



DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA SOLAR DE AIRE ACONDICIONADO CON CHILLERS DE ADSORCIÓN EN LA UNIVERSIDAD DE LA GUAJIRA

Isaac E. Castillo, Gail A. Gutiérrez

Universidad de La Guajira
Riohacha, Colombia

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de diseño conceptual para un sistema de climatización en un edificio de la universidad de La Guajira basado en cálculos detallados de la carga térmica mediante software junto con la selección de los equipos de adsorción y el campo solar. La estrategia incluye un software para la modelación de edificios y el análisis de las cargas térmicas y sus resultados se verifican con los equipos actualmente instalados en el bloque 8 del campus universitario. Mientras que la selección de los equipos comerciales de adsorción y el campo solar se basó en la carga máxima simultánea reportada en la modelación. Los resultados indican que, para las mayores cargas de climatización, en los meses de alta demanda, el área disponible de techo para colectores solares no es suficiente, pero para otros meses podría ser muy significativo el aporte solar a las necesidades energéticas para la climatización de espacios universitarios.

Palabras clave: enfriamiento solar; cargas térmicas; modelación de edificios; CypeTherms

Abstract

This work presents a conceptual design proposal for an air conditioning system in a building at the University of La Guajira based on detailed calculations of the thermal load using software together with the selection of adsorption equipment and the solar field. The strategy includes software for building modeling and the analysis of thermal loads, and its results are verified with the equipment currently installed in block 8 of the university campus. While the selection of commercial adsorption equipment and the solar field was based on the maximum simultaneous load reported in the

modeling. The results indicate that for the higher air conditioning loads, in the months of high demand, the available roof area for solar collectors is not enough, but for other months the solar contribution to the energy needs for the air conditioning of spaces could be very significant

Keywords: *solar cooling system; thermal loads; building modeling; CypeTherms*

1. Introducción

La necesidad de confort térmico en las diferentes edificaciones hace parte de la satisfacción entre algunas de las necesidades básicas del ser humano, por consiguiente, el crecimiento de la sociedad crea una alerta por el alto consumo de energía eléctrica ligado a los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire y la contaminación al ambiente. Razón por la cual, el desarrollo e implementación de tecnologías basadas en ciclos de adsorción, las cuales son una alternativa a la generación de frío convencional, promueve la posibilidad de una mejorar en el confort térmico de una manera sostenible (Papakokkinos, Castro, Capdevila, & Damle, 2020).

Nuestro país, Colombia, ha refrendado su preocupación por los temas ambientales en diferentes escenarios tanto nacionales como internacionales. En el acuerdo de París COP21, se comprometió en la reducción entre un 20% y 30%, si recibe la cooperación internacional, de sus emisiones globales que rondan 0.46% de la tasa mundial, aunque pequeñas, pero que, por el crecimiento de la economía, si no se toman medidas se estima que para 2030 podrían aumentar cerca de un 50% (MinAmbiente, 2016). Por otra parte, se expresa en el Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética –Pai Proure 2017-2022, que se requiere el desarrollo de propuestas de Eficiencia Energética (EE) más costo-efectivas, lo anterior, impone un nuevo reto que se espera alcanzar en el corto y mediano plazo.

En términos generales, las tecnologías basadas en los ciclos de adsorción para la producción de frío poseen un COP nominal en sus máquinas que ronda entre 0.5 - 0.65 y pueden trabajar en un amplio rango de temperaturas, desde los 50 °C hasta los 500 °C; sin embargo, se caracteriza por ser una tecnología limpia, sencilla y sin muchas partes móviles, lo que facilita el mantenimiento de la máquina. Además, los costos de mantenimiento se reducen por evitar las sustancias corrosivas. La clave principal implicará el uso de la energía solar para obtener un campo de temperaturas factibles para una operación más costo-efectiva (Vicente Soltero, 2015). En tal escenario, se apertura la posibilidad de reemplazar el uso de las energías tradicionales de origen fósil o transportadas desde grandes distancias, por una fuente renovable y local.

