

# Evaluación energética del sistema bombeo de un esquema de climatización con enfriadoras de agua para un edificio educativo utilizando simulación dinámica

## Energy assessment of the system pumping a climate control scheme with water coolers for an educational building using dynamic simulation

Milen BALBIS-MOREJÓN [1](#); Ivan TOVAR-OSPINO [2](#); Juan José CASTRO-PEÑA [3](#); Yulineth Del Carmen CÁRDENAS Escorcía [4](#)

Recibido: 02/08/2017 • Aprobado: 01/09/2017

### Contenido

[1. Introducción](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

#### RESUMEN:

El presente trabajo se centra en la evaluación energética de diferentes configuraciones de un sistema de bombeo para un esquema de climatización provisto con enfriadora por agua (Chiller). En el estudio se utilizó el software de simulación de edificios EnergyPlus V8.6 y se consideran factores que ejercen mayor influencia en el desempeño energético de los edificios cuando están en operación, como el clima, flujos dinámicos e inercia térmica de los materiales. Los resultados mostraron reducción del 3,1 % de la demanda anual de energía de un edificio educativo, logrando minimizar el consumo energético y el costo operacional para un año típico de operación.

**Palabras clave.** Sistema de climatización Chiller, sistema de bombeo, desempeño energético, simulación

#### ABSTRACT:

The present work is focused on energy evaluation in different configurations in a pumping system for an air conditioning scheme provided with water chiller. The study considered a building simulation software EnergyPlus V8.6, also there are considered factors that exhibit influence on building energy performance where they operate, such as climate, dynamic flows and thermal inertia in materials. Results showed a reduction of 3,1% of the annual energy demand in an educational building, reducing energy consumption and operating costs for a typical year of operation.

**Keywords** Air conditioning system, pumping system, dynamic simulation buildings, buildings efficiency.

# 1. Introducción

El consumo final de energía en las próximas tres décadas aumentará en un 56% en el contexto global, según indican los informes de Energy Outlook 2013 y 2014, de la Agencia Internacional de Energía, cifra que en la actualidad siguen liderada por el sector residencial y comercial con un 40%, industria con un 32%, y transporte con 28%. Colombia, registra un crecimiento sostenido de un 3,7% en el consumo de energía eléctrica, siendo el sector de mayor crecimiento el sector comercial, servicio y público con un 5.6% (PEN 2010-2030). Estos comportamientos tanto a nivel nacional como internacional están relacionados con el alto consumo que implica el uso de los sistemas de climatización, sobre todo en climas cálidos, y fríos representando entre 40 y 60 % del consumo eléctrico total en las edificaciones (Shahrestani, 2013), (ASHRAE, 2011) .

Los sistemas de climatización pueden ser responsables del 60% de la electricidad usada para el aire acondicionado, y representar entre un 25-40% del consumo total de electricidad de un edificio China con aire acondicionado (F.W. Yu, 2005), (Z. Liua, 2017). El empleo de sistemas de climatización puede resultar necesario para garantizar las condiciones de confort y calidad de aire interior en los edificios (Cabello, 2016), en especial en zonas intertropicales como es el caso de la ciudad de Barranquilla, donde los consumos de energía por uso de aire acondicionado en las Instituciones de educación puede representar aproximadamente entre el 50 y 60% del consumo energético de la edificación (Balbis, 2010).

Los métodos de ingeniería utilizados actualmente para la predicción de los consumos de energía en las edificaciones, aplican principios físicos para el cálculo de la dinámica térmica y el comportamiento de la energía en todo el edificio o de componentes de nivel inferior (sistemas y subsistemas). Estos utilizan funciones físicas precisas y la dinámica térmica para calcular con detalle, paso a paso, el consumo de energía con información del edificio y del medio ambiente, que sirven de entradas como: las condiciones climáticas externas e internas, las características constructivas, operación, programa o tasa de uso, sistemas de climatización, iluminación, entre otros. (H. X. Zhao, 2012).

Para una configuración racional con el consumo de energía del esquema de climatización se requiere realizar un análisis detallado de los perfiles térmicos demandados por la edificación, y así establecer su desempeño energético. En la actualidad el método más empleado por la comunidad científica para la determinación las necesidades anuales por refrigeración y calefacción en edificaciones es el análisis detallado, que emplea para el cálculo la función de transferencia de conducción (FTC), (Xiang Qian, 2009). Este método es el establecido para múltiples herramientas de software entre los que se destacan: EnergyPlus, Cype, DOE2, BLAST, DesignBuilder, entre otros. Con estas herramientas se ha demostrado que se pueden calcular de manera confiable y con enfoque holístico, los perfiles de consumo energético de todos los componentes que integran la edificación considerando la influencia de factores que afectan su comportamiento energético (Luo C, 2010), (Kim G, 2011).

Durante el desarrollo de la investigación se utilizó EnergyPlus V8.6, el cual emplea el método de la Función de Transferencia de Calor para la determinación de la demanda térmica en edificaciones, e incluye el método de curvas de ajustes para el modelamiento y simulación del comportamiento de las tecnologías de climatización. Considerando correlaciones detalladas de las tecnologías de climatización, para determinar parámetros que basados en procesos de optimización de múltiples variables y especificaciones de la tecnología empleada dados por los fabricantes, pueden emplearse para replicar el rendimiento de enfriadoras de agua en condiciones reales de operación, y de subsistemas asociados a la configuración de la tecnología (Tang, 2005).

La literatura reporta, el análisis comparativo realizado por (Tolga N, 2009), del rendimiento de sistemas de climatización centralizados a Volumen de Aire Variable (VAV) y enfriadora de agua

(Chiller) como unidad de generación, y un sistema de aire dedicado con una unidad de Volumen de Refrigerante Variable (VRF) destinado para un edificio de oficinas. Los resultados demostraron los beneficios energéticos del sistema VRF frente al sistema VAV, situándose en ahorros de un 32,3% a 37% para el sistema primario de generación y entre un 81,4 a 83,4% en el sistema secundario de transporte. Rahman et. al en 2010, estudió diversas medidas de ahorro de energía que combina alternativas constructivas, cargas internas, y sistemas de climatización de baja y alta eficiencia, aplicado a un edificio no residencial de mediano tamaño. Este categoriza las medidas de ahorro de acuerdo a la inversión requerida, logrando de esta forma reducir el impacto energético hasta un 41.87%, sin comprometer la ocupación y el confort interno.

