

Comparación del consumo energético entre las tecnologías de aire acondicionado tipo mini-split y volumen de refrigerante variable en un edificio educativo

Energy consumption comparison between air conditioning system Mini-Split and Variable Refrigerant Flow in an educational building

Martín BARROS-ALVAREZ [1](#); Milen BALBIS-MOREJON [2](#); Ivan TOVAR-OSPINO [3](#); Juan José CASTRO-PEÑA [4](#); Lina de LEON-SIADO [5](#); Jorge Iván SILVA-ORTEGA [6](#); Dora Edith ROSALES VILLA [7](#)

Recibido: 02/05/2017 • Aprobado: 30/05/2017

Contenido

- [1. Introducción](#)
 - [2. Metodología](#)
 - [3. Resultados](#)
 - [4. Conclusiones](#)
 - [5. Agradecimientos](#)
- [Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

Este estudio compara el comportamiento del consumo energético para dos tecnologías diferentes de climatización al interior del laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad de la Costa CUC. Durante el desarrollo de esta investigación se caracterizó el recinto y se identificaron los equipos con consumo significativo, destacándose el sistema de climatización como el de mayor consumo de energía. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una comparación del consumo energético entre el sistema de climatización (tipo mini Split) con un sistema de volumen de refrigerante variable (VRF), considerando las mismas condiciones de carga interna y externas asociadas al estudio de

ABSTRACT:

In this Study the behavior of energy consumption for two different air conditioning technologies into the Electrical Machines Laboratory at Universidad de la Costa CUC was compared. During this investigation the building was assessed, and the equipments with significant energy consumption were identified, realizing the climate system being the highest one. Considering the above, a comparison of energy consumption was made between mini-split technology with a system of variable refrigerant volume (VRF), using the same internal and external conditions associated to the study of educational buildings. This comparison was carried out by measuring active electric power and energy

edificaciones educativas. Esta comparación se llevó a cabo realizando mediciones de potencia eléctrica activa y consumo de energía del sistema actual durante un período de una semana típica de operación. Estos resultados se compararon por medio del modelamiento y simulación dinámica del desempeño energético del recinto, mediante el empleo del software EnergyPlus (E+) como herramienta predictiva y con asignación de la tecnología de acondicionamiento de aire tipo VRF. Los resultados de esta simulación evidenciaron el potencial de ahorro del 30% ante esta variación tecnológica.

Palabras claves Consumo energético, eficiencia energética, Volumen de Refrigerante Variable (VRF), edificaciones educativas, simulación dinámica

consumption of the current system during a typical operational week. Those results were compared by modeling and dynamic simulation of the building energy performance, making use of Energy Plus software (E+) as a prediction tool and assigning VRF as climate system technology. As a result, the potential savings of this technological change was estimated around 30%.
Key words Energy consumption, energy efficiency, variable refrigerant volume (VRF), educational buildings, dynamic simulation.

1. Introducción

Una de las principales medidas para mitigar los impactos que produce la energía no aprovechada consiste en la disminución de la demanda energética, lo cual se refleja en una menor cantidad de energía primaria requerida y por ende menor costos por recursos (Zhao & Magoulès, 2012).

A nivel nacional, el uso de aire acondicionado representa el 22,8% del consumo total de energía eléctrica en el sector terciario. Sin embargo, en zonas cálidas se encuentra que las tecnologías de climatización representan el mayor porcentaje del consumo de energía eléctrica en la mayoría de los subsectores del sector terciario como es el caso de la ciudad de Barranquilla (UPME, 2007)

El subsector de las Instituciones de educación se caracteriza por tener altos consumos de energía, debido a que se presenta un uso inadecuado de los equipos eléctricos disponibles y necesarios para las actividades diarias como se evidencia en (Balbis, 2009), donde se realiza una evaluación energética en edificaciones educativas. En (Balbis, 2010) se presentan los resultados consolidados de los consumos y usos inadecuados. Basado en lo anterior, se evidencia que se requieren el establecimiento de medidas que contribuyan a disminuir el consumo energético por parte de equipos de climatización.

