

Análisis experimental de una bomba de calor aire-agua que opera en una alberca pública en condiciones invernales

Experimental analysis of a heat pump air-water which operates at a public pool in a position to overwinter them

LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo†*, VACA-MIER, Mabel, TERRES-PEÑA, Hilario y LIZARDI-RAMOS, Arturo

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco

ID 1^{er} Autor: *Raymundo, López-Callejas* / ORCID ID: 0000-0001-9415-3435, Researcher ID Thompson: H-2084-2018, CVU CONACYT ID: 213601

ID 1^{er} Coautor: *Mabel, Vaca-Mier* / ORCID ID: 0000-0002-1341-7863, CVU CONACYT ID: 12369

ID 2^{do} Coautor: *Hilario, Terres-Peña* / ORCID ID: 0000-0001-7996-5734, Researcher ID Thompson: G-6072-2018, CVU CONACYT ID: 98093

ID 3^{er} Coautor: *Arturo, Lizardi-Ramos*

Recibido Octubre 4, 2018; Aceptado Diciembre 5, 2018

Resumen

En este trabajo se analiza el comportamiento de una bomba de calor del tipo aire-agua, la cual suministra el calor necesario para el calentamiento del agua de una alberca pública en condiciones invernales. La alberca utilizada está ubicada en la zona cercana a la Universidad Autónoma Metropolitana, es de dimensiones olímpicas (50 m de longitud, 25 m de ancho y 1.50 m de profundidad). Por ser para todo público opera en un horario de 6:00 de la mañana a las 21:00 durante seis días a la semana. La temperatura del agua debe ser de 28 °C todo el tiempo de operación y el calor requerido por el agua se suministra mediante un sistema de 16 bombas de calor que trabajan en forma alternada. La evaluación del sistema se realizó en los meses comprendidos de diciembre a marzo de los años 2016, 2017 y 2018. Las bombas de calor deben suministrar en promedio 180 kW de calor al agua para mantenerla en las condiciones requeridas de operación. El coeficiente de operación (COP) de las bombas de calor más bajo fue de 4.5 entre las 6:00–10:00 h y correspondió al mes de febrero. El promedio en el horario de 13:00–15:00 h fue de 5.8. Para el periodo vespertino entre 19:00–21:00 h, en promedio se obtuvo un valor de 5.2. Estos valores difieren de los obtenidos para otras épocas del año y están muy alejados del 7.0 que reporta el fabricante para este periodo del año.

Bomba de calor, COP, Bomba aire-agua, Estación invernal

Abstract

This work analyzes the behavior of an air-water type heat pump, which provides the necessary heat for raising the temperature of water from a public pool in winter conditions. The studied pool is located in the area close to the Autonomous Metropolitan University; it is of Olympic dimensions (50 m-long, 25 m-wide and 1.50 m-deep). Since these are public premises, they operate on a schedule from 6:00 to 21:00 a.m. six days a week. The water temperature should be 28 °C throughout the operation time and the heat required by the water is supplied by means of an 18 heat-pumps system, intermittently working. The system was evaluated in the periods comprehending December to March of the years 2016, 2017, and 2018. Heat pumps should deliver on average 180 kW of heat into the water to keep the pool in the required operation conditions. The operation performance coefficient (COP) of heat pumps was 4.5 between 6:00-10:00 h, during february. The average value in the 13:00-15:00 h. period was 5.8. For the evening period between 19:00-21:00 h the average value was 5.2. These values differ from those obtained for other seasons of the year and are far away from the value of 7.0 reported by manufacturer for this time of the year.

Heat pump, COP, Heat pump air water, Winter season

Citación: LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, VACA-MIER, Mabel, TERRES-PEÑA, Hilario y LIZARDI-RAMOS, Arturo. Análisis experimental de una bomba de calor aire-agua que opera en una alberca pública en condiciones invernales. Revista de Sistemas Experimentales 2018, 5-17: 18-25

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rlc@correo.azc.uam.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Para satisfacer la demanda agua caliente de la alberca del Centro Acuático Azcapotzalco cuyas dimensiones físicas son del tipo olímpico: 50 m de longitud, 25 m de ancho y una profundidad promedio de 1.70 m, se emplean 16 bombas de calor que se operan en forma alternada, para lograrlo se utilizan entre 8 y 9 de ellas al mismo tiempo. En un trabajo previo se reportaron los resultados obtenidos experimentalmente, el periodo de evaluación fue de los meses de mayo a septiembre del año 2015 con una temperatura del ambiente promedio de 25 - 27 °C, (López R., Vaca M., Terres H., Lizardi A., Morales J., Chávez S., 2017).