Una revisión más específica de la tecnología puede permitir identificar las oportunidades reales con las cuales se cuentan y los retos para su utilización más efectiva. (Demirocak, 2008), el autor tuvo como objetivo investigar teóricamente en detalle el rendimiento anual del sistema de enfriamiento solar por adsorción propuesto para un edificio residencial en Antalya; mostrando un análisis económico para comprender la viabilidad de los sistemas de refrigeración solar térmica en comparación con los sistemas de refrigeración convencionales. (Fernandez Pino, 2011), presentó la tecnología de la refrigeración solar en general y la refrigeración por adsorción en particular junto con sus avances mediante un estudio del estado del arte. (Sharkawy, AbdelMeguid, & Saha,



2013), este artículo científico expuso una investigación teórica sobre el efecto de la asignación de tiempos de adsorción/desorción en el rendimiento de los chillers de adsorción. (Lazzarin & Noro , 2014), este artículo científico consideró diferentes sistemas de refrigeración e investigó las alternativas más prometedoras cuando se utiliza energía solar para satisfacer la demanda. (Vicente Soltero, 2015), aquí El autor estudio detalladamente los diferentes sistemas tanto de absorción como adsorción ubicados principalmente en Europa, Asia y Norte américa. (Alahmer, Wang, Al-Rbaihat, Amanul Alam, & Saha, 2016), los autores realizaron un estudio del rendimiento de un sistema de enfriamiento por adsorción impulsado por energía solar térmica en diferentes condiciones climáticas, teniendo en cuenta los efectos del área del colector solar, la pendiente del colector, la temperatura del agua caliente y la tasa de flujo en el rendimiento del sistema se investigaron utilizando los datos meteorológicos en dos ciudades europeas. (Papakokkinos, Castro, Capdevila, & Damle, 2020), aquí los autores expusieron unos sistemas de enfriamiento por adsorción, donde se desarrolló un modelo computacional, capaz de realizar simulaciones dinámicas conjugadas de todo el sistema térmico integral.

Por otra parte, la universidad de la Guajira, sede en Riohacha, perteneciente al sector terciario de la economía colombiana, ostenta un gran consumo energético (eléctrico), destinado a suplir necesidades en iluminación; y principalmente en la climatización de solo una parte de sus salones de clases, la totalidad de sus oficinas administrativas y laboratorios, entre otros usos. Este consumo se puede evidenciar en la relación facturada por el proveedor Electricaribe E.S.P, que, para los meses más intensivos, en este caso mayo del 2019 el consumo eléctrico en pesos alcanzó \$107.343.660 y septiembre del mismo año por \$128.493.370 (fuente: la oficina institucional de servicios generales). No obstante, el departamento de la Guajira cuenta con un potencial en energías renovables, en el caso de la solar, conforme el atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia (Ideam, 2021), la irradiación solar anual se estima entre 5,0 – 5,5 KWh/m².

En tal contexto, esta investigación tiene como propósito realizar una propuesta sobre la base de un diseño conceptual para un sistema de aire acondicionado con chiller de adsorción para las edificaciones de la Universidad de la Guajira con energía solar de baja temperatura. La metodología incluye el uso del software CYPE, el cual no fue reportado en la literatura para este tipo de estudios, y la búsqueda de equipos comercialmente disponibles para el chiller de adsorción y los captadores solares. Este análisis se realizó en el bloque 8, el cual se encuentra operativo y resulta especialmente útil para fines de verificación de la estrategia propuesta.

2. Metodología

En este estudio, se partió de un edificio en operación dentro del campus universitario, Bloque 8 o edificio tecnológico en la ciudad de Riohacha (clima costero del atlántico colombiano), el cual permitió extraer información básica para el diseño como los materiales constructivos, orientación respecto al sol, condiciones meteorológicas del lugar, perfil de uso de la edificación, equipos generadores de calor internamente, entre otras. (Demirocak, 2008) propuso un modelo de diseño conceptual para un sistema donde se presenta la física y modelación detallada de la climatización de edificios, utilizando softwares de cálculos, optimización, etc. Los pasos básicos de esa estrategia fueron ajustados para este trabajo.



Las herramientas utilizadas en este trabajo se describen en el diagrama de flujo de proceso indicado en la Fig. 1. Entre las cuales debe resaltarse las capacidades del Software Cype para el modelo arquitectónico del edificio y posterior cálculo de las cargas de climatización (Cype Ingenieros. S.A., 2020). El software Cype, implementa la metodología de trabajo BIM (Building Information Modeling), siendo una metodología de trabajo colaborativa para la concepción y gestión de proyectos de edificación.

Las variables de salida reflejan el análisis detallado de la carga de climatización especificada mediante la carga máxima simultanea de diseño. A partir de la carga fue posible el dimensionamiento de área requerida de colectores solares y el número de unidades de chillers de adsorción. De hecho, mediante datos de irradiación solar diaria y las temperaturas ambientales, promediada mensualmente, y la carga mensual obtenida fue posible calcular un área requerida de colectores solares por mes durante un año.

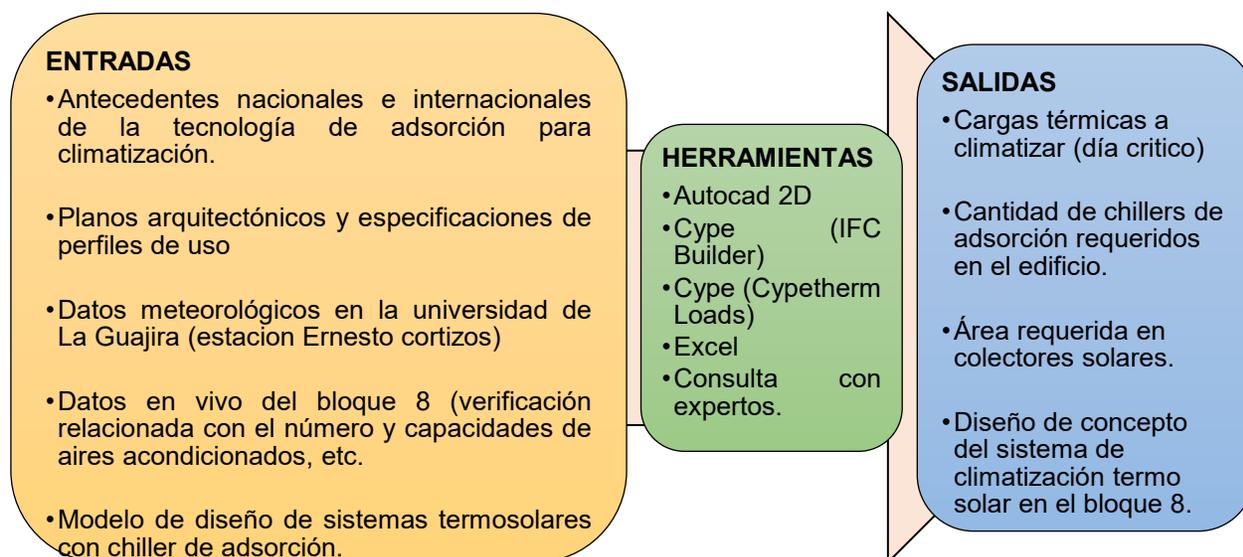


Fig. 1: Flujo de proceso

3. Resultados Y Discusiones

Modelado arquitectónico con software Cype.

El modelado arquitectónico en 3D, del bloque 8 de la Universidad de La Guajira, se realizó partiendo de los planos en el software autoCad 2D y posteriormente importados apropiadamente en Cype (IFC Builder). El isométrico de la edificación, algunas cotas globales y su orientación respecto a la dirección geográfica del norte pueden apreciarse en Fig. 2. El bloque 8 es un edificio de cuatro plantas o pisos, con 37 recintos a considerar sus requerimientos, lo que arroja un área total de 2741 m^2 y un volumen total de $9685,5 \text{ m}^3$ a climatizar. Los espacios son salones de docencia que requieran la utilización de computadores, espacios para salas de audiovisuales, oficinas administrativas y baños, principalmente. El techo prácticamente no tiene aplicación adicional. Lo especial de este edificio es que todos los espacios requieren climatización y fue puesto en operación hace algunos pocos años.



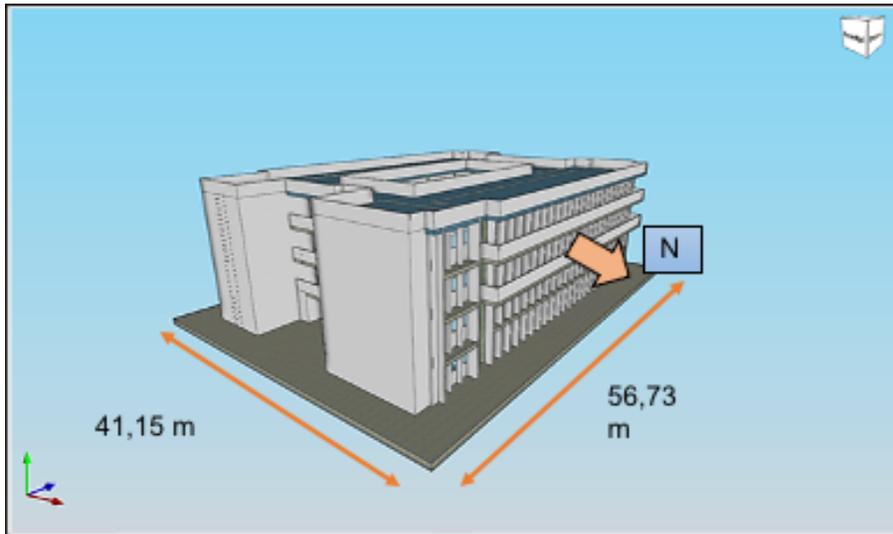


Fig. 2: Isométrico del Bloque 8.

Análisis de cargas térmicas con Cype.

Ahora se necesita la especificación de las ganancias de calor en los diferentes recintos y los caudales mínimos de renovación de aire por persona, bajo el estándar ASHRAE 62.1-2007. En este caso Cype (Cypetherm Loads) usa el reconocido método de las series radiantes RTSM, el cual se divide en dos pasos básicos: cálculo de ganancias de calor a través de toda la envoltura del edificio y las generadas internamente y el cálculo de cargas de enfriamiento, propiamente (Cype Ingenieros. S.A., 2020). Entre las especificaciones de ganancias internas de calor, los perfiles de usos para los salones y demás espacios que se requieran obedeció a unos supuestos de operación con el fin de calcular la carga máxima. Estos perfiles se elaboraron para cada mes del año; sin embargo, para los meses de enero y julio se asume que los salones no se encuentran en operación; los meses de febrero y diciembre una operación moderada, mientras que en meses de marzo- junio y agosto- noviembre la operación es completa (100% de uso). Una gran ventaja con este software es la flexibilidad que permite para la especificación de las diferentes fuentes de ganancia de calor que pueden transcurrir en la edificación bajo estudio, donde el periodo de análisis se puede extender a lo largo de un año.

La fig. 3 resume las cargas totales en la edificación por meses del año junto a la temperatura ambiente reinante. Una tendencia lógica se percibe en la carga de climatización siendo mayor en los meses más cálidos y con mayor ocupación en los perfiles de uso. Por otra parte, la carga se hace más baja en los meses más frescos y con menos ocupación. El mes que sobresale ligeramente es mayo donde coincide con la temperatura ambiental más alta siendo la carga térmica máxima de 348 kW.

Una etapa de verificación de las salidas del software fue la comparación entre la carga de diseño calculada (meses enero y mayo) contra las cargas de climatización instaladas en el bloque 8. La tabla 1 es una muestra de lo que se encontró en todos los recintos de las cuatro plantas, observándose que la carga instalada supero con creces la carga máxima calculada.



Fig. 3: Evolución anual de la carga máxima de diseño y la temperatura ambiente.

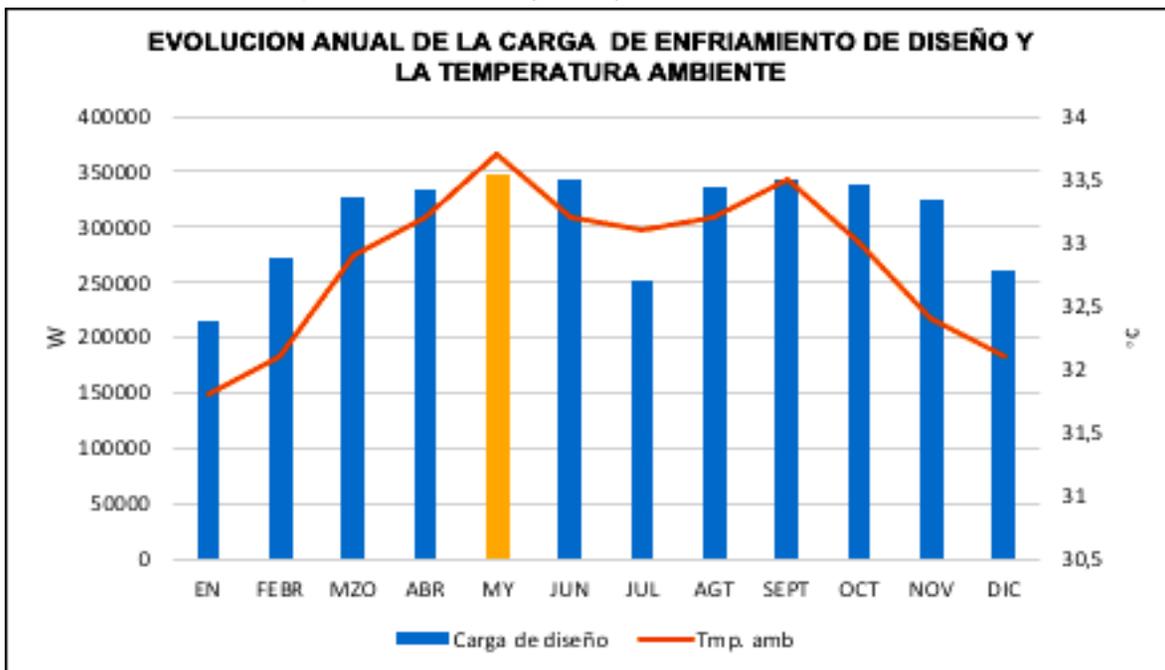


Tabla 1. Capacidad instalada VS capacidad calcula para la Planta 1.

CAPACIDAD INSTALADA (Btu/h) VS CALCULADA (Btu/h)			
REC	C.INST.	C.CALC.	
		EN	MY
101	120000	25652	46272
102	84000	17607	18080,9
103	72000	25673	46289,1
104	120000	23322	46818
105	48000	16634	18360,7
106	120000	23462	47336,6
A11	96000	23230	37902,1
A12	96000	24554	38308,1

Dimensionamiento de la captación de energía solar térmica.

Tabla 2. Parámetros tenidos en cuenta para el dimensionamiento solar.

DATOS (Día crítico)			
Nombre	Cant	Unidades	Fuente
\dot{E}_{cool}	348	kW	Resumen de cargas térmicas en el día crítico.
Radiación solar promedio de mayo.	5,65	kWh/m ² día	Irradiación solar global en la Universidad de La Guajira, variable a lo largo del año.
Horas de operación /día	16	h/día	Perfil de uso, especificación de los recintos en Cypetherm loads (6 am- 10pm)
η_{FPC}	0,748		(Lazzarin & Noro , 2014)
COP_{TH}	0,65		FAHRENHEIT Cooling Innovation



Vinculado a la idea de diseño de concepto, la literatura plantea una metodología en base al cálculo del elemento principal como el área de colectores solares para la captación de la fracción de energía requerida para el funcionamiento del sistema. Los parámetros relevantes para esta aplicación se basan en los enunciados en la tabla 2. La base de los cálculos es mediante las siguientes expresiones según Lazzarin & Noro, (2014), y Demirocak, (2008):

$$A_{FPC} = \frac{E_{cool}}{\eta_{FPC} \cdot COP_{TH} \cdot I_{solar}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$A_{spc} = \frac{A_{FPC}}{\dot{E}_{cool}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- A_{FPC} = área de colectores de placa plana (m^2)
- \dot{E}_{cool} = Carga de enfriamiento de diseño (W)
- E_{cool} = $\dot{E}_{cool} \cdot$ horas de operación al día (KWh/día)
- η_{FPC} = eficiencia nominal del colector solar FPC
- COP_{TH} = eficiencia nominal chiller.
- I_{solar} = radiación global en el sitio (kWh/ $m^2 \cdot$ día)