En la edificación objeto de estudio, el sistema instalado de acondicionamiento de aire es del tipo Mini-Split, el cual pertenece a los sistemas de expansión directa convencionales (Barroso & Toapanta, 2002). Actualmente estos equipos son muy utilizados en colegios y universidades de la ciudad de Barranquilla debido a su fácil, cómoda y económica instalación y sobre todo la amplia comercialización de estos en el mercado (UPME, 2015).

Mediante diversos estudios comparativos, se ha demostrado que uno de los sistemas más eficientes en la actualidad están basados en la tecnología de Volumen de Refrigerante Variable (VRV o VRF del inglés *Variable Refrigerant Flow*) (Aynur, Hwang, & Radermacher, 2009; Guerra Samadiego, 2013; Liu, Xin, Wang, & Gan, 2015; Yu, Yan, Sun, Hong, & Zhu, 2016). Estos sistemas tienen la capacidad de variar el caudal de refrigerante aportado a las baterías de evaporación-condensación, controlando de forma eficiente las condiciones de temperatura de los locales a climatizar (Aynur et al., 2009; Zhu, Jin, Du, Fan, & Fang, 2014).

Existen estudios comparativos que tienen en cuenta los sistemas Mini-Split y los VRF, que realizan la validación de los resultados obtenidos mediante la aplicación herramientas computacionales. Dentro de los trabajos recientes se destaca el de (Navarro, 2014), en donde se realizó un análisis comparativo entre un sistema VRF y un sistema de expansión directa convencional, en el cual se encontró que el VRF es 12% más eficiente que el de expansión directa. Sin embargo, este estudio no tuvo ninguna validación con mediciones en condiciones reales.

Para su desarrollo se toman como base los lineamientos establecidos por la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) (Wessel et al., 2001) y el

reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)(Ministerio de Minas y Energía, 2010), para calcular la carga térmica presente en el recinto y los niveles de iluminación instalados, verificándose que los equipos instalados en ambos sistemas cumplan con ello; por medio de la caracterización energética del recinto, se identifica el sistema de mayor consumo para su estudio y predicción del potencial de ahorro que se obtendría con un cambio de tecnología; El potencial de ahorro se determina por medio del modelamiento y simulación del recinto con el uso de la nueva tecnología seleccionada, en este caso el VRF.

2. Metodología

Para desarrollar este trabajo de investigación, en primera instancia se realizó un censo de carga eléctrica de los equipos y sistemas instalados en el laboratorio, dentro de los cuales se tuvieron en cuenta: sistema de iluminación general (interior y exterior), sistema de aire acondicionado y la conformación de equipos en las mesas de trabajo (motores eléctricos de prueba, transformadores eléctricos, computadores). El total de la potencia eléctrica instalada se resume en la Tabla 1 .

Tabla 1 . Censo de potencia eléctrica instalada.

Cargas	Potencia kW
Iluminación Interior	1,025
Iluminación exterior	0,064
Aire Acondicionado	3,650
Mesas de Trabajo	6,154
Total	10,894

Fuente: Elaboración Propia

Para llevar a cabo un análisis en términos de consumo eléctrico, es importante tener en cuenta el factor de uso de cada uno de los equipos, sistemas y el factor de ocupación del recinto, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 2 .

Tabla 2 . Cronograma de uso de los sistemas más relevantes de la edificación.

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Luminarias	7:00-12:00 14:00-21:00	7:00-12:00 14:00-20:40	7:00-12:00 14:00-20:40	6:00-12:00 14:00-20:00	7:00-12:00 14:00-20:40	6:30-12:30 13:00-17:30
Aire Acondicionado	7:00-12:00 14:00-20:30	7:00-12:00 14:00-20:40	7:00-12:00 14:00-20:40	6:00-12:00 14:00-20:00	7:00-12:00 14:00-20:00	6:30-12:30 13:00-17:30
Ocupación por 22 personas	8:30-10:30 16:30-20:30	8:30-10:30 14:00-20:40	10:30-12:00 16:30-20:40	10:30-12:00 14:30-20:00	7:00-10:30 14:00-20:00	8:30-12:30 14:00-15:30

