro extremo de la manguera de retorno se conecta a la entrada de manguera del retorno de solución de limpieza del tanque T-110.

Para la puesta en marcha del lavado se deben verificar cada uno de los equipos involucrados en esta parte del procedimiento. Primero, la bomba de solución de limpieza P-110 y el filtro de cartucho FIL-110 deben ser alineados abriendo manualmente las válvulas de succión y descarga de los mismos. Se debe encender el agitador AG-110 que se encuentra en el tanque de limpieza T-110 y esperar el tiempo recomendado por el proveedor del producto químico para obtener una solución homogénea. Finalmente, con una resistencia se eleva la temperatura de la solución de limpieza siguiendo las indicaciones de la Tabla 9.

Una vez hechas todas las alineaciones y procedimientos, se arranca la bomba de limpieza P-110, inmediatamente se procede a revisar la inexistencia de fugas en el circuito conectado, en caso de haber una fuga, esta debe ser corregida. La solución atraviesa las membranas y es devuelta al tanque T-110, los tiempos de recirculación y remojo son establecidos en la Tabla 9. Mientras se está realizando el lavado, se deben estar comprobando constantemente todos los equipos involucrados en el mismo, y cada 15 minutos monitorear el pH de la solución.

Es necesario garantizar que no haya rastros de la solución de limpieza en el sistema de ósmosis, por ello, las membranas deben ser enjuagadas. Después de ejecutado el lavado, se detiene el proceso, por lo tanto, se apaga la bomba P-110 y se drena la solución de limpieza, la cual se encuentra impregnada del sucio arrastrado de las membranas. Una vez el tanque T-110 esté vacío, empleando las bombas P-115A/B, se le debe añadir agua desmineralizada proveniente del tanque T-3141. Luego se debe encender la bomba P-110 para recircular el agua, enjuagando las membranas y eliminando los restos de solución de limpieza que pudieran haber quedado. Se debe estar observando cómo sale el agua de enjuague del sistema, mientras esta siga saliendo muy turbia, se debe ir drenando, y a su vez se debe ir añadiendo agua limpia (agua desmineralizada tomada del tanque T-3141). Este proceso debe realizarse hasta obtener un agua completamente limpia.

Para asegurarse de que la limpieza ha sido efectiva, se debe utilizar el medidor de sólidos totales disueltos (SDT), es decir, como se aprecia en la Figura 3, hay una toma de muestra del SDT a la salida de la etapa (SDT-SE) y otro a la entrada de la etapa (STD-EE), cuando el valor del SDT sea igual o similar en la entrada y en la salida de la etapa que se esté lavando, es decir, que sea igual o parecido en ambos puntos de medición y menor a 500 ppm se dará por terminado el enjuague. Luego, se debe ajustar el sistema como se encontraba originalmente. Finalmente, se pone en marcha el sistema de ósmosis y se verifica que la caída de presión se encuentre en un valor normal, confirmando que el sistema está funcionando correctamente.

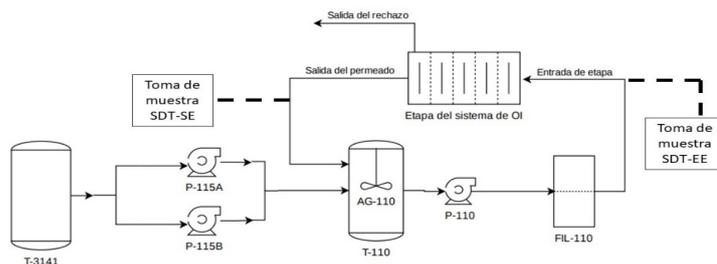


Figura 3. Tomas de muestra del SDT en el enjuague [5].

- Formato para el registro de los lavados

El registro de los parámetros de operación del equipo de ósmosis inversa permite tener un historial del comportamiento del sistema a lo largo del tiempo; dicha información puede ser utilizada para tomar decisiones de manera objetiva al momento de realizar algún ajuste en el sistema y garantiza la posibilidad de detectar a tiempo problemas de incrustación u obstrucción de las membranas. Para llevar a cabo un adecuado registro del comportamiento de los parámetros más influyentes en el sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I, se propone un formato donde se deben registrar variables que serán verificadas y medidas antes, durante y después del lavado. El formato de registro está dividido en cuatro secciones, las cuales son: medición de parámetros previos al lavado, datos del lavado, tiempos de lavado y observaciones. Este formato de registro puede ser consultado en el Trabajo Especial de Grado de Atencio [5] etiquetado como Figura 4.6.