Shahrestani et.al en 2013, caracterizó el comportamiento energético de diferentes sistemas y configuraciones de sistemas de climatización en un edificio ya existente, a través del uso de herramientas computacionales. Esto con el fin de establecer puntos de referencias en el rendimiento de los sistemas, considerando como criterios de decisión el consumo de energía, confort, emisiones de CO<sub>2</sub>, y la calidad del aire interno. Los resultados revelan una reducción en el consumo de energía de los equipos auxiliares del 15 a 35%, cuando se emplea un sistema de Volumen de Aire Variable frente a un sistema de volumen constante, y reducción entre el 5 y el 15% del consumo total de energía en el edificio. Así mismo, se demostró que la utilización de recuperador de calor, y uso de enfriamiento gratuito en los esquemas de climatización planteados, logran reducir el consumo final de energía por concepto de refrigeración entre un 33-65% respectivamente.

Así mismo, Hubbard en 2011 describe las ventajas comparativas de las tres configuraciones típicas para las enfriadoras de agua. La correcta selección de la configuración en el diseño de enfriadoras han demostrado potenciales de ahorros de aproximadamente un 10 % en climas subtropicales (F.W. Yu, 2007) (Wanga. F, 2015). Donde, los perfiles de cargas por refrigeración de las edificaciones se han simulado mediante herramientas de análisis detallado, permitiendo de esta forma establecer estrategias en el diseño de estos dispositivos.

El estudio que se presenta en este trabajo se centra en el análisis de tres configuraciones del sistema de bombeo que se pueden proyectar un sistema centralizado tipo Chiller. La metodología empleada posibilita verificar de forma detallada la influencia que tienen los flujos dinámicos, parámetros constructivos, cargas internas, ente otros, en la demanda energética que alcanza el sistema de climatización para un año típico de operación. Los resultados obtenidos describen el comportamiento energético el sistema de climatización provisto con enfriadora por agua (Chiller) para tres configuraciones del sistema de bombeo, diseñado para un edificio educativo.

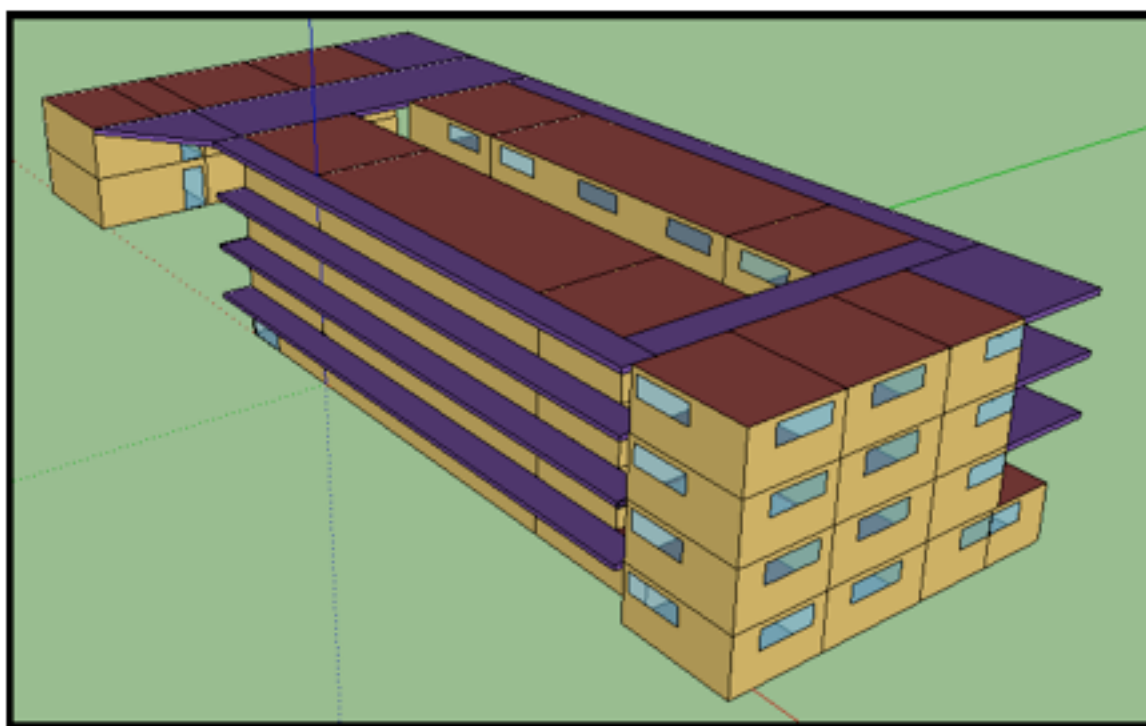
---

## **2. Metodología**

### **2.1. Descripción de la edificación.**

El edificio educativo objeto de estudio posee una superficie total de 2.695 m<sup>2</sup>, distribuidos en 8 pisos. La altura de la planta baja es de 5 m, más un plenum de 1.2 m de altura. La relación largo ancho es de aproximadamente 1,4, con proporciones de acristalamiento con respecto a la envolvente de 6,7 %, su uso corresponde a aulas de clases, oficinas y auditorios con características morfológicas como se muestra en la figura 1.

**Figura 1**  
Edificio Educativo 3D.



La tabla 1 muestra las características constructivas, localización, tipología y cargas internas dispuestas de acuerdo a la finalidad de la edificación. La envolvente (paredes externas) está compuesta por materiales que responden a la tipología típica de una construcción en la región del Caribe Colombiano.

