

Vol. 9 N° 1 • Enero - Junio 2019



SISTEMA TERMOSOLAR PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUAS DEL LAGO DE MARACAIBO EN ISLA DE TOAS, VENEZUELA

Thermosolar system for lake Maracaibo water purification in Isla de Toas

Liliana Churio*, Luisana Padilla, Alfredo Rincón, Sedolfo Carrasquero

Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia,
Maracaibo-Venezuela. *laila1302@hotmail.com

RESUMEN

La carencia de agua a nivel mundial no es ajena a Isla de Toas, la población subsiste a partir del traslado del recurso vital adquirido y tratado desde plantas de tratamiento lejanas, lo cual repercute negativamente para el desarrollo socioeconómico de la región. La presente investigación tuvo como objetivo proponer un sistema desalinizador por evaporación que utilice energía termosolar para la potabilización del agua del Lago de Maracaibo para el abastecimiento de Isla de Toas. Se realizó un muestreo aleatorio para la recolección del afluente al sistema de tratamiento, y su posterior caracterización fisicoquímica mediante los parámetros color, turbidez, sólidos disueltos, sólidos totales, dureza, cloruros y el pH, parámetros establecidos por las normas venezolanas vigentes. La secuencia lógica operacional del sistema de potabilización incluye captación, almacenamiento, desinfección, una unidad de recuperación de energía y paneles solares. El sistema termosolar de potabilización se basa en la evaporación del fluido gracias a la radiación solar, para lograr la desalinización. La propuesta se concibió como una respuesta a la carencia social actual de Isla de Toas, pero también como una solución aplicable a cualquier zona en necesidad, con un bajo impacto ambiental y la posibilidad de generación de recursos financieros con sus residuos.

Palabras clave: Isla de Toas, Lago de Maracaibo, potabilización, planta desalinizadora, sistema termosolar.

ABSTRACT

The worldwide lack of water is not a strange subject to Isla de Toas, the population subsists up to the transfer of the vital resource obtained and treated by treatment plants located far away, which produces a negative impact to the socioeconomic development of the land. The following investigation had as an objective the proposal of a desalination system by evaporation that uses termosolar energy to purify Maracaibo's lake water to supply Isla de Toas. It was made a random sampling for the gathering of the water of the treatment system, and further physiochemical characterization by the parameters color, turbidity, dissolved solids, total solids, hardness, chlorides, and pH, established parameters by current Venezuelan regulations. The logic operational sequence of the purification system includes the catchment, the storage, the disinfection, an energy recover system and solar panels. The termosolar purification system is based on the fluid evaporation thanks to solar radiation, to achieve the desalination. The proposal was conceived as an answer to the current social deprivation of Isla de Toas, but also as an applicable solution to any zone in need, with a low environmental impact and with the possibility of generating financial resources with its waste.

Keywords: Isla de Toas, lake Maracaibo, potabilization, desalination plant, termosolar system.

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida y las actividades productivas y por tanto directamente relacionado con el crecimiento social y económico del país (Soto y Soto,

2013). Con el crecimiento poblacional, el incremento de la demanda industrial y la contaminación, los recursos naturales se ven afectados, y por ende, el agua requerida para las necesidades humanas se convierte en un problema básico, por lo que se presenta la urgencia de desarrollar tecnologías capaces de aprovechar los recursos hídricos disponibles, considerando obtener agua de calidad a bajos costos y con el menor uso de energía fósil, lo que representaría un bajo impacto ambiental. Dados los altos índices de contaminación de ríos, embalses y aguas subterráneas, en la actualidad surge una opción de tratamiento para obtener agua potable, la cual es sugerida por Lechuga y col. (2007) como la desalinización.

La desalinización se vislumbra como una tecnología viable que aporta agua al ciclo hidrológico. Un sistema de desalinización consiste en alimentar con agua salobre o marina una planta desalinizadora, que tiene como función acondicionar y eliminar sales al agua, para obtener un producto (agua potable) y un rechazo (salmuera). (Medina, 2000; Dévora y col., 2012)

El uso de la energía solar en el proceso de desalinización del agua resulta una atractiva combinación especialmente por el hecho de que la mayoría de las zonas con acceso al mar tienen un gran potencial de esta energía, tal es el caso de las islas, las cuales además no poseen fuentes de agua dulce, por lo que sus habitantes deben abastecerse de agua potable por medio de buques cisternas.

El objetivo de la investigación fue proponer un sistema de potabilización que funcione por medio de energía termosolar para la población de Isla de Toas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de la muestra del agua proveniente del Lago de Maracaibo que alimentará al sistema de potabilización termosolar fue realizada en la entrada de la estructura que pertenecía a la antigua planta desalinizadora por ósmosis inversa que posee Isla de Toas. La recolección se realizó de acuerdo a los patrones establecidos en el Método Estándar, usando el método 1060 para la recolección de muestras y preservación (APHA y col., 2005).

Para obtener las características fisicoquímicas se efectuaron una serie de determinaciones siguiendo la metodología presentada en el método estándar para la examinación de agua y residuos líquidos (APHA y col. 2005). Los parámetros me-

didados en la caracterización fueron: color aparente, turbidez, sólidos totales, sólidos disueltos totales, pH, cloruros, alcalinidad fenolftaleínica, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica y conductividad eléctrica. Cabe destacar que todos los parámetros fueron medidos por triplicado.

Para la selección de la alternativa más adecuada se elaboró una tabla comparativa mediante un análisis multicriterio de cada uno de los métodos de los sistemas no convencionales para lograr la potabilización del agua mediante desalinización. El análisis multicriterio incluyó tipo y consumo de energía, facilidad de construcción, economía, nivel de eficiencia y la frecuencia y dificultad del mantenimiento; criterios fundamentales para lograr un diseño sustentable, estableciendo un sistema de puntuación del 1 al 3 para cada uno de los criterios, de acuerdo con lo siguiente:

- Para el tipo de energía, la mayor puntuación (3 puntos) corresponde a energía renovable, mientras que la menor puntuación (1 punto) corresponde a energía convencional.
- Para el consumo de energía, a las tecnologías con bajo consumo se les asignó la mayor puntuación (3 puntos), mientras que si el consumo es medio se le asignó dos (2) puntos y si el mismo es alto se le asignó la más baja puntuación (1 punto).
- Aplican los mismos planteamientos en los criterios de dificultad de construcción, costos y mantenimiento mientras fueron bajos, adquirieron la mayor puntuación (3 puntos), y solo un (1) punto si fue lo opuesto.
- En contraste, el nivel de eficiencia se puntuó con tres (3) puntos cuando el sistema presentaba alta eficiencia, dos (2) puntos cuando ésta era moderada y solo un (1) punto cuando el sistema era poco eficiente.

Luego de realizar la asignación de los puntajes en cada criterio, se seleccionó la alternativa que presentó la mayor puntuación al sumar los puntajes asignados.

Asimismo, se estableció una secuencia de operaciones para la remoción y procesamiento de los parámetros fisicoquímicos y desalinización del agua con el proceso más efectivo de operaciones de pretratamiento y postratamiento. La secuencia se formó con referencias fundamentales de Zarza (1997), Lechuga y col. (2007) y Dévora y col. (2007).

Para la propuesta se utilizaron como criterios de diseño en las unidades no convencionales, los establecidos por Soto y Soto (2013), Yabroudi y col. (2011) y Zhen-hua y col. (2013). De igual manera, se empleó la metodología de Arocha (1997) para la proyección de las unidades convencionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores medios de la caracterización fisicoquímica del agua de Lago de Maracaibo que alimentará a la planta de potabilización termosolar.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos medidos para la caracterización del agua.

Parámetro	Unidad de expresión	Promedio	Desviación estándar	Intervalos		
Color	UC Pt-Co	4,17	1,44	2,72	-	5,61
Turbidez	UNT	1,93	0,36	1,56	-	2,29
Sólidos disueltos	mg/L	1858	13	1844	-	1872
Sólidos totales	mg/L	15010	147	14863	-	15157
Conductividad eléctrica	mS/cm	29,10	0,22	28,88	-	29,32
pH	-	8,03	0,18	7,86	-	8,21
Cloruros	mg/L	7583	222	7361	-	7805
Alcalinidad total	mgCaCO ₃ /L	101	27	73	-	128
Alcalinidad fenof-taleínica	mgCaCO ₃ /L	8,00	2,00	6,00	-	10,00
Dureza total	mg/L	1493	743	750	-	2237
Dureza cálcica	mg/L	210	171	39	-	381

n=3. n=Número de mediciones realizadas.
Fuente: Churio, Padilla, Rincón y Carrasquero (2017)

Se realizó una comparación parámetro a parámetro del agua caracterizada en esta investigación respecto a otras muestras recolectadas en el Lago de Maracaibo en diversas zonas y diferentes años, así como con el agua perteneciente a la Bahía El Potosí, México, por ser un agua usada con éxito en un sistema de desalinización de agua.