Tomando como variables fáciles de modificar como son la carga de diseño (obtenida con Cype) y la irradiación global diaria promediada mensual, se puede obtener la Fig. 4. Allí se percibe que el área disponible de techo en el bloque 8, se mantiene fija durante el año. Pero el área requerida varía mes a mes en sintonía con la carga calculada y la irradiación disponible; encontrándose áreas requeridas de colectores solares pequeñas en enero, julio y diciembre debido a la baja ocupación. Un área requerida alta en noviembre debido a una baja irradiación y alta ocupación. Sin embargo, es interesante observar que el área disponible de techo y la buena irradiación solar del lugar, podrían proveer una porción significativa de energía de tipo solar para la climatización de espacios a través de una tecnología que opere a baja temperatura, los chillers que funcionan con los ciclos de adsorción pueden ser una tecnología apropiada.

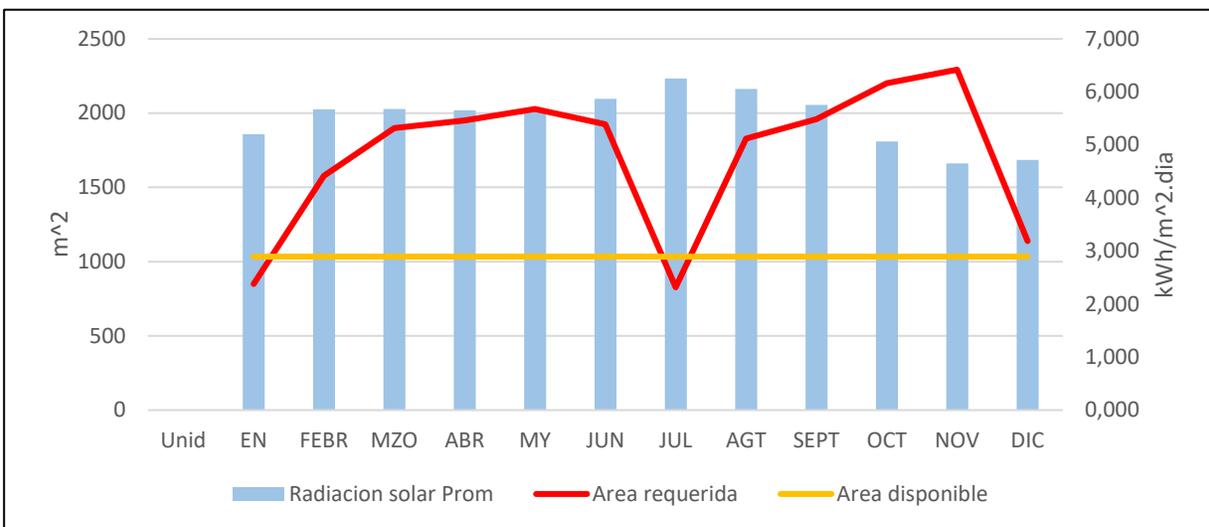


Fig. 4: Variaciones mensuales de radiación solar, áreas de colector calculadas y área disponible de techo.



En términos del área específica de colectores solares obtenida con la ecuación 2, según los límites propuestos en la referencia (Demirocak, 2008) este parámetro debería mantenerse entre 1 y 6 m^2/kW ; los únicos meses por encima son octubre y noviembre con valores de 6,5 y 7,1 respectivamente; los cuales coinciden con los meses de menor irradiación disponible y alta ocupación. La captación de energía solar a través de colectores planos resulta atractiva para estos propósitos por su baja complejidad, costo menores y temperaturas de bajos niveles (Dezhou BTE Solar Co., Ltd., 2016)

Selección y cantidades de chillers de adsorción requeridos para suplir la carga de enfriamiento de diseño.

En esta etapa se hizo énfasis en la búsqueda de tecnología comercialmente disponible para los chillers de adsorción que operen con niveles de temperatura baja. Seguidamente, se analizó la capacidad nominal de enfriamiento de los equipos comercializados por la empresa Alemana Fahrenheit Cooling Innovation, los cuales requieren un foco caliente entre 50-95 Celsius; foco de temperatura intermedia entre 22-40 Celsius y el foco frío entre 8 y 18 Celsius (Fahrenheit Cooling Innovation, s.f.)