**Tabla 1**

Características constructivas, cargas internas, y operativas del edificio educativo

Localización	Barranquilla, Colombia Latitud: 10° 59' 16" N, y Longitud: 74° 47' 20" O
Tipo de Edificio	Edificio educativo
Área por piso	2.695 m <sup>2</sup>
Número de zonas térmicas	41
Porcentaje de acristalamiento vs. Pared	6,7%
Paredes Externas	Estuco 0,025, ladrillo de 200 mm, y Yeso 0,019 (Transmitancia U=2,39 W/m <sup>2</sup> -K)
Tipo de cristal	Simple de 6 mm (Transmitancia U=5,78 W/m <sup>2</sup> -K)
Carga interna por Iluminación	12 W/m <sup>2</sup>
Carga interna por persona	12 m <sup>2</sup> /persona
Carga interna por equipos eléctricos	120 W/persona

Para las condiciones operacionales de las edificaciones, se consideran las jornadas laborales para este tipo de edificio, normalmente en operación a plena ocupación de 7:00 a.m. a 22:00 p.m. con ligeras variaciones comprendidas entre las 12:30 p.m. y 2:00 p.m. para un nivel de carga de un 80%. Los niveles de operación para la iluminación y equipos eléctricos corresponden a un 100% durante la jornada laboral, y para el resto del tiempo permanece con una carga del 20%. El archivo climático representativo para la ciudad de Barranquilla fue generado mediante el software Meteonorm, que conjuga los parámetros climáticos horarios que inciden directamente en el comportamiento térmico de la edificación para un año típico de operación.

El sistema de aire acondicionado central generalmente se proyecta considerando la carga máxima del edificio de acuerdo a las condiciones del día de diseño, por tanto, de no realizarse un diseño adecuado los equipos que lo componen no tendrán un rendimiento óptimo durante su funcionamiento (Xing Fang, 2017), (Qi Cheng, 2016). La configuración del sistema de climatización se describe en la tabla 2, donde se especifican las tres configuraciones típicas que

puede alcanzar el sistema de bombeo en enfriadoras por agua (Chiller) y el coeficiente de rendimiento (COP) de acuerdo a la tipología de la enfriadora de agua empleada para la simulación de la edificación educativa. La distribución final del sistema de climatización corresponde a unidades de tratamiento de aire (UMA) con rendimiento de los ventiladores de aproximadamente un 70%, capaces de impulsar el aire tratado a velocidad constante. La programación del encendido y apagado del equipo corresponde de 6:45 a.m. a 22:00 p.m.

**Tabla 2**

Características de la tecnología de climatización del edificio educativo

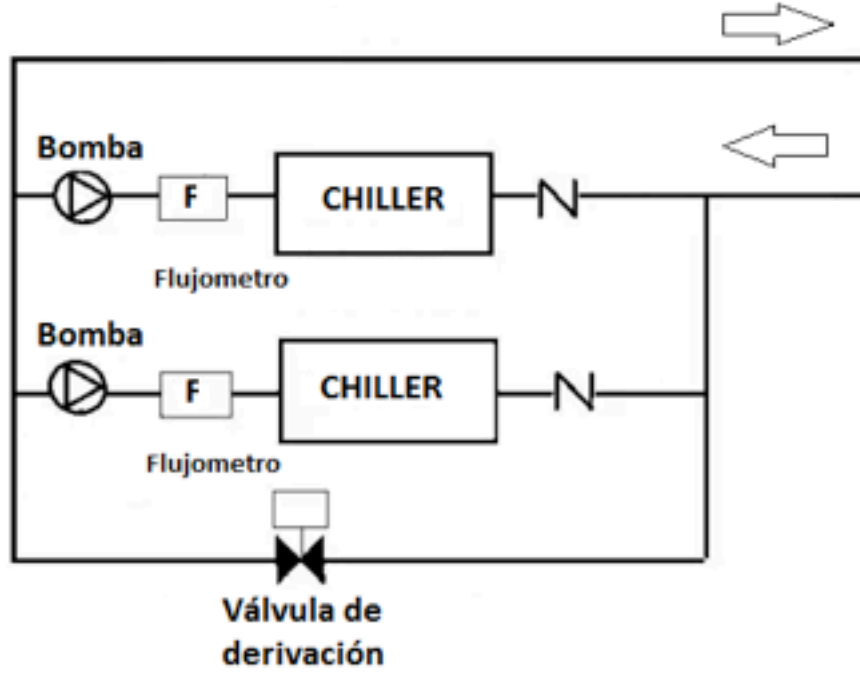
Tipo de sistema de climatización	Enfriadora de agua (Chillers), compresor Screw COP (3), condensado por agua.
Configuración del sistema de Bombeo	Primario constante, Primario Variable y Primario constante con secundario variable ver figura 1 a,b,c.

En la figura 2, se presentan las configuraciones simuladas de forma detallada, acorde a las diseñadas normalmente en el sistema de bombeo de una enfriadora de agua (Chiller) según las necesidades del edificio; la figura 2a, muestra el sistema más simple, que incluye un lazo de bombas no regulable y resulta de interés cuando se cuenta con grades requerimientos térmicos con poca variabilidad. El sistema representado en la figura 2b, incluye a diferencia del esquema anterior un sistema de control de flujo en las bombas (variador de velocidad) y una válvula de derivación capaz de garantizar el flujo de agua mínimo exigido por el fabricante a través de la enfriadora. Esta configuración permite variar el flujo que circula por la enfriadora, de acuerdo a la carga térmica exigida por los recintos a climatizar. La figura 2c, sintetiza la configuración de un sistema de bombeo para enfriadoras con dos lazos, uno primario no regulable a presión constante y un secundario a flujo variables que atiende las necesidades de la curva de demanda térmica por parte del sistema.

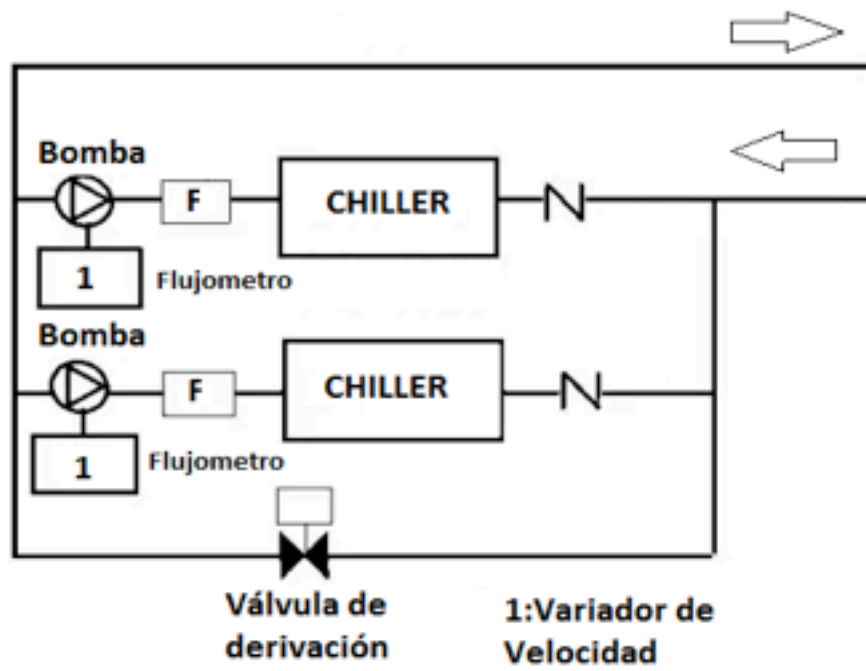
**Figura 2**

Configuración del sistema de climatización del edificio educativo.