Los valores de color aparente oscilaron entre 2,72 y 5,61 UC Pt-Co para el agua del Lago de Maracaibo que alimentará a la planta potabilizadora.

Estos valores son inferiores a los reportados por Boscán y col. (1973), quienes obtuvieron un color promedio de 22,5 UC Pt-Co cuando caracterizaron el agua proveniente del estrecho del Lago de Maracaibo. Esta divergencia puede ser atribuida a la diferencia de años en que fueron tomadas las muestras. El agua que alimentará a la planta potabilizadora registró bajos valores de color aparente, que cumplen con la normativa venezolana vigente que establece un límite máximo de 15 UC (Gaceta Oficial, 1998).

El nivel promedio de turbidez para las aguas del Lago de Maracaibo fue de 1,93 UNT, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Bracho y col. (2016), quienes obtuvieron 1,82 UNT cuando caracterizaron aguas del estrecho del Lago. De igual manera, el valor obtenido se encuentra cercano a los reportados por Marín y col. (2014) quienes encontraron valores de 5,1 UNT en aguas del lado oriental del estrecho del Lago de Maracaibo. La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales y orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación.

La concentración de sólidos disueltos de la muestra analizada fue inferior a los reportados por estudios previos realizados en el estrecho y bahía, por lo que se deduce que se tienen valores bajos de sólidos disueltos en la zona a realizar el tratamiento. La baja concentración de sólidos disueltos correspondió a los bajos niveles de turbidez obtenidos durante el muestreo, lo que confirma la relación entre ambos parámetros físicos.

De acuerdo a la concentración media de sólidos disueltos, el agua que alimentará a la planta potabilizadora se clasifica como agua salobre de acuerdo al criterio de Valero (2001), quien establece que las aguas salobres presentan una concentración de sólidos disueltos que oscila entre 1000 y 10000 mg/L. Los sólidos disueltos representan inseguridad para el consumidor y su reducción es indispensable.

Los valores de sólidos disueltos obtenidos fueron aproximadamente 20 veces menores a los reportados por Fortanell y col. (2011) en la Bahía El Potosí, México, durante la caracterización de aguas para alimentar a una planta potabilizadora. Estos investigadores aplicaron con éxito procesos de desalinización para producir agua de calidad potable, por lo que se estima que estos procesos pueden utilizarse para aguas de la costa occidental de Isla de Toas para generar agua que cumpla con la normativa sanitaria venezolana para uso doméstico.

Los valores promedios de sólidos totales fueron mayores a los reportados por Moronta y Riverón (2016) y Bracho y col. (2016). Esta condición implica que el diseño del sistema desalinizador debe contemplar filtros que ayuden a la remoción de los sólidos, dado que un elevado contenido de sólidos totales en aguas de consumo ocasionan un mal agrado al paladar e inducen una reacción fisiológica negativa al consumidor, así como la posibilidad de alojar organismos dañinos dentro de los

mismos. Además, conllevaría un grave deterioro en los dispositivos que se utilicen para transportar el fluido (obstrucción en tuberías, daño de equipos de bombeo, entre otros).

Los valores de sólidos totales fueron menores a los reportados por Fortanell y col. (2011) en la Bahía El Potosí, por lo que el tratamiento de desalinización que se plantea es viable.

Los valores de pH obtenidos se encontraron dentro de los rangos establecidos tanto para el Decreto 883 (1995) para aguas Tipo I como en la Gaceta Oficial 36.395 (1998), proyectándose como aguas ligeramente básicas, pero manteniéndose estable dentro del rango normativo. En líneas generales, los valores de pH se encontraron dentro los valores reportados para el Lago de Maracaibo (7,68 - 8,60). Así mismo, los datos se encuentran en correspondencia con los registrados para aguas costeras de la región de Murcia, España, con una media de 8,44 López y col., (2009), valores típicos de aguas naturales.