Fuente: Elaboración Propia

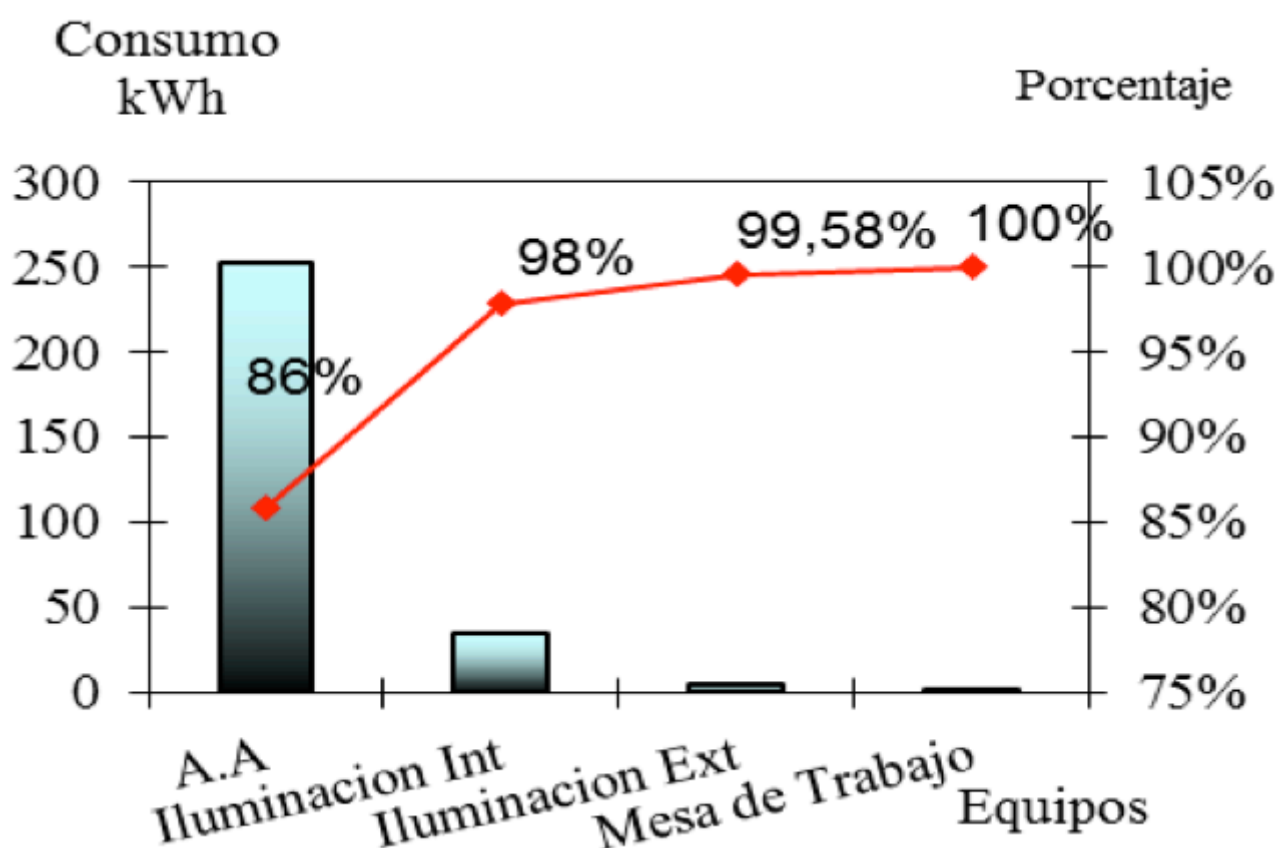
El comportamiento del sistema de iluminación corresponde a una carga constante y su consumo

está relacionado con el horario de encendido y apagado de las mismas. Las luminarias son encendidas y apagadas en su totalidad, por medio de dos circuitos de 8 lámparas internas cada una, y en un circuito se encuentran las luces externas que corresponden a una lámpara única de 2x32W.