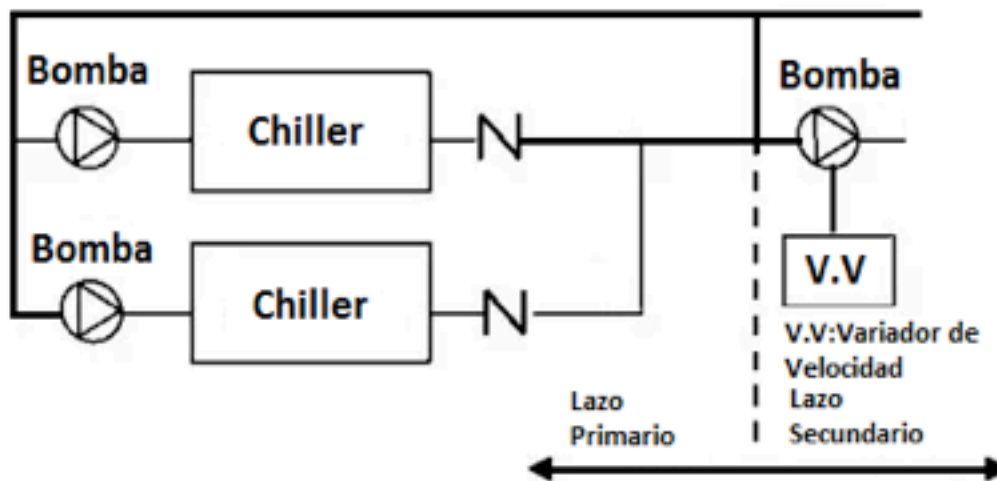
- a) Sistema simple con flujo constante
- b) Sistema con flujo variable
- c) Sistema con primario constante con secundario variable.



a)



b)



c)

## 2.2. Simulación

Son diversos los métodos que se utilizan en la actualidad para la estimación de los requerimientos energéticos en edificaciones. Estos pueden contribuir al establecimiento de datos de comportamientos de manera simples o detallada, ya sea en etapas de diseño o posteriores en las edificaciones (K.T. Papakostas, 2009).

Los métodos detallados contemplan la acción dinámica de la edificación, sistemas de climatización, y clima. Estos a su vez, consideran la capacidad de almacenamiento de energía térmica del edificio de forma transitoria al paso de flujo de calor, y que constantemente está interactuando con el resto de componentes, permitiendo un análisis minucioso de los fenómenos de transporte de calor que tiene lugar en el interior del edificio. Existen a su vez diversos métodos detallados entre los que se destacan: el método de la función de transferencia de conducción (CTF) y el método de las diferencias finitas (CondFD). (M. Qinglin, 2009), (K.W. Mui, 2007), (EnergyPlus, 2017).

El método de la función de transferencia de conducción (CTF), según (Xiang Qian, 2009), es el enfoque más utilizado en la actualidad por la comunidad científica en la solución de la conducción de calor. Asimismo, de acuerdo con (M.A. Omar, 1997), es este el procedimiento base adoptado por ASHRAE. Esto debido a la simplicidad en el modelo de naturaleza lineal, el cual representa bajos esfuerzos de cómputo. Basados en la teoría de Stephenson y Mitalas, el método CTF corresponde a una representación cerrada de la conducción a través de una serie acumulativa de calor con el tiempo. La determinación de los coeficientes de transferencia de calor (CTFs) se puede efectuar a través de diversos métodos, los cuales inicialmente resultan constantes y solo se determinan una vez para un tipo de construcción (EnergyPlus, 2017), (S.N.AL-Saadi, 2013).

La herramienta de simulación utilizada para el análisis del comportamiento energético del sistema de climatización en el edificio estudiado fue EnergyPlus V8.6, ya que es capaz de simular la combinación de varios sistemas del edificio permitiendo analizar y definir los componentes con detalle; con el propósito de representar en el modelo la mayoría de los aspectos contemplados en el diseño. El método de la Función de Transferencia de calor (CTF) es el seleccionado para realizar los cálculos. Este software, también permite cambiar los parámetros de los sistemas para diferentes temporadas y horarios, además se considera adecuado para analizar resultados con sistemas no convencionales, especialmente si se trata de grandes construcciones (Kumar V. S., 2016) (Pan Y, 2016).

## **2.3. Validación**

La predicción del uso de energía se considera satisfactoria cuando la diferencia está dentro del 5% sobre una base mensual y el 15% sobre una base diaria para cargas internas tales como iluminación, aparatos o sistema de agua caliente doméstica. Sin embargo, la diferencia aceptable puede aumentar hasta 15-25% mensual y 25-35% diariamente para la simulación de sistemas de climatización. El uso anual de energía simulada debe estar dentro del 10% de los datos medidos, mientras que una diferencia de menos del 25% es aceptable sobre una base estacional (Kaplan M, 1992). En un estudio donde se evalúan diversas medidas de conservación de energía en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado y sistemas de iluminación para un edificio institucional en clima subtropical (clima caliente y húmedo), los resultados simulados con DesignBuilder (DB) que es una de las interfaces de usuario más completas para el motor de simulación térmica dinámica EnergyPlus (EP), del consumo mensual de energía durante el año del sistema de climatización, el sistema de iluminación y el equipo de oficina se comparan con los datos medidos y se obtiene que el consumo de energía medido está dentro del 9% del consumo de energía simulado (M.M. Rahman, 2010). Por otra parte, cabe destacar que la herramienta de simulación dinámica empleada para el establecimiento de los resultados, cumple ampliamente con las exigencias impuestas por los protocolos de verificación BESTEST (Building Energy Simulation Test), y el ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs). Estos