Conclusiones

Se determinó que las variables más influyentes en la operatividad del sistema de ósmosis inversa son aquellas que, si no son corregidas inmediatamente, podrían disminuir la efectividad de las membranas, acortar su tiempo de vida e incluso causar un daño irreversible en las mismas. En este sentido, las variables que más incidencia tienen en la operatividad del sistema de ósmosis inversa son: el diferencial de presión en cada uno de los bancos de ósmosis, flujo de rechazo de primer y segundo paso, conductividad del permeado en cada paso, presión y flujo en la línea de dosificación de bisulfito de sodio y presión del permeado a la salida de cada paso.

Por otro lado, existen tres principales métodos de limpieza para el sistema de ósmosis inversa, los cuales son: lavado con solución de preservación, enjuague automático y la limpieza química. A partir de la información recolectada se pudo determinar el procedimiento detallado de la limpieza química ejecutado al sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia, el cual es el método de limpieza más importante, ya que garantiza el óptimo funcionamiento del sistema, y su correcta aplicación permite que las membranas tengan una larga vida útil, por lo tanto, tener un procedimiento detallado de la realización de este lavado es indispensable para cualquier planta de ósmosis inversa.

Es fundamental destacar que el procedimiento de lavado que se realizaba al sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I presentaba las siguientes fallas: funcionamiento del sistema con un solo tren operativo, forzar a operar el sistema sin velar por el adecuado funcionamiento de cada equipo involucrado en la planta, ejecutar el lavado sin antes verificar el tipo de contaminante que había en las membranas y llevar un registro inadecuado de lavados, ya que muchas veces se dejaban de especificar datos esenciales para la evaluación del sistema.

La temperatura y el pH son variables fundamentales para la correcta preparación de la solución de limpieza, porque hay que respetar los límites establecidos por el fabricante de las membranas para no dañarlas. Por esta razón, para las limpiezas de mantenimiento se utilizarán los productos químicos AWC C-241 (limpiador

alcalino) y AWC C-217 (limpiador ácido). Ambos eliminan diferentes tipos de contaminantes y permiten realizar una limpieza agresiva, respetando los límites de pH y temperatura establecidos por el fabricante sin causar daño en las membranas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Veneagua, c.a. Suministro e instalación de plantas de tratamiento de agua proyecto Termozulia: Manual de operaciones. Documento N° 1260-P028-1-001, (2003).
- [2] Abarca, P. Descripción de Calderas y Generadores de Vapor. Asociación Chilena de Seguridad, (2018). <https://es.scribd.com/doc/54482037/ACHS-Descripcion-Calderas>
- [3] Carbotecnia. ¿Qué es y cómo funciona la ósmosis inversa?, (2021). <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/osmosis-inversa/que-es-la-osmosis-inversa-purificador/>
- [4] Segovia, M. Propuesta de optimización del sistema pretratamiento de agua y ósmosis inversa de la Planta Termozulia en el Complejo Termoeléctrico General Rafael Urdaneta (CTGRU) de Enlven. (Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo-Venezuela, (2007).
- [5] Atencio, D. Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia. (Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo-Venezuela, (2021).
- [6] Nalco. Procedimiento de limpieza para membranas de ósmosis inversa, (2011).
- [7] American Water Chemicals. Productos Químicos para Limpieza de Membrana. American Water Chemicals, Inc. (2021). <https://www.membranechemicals.com/es/product-category/productos-quimicos-para-limpieza-de-membrana/>
- [8] Hydranautics. Technical Applications Bulletin – TAB 116, (2020). <https://membranes.com/wp-content/uploads/Documents/TSB/TSB107.pdf>

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado desarrollado por Atencio (2021), titulado: Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela