

TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA PARA EL USO EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

REVERSE OSMOSIS WATER TREATMENT FOR USE IN THE STEAM GENERATION SYSTEM

SORUCO ARNEZ G. J.

RESUMEN

Los sistemas de tratamiento de agua clásico utilizaban el ablandamiento, que consistía en el intercambio iónico de sales solubles de sodio por otras menos solubles de calcio y magnesio para acondicionar los parámetros del agua usada en los sistemas de generación de vapor. Este método quedó insuficiente. La desmineralización, cuya función es la eliminación de los cationes y aniones presentes en el agua, tiene dos columnas consecutivas, una con cationes y la otra con aniones. El agua pasaba por estas columnas quedando libre de contenido de sales. Pero, cuando los ácidos y bases utilizados en la regeneración de las resinas, pasaban al proceso ocasionaron problemas en los sistemas de generación de vapor. Debido a estos factores es que la desmineralización fue reemplazada por una nueva tecnología, llamada ósmosis inversa, método de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas, y partículas más grandes presentes. La determinación del tamaño de la planta de ósmosis inversa depende del caudal de alimentación, la cantidad de permeado deseable y el tipo de membrana a utilizar para ello se determinó los: requerimientos de generación de vapor, valores del agua de proceso, parámetros de calidad del agua de permeado y el ciclo de concentración. Se selecciona la membrana de ósmosis inversa, estableció calidad de agua de reposición y el caudal de permeado requerido, se realizó la determinación de las dosis de productos químicos para los calderos y la ósmosis. El caudal de reposición establecido para el sistema de generación de vapor será de 2,8 m³/h considerando un factor de seguridad de 40% y posibles ampliaciones. Se tomó como caudal de diseño 4 m³/h de permeado. Se determinó, utilizando el programa de Toray, un arreglo 1:1, siendo de una sola etapa donde se cuenta con 18 membranas de 4 pulgadas, modelo TM710D las cuales con la ayuda del proceso de recirculación permite obtener una recuperación del 75% de permeado. Los beneficios de la propuesta del diseño de la planta de ósmosis inversa son: reducción de 78% del consumo de producto químico utilizado, reducción de 96% de la cantidad de combustible que se utiliza para poder generar vapor de agua y reducción de 96% del total de agua utilizada para la reposición que se utiliza para poder mantener un nivel óptimo de agua en los calderos para su correcto funcionamiento.

ABSTRACT

Classic water treatment systems used softening, which consisted of the ionic exchange of soluble sodium salts with other less soluble calcium and magnesium salts to condition the parameters of the water used in steam generation systems. This method was insufficient. The demineralization, whose function is the elimination of the cations and anions present in the water, has two consecutive columns, one with cations and the other with anions. The water passed through these columns being free of salt content. But, when the acids and bases used in the regeneration of the resins, passed to the process, they caused problems in the steam generation systems. Due to these factors, demineralization was replaced by a new technology, called reverse osmosis, a water purification method that uses a semi-permeable membrane to remove ions, molecules, and larger particles present. The determination of the size of the reverse osmosis plant depends on the feed flow, the amount of desirable permeate and the type of membrane to be used for it, the following were determined: steam generation requirements, process water values, quality parameters of the permeate water and the concentration cycle. The reverse osmosis membrane was selected, the quality of the make-up water and the required permeate flow rate were established, and the dosage of chemical products for the cauldrons and osmosis was carried out. The replacement flow established for the steam generation system will be 2.8 m³/h considering a 40% safety factor and possible expansions. 4 m³/h of permeate was taken as design flow. A 1:1 arrangement was determined, using the Toray program, being a single stage where there are 18 4-inch membranes, model TM710D, which with the help of the recirculation process allows obtaining a recovery of 75% of permeate. The benefits of the proposed design of the reverse osmosis plant are: a 78% reduction in the consumption of the chemical used, a 96% reduction in the amount of fuel used to generate water vapor, and a 96% reduction in the total water used for replenishment that is used to maintain an optimal level of water in the boilers for proper operation.

PALABRAS CLAVE

Sistema de tratamiento de agua, sistema de generación de vapor, Ósmosis inversa.

KEYWORDS

Water treatment system, steam generation system, reverse osmosis

INTRODUCCIÓN

La ósmosis inversa es una tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas y partículas más grandes en el agua.

Para lograr la ósmosis inversa se aplica una presión para vencer la presión osmótica. La ósmosis inversa puede eliminar muchos tipos de elementos suspendidos en el agua, incluyendo bacterias.

La tecnología de ósmosis inversa se basa en la utilización de una bomba de alta presión para forzar una porción del agua de alimentación a través de una membrana semipermeable.

La cantidad de agua de producto es función directa de la presión del agua de alimentación y la temperatura. Como el volumen de contaminantes del agua de producto queda en el lado de agua de alimentación de la membrana, con el tiempo se dañan las membranas. Por ello, una porción del agua de alimentación se deja drenar o recuperar. Este flujo se denomina agua de rechazo y la cantidad de agua de rechazo varía con la cantidad y es característica de los contaminantes en el flujo de alimentación.

Cada fuente de agua de alimentación específica tendrá una recuperación máxima (o sea cantidad de agua de producto dividida por la cantidad de agua de alimentación a la unidad de ósmosis inversa) que será determinada a través de un análisis de laboratorio o en planta.

El sistema se completa con una carcasa de cartuchos descartables a la entrada del sistema, tubos de presión que contienen las membranas, tableros de control y potencia, instrumentos de conductividad, caudal y presión necesarios.

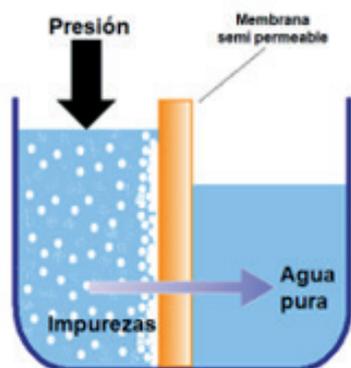


Fig 1. Proceso de Ósmosis Inversa

El sistema del tratamiento actual está compuesto por 3 pozos dispuestos a una profundidad promedio de 200 metros.

El agua es extraída por una serie de bombas centrífugas. Estas alimentan a dos tanques cisternas de agua cruda donde se procede a cloración para evitar la proliferación de microorganismos. Son almacenadas hasta que necesiten a su vez ser extraídas por bombas centrífugas las cuales alimentan a las baterías de ablandadores de intercambiando los cationes compuesta por 3 unidades de 12 m³ que contienen 6000 litros de resina de intercambio catiónico de Ca⁺² y Mg⁺² por Na⁺.

Estas resinas están cargadas con iones de Na, así cuando las mismas entran en contacto con el agua proveniente de los tanques cisternas de agua cruda, originan un intercambio catiónico entre los iones de Na es una sal menos incrustante pasan luego a un tanque de agua blanda, donde se almacena toda el agua proveniente de los ablandadores para su posterior paso al tanque de alimentación de los calderos, en donde esta agua es mezclada con el retorno del condensado de excelente calidad ya que la conductividad está dentro del parámetro menor a 15 ppm y no existe presencia de corrosión proveniente del proceso.

Se procede a la dosificación de los productos químicos: antiincrustante, anticorrosivo, -secuestrante de oxígeno para evitar la formación de incrustación, corrosión y arrastre químico, una vez dosificado los productos se procede a alimentar con agua a 60°C los calderos, con dos bombas Grundifod CR5-26 A-FGJ-A-E-HQQE con un caudal nominal 5,8 m³/h por caldero, para mantener el nivel óptimo de agua en los 3 calderos pirotubulares de marca Gonella, dos de modelo S3/10 con una presión de trabajo de 10kg/cm² y producción de 3,5 t/h y el tercero modelo S2/10 con una presión de trabajo de 10kg/cm² y producción de 3 t/h.

El vapor producido en los calderos Este equipo distribuye el vapor mediante un manifold a los diferentes procesos donde se ocupa el mismo.

Para evitar la pérdida de calor y por ende la condensación de vapor, todas las líneas son revestidas con aislantes y chapadas de aluminio.

El sistema de tratamiento de agua con los que se cuenta están en buenas condiciones, pero son parte de una tecnología antigua.

No cuenta con filtros multimedia, ni filtros de carbón activado previo al ingreso de sus ablandadores, lo cual conlleva a que las resinas del mismo se desgasten mucho más rápido de lo recomendado, debido al contenido de los sólidos en suspensión y el cloro libre presente en el agua.

El sistema de tratamiento de agua no logra alcanzar los parámetros fisicoquímicos óptimos para el uso en sus sistemas de generación de vapor, debido al uso de una tecnología antigua.

La calidad de agua no logra cumplir a la cabalidad los requisitos de la norma ASME, debido a ello, la empresa utiliza productos químicos para poder mejorar su agua.

Tradicionalmente las industrias contaban con sistemas de tratamiento de agua que solamente utilizaban ablandamiento como método principal para acondicionar los parámetros del agua del pre-tratamiento para el uso en los sistemas de generación de vapor.