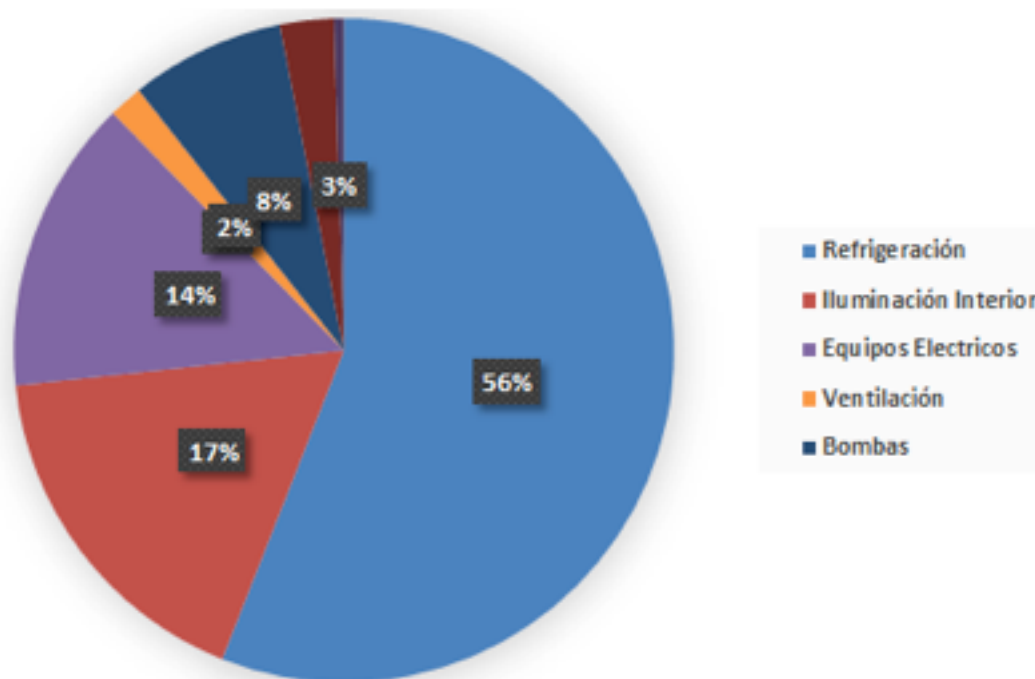


contribuyen a la validación de programas de simulación de energía en edificaciones, mediante validaciones empíricas, verificaciones analíticas y técnicas de análisis comparativos.

### 3. Resultados

En la Figura 3, se muestra el comportamiento del consumo eléctrico para los equipos de uso final de la energía integrados al edificio. Se observa, la incidencia significativa que tienen los sistemas de climatización en el consumo final de la energía con una participación del 58%, esto debido a la severidad climática donde se encuentra emplazado el edificio y las grandes cargas internas generadas en el interior.

**Figura 3**  
Distribución de los consumos finales de energía en el edificio educativo.



El análisis para las configuraciones establecidas en la simulación, presenta como resultado diferentes comportamientos del consumo anual de energía del edificio. En la tabla 3, se muestra el impacto energético total de la edificación derivado de la configuración del sistema de bombeo en las enfriadoras de agua (Chiller). En esta se destaca que la configuración de primario variable es la de mayor potencial de ahorro en la generación de frío con un 3,4%, comparado con la configuración de primario constante, y la de primario constante con secundario variable.

**Tabla 3**  
Consumo final de energía eléctrica anual del edificio educativo (kWh/m<sup>2</sup>) para las tres configuración de bombeo de agua fría.

Distribución final del sistema de Bombeo	Primario Constante	Primario Variable	Primario Constante-Secundario Variable
Consumos finales de energía Eléctrica Anual (kWh/año)	1.297.450	1.275.137	1.320.135

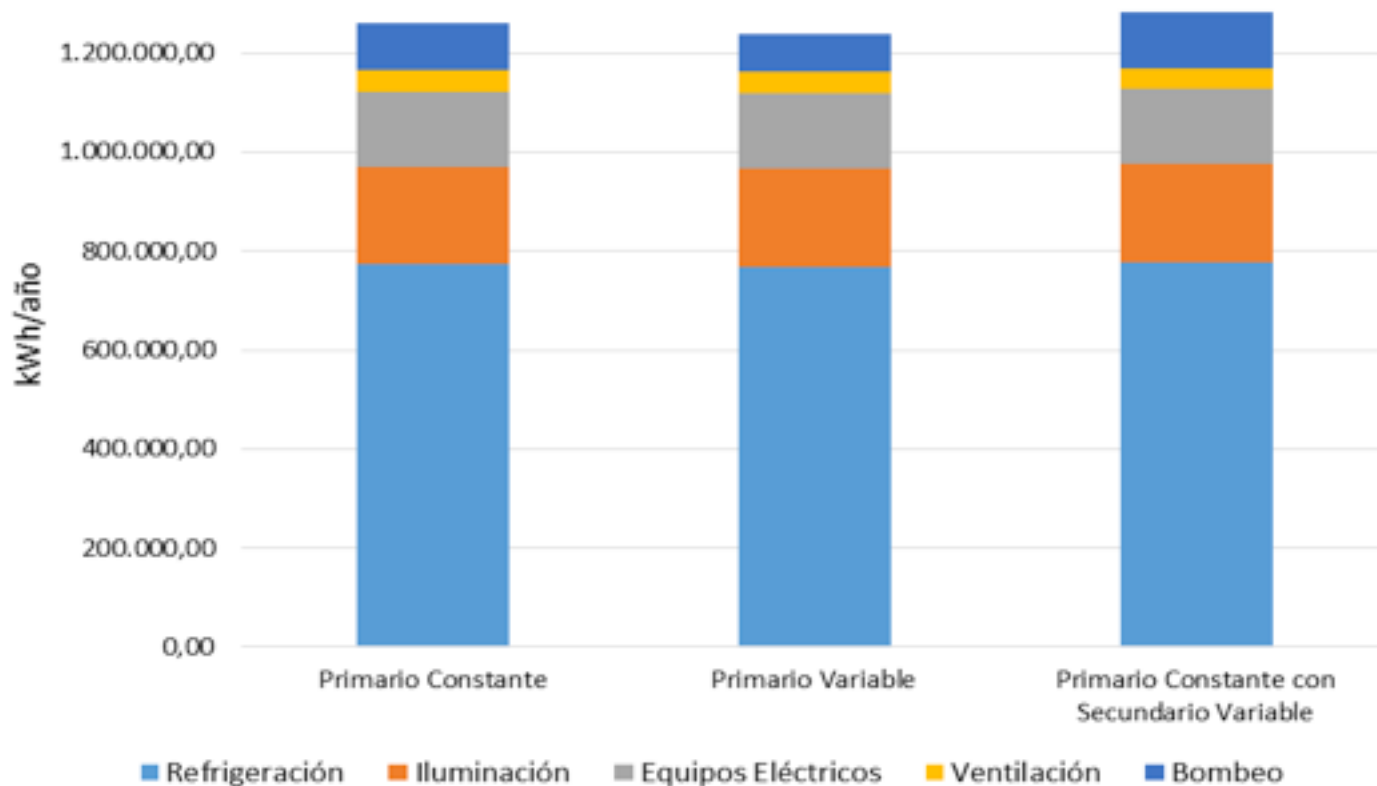
Los altos consumos generados por la configuración primario constante – secundario variable, se obtiene por la poca variabilidad en el consumo energético en la edificación. En la figura 4, se muestra la distribución final del consumo de energía eléctrica en los sistemas y subsistema en equipos de uso final de la energía, destacándose la incidencia que tiene en sistema de bombeo en el consumo final de energía eléctrica en toda la edificación. El ahorro que se obtiene del empleo de un sistema primario variable como estrategia en el diseño representa



aproximadamente un 32 %.

**Figura 4**

Uso final de la energía final eléctrica por equipos (kWh/año).



El consumo de energía global de un sistema de climatización se puede obtener sumando la energía que consumen todos los equipos que componen del sistema. Sin embargo, entre los niveles globales y equipos, se puede distinguir dos niveles adicionales: subsistemas y servicios (L. Pérez-Lombard, 2012). En la tabla 4, se observa el consumo final de energía para los subsistemas que integran el sistema de climatización. El menor consumo de energía por refrigeración se presenta en la configuración primario variable situándose en un 1% aproximadamente frente a las otras configuraciones. Esto debido a que se logra reducir el consumo de energía en el sistema de generación de frío. Aunque, se logran ahorros por concepto de generación, la efectividad deriva de los ahorros significativos alcanzado por el sistema bombeo y que logran impactar en el consumo total de energía del edificio.

**Tabla 4**

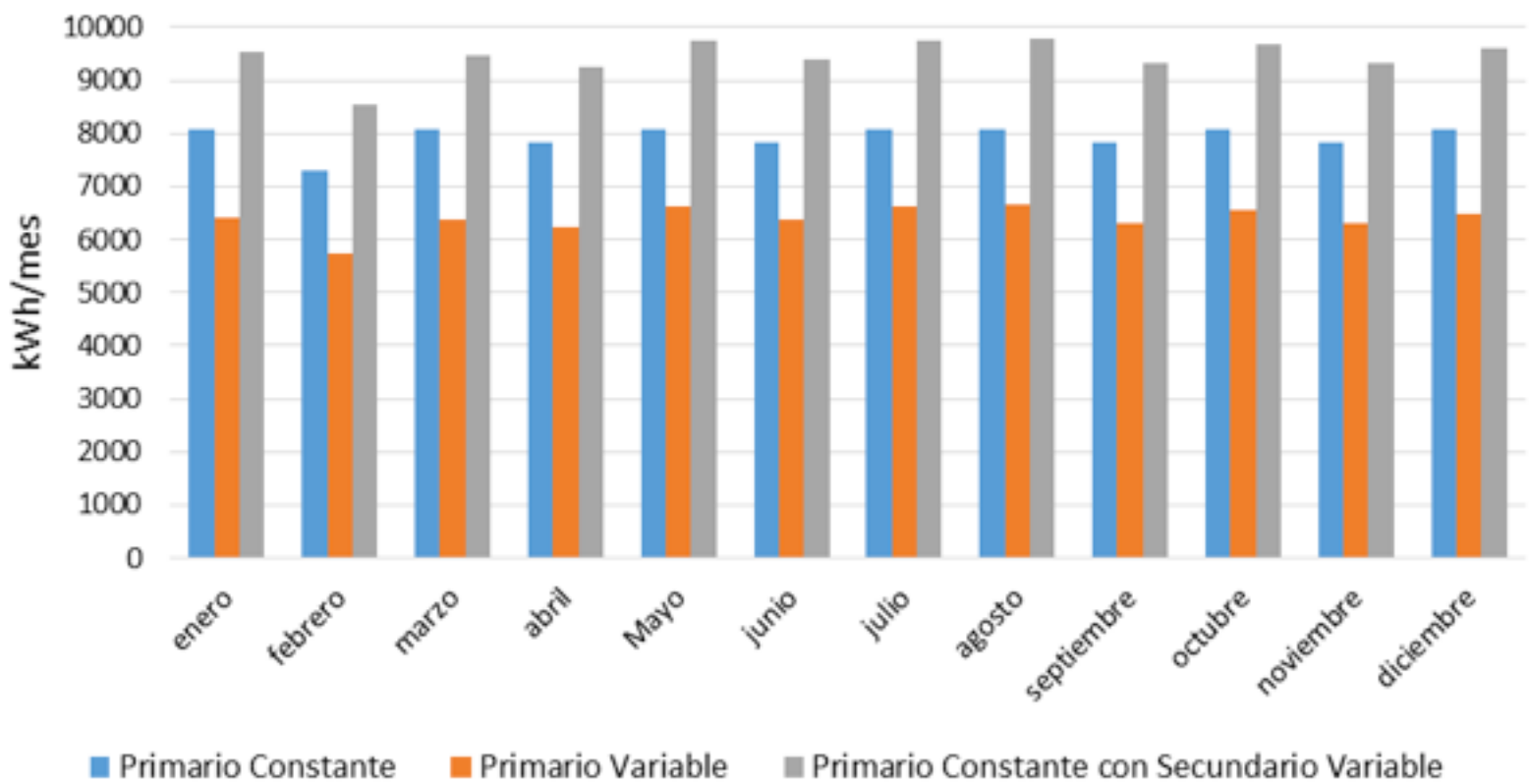
Consumo final de energía eléctrica anual por subsistemas de climatización (kWh/m<sup>2</sup>) para las tres configuraciones de bombeo de agua fría.