El funcionamiento de una bomba de calor consiste en emplear un fluido refrigerante (tipo de refrigerante R-410A) y hacerlo pasar por un compresor que aumenta su presión, con ello aumentan la temperatura y la energía; después de comprimirse, el refrigerante pasa por un intercambiador de calor llamado condensador y cede su calor al foco caliente, ya que éste ha salido a mayor temperatura que el foco caliente, una vez cedido el calor el refrigerante vuelve a su estado líquido, después pasa por una válvula de expansión en donde se ocasiona una caída de presión y por lo tanto el fluido se enfría rápidamente y comienza a evaporarse, posteriormente en un intercambiador de calor llamado evaporador, el refrigerante se evapora absorbiendo calor del foco frío, por último el refrigerante evaporado regresa al compresor cerrando el ciclo continuo. Para la evaluación de estas bombas de calor se emplea el Coeficiente de Operación o de Desempeño, *COP* (Coefficient of Performance, por sus siglas en inglés), definido más adelante.

Los valores del *COP*, que se obtuvieron están en el intervalo de 4.5 y 6.1, los cuales no son cercanos a los que reporta el fabricante de las bombas para este tipo de aplicación. Estas bombas son del tipo aire-agua, es decir toman la energía del aire y se la transfieren al agua con la cual se dota de la energía térmica requerida a la alberca. La temperatura del medio ambiente en los meses de invierno presenta una disminución importante con respecto a la evaluación realizada previamente.

La temperatura del medio ambiente promedio registrada en los años 2016 a 2018 para diciembre fue 18.0 °C, en enero 14 °C, para febrero 10 °C y finalmente marzo 20 °C, como puede observarse el valor de las temperaturas no es muy bajo comparado con los registrados en otras partes del mundo y en particular en México, sin embargo, el conocimiento de su operación a estas temperaturas es significativo para estimar su consumo de energía. Las bombas de calor han mostrado ser una alternativa en el ahorro de energía para el calentamiento de agua residencial, En (Hepbasli y Kalinci, 2009) se realiza un análisis de los diferentes tipos de bombas de calor que se utilizan para este fin, se encontró la fuente de energía más utilizada es solar seguida por la energía eléctrica, aunque también se utilizan otras fuentes de energía como la geotérmica y la de desecho. En (M. Mohanraj, Ye. Belyayev, S. Jayaraj, A. Kaltayev, 2018) se presenta también un análisis de todas las configuraciones que se han utilizado para una bomba de calor con energía solar como fuente externa de energía. Para el calentamiento del agua que se requiere en una alberca con el empleo de bombas de calor tradicionalmente la fuente de energía ha sido la energía solar, uno de los primeros prototipos que se utilizaron se presenta en (Chaturvedi S., Shen J, 1984), utilizando un colector solar como evaporador del refrigerante R-12, el COP que obtuvieron fue de 2; a partir de entonces se han propuesto y analizado un gran número de soluciones para incrementar la eficiencia de este tipo de dispositivos, entre las más recientes se tiene el empleo de sistemas fotovoltaicos híbridos de celdas solares y energía geotérmica (Katsaprakakis D., 2015, M. Mohanraj, Ye. Belyayev, S. Jayaraj, A. Kaltayev, 2018).

Las bombas de calor que utilizan al aire como fuente de energía térmica son menos utilizadas debido a que el aire presenta más variaciones termodinámicas a lo largo del día que la energía solar y geotérmica; en (Huchtemann y Müller, 2012) se obtuvo un COP de 3.0 para el verano y el otoño, debido a las condiciones climáticas no se realizó prueba alguna en el periodo de invierno.