- *eCoo 40X, poseen una capacidad de enfriamiento de hasta 100 kW.*
- *eCoo 30X, posee una capacidad de enfriamiento de hasta 75 kW.*

4. Conclusiones

El presente estudio pretendió formular una propuesta de diseño conceptual para un sistema de climatización basado en energía solar de baja temperatura y chillers de adsorción aplicable al campus universitario. El caso tomado de estudio para fines de verificación de la estrategia fue el análisis de la carga térmica del bloque 8 o edificio tecnológico, el cual se encuentra operativo desde hace pocos años, se encuentra bajo la influencia de un clima tropical propio del mar caribe colombiano y todos sus espacios requieren climatización artificial. La principal motivación fue el aprovechamiento de las ventajas de las fuentes renovables de energía para brindar confort a estos edificios dentro del campus, en el caso particular tomar ventaja de la energía solar térmica. Esta estrategia tiene mucha aplicabilidad en los nuevos proyectos de edificaciones donde el sistema de climatización no-convencional se podrá incluir desde la fase de diseño.

Entre los principales resultados se destacan la aplicación de un software flexible y cómodo como Cype, basado en modelo integrado BIM para el cálculo de las cargas térmicas de diseño. Un buen diseño de un sistema de climatización parte de un cálculo bien detallado de la carga térmica y su optimización en términos de muchos factores vinculados, los cuales son aportes a las ganancias de calor externas e internas de la edificación bajo análisis. Después de esto fue la identificación de tecnologías comercialmente disponibles de captación solar a través de colectores planos y los chillers de adsorción en capacidades especialmente apropiadas para edificaciones como las contempladas en nuestro campus universitario. Creemos que los resultados son promisorios y



requerirán un análisis de viabilidad técnica-financiera para intentar implementarlo en los nuevos proyectos de construcción.

5. Agradecimientos

Este trabajo contó con el apoyo de la Vicerrectoría de investigación y Extensión y la Dirección de Investigaciones de la Universidad de La Guajira, particularmente la convocatoria para financiamiento de proyecto para semilleros de investigación mediante la resolución 1561/2019.

6. Referencias

Artículos de revista

- Alahmer, A., Wang, X., Al-Rbaihat, R., Amanul Alam, K., & Saha, B. (2016). Performance evaluation of a solar adsorption chiller under different climatic conditions. *Applied Energy*, 12.
- Lazzarin, R., & Noro, M. (2014). Solar cooling between thermal and photovoltaic: An energy and economic comparative study in the Mediterranean conditions. *ScienceDirect*, 12.
- Papakokkinos, G., Castro, J., Capdevila, R., & Damle, R. (2020). A comprehensive simulation tool for adsorption-based solar-cooled buildings – Control strategy based on variable cycle duration. *Energy & Buildings*, 20.
- Sharkawy, E., AbdelMeguid, H., & Saha, B. (2013). Towards an optimal performance of adsorption chillers: Reallocation of adsorption/desorption cycle times. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 12.

Libros

- Demirocak, D. E. (2008). Thermodynamic and economic analysis of a solar thermal powered adsorption cooling system. School of natural and applied sciences of middle east technical university.
- Fernandez Pino, F. (2011). Análisis de los sistemas de refrigeración por adsorción. Sevilla: Escuela técnica superior de ingenieros. Departamento de Ingeniería Energética Grupo de Termodinámica y Energías Renovables.
- Vicente Soltero, J. A. (2015). Análisis de Sistemas de Refrigeración Solar por Absorción y Adsorción. Sevilla: Departamento de Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

Fuentes electrónicas

- Dezhou BTE Solar Co., Ltd. (2016). *Made In China*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_btesolar/product_Color-Coated-Thermal-Black-Coating-Flat-Panel-Solar-Collector_eseryhseu.html
- Fahrenheit Cooling Innovation. (s.f.). *Fahrenheit Cooling Innovation*. Obtenido de <https://fahrenheit.cool/en/> Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible [MinAmbiente]. (marzo de 2016).



Sobre los autores

- **Isaac Castillo Devoz.** Estudiante de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingenierías, Universidad de La Guajira. iecastillod@uniguajira.edu.co
- **Gail Gutiérrez Ramírez.** Ingeniero Mecánico, Doctor en Ingeniería. Profesor Asociado, Facultad de Ingenierías. Universidad de La Guajira. galbeirog@uniguajira.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