El uso de los motores en las mesas de trabajo, al ser un laboratorio de prácticas no es constante y es de corta duración. El tiempo de uso puede oscilar de 1 a 2 horas durante la semana según el seguimiento realizado.

Con el análisis inicial realizado de cargas eléctricas, se llevó a cabo un diagrama de Pareto para la identificación de los equipos críticos de consumo, teniendo en cuenta el factor de uso de cada equipo instalado y de ocupación en una semana típica (Tabla 2). Los resultados son expuestos en la Gráfica 1 , donde se evidencia que el sistema de aire acondicionado representa el 86% del consumo total del recinto.

Figura 1. Diagrama de Pareto en edificio de laboratorio.



Fuente: Propia

Por otra parte, para llevar a cabo un análisis de carga térmica, se verificó la correcta selección del sistema de aire acondicionado siguiendo las recomendaciones de la ASHRAE destinadas a determinar los requerimientos de carga térmica del laboratorio, la cual está sujeta a condiciones internas y externas del recinto, tales como: ubicación geográfica, temperatura ambiente, número de personas en su interior, tipos y número de equipos instalados, entre otras (Wessel et al., 2001). Los lineamientos de la ASHRAE contemplan las características constructivas del recinto, los equipos instalados, el número de personas, la temperatura y humedad en su interior para obtener condiciones de confort, entre otras; se determina la carga térmica usando el método de cálculo de Cargas por Temperatura Diferencial (CLTD por sus siglas en ingles *Cooling Load Temperature Difference*), el cual es ampliamente utilizado en estudios de transferencia de calor (Adil Zainal & Yumrutaş, 2015; Bansal, Chowdhury, & Gopal, 2008; Elhelw, 2016; Suziyana, Nina, Yusof, & Basirul, 2013). Como se observa en la Tabla 3 .

Tabla 3 . Carga térmica total del laboratorio (por envolvente y otras cargas).

Ítem	Carga térmica parcial (BTU/h)

Paredes	1367,16
Divisiones	1162,84
Ventanas	634,47
Puertas	10174,91
Techo	8632,61
Personas	4190,33
Iluminación	348,61
Motores	989,50
Equipos de oficina	651,57
Filtraciones	651,57
Carga total:	28803,57

Fuente: Elaboración Propia

En esta medida, se tiene en cuenta la capacidad de refrigeración nominal del sistema de aire acondicionado instalado en el laboratorio, la cual se encuentra detallada en la Tabla 4.

Tabla 4 . Especificaciones técnicas del equipo de aire acondicionado instalado.