Subsistema de climatización	Primario Constante	Primario Variable	Primario Constante-Secundario Variable
Refrigeración	772.642	768.973	776.888
Bombeo	95.118	76.663	113.403
Ventilación	41.954	41.954	41.981

En la figura 5, se observa el comportamiento energético de los sistemas de bombeo mensual para las tres configuraciones. Este comportamiento obedece a poca variabilidad mes a mes como producto de la demanda térmica, debido al clima externo propio de una zona intertropical, cuyas variaciones no son térmicas, sino que responde a cambios a temporadas de sequias o lluvias.

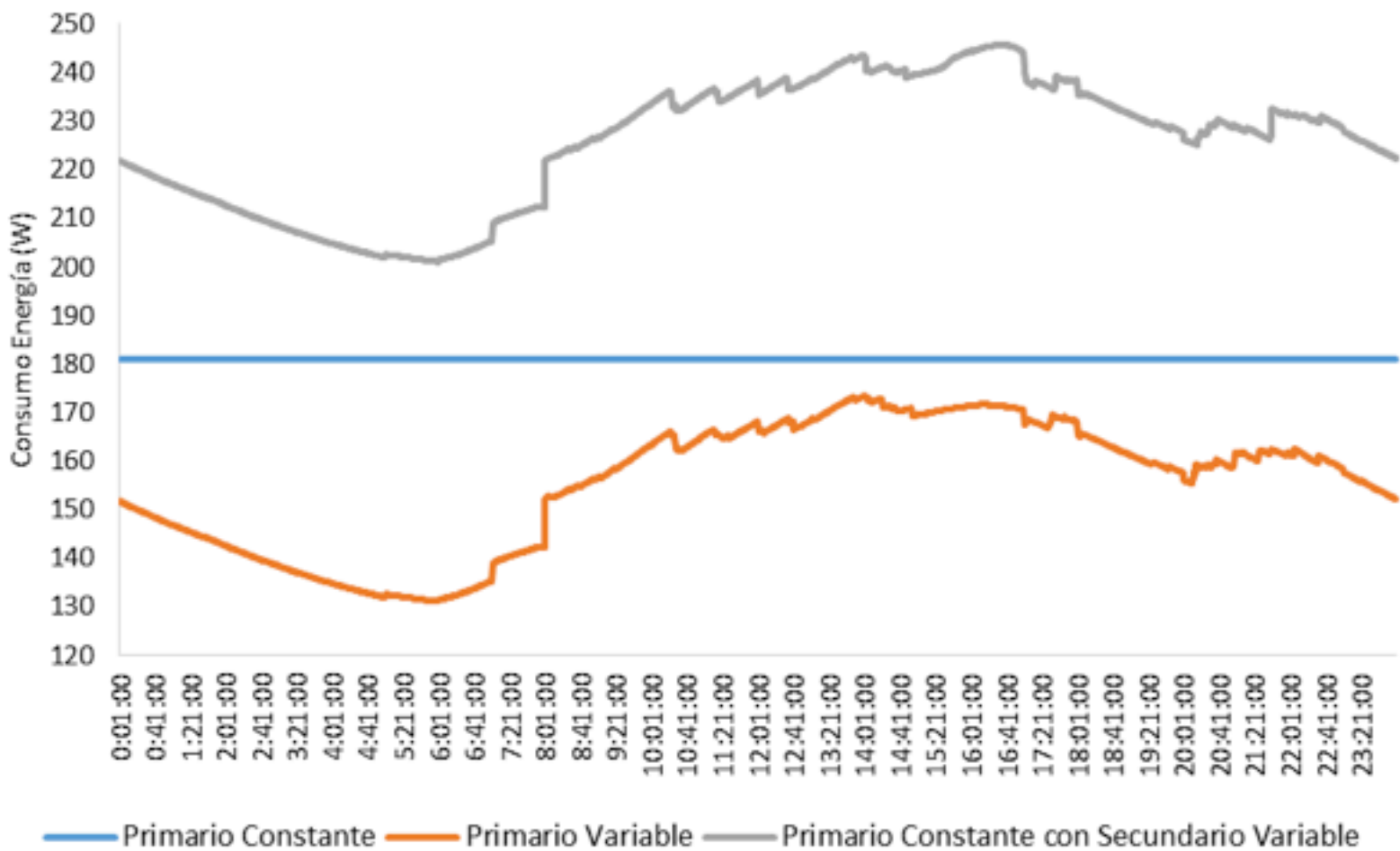
**Figura 5**

Uso final de la energía final eléctrica por bombeo (kWh/mes).



El comportamiento energético que presentan las tres configuraciones para el sistema de bombeo de la enfriadora, para pasos de tiempo de un minuto, se evidencian en la figura 6. Los valores corresponden al día de mayor demanda térmica para las condiciones climáticas de la ciudad de Barranquilla.

**Figura 6**  
Uso final de la energía eléctrica por bombeo para el día de diseño.



El sistema de bombeo configurado a modo de primario constante con secundario variable presenta el mayor pico de demanda energética con aproximadamente unos 884 MJ. Los sistemas configurados a modos de primario constante, y primario variable presentan una reducción en la demanda del 26 y el 30%, respectivamente. La alta demanda por parte del

sistema primario constante, y secundario variable corresponde al bajo factor de diversidad por parte de la edificación que no logra compensar el ahorro producto de la modulación en el sistema de bombeo en el secundario. Si bien, el sistema de control impuesto en los sistemas de bombeo es una alternativa válida en la consecución de ahorro, es la acción dinámica de la edificación la que impone el tipo de configuración más adecuada para la racionalización del consumo en el sistema de climatización.

---

## 4. Conclusiones

El empleo de la simulación dinámica de edificaciones, resulta estratégico en el análisis de medidas de ahorro de energía en las etapas tempranas de diseño de sistemas de climatización en edificaciones, así como eficaz en la verificación de estándares de eficiencia. El estudio de caso reveló la importancia en verificación y predicción del consumo de energía, considerando datos del rendimiento real de los equipos de climatización y las configuraciones básicas que se pueden alcanzar con el sistema de bombeo.