En el presente estudio se observó un rango de conductividad eléctrica entre 29,1 mS/cm. Este valor se encuentra cercano al reportado por Marín y col. (2014), quienes obtuvieron una conductividad de 24,45 mS/cm en la costa oriental del estrecho del Lago de Maracaibo. Sin embargo, los valores obtenidos son superiores a los reportados por Moronta y Riverón (2016) y Boscán y col. (2016), quienes reportaron valores de 5,51 y 6,29 mS/cm en aguas del estrecho del Lago. Las variaciones de conductividad eléctrica están relacionadas con las características geoquímicas de la región donde se localiza los cuerpos de aguas y las condiciones climáticas: época seca y húmeda. La dilución de iones ocurre durante la época de lluvia y la concentración de los mismos, por la evaporación del agua se da en sequía.

Con respecto a la medición de los cloruros, los resultados obtenidos superaron ampliamente el límite permisible por la normativa sanitaria venezolana (Gaceta oficial, 1998). La concentración de cloruro en el Lago de Maracaibo se ve afectada por la entrada de agua de mar que éste posee, lo que le aporta salinidad al mismo. En general, la proporción de sólidos disueltos en los estuarios se asemeja a la del agua de mar; sin embargo, en algunos momentos la concentración de agua dulce entrante puede modificar la relación iónica de los estuarios (Bautista, 1997).

La media aritmética para los datos de dureza total fue de 1493 mg CaCO₃/L, quedando un rango de 750 y 2237 mg CaCO₃/L, clasificando a las aguas como muy duras. Sawyer y col., (2001). Las aguas de los estuarios, como el caso del Lago de Maracaibo, son típicamente duras, como resultado del contenido de bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio (dureza temporal), pero también debido a la presencia del sulfato de calcio y magnesio y/o cloruros (dureza permanente), característica de las aguas salobres Marín-Galvín, (2003); Brastad y He, (2013). Este contenido de sales limita gradualmente a los posibles usos que se le pueden dar a estas aguas, por ejemplo, como aguas de abastecimiento, su uso representaría un aumento considerable en la economía del sistema, dada su tendencia a causar la acumulación de minerales en la tubería de agua y sistemas de calefacción (provocando incluso la obstrucción total), y a su pobre rendimiento con el jabón o detergentes en comparación con agua blanda. Dicho parámetro se puede disminuir tradicionalmente mediante la precipitación, sin embargo, el método de evaporación planteado también es un tratamiento viable.

Los valores de dureza total resultaron superiores a los reportados por Morillo y col. (2010), quienes reportaron una concentración de 570 mg CaCO₃/L para muestras de agua superficial del Lago de Ma-

racaibo, variación que puede atribuirse a las diferentes épocas y zonas en las que se realizaron las mediciones, lo cual repercute considerablemente en los iones presentes.

La caracterización muestra que el afluente al sistema desalinizador no es apto para ser clasificado como un agua sub-tipo 1A - 1B. La clasificación adecuada es aguas sub-tipo 1C, lo que implicaría sistemas no convencionales de potabilización como la desalinización.

Comparación de las alternativas de potabilización que funcionan con energía termosolar en términos de sus fortalezas y debilidades.

Realizado el análisis multicriterio en función de las ventajas y desventajas que tenía cada método de desalinización, se seleccionó como alternativa más óptima un híbrido de la destilación por múltiple efecto y destilación solar, las cuales mantienen las ventajas de cada método y se complementan en cuanto a las desventajas de los mismos. Ambos resultaron con la mayor puntuación del análisis realizado (18 y 14 respectivamente).

La Tabla 2 muestra la comparación de las alternativas de potabilización mediante el análisis multicriterio realizado.

Tabla 2. Análisis multicriterio de las alternativas de potabilización por desalinización.