Otros investigadores como (Kong X., Sun P., Li Y., Jiang K., Dong S., 2018) realizaron la evaluación experimental de una bomba de calor operando en condiciones de otoño e invierno, pero la asistencia de energía utilizada en la bomba de calor fue con colectores solares planos, el COP encontrado varió entre 3.0 y 4.0 y para las condiciones más extremas del clima fue de 2.5. El propósito de este trabajo es evaluar experimentalmente el comportamiento termodinámico de una bomba de calor con del tipo aire-agua utilizada en el calentamiento en condiciones invernales de una alberca pública.

Descripción del sistema

La alberca pública es el Centro Acuático Azcapotzalco (19° 30' 01.2" N, 99° 10' 59.4" O y 2240 msnm), es una escuela de natación de dimensiones olímpicas, que ofrece servicio a 450 usuarios al día, en un horario de las 6:00 a las 21:00 horas, en turnos de 50 min de clase y 10 min de intermedio, de lunes a sábado. La calidad del agua se rige por la Norma Oficial Mexicana para albercas NOM-245-SSA1-2010, 2010. Las dimensiones de la alberca son 50 m de longitud, 25.0 m de ancho, 1.55 m de profundidad mínima y la máxima de 1.90 m. Tiene 10 carriles de 2.5 m cada uno de ellos, la Fig. 1 muestra una fotografía de esta.



Figura 1 Centro Acuático Azcapotzalco
Fuente: Elaboración Propia

El agua de la alberca deberá estar entre 25 y 28 °C de acuerdo con la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (2003), (ASHRAE por sus siglas en inglés). La temperatura del aire en el interior del edificio está alrededor de los 27 °C con una humedad relativa en el intervalo de 50 a 60%, esto es con la finalidad de reducir la evaporación del agua de la alberca.

La evaluación se realizó entre los meses diciembre a marzo de los años 2016, 2017 y 2018.

Para el suministro de agua caliente el Centro Acuático Azcapotzalco se cuenta con 16 bombas de calor de la marca Heat Siphon, modelo C5HP3, son del tipo aire-agua, es decir, toma la energía del aire del medio ambiente y junto con la energía del compresor se le cede al agua. Únicamente se activa el número de bombas de calor necesarias para proporcionar la energía al agua, en la evaluación realizada se utilizaron, en promedio, hasta 12 unidades alternativamente. Para que el agua fluya se utiliza una bomba centrífuga que la distribuye por las bombas de calor que se requieran y se regresa nuevamente a la alberca a la temperatura de operación (30 °C), el refrigerante es el R 410A y el coeficiente de operación (COP, por sus siglas en inglés) teórico es de 7.6 (dato del fabricante). La figura 2 muestra la distribución de las bombas de calor en el cuarto de máquinas.



Figura 2 Distribución de las bombas de calor
Fuente: Elaboración Propia

Equipo experimental

Uno de los 16 equipos fue adaptado con la finalidad de obtener su evaluación experimental, en el esquema de la Figura 3 se muestran los puntos en los cuales se instalaron los dispositivos de medición.

Para la medición de la temperatura se colocaron termopares tipo J a la entrada del compresor (T1), a la entrada del condensador (T2), antes de la válvula de expansión (T3) y a la entrada del evaporador (T4); al condensador entra el agua de alimentación a la alberca la temperatura (T5) y sale a (T6); en el evaporador se midió el flujo másico del aire utilizado que sale a la temperatura (T7) y el flujo másico; y la temperatura del aire en el medio ambiente (T8).

La medición de la presión se realizó instalando dos manómetros, a la entrada (p1) y salida (p2) del compresor; los consumos de energía eléctrica utilizada por el compresor, el ventilador y de la bomba de recirculación del agua también fueron valorados.