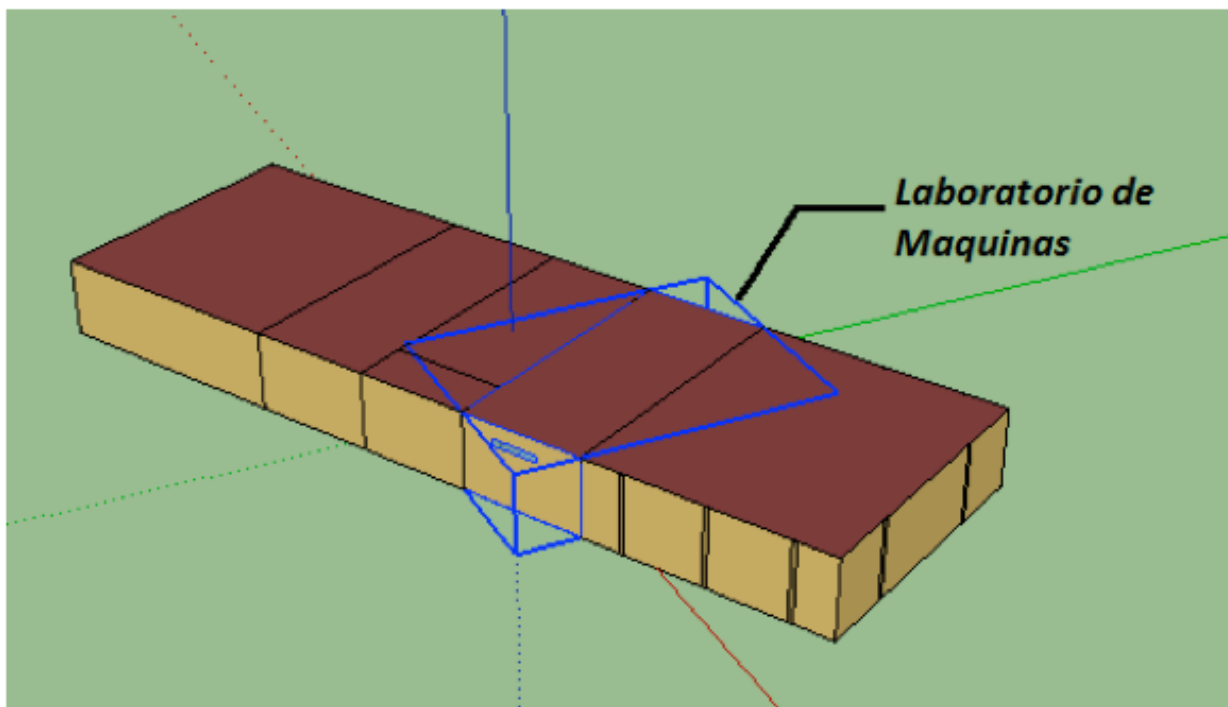
Tensión Nominal	208/230 V	
Capacidad nominal	7400-36000 BTU/h	410-3800 W

Fuente: Elaboración Propia

Observando la carga térmica total del laboratorio (Tabla 3) y las especificaciones técnicas del equipo de aire acondicionado instalado (Tabla 4), se evidencia que este se encuentra dimensionado correctamente en cuanto a la capacidad de refrigeración requerida. Sin embargo, es posible disminuir el consumo de energía eléctrica, por lo cual se proyecta la instalación de un sistema VRF que puede brindar un mayor ahorro energético en comparación con el sistema Mini-Split instalado.

Por otra parte, para llevar a cabo la predicción del potencial de ahorro energético al modificar el tipo del sistema de aire acondicionado, se realizó la simulación por medio del software EnergyPlus del recinto y sus sistemas. Como primera medida, se modeló en 3D la estructura física del recinto usando la herramienta SketchUp (Figura 2). Seguidamente, se utilizó como motor de cálculo el software EnergyPlus para simular el consumo energético teniendo como tecnología de acondicionamiento de aire el sistema VRF. Esto con el objetivo de obtener el porcentaje de ahorro en términos de consumo, en comparación con el sistema Mini-Split.

Figura 2 . Modelamiento Laboratorio Sketch Up.



