

Diseño y evaluación de separadores y secadores tipo Webre: Estado del arte

Fernando Rivas Cruz, Alfonso García-Gutiérrez, Ángel A. Ortiz-Bolaños y Juan I. Martínez-Estrella

Instituto de Investigaciones Eléctricas, Reforma 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Mor., México 62490.

Correo: fernando.rivas@iie.org.mx

Resumen

Los separadores y secadores de vapor son dos de los equipos más importantes usados para el acondicionamiento del vapor que se envía a las unidades generadoras en los campos geotérmicos de líquido dominante, y los de tipo ciclónico vertical (Webre) son los más usados a nivel internacional. Pese a la simplicidad del diseño de los separadores y secadores tipo Webre, la complejidad del comportamiento de los fluidos en estos equipos es muy grande, de tal manera que la determinación del patrón de flujo, las velocidades de las fases líquido y vapor, la caída de presión y la calidad del vapor obtenida, es un proceso complicado. La literatura y la experiencia mundial indican que el enfoque propuesto por Lazalde-Crabtree (1984) para el diseño y evaluación de estos equipos es el más aceptado y utilizado en la actualidad. Además, se detectó una carencia de aplicaciones informáticas que faciliten el diseño de nuevos equipos y la evaluación de equipos actualmente operando en los campos geotérmicos del mundo. Ante esta situación, se está desarrollando una herramienta computacional para el diseño y evaluación de separadores y secadores tipo Webre, basada en el enfoque de Lazalde-Crabtree.

Palabras clave: Vapor geotérmico, separador, secador, Webre, diseño, evaluación, instalaciones superficiales.

Design and assessment of Webre separators and dryers: State of the art

Abstract

Separators and steam dryers are two of the most important devices for the conditioning of the steam delivered the power units in liquid-dominated geothermal fields. Among these equipment vertical cyclone type (Webre) are the most used worldwide. Despite the simplicity of the design of Webre-type steam separators and dryers, the complex behavior of fluids into these equipment makes difficult and complicated determining the flow pattern, liquid and vapor phases velocities, the pressure drop and the steam quality. From the global experience and an extensive literature review, it was found that the methodology proposed by Lazalde-Crabtree (1984) for the design and evaluation of these devices has been the most accepted and used approach until today. In addition, it was found a lack of commercial software tools which facilitate the design of new equipment as well as the evaluation of equipment currently under operation in geothermal fields. In this scenario, we are developing a computational tool that can be applied for the design and evaluation of Webre-type steam separators and dryers based on the Lazalde-Crabtree approach.

Keywords: Geothermal steam, separator, steam dryer, Webre, design, evaluation, surface facilities.

Introducción

La mayoría de los campos geotérmicos en el mundo son de líquido dominante, y producen una mezcla de líquido y vapor. Para alimentar de vapor a las turbinas de las centrales generadoras, la fracción

líquida es removida de la mezcla mediante el uso de equipos de separación que son normalmente centrífugos o de tipo Webre. La remoción de la fase líquida a su vez permite la eliminación de las sales y sólidos que pueden causar incrustaciones y corrosión dentro de los equipos de proceso, principalmente de las turbinas, siempre que los equipos de separación funcionen adecuadamente. La calidad del vapor separado depende predominantemente de la velocidad de entrada de la mezcla al separador y de las características físicas del equipo.

En este trabajo se presentan los resultados de una revisión de la literatura a nivel mundial para determinar el estado del arte actual en el diseño y evaluación de separadores geotérmicos vapor/agua. Esta revisión tuvo la finalidad de conocer las soluciones que se han implementado en otras plantas y campos geotérmicos, especialmente aquellos con características similares al campo geotérmico de Cerro Prieto, y sentar las bases fundamentales para el desarrollo de una nueva herramienta de cómputo que permita diseñar y/o evaluar fácilmente separadores y secadores, en particular los de tipo Webre, que son los más utilizados en México y el mundo.

Revisión de la literatura

Se realizó la búsqueda, selección y análisis de literatura disponible sobre campos geotérmicos de líquido dominante, con énfasis especial en casos donde operan separadores y secadores tipo Webre, incluyendo sus condiciones de operación y recomendaciones de diseño.

A continuación se presentan en forma resumida los aspectos más importantes y/o las conclusiones obtenidas de algunos de los trabajos de investigación revisados, relacionados con el diseño y evaluación de separadores y secadores tipo Webre. Se incluyen entre otros aspectos: las teorías, metodologías y procedimientos de diseño de equipos separadores y secadores tipo Webre, técnicas de evaluación de eficiencia de trabajo y algunos casos de diseño de programas de cómputo para evaluar los equipos.