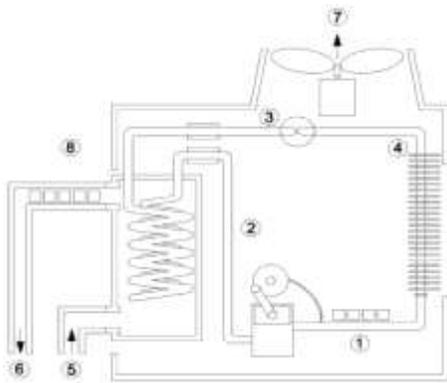


Figura 3 Esquema de la bomba de calor y los lugares donde se realizaron las mediciones

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar la evaluación se consideraron los meses de diciembre, enero, febrero y marzo de los años 2016, 2017 y 2018; para los meses de diciembre y marzo únicamente se consideraron los primeros 15 días. Las mediciones realizadas se promediaron y se dividieron de 6:00 a 10:00 se consideró como la mañana, de las 13:00 a 15:00 la tarde y para la noche de 19:00 a 21:00 horas; fuera de estos horarios no se realizó alguna otra anotación. La Tabla 1 muestra la temperatura promedio del medio ambiente para meses considerados. Para el mes de diciembre la mínima sería de 6 °C mientras que la máxima de 22 °C. El mes más frío siempre fue febrero, ya que la máxima registrada fue de 15°C, mientras que el mes de marzo se registraron temperaturas de 24 °C como máximo.

Consideraciones teóricas

Para el cálculo del COP en este trabajo se utilizó la metodología sugerida en (ASHRAE, 2003), dada en el siguiente desarrollo.

Mes	Periodo	Temperatura °C
Diciembre	mañana	6
	tarde	22
	noche	15
Enero	mañana	5
	tarde	19
	noche	12
Febrero	mañana	4
	tarde	14
	noche	9
Marzo	mañana	8
	tarde	23
	noche	16

Tabla 1 Temperaturas promedio del medio ambiente

Fuente: Elaboración Propia

El calor total que se debe suministrar a la alberca para mantenerla en condiciones adecuadas de operación debe ser igual a la pérdida de calor que se tenga, el cual es:

$$Q = Q_s + Q_l + Q_f + Q_{conv} \quad (1)$$

En la cual Q_s es la pérdida de calor por conducción en la superficie sólida que rodea la alberca; Q_l es la pérdida de calor por evaporación del agua; Q_f es la energía del agua de reposición; Q_{conv} son las pérdidas por convección en la superficie libre del agua.

Las pérdidas de calor por conducción del agua de la alberca hacia las paredes y el piso que la forman se determinan con:

$$Q_s = U_p A_p (T_w - T_{wg}) \quad (2)$$

Donde U_p es el coeficiente total de transferencia de calor de las paredes; A_p es el área total de las paredes y del piso; T_w y T_g son las temperaturas del agua y de la tierra que la rodea respectivamente. Las pérdidas de calor por evaporación están dadas por:

$$Q_l = W Y \quad (3)$$

Donde W es la relación de evaporación de agua en la superficie, y Y es el calor latente de evaporación del agua en la superficie. Para el cálculo del agua evaporada se utiliza:

$$W = (0.089 + 0.782v_a)(p_w - p_a) \frac{A_p}{Y} \quad (4)$$

Donde v_a es la velocidad del aire por encima de la superficie libre del agua; p_w es la presión de vapor saturado a la temperatura del fluido; p_a es la presión del vapor en el punto de rocío; A_p es el área total de la superficie del agua. La energía del agua de reposición que se tiene en 24 horas en promedio es:

$$Q_f = C_p q_d \rho (T_w - T_f) / 24 \quad (5)$$

En la cual C_p es el calor específico; q_d es el flujo del agua de alimentación (se considera que es del 3 % del volumen de agua de la alberca); T_f es la temperatura del agua reposición.

Las pérdidas de energía por convección se obtienen mediante la ley de Newton:

$$Q_{conv} = h_{conv} A_p (T_w - T_a) \quad (6)$$

Donde h_{conv} es el coeficiente de transferencia de calor por convección y T_a es la temperatura del aire en el interior de la alberca.

Para determinar la capacidad del calentamiento en la bomba de calor se utiliza:

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r (h_o - h_i) \quad (7)$$

Donde \dot{m}_r es el flujo másico del refrigerante; h_o y h_i son las entalpías específicas a la salida y entrada del condensador. Este será el flujo de calor suministrado al agua de la alberca:

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w C_w (T_{wi} - T_{wo}) \quad (8)$$

Donde \dot{m}_w es el flujo másico del agua a calentar; T_{wi} y T_{wo} son sus temperaturas de entrada y salida.

La cantidad de energía consumida por la bomba de calor en su conjunto \dot{W}_{hp} es igual a la energía suministrada al compresor, la de los ventiladores y a la bomba de recirculación del agua, la cual se mide directamente en el registrador de tablero general de la instalación.

De esta manera el COP se determina con la ecuación:

$$COP = \dot{Q}_{cond} / \dot{W}_{hp} \quad (9)$$

Resultados y análisis

La energía eléctrica que se suministra a la bomba de calor en su conjunto se compone de tres partes, de acuerdo a los datos proporcionados por los fabricantes son: del compresor de la bomba de calor, 7.46 kW, la bomba de recirculación del agua, 3.75 kW y el ventilador, 2.24 kW, las cuales suman 13.45 kW; el medidor de energía eléctrica que se tiene instalado para tal fin, registró un valor de 12.8 kW en su conjunto, este será el valor que se considera como la energía suministrada al calentamiento del agua de la alberca.

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio de las temperaturas y presiones registradas en la instalación, estos valores fueron obtenidos de todas las lecturas registradas en el periodo de evaluación.

Mes	T1 (p1)	T2 (p2)	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Dic	0 (0.80)	60.0 (4.1)	34.0	3.9	24.0	30.8	3.4	6
	9.3 (0.84)	85.8 (4.5)	35.2	3.1	27.0	31.2	3.0	22
	8.9 (0.83)	84.4 (4.2)	35.1	3.1	28.1	31.4	3.8	16
Ene	-2 (0.72)	56.0 (3.6)	31.0	3.4	22.0	27.7	3.0	5
	6.5 (0.88)	74.0 (3.7)	32.6	2.7	24.8	28.3	3.1	20
	5.1 (0.84)	71.8 (3.8)	33.7	2.7	25.0	28.8	3.3	14
Feb	-5 (0.68)	52.0 (3.2)	30.0	2.0	21.5	26.5	2.8	4
	5.0 (0.84)	70.4 (4.5)	32.8	2.9	25.1	28.9	2.9	15
	3.9 (0.83)	68.0 (3.8)	32.7	2.7	25.5	29.1	3.0	11
Mar	1 (0.81)	61.8 (4.1)	33.5	3.6	23.5	29.7	3.1	8
	9.7 (0.92)	86.4 (4.5)	35.0	3.2	26.6	31.0	3.4	24
	9.3 (0.83)	85.4 (4.4)	34.3	3.0	26.5	30.8	3.5	18

Tabla 2 Temperaturas medidas en los puntos considerados de la bomba de calor en °C, para los meses considerados, T (°C) y p (MPa)

Fuente: *Elaboración Propia*

Los valores correspondientes a diciembre y marzo resultaron muy semejantes, mientras que en diciembre empieza a bajar lentamente, hacia marzo se da el proceso contrario, es decir aumenta gradualmente debido a la temperatura atmosférica. Los valores más bajos correspondieron al mes de febrero, por ser el más frío del año.

Utilizando las ecuaciones descritas en la sección de consideraciones teóricas con estos valores y apoyándose en el diagrama de Mollier del refrigerante R-410, se obtienen los valores de COP , los cuales se proporcionan en la Tabla 3. Para los cuatro meses el valor más bajo siempre fue el de la mañana, hacia la tarde se registró el de mayor valor y el de la noche disminuye nuevamente. En el mes de febrero se obtuvieron los más bajos valores de los cuatro meses, se debe a que la temperatura del ambiente fue la de menor valor, esto se puede observar de manera gráfica en la Fig. 2, la cual muestra el COP contra la diferencia de temperatura del agua en el condensador de la bomba de calor. El incremento de temperatura más alto es para el mes de marzo y como se esperaba el más bajo para febrero.

Para suministrar la cantidad de energía que se requiere a la alberca, en López (López R., Vaca M., Terres H., Lizardi A., Morales J., Chávez S., 2017) reportaron que se requerían hasta ocho bombas de calor de las 16 existentes en el cuarto de máquinas del centro acuático, la evaluación se realizó para los meses de mayo a julio, el COP determinado fue de 7.0. De acuerdo con la hoja de especificaciones del fabricante de las bombas de calor, el COP que deberían proporcionar sería de 7.5 a 8.0. Sin embargo, debido a que el COP baja considerablemente para los meses de clima frío es necesario aumentar el número de éstas en operación de la siguiente manera. Para diciembre los valores registrados del coeficiente de operación variaron de 5.3 a 6.0, por lo cual se requiere que trabajen entre diez y once bombas de calor al mismo tiempo; en el mes de enero se tienen valores de 4.8 a 5.8, por lo cual se requieren de 10 a 13 bombas de calor, es necesario activar de 11 a 14 bombas de calor en febrero; adicionalmente y de forma extraordinaria, durante dos días fue necesario activar 15 bombas, de las 16 que tiene la instalación, porque la temperatura del ambiente fue considerablemente baja. Finalmente, para el mes de marzo, en el cual la temperatura del medio ambiente vuelve a subir, el valor del coeficiente varió de 5.1 a 6.1, lo cual requirió que se activaran de 10 a 12 bombas de calor.

Con estos resultados con los equipos existentes apenas se logra cubrir las necesidades de energía requerida para el funcionamiento pleno de la alberca. Sin embargo, el sistema no contempla algún suministro de energía alterno en caso de alguna falla mayor.

En la Tabla 3 se muestran todos estos resultados obtenidos y en el Gráfico 1 se presenta el comportamiento del COP para las tres secciones del día.

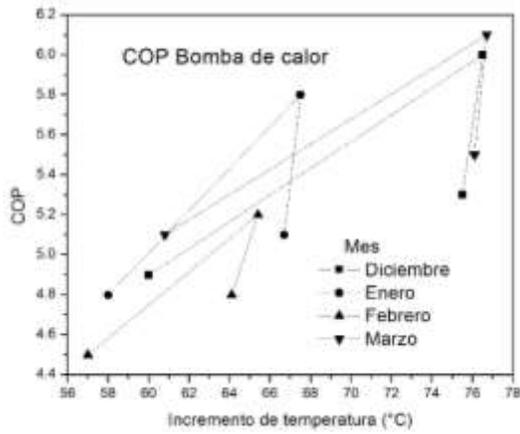


Gráfico 1 COP contra el incremento de temperatura del compresor
Fuente: Elaboración Propia

El consumo de energía eléctrica mensual en promedio tomados de los medidores de la compañía que suministra el servicio eléctrico fue: para diciembre de 30,400 kW-h considerando que únicamente se trabajan los primeros 15 días del mes, ya que durante la segunda quincena del mes se programa un receso vacacional; en enero fue de 80,000 kW-h pues este mes tiene 31 días; para febrero que únicamente tiene 28 días el consumo fue el mayor registrado de 84,500 kW-h, debido a que trabajaron todas las bombas disponibles; en marzo el consumo de energía bajó nuevamente a 61,000 kW-h. Para los meses restantes del año que tienen 30 días, es decir, abril, junio, septiembre y noviembre, fue de 48,600 kW-h y los de 31 días: mayo, julio, agosto y octubre, de 50,220 kW-h. En el Gráfico 2, se muestra el cargo de energía eléctrica que realizó la compañía que suministra el servicio en la zona de ubicación de la alberca.

Mes	Turno	COP	BC	Q̇ kW	Ė kW-h
Dic	Mañana	5.3	11	79300	30400
	Tarde	6	10	86500	
	Noche	5.5	11	76500	
Ene	Mañana	4.8	13	69300	80000
	Tarde	5.8	10	84000	
	Noche	5.1	12	73700	
Feb	Mañana	4.5	14	65000	84500
	Tarde	5.2	11	75500	
	Noche	4.8	13	70000	
Mar	Mañana	5.1	12	74000	61000
	Tarde	6.1	10	88500	
	Noche	5.5	11	79500	

Tabla 3 COP calculado con las mediciones realizadas
Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Se determinó el Coeficiente de Operación, COP, de las bombas de calor que suministran la energía requerida por el agua del Centro Acuático Azcapotzalco, el cual está ubicado al norte de la Ciudad de México en la delegación del mismo nombre, en los meses correspondientes a la época invernal, es decir, diciembre, enero, febrero y marzo.