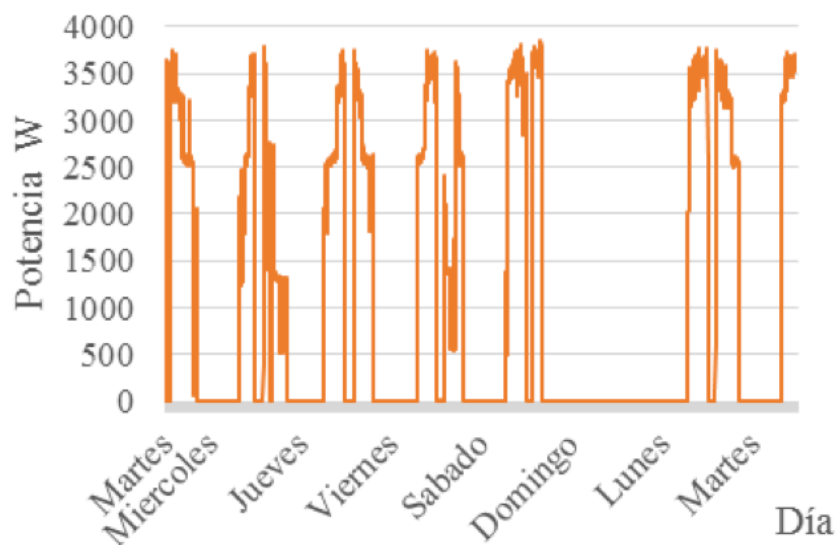
Fuente: Elaboración Propia

3. Resultados

La Figura 3 y la Figura 4 representan el consumo de energía eléctrica de los sistemas Mini-Split y VRF respectivamente. Una de las diferencias que se pueden observar es que el pico de consumo de energía por parte del equipo VRF es de 2641 W, mientras que el sistema Mini-Split presenta un pico de consumo de 3850 W.

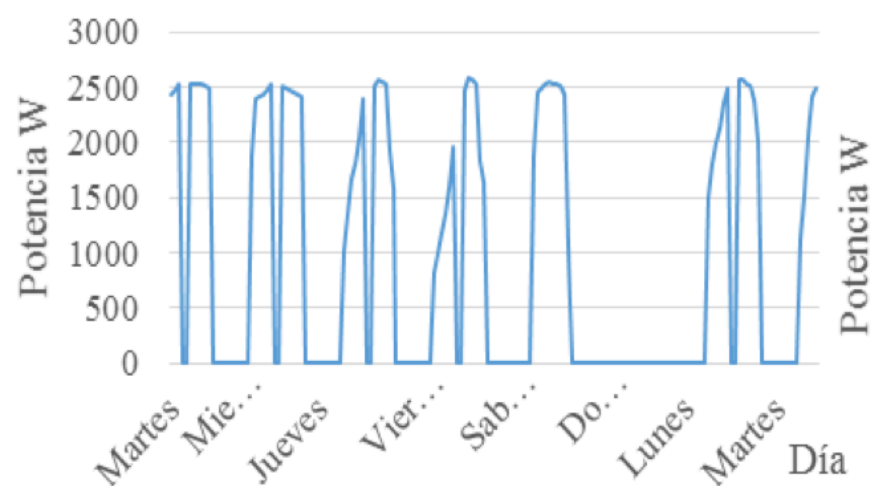
Además, se evidencia que el comportamiento del consumo del equipo Mini-Split presenta mayor frecuencia de picos, debido al apagado y encendido de la maquina condensadora. Este fenómeno no es evidenciado en el comportamiento del consumo del sistema VRF, dado que este tipo de tecnología cuenta con un variador de frecuencia que ajusta la velocidad del motor del compresor a los requerimientos de carga térmica del recinto.