Este método que consiste en el intercambio iónico de sales solubles Na⁺ por sales menos solubles Ca⁺² y Mg⁺², fue quedando insuficiente a la hora de brindar un agua con las características físico-químicas imprescindibles para el uso correcto en los sistemas de generación de vapor, debido a ello es que surgió la desmineralización por intercambio iónico cuya función es la eliminación de los cationes y aniones presentes en el agua, al tener dos columnas consecutivas, una con cationes, sustituyendo los cationes por H⁺ y la otra con aniones, sustituyendo los aniones por OH⁻. El agua pasaba por estas columnas quedando libre de contenido de sales dando una mejor condición del agua a utilizar.

Pero cuando los ácidos, HCl y bases, NaOH utilizados para la regeneración de las resinas se pasaban al proceso estos ocasionaron problemas en los sistemas de generación de vapor, además de dejar el pH del agua bastante alcalino.

Estos compuestos son sustancias controladas en nuestro país haciéndolos difícil de adquirir y se debe tener un control riguroso de su uso.

Debido a estos factores es que la desmineralización fue reemplazada por una nueva tecnología llamada ósmosis inversa, método de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas, y partículas más grandes que puedan estar presentes en el agua, que al comienzo por sus costos operativos elevados para las industrias hacían que fuera muy difícil de adquirir. Con el paso del tiempo el avance tecnológico ha permitido disminuir considerablemente los costos de fabricación e implementación de una planta de ósmosis inversa haciendo de ella una de las tecnologías más viables y más efectivas para la eliminación de sales, garantizando las características físicoquímicas imprescindibles del agua utilizada en los sistemas de generación de vapor.

MATERIALES Y MÉTODO

MÉTODOS

La tecnología seleccionada fue la de ósmosis inversa por los múltiples beneficios que presenta sobre el uso de la desmineralización por intercambio iónico y el sistema de ablandamiento que cuenta actualmente. Los principales beneficios de la ósmosis inversa son:

- Genera efluentes que pueden ser utilizados sin la necesidad de un tratamiento previo. Utiliza productos químicos no dañinos para el operador.
- La calidad del agua es confiable.
- Tiene un funcionamiento continuo,
- La no utilización de sustancias controladas en el proceso.
- La determinación el tamaño de la planta de ósmosis inversa depende el caudal de alimentación, la cantidad de permeado deseable y el tipo de membrana a utilizar.

Para obtener los requerimientos actuales de generación de vapor:

- Se realizó un balance de masa tradicional.
- Se dosificación el consumo actual de producto químico para el agua del caldero.
- Se determinaron los nuevos valores del agua de proceso y los parámetros de calidad del agua de permeado.
- Se estableció el ciclo de concentración.
- Se seleccionó de la membrana de ósmosis inversa.
- Se estableció calidad de agua de reposición con la utilización de ósmosis inversa.
- Se estableció del caudal de permeado requerido.
- Dosificación de los productos químicos para la ósmosis.
- Se determinaron las dosis de productos químicos para los calderos.

RESULTADOS

La tabla 1. Muestra los resultados del balance de masas del ciclo de generación de vapor requerido.

Tabla 1. Balance de masas para los requerimientos actuales de generación de vapor en t/h.

VARIABLES	CALDEROS
Ciclos de operación	3,2‡
Vapor	10,0
Alimentación	14,6
Descarga o purga	4,6
Condensado	7,4
Reposición	7,2
Pérdida de vapor	2,7

‡ Adimensional

El proceso actual requiere por día 4,95 kg de Inhibidor de incrustación, 1,38 kg de Inhibidor de corrosión y 1,32 kg de secuestrante de oxígeno.

La tabla 2 muestra la calidad del agua según la norma ASME, la calidad actual y la calidad con osmosis inversa.

Tabla 2 Parámetros calidad de agua del agua de caldero

	Norma ASME	Agua Actual	Ósmosis Inversa
Alcalinidad total (CaCO ₃), ppm	600	250	10
Sílice (SiO ₂), ppm	90	10,1	0,4
Conductividad, µmho/cm	2500	415	17

El número de ciclos de concentración según los indicadores fue: Alcalinidad total 48 ciclos, Sílice 180 ciclos y 117 ciclos para la conductividad.

Entre las membranas Toray, GE Osmonics y Koch fluid system se seleccionó la membrana Toray por su calidad de permeado, costo, confiabilidad y disponibilidad. De la variedad de modelos de membranas Toray se seleccionó la TM710D de 4 pulgadas debido a que es la que cumple con las características operativas y de calidad de agua.