El modelado del comportamiento energético del edificio objeto de estudio y el sistema de climatización reveló potenciales de reducción del consumo energético anual en un 3,1 % y un 33,4 % por parte, del sistema de bombeo. Esto a través de determinar la mejor configuración del sistema de bombeo de agua fría para el sistema de climatización. Este enfoque permite la identificación de buenas prácticas no solo en el dimensionamiento del sistema de climatización, sino también, en la verificación de los efectos causados por el sistema de control a los equipos de bombeo de las enfriadoras de agua (Chiller). Así mismo, el análisis dinámico a las edificaciones, y configuración de los sistemas de climatización resultan decisivo en las etapas tempranas de diseño.

---

## Referencias bibliográficas

- ASHRAE. (2011). *ASHRAE Handbook-HVAC Applications (SI)*. Atlanta, USA: ASHRAE Inc.
- Balbis, M. (2010). *Caracterización energética y ahorro de energía en instituciones educativas*. Barranquilla: EduCosta.
- Cabello, J., Sousa, V., Sagastume, A., Guerra, M., Haeseldonckx, D., & Vandecasteele, C. (2016). Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. *Journal of Cleaner Production*, 803-812.
- Cheng, Q., Wang, S., & Yan, C. (2016). Robust optimal design of chilled water systems in buildings with quantified uncertainty and reliability for minimized life-cycle cost. *Energy and Buildings*, 159-169.
- Chien, T. C. (2005). *Modeling packaged heat pumps in a quasi-steady state energy simulation program*. Oklahoma.
- ENERGYPLUS. (2017). *ENERGYPLUS*. Obtenido de [https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs\\_v8.3.0/AuxiliaryPrograms.pdf](https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/AuxiliaryPrograms.pdf).
- Fang, X., Jin, X., Du, Z., Wang, Y., & Shi, W. (2017). Evaluation of the design of chilled water system based on the optimal. *Applied Thermal Engineering*, 435-448.
- H. X. Zhao, F. M. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3586-3592.
- Hubbard, R. (19 de 11 de 2015). *HPAC Engineering*. Obtenido de <http://hvac.com/november-2011-digital-edition>
- IEA. (2013). *WORLD ENERGY OUTLOOK 2013*.
- Kaplan, M., & Canner, P. (1992). Guidelines for energy simulation of commercial. . Portland. *Bonneville Power Administration*.
- Kim, G., Stumpf, A., & Kim, W. (2011). Analysis of an energy efficient building design through

data mining approach. *Automation in Construction*, 37-43.

Li, X. Q., Chena, Y., Spitler, J., & Fisher, D. (2009). Applicability of calculation methods for conduction transfer function of building constructions. *International Journal of Thermal Sciences*, 1441-1451.

Liua, Z., Tana, H., Luod, D., Yud, G., Lid, J., & Lia, Z. (2017). Optimal chiller sequencing control in an office building considering the variation of chiller maximum cooling capacity. *Energy and Buildings*, 430-442.

Luo, C., & Moghtaderi, B. (2010). Modelling of wall heat transfer using modified conduction transfer function, finite volume and complex Fourier analysis methods. *Energy and Buildings*, 605-617.

Mui, K., & Wong, L. (2007). Cooling load calculations in subtropical climate. *Building and Environment*, 42, 2498-2504.

Omar, M., AL-Rabghi, & K.AL-Johani. (1997). Utilizing transfer function method for hourly cooling load calculations. *Energy Conversion*, 38(4), 319-332.

Pan, Y., Zuo, M., & Wu, G. (2009). Whole building energy simulation and energy saving potential analysis of a large public building. *Journal of Building Performance Simulation*, 4, 37-47.

Papakostas, K., Michopoulos, A., & Kyriakis, N. (2009). Equivalent full-load hours for estimating heating and cooling energy requirements in buildings: Greece case study. *Applied Energy*, 86, 757-761.

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Maestre, I. R., & Coronel, J. F. (2012). Constructing HVAC energy efficiency indicators. *Energy and Buildings*, 619-629.

Qinglin, M., Jiejing, C., Hiroshi, Y., & M, M. A. (2009). Applying support vector machine to predict hourly cooling load in the building. *Applied Energy*, 86, 2249-2256.

Rahman, M., Rasul, M., & Khan, M. (2010). Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. *Applied Energy*, 2994-3004.

S.N.AL-Saadi, & Z.Zhai. (2013). Modeling phase change materials embedded in building enclosure: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 659-673.

Shahrestani, M. A., Yao, R., & K.Cook, G. (2013). Characterising the energy performance of centralised HVAC&R systems in the UK. *Energy and Buildings*, 239-247.

Tolga, N., Yunho, H., & Reinhard, R. (2009). Simulation comparison of VAV and VRF air conditioning systems in an existing building for the cooling season. *Energy and Buildings*, 1143-1150.

V.S.K.V.Harish, & Kumar, A. (2016). A review on modeling and simulation of building energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1272-1292.

Wanga., F., Linb., H., Tub., W., Wanga., Y., & Huanga., Y. (2015). Energy Modeling and Chillers Sizing of HVAC System for a Hotel Building. *Procedia Engineering*, 1812-1818.

Yu, F. W., & Chan, K. T. (2005). Energy signatures for assessing the energy performance of chillers. *Energy and Buildings*, 739-746.

Yu, F., & Chan, K. (2007). Part load performance of air-cooled centrifugal chillers with variable speed condenser fan control. *Building and Environment*, 3816-3829.

Zhao, H. X., & Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3586-3592.

---

1. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: [mbalbis1@cuc.edu.co](mailto:mbalbis1@cuc.edu.co)

2. Grupo Interdisciplinario de Investigación en Energía y Medio Ambiente (GIIMA), Universidad Autónoma del Caribe, Email: [ivan.tovar@uac.edu.co](mailto:ivan.tovar@uac.edu.co)

3. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: [jcastro34@cuc.edu.co](mailto:jcastro34@cuc.edu.co)

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 58) Año 2017

[Index]

[En caso de encontrar un error en esta página notificar a [webmaster](#)]

©2017. revistaESPACIOS.com • ®Derechos Reservados