Método	Destilación por múltiple efecto	Multi-flash	Congelación	Compresión de vapor	Ósmosis inversa	Electrodialisis	Destilación solar
Tipo de energía	3	3	1	1	1	1	3
Consumo energético	3	3	3	1	2	1	3
Dificultad de construcción	3	2	2	1	1	1	1
Costo	3	1	2	1	1	1	3
Nivel de eficiencia	3	1	2	3	2	2	1
Mantenimiento	3	2	2	1	1	1	3
Total	18	12	12	8	8	7	14

El sistema de desalinización propuesto en esta investigación utiliza el método de destilación solar al colocar una superficie incolora sobre el tanque de almacenamiento para lograr el efecto invernadero; por otro lado, usa la destilación por múltiple efecto al ser sometida el agua a evaporación y luego condensación de manera secuencial. Una vez que el agua entre al sistema, pasará por las tuberías diseñadas para concentrar la energía y lograr llevar el agua a vapor, posteriormente pasará por otra tubería para recuperarla en su estado líquido, estos cambios liberan o generan energía, la cual será de nuevo utilizada para volver a plantear el recorrido del agua en producción.

Se proyectó el uso de la energía termosolar en forma de paneles que absorben y bajo ciertos criterios, mantienen la energía producida por la ra-

diación del sol en esa zona; según el portal de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, más conocida como NASA (2016) el agua salobre de Isla de Toas posee hasta un metro de profundidad, una temperatura entre 28,5 y 32,5°C, tomando como media 30°C; y por su localización, la radiación solar promedio anual de 4,66 kWh/m²/día es suficientemente alta para aportar una cantidad considerable de energía, para lograr el cambio fundamental del agua de entrada en forma líquida.

Para hacer esta combinación de métodos de desalinización posible, así como conseguir ingeniar un sistema tanto ecológico como óptimo, se estableció la siguiente secuencia operacional (Figura 1):

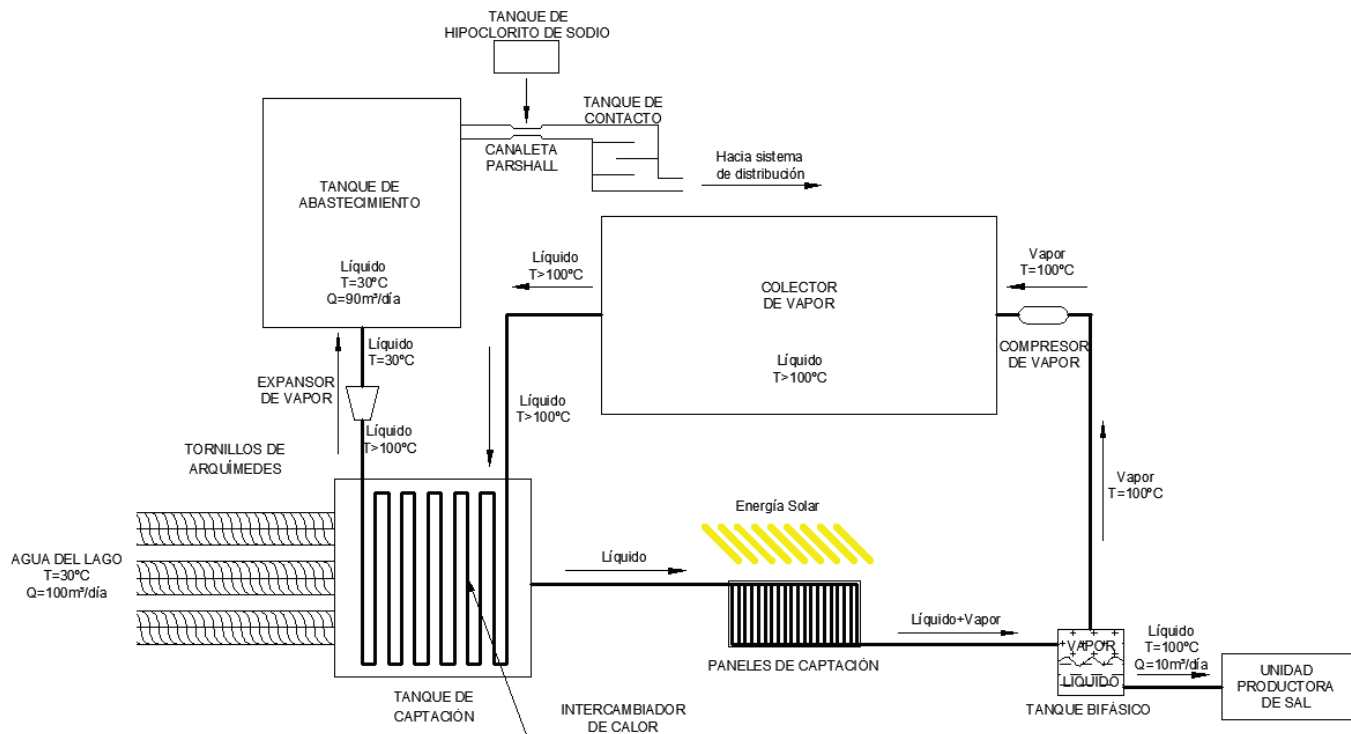


Figura 1. Diagrama detallado del sistema termosolar de tratamiento de aguas del Lago de Maracaibo.