En 1961, Bangma estableció que los separadores ciclónicos con descarga de vapor en la parte inferior del equipo (BOC, por su nombre en inglés) tenían una serie de ventajas en comparación con aquellos que tenían la descarga en la parte superior. Entre esas ventajas destaca su simplicidad (ausencia de accesorios internos) con lo que se evitan problemas de corrosión y erosión que podrían afectar el buen funcionamiento del equipo. Consecuentemente, esta simplicidad implicaba un menor costo. Después de analizar teóricamente las variables que afectarían el comportamiento de los BOC, Bangma llegó a la conclusión que la calidad del vapor separado era una función de la relación agua-vapor de la mezcla y la velocidad de entrada de esta al separador (Bangma, 1961).

Una de las variables que interesaba era la caída de presión, la cual se incrementa con las variables arriba mencionadas. De tal manera se decidió llevar a cabo pruebas con un separador piloto de 30 pulgadas en los campos geotérmicos de Wairakei y Kawerau con el propósito de obtener parámetros de diseño de separadores de mayores dimensiones. Además, se llevaron a cabo pruebas específicas para evaluar el comportamiento de la geometría de entrada al separador: (a) entrada tangencial y (b) entrada espiral. En esta serie de pruebas se utilizó un tubería de entrada de 10 pulgadas de diámetro, en cada caso, y se determinó el diámetro del separador y la altura del tubo interior de descarga de vapor, que representarían la mayor eficiencia de separación en términos de la calidad del vapor. Es importante destacar que en este artículo se presentan una serie de gráficas, cuyo análisis permitió a Bangma proponer las dimensiones que debería tener un BOC en términos relativos al diámetro de entrada de la mezcla.

Los resultados de las pruebas en el separador de 30 pulgadas de diámetro, utilizando mezcla de agua-vapor con un 3.5% en volumen de agua, indicaron que la velocidad óptima de entrada del vapor al separador era de 220 pies/s, la cual produciría una calidad mayor de 99.5%. Las dimensiones recomendadas para un diámetro de entrada, D , serían: (1) diámetro de separador = $3D$; (2) diámetro de la tubería de salida de agua y vapor = D ; (3) longitud del tubo interior de descarga de vapor = $4D$ (por encima de la entrada de mezcla); (4) ubicación de la tubería de descarga de agua = $3D$ (por debajo de la entrada de mezcla).

Awerbuch et al. (1982) presentan un estudio de diseño de separadores de vapor y el análisis de la aplicación de los separadores en dos casos de diseño de plantas de 50 MW. El primer caso representado por la presencia de alta salinidad y alta temperatura, y el segundo caso representado por la presencia de baja-media salinidad y media temperatura. Se exponen los requerimientos de diseño de separadores de vapor tipo ciclónico, la guía para la selección y diseño de un separador, los objetivos de prueba, la metodología del cálculo de la eficiencia de separación, el diseño de una unidad de prueba, el análisis químico y el desarrollo de un programa de pruebas aplicado a un pozo de East Mesa, al sur de California.

Los resultados del diseño y prueba realizados a un separador, indican que existen dos parámetros que afectan la eficiencia de separación: la velocidad de entrada del fluido en dos fases y la fracción de masa de líquido en la mezcla entrante. La principal recomendación para el diseño del separador es usar una alta velocidad de entrada de mezcla para mejorar la eficiencia de separación, lo que permite también ahorros de costos. Se concluye que para entradas de separadores de 12 pulgadas las velocidades deben ser de 18 m/s. Cuando la salmuera tiene alta salinidad o alto contenido de sílice, se requiere un separador secundario.

En otro trabajo, Lazalde-Crabtree (1984) muestra sus resultados a detalle sobre las características de diseño de separadores agua-vapor y de los secadores de vapor tipo Webre para aplicaciones geotérmicas. Este trabajo empírico presenta una serie de guías, por ejemplo: diseño de proceso, procedimiento de cálculos, diseño de los parámetros recomendados, diseño mecánico y/o civil, específicamente las características de espesores del equipo. También se exponen las metodologías y bases de los mecanismos que rigen el funcionamiento de los equipos.

El trabajo de Lazalde-Crabtree tiene como objetivo fundamental garantizar la calidad de vapor separado requerida por el proyecto o hasta en un 99.9%. Las metodologías desarrolladas en este trabajo permiten diseñar equipos más económicos, considerando la menor caída de presión posible. Se incluye un ejemplo de diseño de un separador secundario que garantiza una calidad de vapor de un 99.95%. Este ejemplo incluye características como el diseño de dimensiones, cálculos de eficiencia centrífuga, diámetro de gota, patrón de flujo, eficiencia, calidad del vapor de salida, velocidades de líquido, vapor y mezcla, caída de presión.

Buendía (1985) realizó una serie de estudios enfocados a determinar el comportamiento de los secadores de la Unidad 1 de Cerro Prieto Dos (CPD), ya que se habían presentado problemas de incrustación en el filtro que se encuentra a la entrada de la turbina. Las principales actividades fueron: (1) determinar la calidad del vapor de manera química y calorimétrica, y (2) análisis químicos de las incrustaciones muestreadas. Las pruebas se realizaron a diferentes cargas de la turbina: 25, 40 y 100 MW.

Los resultados de las pruebas indican un buen comportamiento de los secadores desde el punto de vista de la eliminación de la humedad, ya que la calidad del vapor medido fue del orden de 99.99%. Sin embargo, el problema principal es la pureza del vapor, ya que las eficiencias de separación de sólidos fueron del orden del 33%, para la calidad arriba mencionada. Los análisis químicos de las incrustaciones indican diversos productos de corrosión, que se consideró tenían su origen en la formación y estancamiento de vapor condensado. La evaluación de los métodos para la determinación de la calidad indica que el método químico es el más adecuado para medir la pureza del vapor, mientras que el calorimétrico lo es para la humedad. Buendía recomienda evitar el ingreso de oxígeno en las tuberías y llevar a cabo el soplado en forma segura, de tal manera que no haya riesgo de ingreso de sólidos a la turbina. Además, es conveniente instalar purgas entre el secador y los filtros, así como también monitorear la calidad por medio de conductímetros.

Buendía y Gutiérrez (1986) llevaron a cabo un estudio para determinar los criterios para el diseño de deshumidificadores para uso geotérmico. Hicieron una revisión de los equipos que se utilizan en centrales geotérmicas instaladas en diversos países tales como Japón, Italia, Estados Unidos, Nueva Zelanda, El Salvador y México. En el caso de los equipos instalados en México, se revisó con detalle los instalados en los campos geotérmicos de Cerro Prieto y Los Azufres. El estudio de casos analiza algunas de las variables que diferencian a cada aprovechamiento, tales como las características de la salmuera y las condiciones de operación. Los criterios para el diseño de deshumidificadores toman en cuenta los siguientes parámetros: (1) grado de mantenimiento, (2) caída de presión, (3) número de accesorios, (4) eficiencia de separación, (5) tamaño de partícula a separar, (6) gastos de operación, (7) limitaciones para presión, (8) velocidad de entrada del vapor, (9) causas de falla posibles, (10) efectos de las fluctuaciones del flujo (presión, gasto), (11) partes móviles, (12) técnicas de operación, y (12) vida útil del equipo. Se sometieron al análisis cuatro tipos de equipos: (a) gravitacional, (b) impacto inercial, (c) centrífugo, y (c) lavado de vapor.

El resultado fue que los separadores centrífugos de tipo Webre eran los más adecuados, por su simplicidad, alta eficiencia de separación, bajo costo de operación y mantenimiento. Pero una de las desventajas de estos separadores es su baja eficiencia en la separación de partículas sólidas inferiores a 10 micras. En este informe se presente en forma detallada la metodología para el diseño de deshumidificadores, la cual incluye los criterios (entrada de vapor húmedo tangencial con sección circular, salida de agua en la cabeza inferior, etc.). Además se establecen los parámetros de diseño, tales como la velocidad de entrada del vapor, que no debe exceder de 60 m/s y preferiblemente que sea entre 35 y 50 m/s, la velocidad de ascenso del vapor no debe exceder 6 m/s, recomendándose entre 1.25 y 4 m/s. También se establecen las relaciones geométricas de las partes del secador, en términos del diámetro de entrada de la mezcla.

Cáceres (1988) presenta el análisis de la información de la variación de la calidad de vapor separado en el Campo Geotérmico de Ahuachapán, El Salvador, durante diez años. Desde la puesta en marcha del campo, los separadores tipo Webre fueron diseñados para un flujo de entrada. Con el transcurso del tiempo, las características de salida de vapor de pozos ha cambiado, por lo que el rendimiento de los separadores también. Se analizan variaciones en el rendimiento para verificar el diseño o rediseño de los separadores basados en la metodología básica: Bangma (1961), Awerbuch et al. (1982) y Lazalde-Crabtree (1984). Su principal conclusión se basa en el diseño de la metodología de Lazalde-Crabtree.