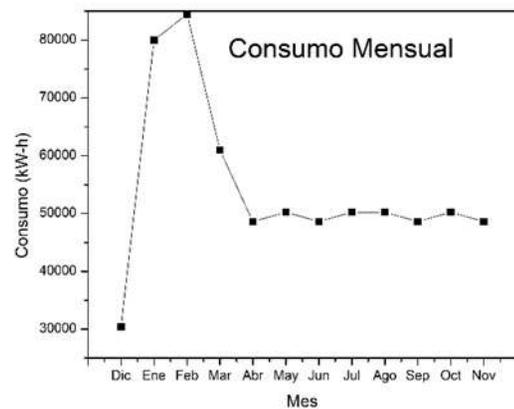


Gráfico 2 Consumo de energía eléctrica que se realizó en la alberca
Fuente: Elaboración Propia

Para lograrlo se instrumentó una de las 16 bombas de calor instaladas para tal fin, colocando medidores de temperatura en cada uno de los puntos principales y dos medidores de presión, uno a la entrada y otro a la salida del compresor.

Así se determinaron los puntos de operación en el diagrama de Mollier del refrigerante R-410 que es el empleado en dichos equipos, esto permitió calcular la cantidad de calor del ciclo termodinámico. También se determinó el consumo de energía eléctrica suministrado al compresor de la bomba de calor, al ventilador que mueve al aire que aporta la energía en el evaporador, y la energía eléctrica consumida por la bomba que mueve al agua desde la alberca al condensador de la bomba de calor y regresarla nuevamente a la alberca. Los valores del *COP* encontrados variaron desde 4.5, que correspondió al periodo matutino del mes de febrero a 6.1 del mes de marzo. Para el mes de diciembre únicamente se consideraron 15 días, ya que se programa un receso de vacaciones de dos semanas. También se determinó el número de equipos que debería de trabajar de acuerdo a las condiciones de operación que se presentaron. Es necesario proveer de un sistema alterno de suministro de energía térmica a la alberca puesto que no existe, ya que, con los equipos existentes apenas se logra cubrir las necesidades en la época invernal.

Referencias

- Arif Hepbasli, Yildiz Kalinci, 2009. A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, pp 1211–1229. doi:10.1016/j.rser.2008.08.002.
- ASHRAE Handbook, 2003. ASHRAE Handbook–HVAC Applications, American Society of Heating, Refrigerating and AIR-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.
- Cengel, Y. A., Boles, M. 2011. *Thermodynamics*. McGraw-Hill, USA.
- Chaturvedi S., Shen J, 1984. Thermal performance of a direct expansion solar-assisted heat pump. *Solar Energy* 33, pp 155–162. doi.org/10.1016/0038-092X(84)90233-0.
- Huchtemann K, Müller D., 2012. Evaluation of a field test with retrofit heat pumps. *Building and Environment* 53, pp 100–106. doi:10.1016/j.buildenv.2012.01.013.
- Katsaprakakis D, 2015. Comparison of swimming pools alternative passive and active heating systems based on renewable energy sources in Southern Europe. *Energy* 81, pp 738–753. doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.019.
- Kong X., Sun P., Li Y., Jiang K., Dong S., 2018. Experimental studies of a variable capacity direct-expansion solar-assisted heat pump water heater in autumn and winter conditions. *Solar Energy* 170, pp 352–357. doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.081
- López R., Vaca M., Terres H., Lizardi A., Morales J., Chávez S., 2017. Experimental evaluation of a heat pump for the water-supply heating of a public swimming pool. *Journal of Physics: Conference Series*, V 792. pp 1–7. doi:10.1088/1742-6596/792/1/012020. ISSN: 17426596.
- M. Mohanraj, Ye. Belyayev, S. Jayaraj, A. Kaltayev, 2018. Research and developments on solar assisted compression heat pump systems – A comprehensive review (Part A: Modeling and modifications). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 83, pp 90–123. doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.022
- NORMA Oficial Mexicana NOM-245-SSA1-2010. Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5256066&fecha=25/06/2012