Fuente: Churio, Padilla, Rincón y Carrasquero (2017)

El sistema de captación de agua estará constituido por tres tornillos de Arquímedes con hélices y eje central de acero inoxidable encargados de bombear el agua hacia el tanque de captación, dichas bombas de tornillos de Arquímedes poseen en su entrada una rejilla rectangular conformada por barras de acero de refuerzo de 1/2" para evitar la inserción de ramas, piedras o cualquier objeto extraño al sistema que pueda dañarlo. Este sistema de rejas

estará fija a la estructura de concreto que encierra por debajo y a los lados el conjunto de los tornillos, y encima de los mismos, se encuentra una tapa de polimetilmetacrilato (PMMA) o fibra acrílica que protegerá el fluido aducido de agentes externos y se encargará de generar un efecto invernadero en el agua de los mismos ayudando al calentamiento del agua captada.

Posterior a los tornillos, el agua se dirige al tanque de captación, el cual está hecho de concreto armado y con una cubierta idéntica o similar a la de los tornillos de Arquímedes (PMMA o fibra de acrílico) sellada herméticamente, esto con la finalidad de proteger el tanque y a su vez mantener sin ningún tipo de pérdidas el ciclo de calor que el sistema genera y funcionando como una trampa de radiación, evitando la salida de las ondas largas produciendo un efecto invernadero dentro del tanque de captación. En la parte interna del tanque, además se tienen unos filtros. Seguido a estos, se tiene una tubería de salida a los paneles captadores de calor de PVC, ya que este material es un buen aislante térmico.

A la salida del tanque de captación, el fluido conectará con varias secciones que poseen bloques de paneles solares. De manera individual el panel solar estará constituido por una carcasa de aluminio con un aislamiento térmico de 1 cm capaz de mantener la temperatura, una tapa de fibra acrílica o PMMA, de manera que la radiación entre a los paneles y se mantenga dentro, una tubería que lo recorre de hierro fundido y una pintura negra en toda la superficie de la tubería y la carcasa interna para de esta manera absorber todo el calor, el corte típico de estos paneles se observa en la Figura 2. El vapor y el agua que generarán los paneles solares se trasladarán a un tanque bifásico, el cual simplemente contendrá el vapor y el líquido, diseñado con concreto armado.

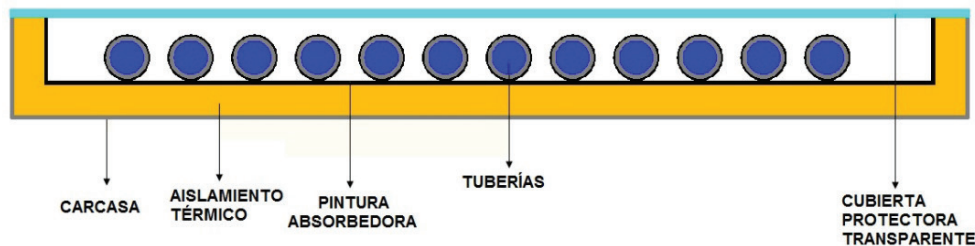


Figura 2. Diagrama con descripción en detalle del panel de calentamiento por radiación solar.

Fuente: Churio, Padilla, Rincón y Carrasquero (2017)

El tanque bifásico se encargará de separar el líquido y el vapor para dirigir la salmuera a la unidad de producción de sal y el vapor hacia el compresor en la entrada del colector de vapor subterráneo, proyectado de concreto de alta resistencia, ya que debe mantener presiones de alrededor de 18 bares para mantener el vapor a presión en las noches, evitando pérdidas permitiendo el funcionamiento continuo de la planta, donde estará almacenado el vapor en forma líquida a altas temperaturas. Posteriormente, el líquido se dirigirá al tanque de captación en el que las tuberías realizarán un recorrido con el fin de intercambiar temperatura con el agua captada, para enfriar el vapor, condensarlo, y aumentar la temperatura del agua captada, luego se dirigirá al tanque de almacenamiento donde en la entrada existirá una válvula expansiva, encargada de liberar la presión, ulteriormente procederá la desinfección por cloración en la canaleta Parshall y el tanque de contacto para finalmente distribuirse a la población.

Propuesta del sistema de potabilización que funcione por medio de energía termosolar.

En base al diagrama establecido en el apartado anterior, se realizó el cálculo y diseño de las diferentes unidades necesarias para hacer posible el sistema y su correcto funcionamiento.

El diseño de la planta potabilizadora está en función de los requerimientos de agua potable de la población, así como también de la radiación solar mínima existente en la zona. En función a estas demandas, se dimensionaron las unidades requeridas en la planta. A continuación, se muestra la Tabla 3, donde se visualizan de manera resumida los resultados de diseño:

Tabla 3. Resumen de los resultados de la propuesta de diseño.

ESTIMACIÓN DEL CAUDAL									
Período de diseño	25								Años
Población futura	15356								Habitantes
Dotación diaria	150								Lpd
Caudal de diseño	2303,40								m ³ /d
% Eficiencia	90%								
Horas de trabajo/día	24								Horas
Caudal medio DISEÑO	2879,25								m ³ /d
Caudal medio CAPTACIÓN	3199,17								m ³ /d
SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA									
Cantidad de tornillos de Arquímedes	3								
Eficiencia	0,70								
Velocidad de giro	100								Rpm
Capacidad de los tornillos de Arquímedes	1641,60								m ³ /d
Diámetro hélice	0,65								Metros
Diámetro eje	0,325								Metros
Ancho soporte	1,15								Metros
Dimensiones rejilla	0,65x5,45								Metros
Nº espacios	217								
Dimensiones tanque captación	21,50x21,50x4								Metros
SISTEMA DE TUBERÍAS									
Diámetro de tubería del Agua a Potabilizar	250								Mm
Diámetro de tubería de los paneles de calentamiento	50								mm
Diámetro de tubería de salmuera	100								Mm
PANELES DE CALENTAMIENTO POR RADIACIÓN SOLAR									
Eficiencia	90%								
Energía solar promedio	4,66								kWh/m ² /día
Área paneles	62.058								m ²
Tanque de almacenamiento									
Dimensiones tanque almacenamiento	28,50x57,00x2,50								Metros
Intercambiador de calor									
Dimensiones colector de vapor	28,50x57,00x2,00								Metros
Unidad de desinfección									
Dimensiones de la canaleta Parshall:									
W	A	B	C	D	E	F	G	K	N
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
Dimensiones del tanque de contacto	4,00x4,00x2,00								Metros
Número de canales	4								
Ancho de canales	1								Metro
Separación deflectores - tanque	1,50								Metros

CONCLUSIONES

El agua de Isla de Toas que alimentará al sistema de potabilización se caracterizó por presentar bajos valores de color y turbidez, además mostró valores típicos para aguas del Lago de Maracaibo, en cuanto a los parámetros de turbidez, sólidos disueltos, pH, y alcalinidad total.

El agua de Isla de Toas se clasifica como agua sub-tipo 1C, por lo que requiere un tratamiento no convencional, como sería uno de los métodos de desalinización para su potabilización antes de ser destinada a uso doméstico.

Del análisis multicriterio realizado, se encontró que la destilación multietapa y la destilación solar son los métodos de desalinización que mejor se ajustan a Isla de Toas, debido a que presenta las mayores ventajas según el tipo de energía, bajo consumo energético, baja dificultad de construcción y bajo costo inicial, así como el bajo mantenimiento y el elevado nivel de eficiencia.

El sistema termosolar de potabilización fue un diseño híbrido del método de destilación multietapa y destilación solar compuesto por tres bombas de tornillos de Arquímedes, un tanque de captación de 1850 m³, 62.000 m² de paneles de captación de energía termosolar, un tanque bifásico de 9 m³, una unidad de producción de sal, un colector de vapor de 3250 m³, tanque de almacenamiento de 4050 m³ y una unidad de desinfección por cloración.

El diseño del sistema termosolar de potabilización calculado y proyectado considerando su ubicación en la Isla permitirá el aprovechamiento de las áreas inutilizadas de la zona para la colocación de las diferentes unidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); WATER Environment Federation (WEF). (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater (Manual de métodos para el análisis de residuos líquidos).
- Arocha Simón (1997). Abastecimientos de Agua. Material de Apoyo. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Editorial Vega.
- Bautista, S. (1997). Proceso de salinización en el Lago de Maracaibo. Maracaibo: Instituto para el control y la conservación del Lago de Maracaibo. pp. 109.
- Boscán, L.; Capote, F.; Farías, J. (1973). Contaminación salina del Lago de Maracaibo: Efecto en la calidad y aplicación de sus aguas. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico CONDES. Universidad del Zulia. pp 37.
- Bracho, G.; Cuador, J.; Rodríguez, R. (2016). Calidad del agua y sedimento en el Lago de Maracaibo, estado Zulia. *Minería y Geología*. 32(1):1-14.
- Brastad, K.; He, Z. (2013). Water softening using microbial desalination cell technology. *Desalination* 309:32-37.
- Dévora, G.; González, R.; Ponce, N. (2012). Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai*. 8(2):57-68.
- Fortanell, M. (2011). Evaluación de pretratamientos para la desalinización de agua de mar. Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Autónoma de Queretaro. Queretaro, México.
- Gaceta oficial extraordinaria de Venezuela(1995). Decreto 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. No. 5021 de fecha 18 de diciembre de 1995. Caracas, Venezuela.
- Gaceta oficial de Venezuela (1998). Normas sanitarias de calidad de agua potable. No. 36.395, de fecha 13 de febrero de 1998. Caracas, Venezuela.
- Lechuga, J; Rodríguez, M.; Lloveras, J. (2007). Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ingeniería. Revista Académica de la FIUADY*. 11(3):5-14.
- López, L.; Paredes, A. Alcaraz, N.; Gilabert, J.(2009). Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas costeras de la región de Murcia, España. *Universidad Politécnica de Cartagena*. pp. 132.
- Marín-Galvín, R. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas, Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A. pp. 311.
- Marín, J.; Behling, E.; Chirino, J.; Medina, K.; Pirella, M.(2014). Calidad sanitaria de aguas recreacionales en el estrecho del Lago de Maracaibo. *Impacto científico*. 9(2):26-42
- Medina, J. (2000). Desalinización de aguas salobres y de mar en ósmosis inversa. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España. 3era Edición. pp. 799.

- Morillo, G.; Jonte, L.; Araujo, I.; Angulo, N.; Herrera, L.; Morales, E. (2010). Efectos del nitrógeno y cloruros en la dinámica del fitoplancton del Lago de Maracaibo. Venezuela. *Interciencia* 35(8):575-560.
- Moronta, J.; Riverón, A. (2016). Evaluación de la calidad físico-química de las aguas y sedimentos en la costa oriental del Lago de Maracaibo. *Minería y Geología*. 32(2):102-111.
- Sawyer, C.; McCarty, P.; Parkin, G.(2001). *Química para ingeniería ambiental*. Cuarta edición. Bogotá. McGraw-Hill Interamericana S.A. pp. 713.
- Soto, G.; Soto, M. (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema osmosis inversa y energía fotovoltaica para provisión de agua potable en isla Damas, región de Coquimbo. Unesco. Phi-Vii / Documento Técnico N°33.
- Valero, A. (2001). La Desalinización como alternativa al plan hidrológico nacional. Universidad de Zaragoza y el centro de investigación de recursos y consumos energéticos (CIRCE), España. Disponible en: <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf>. [Consulta: 2016, enero].
- Yabroudi, S.; Cárdenas, C.; Aldana, L.; Núñez, J.; Herrera, L. (2011). Desalinización de agua empleando un destilador solar tubular. *Interciencia* 36(10):731-737.
- Zarza, E. (1997). Desalinización del agua de mar mediante energías renovables. Actas del I y II seminario del agua. pp. 199-226.
- Zhen-Hua, L.; Ren-Lin, H.; Xiu-Juan, C. (2013). A Novel Integrated Solar Destination System With Multi-Stage Evaporation/Heat Recovery Processes. *Renewable Energy* 64:26-33.