Ayodo (1992) diseñó un sistema de separación central eficiente. Para el diseño de los separadores, se toma como mejor opción a los separadores tipo Webre, ya que la velocidad de vapor es de 20 a 40 m/s del campo geotérmico de Olkaria en su parte noreste. Se realiza a detalle la descripción de la estructura

geológica, la distribución de la presión y la temperatura del campo, el análisis geoquímico de flujo y vapor, la hidrología, las características del campo (litología y acuíferos), las características de descarga de pozos, el modelo del yacimiento, se describe el diseño del sistema de tuberías, las características físicas de las tuberías, el cálculo de la caída de presión del flujo a dos fases y se calculan los costos. En este documento se especifica el diseño y construcción de separadores tipo Webre con base en los procedimientos de cálculo de Lazalde-Crabtree. Esta metodología es la recomendada en este trabajo por garantizar las mejores condiciones de operación de equipos.

Henríquez (1997) determina las presiones óptimas para la operación técnica de la central geotermoeléctrica del campo de Berlín, El Salvador. Se realizan los cálculos y la guía de optimización para seleccionar la primer planta de condensado en el campo. Se hace una descripción detallada del campo geotérmico, el diseño de la planta (flasheo simple), de la entrada de presión óptima a la turbina, del diseño y características de la turbina de vapor, de la eficiencia de la conversión de la energía, del sistema de enfriamiento, el diseño de las torres de enfriamiento, los condensadores y los cálculos del consumo de energía. Una de las consideraciones de diseño más importante es la pureza del vapor, por lo que en este trabajo se utilizan separadores tipo ciclónicos. La referencia de diseño de estos equipos se basa en la información de los separadores instalados en Svartsengi, Islandia. La presión de operación en el separador debe ser de 11 bar.

DiPippo (1999) describe las condiciones de diseño, el rendimiento termodinámico y los factores económicos de la construcción y operación de las diferentes plantas geotérmicas: de vapor seco, flasheo simple, doble flasheo y ciclo binario. Se realiza una descripción de los equipos típicamente usados en cada uno de esos cuatro tipos. Los secadores tipo Webre se utilizan en los tres primeros tipos y los separadores tipo Webre se ocupan en las plantas de flasheo simple y doble.

Sánchez et al. (2002) presentan un estudio sobre la importancia de los separadores, los secadores y los ductos de vapor en los campos geotérmicos en México, con el fin de mejorar las condiciones de pureza en la separación de agua-vapor y su eficiencia, y aumentar el suministro de vapor a las unidades de energía geotérmica. Se realiza un análisis del efecto transitorio en los equipos de separación del campo geotérmico de Los Azufres, de la corrosión ocurrida en el equipo superficial, y el análisis químico en las purgas ubicadas a lo largo de las tuberías.

Foong (2005) presenta el diseño conceptual y el funcionamiento de los separadores agua-vapor tipo Webre, y propone una nueva ecuación para calcular y mejorar la eficiencia de separación. Los diseños de separadores se aplican en el campo geotérmico de Wairakei, Nueva Zelanda, y se reporta una eficiencia de separación del 99.97%, donde el 0.03% es salmuera, para una planta de 100 MW. El diseño también reduce la caída de presión a través del separador y mejora el acceso para la inspección interna del separador. Se indica que el uso de los separadores tipo Webre inició a partir de los años 50. En este trabajo se especifica el desarrollo de un separador, utilizando la metodología de Bangma (1961).

Para el cálculo de la eficiencia del separador se utiliza la metodología de Lazalde-Crabtree (1984). En este trabajo se especifica que la eficiencia del separador es un producto de la eficiencia mecánica y anular representada como una expansión de la ecuación inicial de Lazalde-Crabtree, válido solo si se producen mecanismos de separación en “paralelo” después de la separación inicial. La modificación al separador Webre presentada en este trabajo es la instalación de una placa o plato debajo el techo del separador y el drenado del fluido recolectado al centro del tubo de vapor hacia la principal corriente de

salmuera. El uso de un sombrero invertido “chinaman” también podría mejorar la dinámica de entrada y posiblemente mejorar la caída de presión.