Figura 3. Potencia medida en tecnología Mini-Split



Fuente: Elaboración Propia

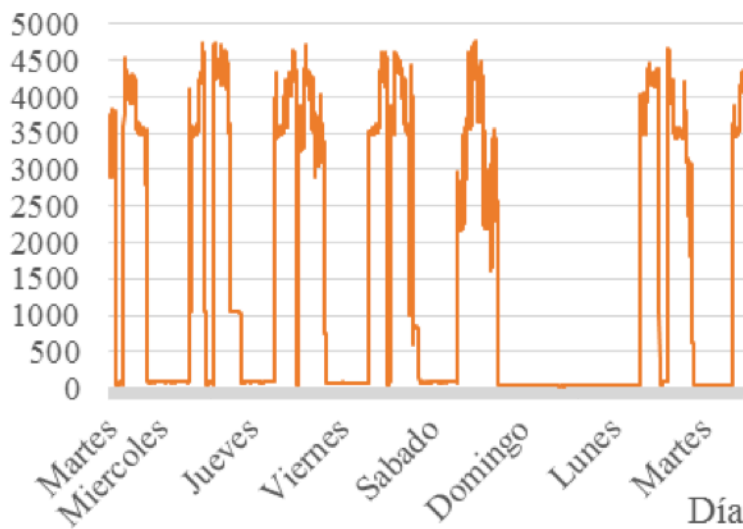
Figura 4. Potencia VRF mediante E+



Fuente: Elaboración Propia

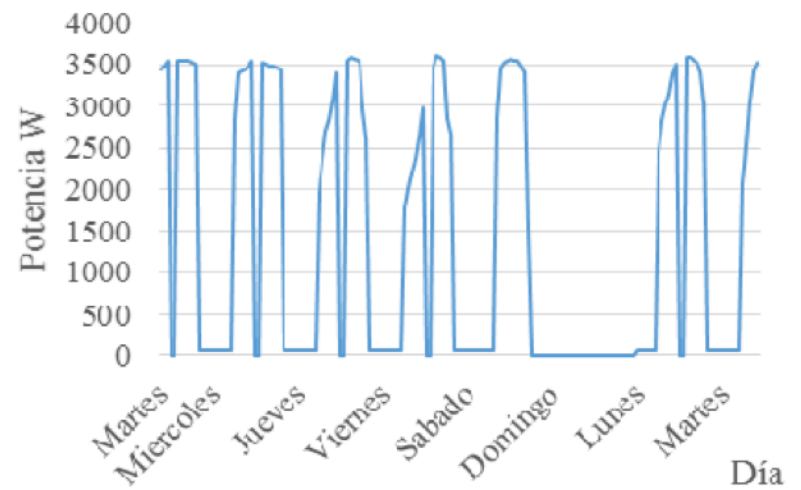
El consumo general del laboratorio se ve afectado como se observa en los datos medidos para el sistema instalado (grafica 4) y el comportamiento simulado por el E+ (grafica 5).

Figura 5. Potencia total del recinto medida en tecnología MINI-SPLIT



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6. Potencia total del recinto con VRF simulada con E+



Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos durante la simulación son comparados con los obtenidos por medio de las mediciones de energía eléctrica registradas en el recinto, obteniendo las siguientes diferencias (véase Tabla 5).

Tabla 5. Cuadro comparativo consumos máximos.

Consumo Máximo (W)			
Sistema	Medición (Mini-Split)	Energy Plus (VRF)	Ahorro
Aire acondicionado	3850	2691	30%
Totalizador	4780	3712,6	23%

Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en las mediciones y simulaciones, se lograron obtener datos que muestran el comportamiento del consumo de las dos tecnologías comparadas en este documento. En primera instancia se tiene que mediante la aplicación de la metodología ASHRAE para la verificación de la carga térmica actual, se pudo establecer que el sistema de climatización se encuentra dimensionado de forma correcta, por lo que responde a las necesidades de confort del recinto, sin embargo, es posible reemplazarlo por tecnología de mayor eficiencia seleccionando el VRF, para el estudio comparativo.

Como resultado de la simulación realizada utilizando el software Energy Plus, se predijo el consumo de energía teórico debido a la utilización de un sistema VRF en el mismo laboratorio. Determinándose para una semana típica que el potencial de ahorro obtenido por cambio de tecnología es del 30%, resultando en una disminución del 26% de consumo en el sistema.

Por otra parte, se observó que el comportamiento del consumo del sistema VRF no presento una alta frecuencia en los picos de consumos generados por el apagado y encendido de la maquina condensadora; hace que el comportamiento sea más estable y eficiente en comparación con la otra tecnología tratada en este estudio.

Los resultados de consumo energético de este estudio pueden ser usados en un futuro como

base para una validación experimental ante mediciones reales tomadas después de la instalación de este nuevo sistema de acondicionamiento VRF en el mismo recinto.

Este trabajo apunta hacia nuevas herramientas que permitan establecer una relación entre confort y tecnología VRF. Como futuros trabajos se proyecta el desarrollo de la instalación de un equipo basado en tecnología VRF para validar los resultados obtenidos durante la simulación, contribuyendo a nuevas herramientas para la etapa de diseño de sistemas de climatización y su inclusión en climas tropicales cálidos.