La tabla 3. Muestra los resultados del balance de masas del ciclo de generación de vapor requerido con la utilización de osmosis inversa. El caudal de reposición establecido para el sistema de generación de vapor será de 2,8 m³/h considerando un factor de seguridad de 40% y posibles ampliaciones se tomó como caudal de diseño 4 m³/h de permeado, se determinó utilizando el programa de Toray un arreglo 1:1, siendo de una sola etapa donde se cuenta con 18 membranas de 4 pulgadas, modelo TM710D las cuales con la ayuda del proceso de recirculación permite obtener una recuperación del 75% de permeado.

Tabla 3. Balance de masas para los requerimientos de generación de vapor con la implementación de osmosis inversa en t/h.

VARIABLES	CALDEROS
Ciclos de operación	48,0‡
Vapor	10,0
Alimentación	10,2
Descarga o purga	0,2
Condensado	7,4
Reposición	2,8
Pérdida de vapor	2,7

‡ Adimensional

Para poder prolongar el tiempo de funcionamiento de las membranas sin necesidad de cambio se deberá dosificar con 0,27 kg/día de inhibidor de incrustación el agua de ingreso a la osmosis inversa.

El proceso con osmosis inversa requiere por día 0,77 kg de Inhibidor de incrustación, 0,70 kg de Inhibidor de corrosión y 0,02 kg de secuestrante de oxígeno.

DISCUSIÓN

Dados los resultados provenientes de la comparación de tecnologías, la ósmosis inversa demuestra ser una tecnología no solo más eficiente a la hora de entregar los parámetros físico-químicos imprescindibles en el agua para el correcto funcionamiento de los sistemas de generación de vapor, sino también una tecnología mucho más limpia, con una mayor confiabilidad de uso, de fácil manejo y mantenimiento.

El sistema de tratamiento de agua propuesto permitirá mejorar la calidad de agua del caldero previniendo los problemas de incrustaciones, corrosión, taponamiento de línea, paradas no programadas.

La ósmosis inversa al eliminar el 96% de las sales mejora sustancialmente el agua del caldero permitiendo ciclos de concentración mayores.

Cómo las membranas van dentro del cilindro, las membranas se acomodan de manera para permitir que el flujo vaya en un solo sentido y la calidad de agua vaya mejorando con el paso de las membranas, para conseguir el caudal de 4 m³/h de permeado se necesitan de 18 membranas, modelo TM710D de 4 in, ya que cada membrana es capaz de producir 9,8 m³/día o 0,4 m³/h. Con la ayuda del proceso de recirculación permite obtener una recuperación del 75% de permeado.

Los beneficios de la propuesta del diseño de la planta de ósmosis inversa son: reducción de 78% del consumo de productos químicos utilizados, reducción 96% de la cantidad de combustible que utilizan para generar vapor de agua y reducción de 96% del total de agua utilizada para la reposición que se utiliza para poder mantener un nivel óptimo de agua en los calderos para su correcto funcionamiento.

REFERENCIAS

- AGUA.ORG. (2018). <https://agua.org.mx/que-es/>. Obtenido de <https://agua.org.mx/que-es/>: <https://agua.org.mx/que-es/>
ECURED. (septiembre de 2018). https://www.ecured.cu/Operaciones_Unitarias. Obtenido de https://www.ecured.cu/Operaciones_Unitarias: https://www.ecured.cu/Operaciones_Unitarias
HIMMELBLAU, D. M. (2008). Principios básicos y cálculos en ingeniería química (6ta ed.). Texas: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA.
McCABE, W. L. (2007). Operaciones Unitarias en ingeniería química (7ma Edición ed.). México: McGraw Hill.
ONU. (2014). Manual e capacitación en optimización de sistemas de generación de vapor industrial. Viena, Austria.
ROMIN. (2018). <http://romin.com/beneficios-instalar-ablandadores-agua-industrias/>. Obtenido de <http://romin.com/beneficios-instalar-ablandadores-agua-industrias/>: <http://romin.com/beneficios-instalar-ablandadores-agua-industrias/>
UNAM. (2017). http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/descargas/documentos/catedra/libro_ET.pdf. Obtenido de http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/descargas/documentos/catedra/libro_ET.pdf: http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/descargas/documentos/catedra/libro_ET.pdf
WATERLOGIC.ES. (2018). <https://www.waterlogic.es/por-que-elegirnos/tecnologias/osmosis-inversa/>. Obtenido de <https://www.waterlogic.es/por-que-elegirnos/tecnologias/osmosis-inversa/>: <https://www.waterlogic.es/por-que-elegirnos/tecnologias/osmosis-inversa/>.

CITA