Pointon et al. (2009) presentan el desarrollo de un programa de cómputo (CFD: Computational Fluid Dynamic) para el diseño y optimización de separadores ciclónicos tipo Webre. Esta herramienta computacional se basa en los métodos de diseño de separadores tradicionales con los cálculos de diseño de Lazalde-Crabtree (1984) y las características de Bangma (1961). El CFD se ha utilizado para suministrar las cargas estructurales para el análisis del elemento finito (FEA) de un separador. Los cálculos de diseño del trabajo de Lazalde-Crabtree predicen una separación del 99.955%. Esta información es la base principal del programa de cómputo del CFD con resultados de rendimientos muy favorables.

Horie et al. (2010) describen las principales características de la separación, el sistema de lavado de vapor, el sistema de reinyección de salmuera, la generación de energía y el control del campo de vapor aplicado a la central del campo geotérmico de Kawerau, Nueva Zelanda. El trabajo indica que los separadores tipo Webre son los equipos usados en la industria geotérmica para eliminar la mayor cantidad de impurezas tales como salmuera y sílice. La correcta separación de estas impurezas previene que las turbinas salgan de mantenimiento en lapsos cortos de tiempo y que sus costos sean menores.

Glassley (2010) menciona en su libro que uno de los factores importantes en el rendimiento de los sistemas de generación es la calidad de vapor que entra a la turbina. También hace una breve descripción del funcionamiento de los separadores centrífugos y menciona algunas características de diseño recomendadas por Lazalde-Crabtree.

Barrantes (2012) menciona en su tesis la metodología, las relaciones geométricas y las consideraciones que deben de tomarse en cuenta para diseñar un separador y un secador tipo Webre.

DiPippo (2012) menciona la importancia de la separación de la mezcla agua-vapor, puesto que el líquido arrastrado en el vapor es causa de incrustación y/o erosión en las tuberías y los componentes de la turbina. La calidad del vapor debe de ser de un mínimo de 99.995%, y refiere los parámetros de diseño de los secadores y separadores tipo Webre de la metodología de Lazalde-Crabtree.

En 2013 Purnanto y otros presentan el desarrollo de un software para simular el movimiento del fluido de dos fases dentro de un separador ciclónico geotérmico. El software se llama CFD Fluent. Con las características del flujo de entrada el software verifica el cambio de flujo de entalpía, el rendimiento del separador y el efecto del rendimiento del separador con diferentes entradas. Con el fin de modelar el flujo de turbulencia como ocurre en el interior del separador, se implementa el modelo de turbulencia Renormalization Group (RNG) k-ε. El desempeño de la simulación CFD se valida con el enfoque empírico de Lazalde-Crabtree. El modelo de turbulencia (Fluent RNG k-ε) es adecuado para usarse como un primer intento en el análisis del CFD. En el análisis se concluye que el CFD fue capaz de visualizar el comportamiento de las dos fases dentro del separador, una característica que no se puede tener en la aproximación empírica. Los patrones de distribución de presión y los perfiles de velocidad de acuerdo con la metodología existente y los resultados presentados indican que el CFD es una herramienta prometedora, que se puede utilizar para optimizar el diseño del separador.

Resultados

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra una matriz comparativa de las principales características de las referencias bibliográficas analizadas anteriormente. En la primera columna se indica el nombre del trabajo analizado, de la columna dos a la cuatro se señala el tipo de separador que se describe, en la columna cinco se indica si se describe o se realiza una evaluación al separador, en la columna seis se indica si es un programa de cómputo. Por último se indica la metodología en la que se basa el trabajo de investigación.

Trabajo	Webre	Ciclónico	Diseño	Evaluación	Software	Metodología de referencia
Bangma (1961)		*	*			
Awerbuch et al. (1982)		*	*	*		
Lazalde-Crabtree (1984)	*		*	*	*	Lazalde-Crabtree y Buendía (1982)
Buendía (1985)	*			*		Lazalde-Crabtree (1984)
Buendía y Gutiérrez (1986)	*			*		Lazalde-Crabtree (1984)
Cáceres (1988)	*		*	*		Lazalde-Crabtree (1984)
Ayodo (1992)	*		*	*		Lazalde-Crabtree (1984)
Henríquez (1997)		*	*			
DiPippo (1999)	*		*			Lazalde-Crabtree (1984)
Sánchez et al. (2002)		*		*		
Foong (2005)	*		*	*		Lazalde-Crabtree (1984)
Pointon et al. (2009)	*		*	*	*	Bangma (1961) y Lazalde-Crabtree (1984)
Horie et al. (2010)	*					
Glassley (2010)	*		*			Lazalde-Crabtree (1984)
Barrantes (2012)	*		*	*		Lazalde-Crabtree (1984)
DiPippo (2012)	*		*			Lazalde-Crabtree (1984)
Purnanto et al. (2013)	*			*	*	Lazalde-Crabtree (1984)

Tabla 1. Matriz comparativa de las referencias bibliográficas

Conclusiones

Se concluye que los separadores y secadores de tipo Webre son los más comúnmente utilizados en diferentes plantas geotérmicas y que la metodología de Lazalde-Crabtree (1984) es la más utilizada para el diseño y evaluación de estos equipos.

Los separadores y secadores diseñados con la metodología de Lazalde-Crabtree operan con tal eficiencia que permiten que la calidad del vapor sea superior al 99.95%.

Con base en la metodología de Lazalde-Crabtree, se está desarrollando un programa de cómputo para el Diseño y Evaluación de Separadores y Secadores tipo Webre (ProDESS). Este programa se desarrolla en el entorno de Visual Basic y permite el análisis de una gran cantidad de información que resulta muy útil para el campo geotérmico, desde unos pocos hasta varias decenas de separadores y secadores, como en el caso del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC.

Referencias

Awerbuch, L., Van der Mast, V. and McGrath, D., 1982. Geothermal Steam Separator Evaluation. *Geothermal Conference and Workshop EPRI*, Report EPRI-AP-2760 (1982), pp. 5.15-5.29.

Ayodo, P., 1992. *Steam Gathering System for the Ne-Olkaria Geothermal Field, Kenya - Preliminary Design*. Report 9, UNU Geothermal Training Programme, Iceland.

Bangma, P., 1961. *The Development and Performance of a Steam-Water Separator for use on Geothermal Bores*. Mechanical Engineer, Ministry of Works, Wairakei, New Zealand.

Barrantes, R., 2012. *Advanced Topics in Hydraulic Piping*. Atlantic International University, ID: UM19138SME26986, Hawaii, US.

Buendía, E., 1985. Resultados en las Pruebas de los Secadores de la Unidad 1 de la Central Geotermoeléctrica de Cerro Prieto II. IIE, División de Estudios de Ingeniería, Departamento Mecánico, Proyecto 2032/07. Inédito.

Buendía, E., y Gutiérrez, G. 1986. Criterios generales de diseño de deshumificadores. IIE, División de Estudios de Ingeniería, Departamento Mecánico, Proyecto 2017/07. Inédito.

Cáceres, R. 1988. The Performance of Separation Equipment at Ahuachapán Geothermal Field, *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 12, pp. 367-374.

DiPippo, R., 1999. Small Geothermal Power Plants: Design, Performance and Economics, *GHC Bulletin*, June 1999.

DiPippo, R., 2012. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. Third Edition, Elsevier Ltd..

Foong, K., 2005. Design Concept for a More Efficient Steam-Water Separator. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, April 2005, Antalya, Turkey.

Glassley, W., 2010. *Geothermal Energy, Renewable Energy and the Environment*. CRC Press.

Henríquez, J., 1997. *Berlín Geothermal Project, Preliminary Power Plant Design*. Report 7, UNU Geothermal Training Programme, Iceland.

Horie, T., Muto, T and Gray, T., 2010. Technical Features of Kawerau Geothermal Power Station, New Zealand. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, April, 2010, Bali, Indonesia.

Lazalde-Crabtree, H., y Buendía, E., 1982. Manual de Diseño de Equipo Geotérmico de Superficie. Reporte final del proyecto titulado “Estudio de los parámetros de diseño para separadores de vapor y silenciadores de un campo Geotérmico”, Agosto 1982. Instituto de Investigaciones Eléctricas, México. Inédito.

Lazalde-Crabtree, H., 1984. Design Approach of Steam-Water Separators and Steam Dryers for Geothermal Applications. *Geothermal Resources Council Bulletin*, September 1984, pp. 11-20.

Pointon, A., Mills, T., Seil, G., and Zhang, Q., 2009. Computational Fluid Dynamic Techniques for Validating Geothermal Separator Sizing. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 33, pp. 943-948.

Purnanto, M, Sadiq, J., and Cater, J., 2013. CFD Modeling of Two-Phase Flow Inside Geothermal Steam-Water Separators. *IPENZ Transactions*, Vol. 40.

Sánchez, E., Rodríguez, C., and Hiriart, G., 2002. Recent Studies on Superficial Equipment in Geothermal Fields in Mexico. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 26, pp. 793-796.