5. Agradecimientos

El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS), mediante la convocatoria 543 apoya el programa de "Consolidación de la red de conocimiento en eficiencia energética y su impacto en el sector productivo bajo estándares internacionales". Este artículo es desarrollado como resultado de la investigación dentro del proyecto titulado "Diseño desarrollo y validación de un modelo de gestión energética de sistemas de climatización de edificaciones en el sector terciario de la Región Caribe colombiana para la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad".

Referencias bibliográficas

- Adil Zainal, O., & Yumrutaş, R. (2015). Validation of periodic solution for computing CLTD (cooling load temperature difference) values for building walls and flat roofs. *Energy*, 82, 758–768. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.088>
- Aynur, T. N., Hwang, Y., & Radermacher, R. (2009). Simulation comparison of VAV and VRF air conditioning systems in an existing building for the cooling season. *Energy and Buildings*, 41(11), 1143–1150. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.05.011>
- Balbis, M. (2009). Metodología de Caracterización Energética para Instituciones Educativas. *IngeCuc*, 5, 101–114.
- Balbis, M. (2010). *Caracterización energética y ahorro de energía en instituciones educativas* (1st ed.). Barranquilla: EduCosta.
- Bansal, K., Chowdhury, S., & Gopal, M. R. (2008). Development of CLTD values for buildings located in Kolkata, India. *Applied Thermal Engineering*, 28(10), 1127–1137. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.08.005>
- Barrroso, H., & Toapanta, A. (2002). *Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un módulo de aire acondicionado para el laboratorio de refrigeración*.
- Elhelw, M. (2016). Analysis of energy management for heating, ventilating and air-conditioning systems. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 811–818. <http://doi.org/10.1016/j.aej.2016.01.034>
- Guerra Samadiego, B. (2013). *Diseño de un sistema de aire acondicionado con sistemas de volumen de refrigerante variable*. Escuela politécnica nacional.
- Liu, Y., Xin, H., Wang, Z., & Gan, D. (2015). Control of virtual power plant in microgrids: a coordinated approach based on photovoltaic systems and controllable loads. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(10), 921–928. <http://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.0392>
- Ministerio de Minas y Energía. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) (2010).
- Navarro, N. (2014). *Estudio comparativo de una instalación de aire acondicionado con sistema de volumen de refrigerante variable (V.R.V.) respecto al sistema de expansión directa convencional*. Universitat politecnica de catalunya.
- Suziyana, M. D., Nina, S. N., Yusof, T. M., & Basirul, A. A. S. (2013). Analysis of Heat Gain in Computer Laboratory and Excellent Centre by using CLTD/CLF/SCL Method. *Procedia*

Engineering, 53, 655–664. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.085>

UPME. (2007). *Caracterización energética de los sectores residencial, comercial y terciario*. Bogotá.

UPME. (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2015*. Bogotá.

Wessel, D., Reeves, G., Kohloss, F., Rock, B., Underwood, D., & Woodford, M. ASHRAE Handbook (2001).

Yu, X., Yan, D., Sun, K., Hong, T., & Zhu, D. (2016). Comparative study of the cooling energy performance of variable refrigerant flow systems and variable air volume systems in office buildings. *Applied Energy*, 183, 725–736. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.033>

Zhao, H., & Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3586–3592. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049>

Zhu, Y., Jin, X., Du, Z., Fan, B., & Fang, X. (2014). Simulation of variable refrigerant flow air conditioning system in heating mode combined with outdoor air processing unit. *Energy and Buildings*, 68, 571–579. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.042>

-
1. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: mbarros2@cuc.edu.co
 2. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: Mbalbis1@cuc.edu.co
 3. Grupo Interdisciplinario de Investigación en Energía y Medio Ambiente (GIIMA), Universidad Autónoma del Caribe, Email: ivan.tovar@uac.edu.co
 4. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: Jcastro34@cuc.edu.co
 5. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: Ldeleon2@cuc.edu.co
 6. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: jsilva6@cuc.edu.co
 7. Grupo de investigación en optimización energética (GIOPEN), Universidad de la Costa, Email: drosales2@cuc.edu.co
-

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 43) Año 2017
Indexada en Scopus, Google Scholar

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados