



Monitoreo y Control de los Aires acondicionados de la Biblioteca “P. Florentino Idoate, S.J”.

Figuroa, V., García, M., Padilla, J.

Departamento de Electrónica e Informática, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA)

jfiguroa@uca.edu.sv

Abstract— Este proyecto consiste en la implementación de una nueva plataforma para el monitoreo y control del sistema de aire acondicionado de la Biblioteca “P. Florentino Idoate, S.J”, en la UCA. El Objetivo se basa en controlar la temperatura de la primera planta de la Biblioteca, garantizando que los usuarios y trabajadores pueden percibir comodidad a la hora de realizar sus actividades; además, otra de las consideraciones trata sobre desarrollar un control que reduzca el consumo energético del edificio. Para la implementación, se construyó primeramente un modelo a pequeña escala, utilizando la plataforma LabVIEW; y una vez adecuada la topología y programación del control se procede a ejecutarlo en el controlador lógico programable dispuesto en las instalaciones de la Biblioteca.

La topología y programación se basan en un control de temperatura zonificado, en donde se trata de controlar el sistema a partir de las temperaturas promedios de cada zona; y de otras comparaciones de sobrepaso de temperatura (histéresis) y de tiempo contempladas a la hora de la operación de los equipos.

Palabras claves— Aire acondicionado, confort, control, temperatura.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la comodidad en los recintos o edificios climatizados con aire acondicionado, en es de mucha importancia; puesto que las personas realizan sus actividades de una mejor manera al percibir un mayor agrado en el ambiente que los rodea. En ese sentido es fundamental considerar, para efectos de implementación de sistemas de aire acondicionado, una correcta instalación mecánica de los equipos y un adecuado control que garantice la optimización de dicho sistema. [1]

En el marco de la importancia de la optimización de los sistemas de aire acondicionado se vuelve necesaria la ejecución de estudios sobre los aspectos técnicos, la utilización y funcionamiento de la tradicional y nueva tecnología que apoya la operación del sistema de aire acondicionado que se encuentran distribuidos en los edificios; orientados hacia el funcionamiento zonificado y el ahorro energético.

El presente trabajo de investigación describe una propuesta de solución para la mejora del confort y la optimización del



funcionamiento del sistema de aire acondicionado que se encuentra instalado en la primera planta de la Biblioteca “Florentino Idoate, S.J” de la Universidad Centroamérica “José Simeón Cañas”. Este documento cuenta con siete capítulos que describen todo el trabajo realizado, respecto a la implementación de dicha propuesta, entre los meses de marzo y agosto del 2014.

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El actual sistema de este edificio es del tipo CAV (Volumen de aire constante). El control de la temperatura, en las diferentes zonas de la biblioteca, se maneja por medio un funcionamiento ON/OFF en los compresores; de modo que, a través de los termostatos distribuidos en cada uno de los niveles de la Biblioteca, es posible registrar la temperatura en los diferentes puntos de referencia. Cada equipo de aire acondicionado tiene un ventilador que genera la circulación del flujo de aire frío dentro del edificio a través de una red de tubería de distribución.

Los sistemas del tipo CAV bombean un flujo constante de aire a cada habitación. Los cambios de temperatura se efectúan calentando o enfriando el aire. Con frecuencia, estos sistemas mezclan un porcentaje de aire exterior con el aire interior reciclado [2]. Y, por otro lado un control ON/OFF es un funcionamiento, elemento, equipo o componente que está sujeto al control puede ser posicionado solamente en una condición máxima o mínima, encendido o apagado. [3]

El problema se describe en base a que actualmente ya existe una instalación de control optimizado para el sistema de aire acondicionado (implementado en investigaciones anteriores); sin embargo dicho control no funciona de manera correcta, puesto que en las distintas zonas de los niveles siguen percibiéndose diferentes temperaturas; en algunas muy bajas y en otras muy elevadas, no manteniéndose entre 21 °C y 23 °C, que es lo que establece la Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE) como rango para tener una temperatura cómoda de trabajo [4]

III. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realiza con el fin de lograr un cambio eficiente en la climatización, para este caso, de la primera planta de la biblioteca; que satisfaga los requerimientos mínimos de confort para los trabajadores y usuarios.

Que a la vez se garantice un correcto monitoreo del funcionamiento de los aires acondicionados, por medio de la plataforma Insight de Siemens, para poder visualizar y tener una noción del comportamiento de la temperatura, de cada una de las zonas de la Biblioteca, en tiempo real. Por último, que se optimice el uso racional de los equipos, por medio del control implementado, para generarle a la Biblioteca un ahorro económico significativo y así evitar el uso innecesario que implique un desgaste o deterioro de los mismos.

IV. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

La metodología de implementación del monitoreo y control de los aires acondicionados, de la primera planta de la biblioteca, se lleva a cabo en dos partes. La primera de ellas consiste en desarrollar y estudiar el algoritmo de control a través de un modelo a pequeña escala; y la segunda constituye el acoplamiento de la topología, desarrollada por medio del modelo, al controlador lógico programable que ejecuta las acciones del sistema del aire acondicionado en la Biblioteca. En los siguientes apartados se ira explicando, con más detalle cada una de las partes antes expuestas.

A. Metodología para la implementación del modelo

El modelo que se ha desarrollado es un controlador de temperatura simple que permite experimentar en él, diseños de control para sistemas centralizados y descentralizados. Es simple su construcción, pero lo suficientemente rica como para probar distintas formas de implementación a partir de la interfaz desarrollada por medio de la plataforma LabVIEW.

Los elementos del hardware que se utilizan como parte de la planta, en el modelo, son mostrados en la Fig. 1. Es un circuito simple, en donde se tienen 9 sensores y 9 actuadores. La comunicación y la interfaz se realizan con la ayuda de la placa de microcontrolador ARDUINO Mega 2560 y de la plataforma gráfica LabVIEW. El NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit es una librería de LabVIEW que ayuda a establecer la interfaz fácilmente con dicho microcontrolador. Con este juego de herramientas y LabVIEW, se puede controlar y adquirir datos desde el microcontrolador Arduino. Una vez que la información

está en LabVIEW, es analizada usando las librerías integradas de LabVIEW para el desarrollo del algoritmo para controlar el hardware Arduino y por ende la planta del modelo.

Los actuadores (que representan a cada uno de los 9 equipos de aire acondicionado de la primera planta en la Biblioteca “P. Florentino Idoate, SJ”) son lámparas, el encendido y apagado de estos se efectúa en función del valor que se esté midiendo con los sensores (si el valor se indica 0 V, pero si el valor es 5 Voltios, las lámparas se encienden).



Fig.1 Principales elementos utilizados en la planta del modelo de control de temperatura; ARDUINO mega 2560, lámpara 12 V (tipo lagrima), sensor LM35.

1) *Descripción del modelo:* La malla del modelo para el control de la temperatura consiste, en primera instancia, en 9 zonas, cada una de las cuales tiene un sensor de temperatura y una lámpara (actuador). En la disposición física de la red del control de temperatura resulta que cada lámpara, al calentarse, afecta la temperatura de la propia zona, así como

también afecta a las zonas vecinas. Esa es una de las principales razones por la cuales el modelo se apega a lo que se tiene pensado realizar para el control del sistema de aire acondicionado en la Biblioteca.

Los sensores de temperatura son manejados por medio de 9 entradas analógicas en el ARDUINO, y las lámparas por medio de 9 salidas digitales. En la Figura 4.6 se muestra la configuración esquemática del modelo y en la Figura 4.7 se puede contemplar el esquema de conexión de la red para la alimentación de esta, así como también la conexión de los pines del ARDUINO a cada salida o entrada, según corresponda. El hardware completo que se tiene como planta para experimentar sobre control de temperatura se presenta en la Fig.2.

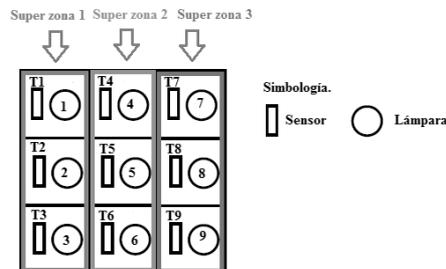


Fig.2 Configuración esquemática para el modelo de control de temperatura y división por zonas

De la Fig.2 también se puede mencionar que se ha trabajado un control de temperatura con el cual se tiene contemplado un análisis que inicia con la división de la cuadrícula en 3 zonas

grandes (a las cuales se les denominan súper zonas). El hecho que la cuadrícula se divida en tres súper zonas va de la mano la distribución por zonas de la Biblioteca, en el sentido de que en la primera planta también se tienen 3 zonas (Zona norte, zona centro, y zona sur de la biblioteca). El circuito del modelo final se presenta en la Fig. 3.



Fig.3 Fotografías del modelo físico de control de temperatura implementado.

2) *Estrategia de control:* El procedimiento de la topología básicamente consiste en desarrollar una estrategia con la cual la temperatura se mantenga lo más uniforme posible en la cuadrícula. La estrategia consiste en definir una temperatura deseada T_d ; en donde cada una de las súper zonas trate de seguir esta temperatura previamente indicada. [5]

En esta topología también se hace uso de otra variable de temperatura, que corresponde a la temperatura promedio de cada zona y que se denota como $T_{prom i}$, donde $i= 1, 2, 3$, ya que son tres las superzonas que se están analizando. La estrategia de control se detalla a continuación:

a) Las tres súper zonas poseen una misma temperatura deseada T_i , la cual trataran de seguir según el valor que se establezca.

b) Durante el proceso se va obteniendo y guardando el promedio de temperatura de cada una de las tres zonas.

c) Luego, simultáneamente, se genera en un error $E_z = T_d - T_{prom}$ para cada zona. Si este error es negativo, todas las lámparas en la zona respectiva se apagan.

d) Si E_z es positivo, analiza qué tan negativo es con respecto a la temperatura promedio de cada zona. Para eso, se genera un error llamado $eT = T_{prom} - T$ (donde T es la temperatura de cada sensor uno de los 9 sensores), de manera que si $E_z - eT$ es positivo, la lámpara correspondiente se debe de encender, y apagarse en el caso contrario. Con esto prácticamente se garantiza que no todas las lámparas se encienden si E_z es negativo, dado que la influencia de algunas lámparas en alguna súper zona es mayor que en otras.

e) Se ha definido, además, un control de tiempo que comienza cuando un equipo (Lámpara en este caso) se apaga. Básicamente funciona como una condición de retardo a la conexión; por lo que la lámpara no podrá encenderse (si en caso se requiere, debido a las condiciones presentadas en los apartados anteriores) si este tiempo no se ha cumplido.

f) Por último, se ha considerado establecer un rango de temperatura (como un tipo de histéresis, por así decirlo) que

permita darle al sistema de control de temperatura un margen de tiempo apropiado para que el proceso y de decisión del control comience de nuevo. Es decir que, al no fijar esta histéresis, las lámparas (que no hay que olvidar que representan, fuera del modelo, a los equipos de aire acondicionado) se encienden y se apagan constantemente y muy rápido; esto en la realidad no puede ser así, puesto que los equipos se dañarían. En general, este arreglo se considera para que el modelo se apague más a lo experimentado en un control real del sistema de aire acondicionado.

3) *Control en LabVIEW*: El panel de control y adquisición de datos mostrado en la Fig. 4 corresponde al control de temperatura desarrollado para la cuadrícula del modelo.

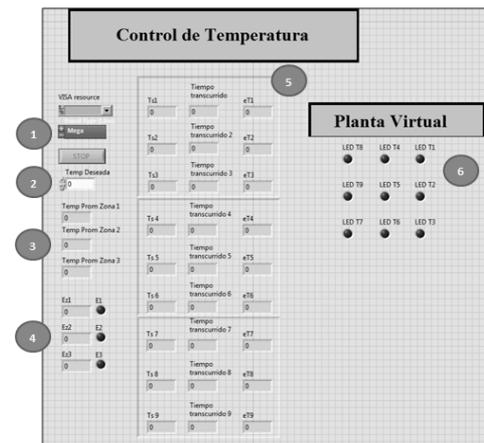


Fig.4 Panel para el manejo de datos en el control de temperatura de la planta modelo.



Los controles e indicadores que conforman el panel completo de la Fig. 4 son descritos a continuación, de acuerdo a las referencias numéricas indicadas en la misma figura:

- 1- Es el control utilizado para comunicar el microcontrolador, ARDUINO MEGA 2560, desde el puerto serial de la computadora (COMX) utilizando los drivers de NI VISA para LabVIEW. El microcontrolador contiene un programa que ejecute alguna acción de acuerdo a la información enviada a través de su entrada serial.
- 2- Es el control donde el usuario indica la temperatura deseada T_d , con la que el experimento debe trabajar; es decir es la temperatura que se requiere en la cuadrícula.
- 3- Son los indicadores que muestran cual es la temperatura promedio de cada una de las tres zonas existentes en este caso.
- 4- Corresponde a los indicadores que muestran, para cuestiones de comprobación, el control $Ez = T_d - T_{prom}$ de cada una de las tres zonas existentes en este caso.
- 5- Son los indicadores que muestran la temperatura que está midiendo el sensor LM5 (T_{s1} , T_{s2} ... T_{s9}), el tiempo transcurrido desde que las lámparas se apagan y el error $eT = T_{prom} - T$ (para cada juego de sensor-lámpara).

- 6- Es la representación virtual de la planta o cuadrícula; es decir que a partir de los nueve LEDs se puede observar en la computadora el funcionamiento (ON/OFF) de las lámparas dispuestas en el modelo físico.

B. Metodología para sistema de aire acondicionado en la primera planta de la Biblioteca.

El sistema de aire acondicionado de la primera planta de la Biblioteca cuenta con 9 equipos: 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7, 1-8 y 1-9. Los primeros cuatro suplen a la zona sur y los últimos cuatro a la zona norte; el equipo 1-5 sule a la zona centro (esta última zona no será tomada en cuenta en este trabajo, ya que solo contiene un equipo y en realidad no se ve afectada por las demás zonas, dado que existen paredes divisorias).

1) *Control actual:* El control del aire acondicionado de la biblioteca es realizado por un PLC, este es el PCX-36 de Siemens. La primera planta un controlador capaz de automatizar el apagado y encendido de los compresores dependiendo la programación del usuario. Este PLC funciona para sistemas HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning, por sus siglas en inglés) Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado; estos Controladores lógicos engloban un conjunto de métodos y técnicas que estudian y analizan el tratamiento del aire en cuanto a su enfriamiento, calentamiento, deshumidificación, calidad, movimiento, etc. El lenguaje de programación de estos dispositivos es el PPCL (Power Process Control Language, por sus siglas en inglés), el cual es un lenguaje de alto nivel desarrollado específicamente

para controlar calefacción, ventilación y equipos de aire acondicionado. [6]

Las temperaturas de cada sensor y otros aspectos del funcionamiento, como el encendido y apagado, son monitoreados desde una computadora que se encuentra en el edificio John de Cortina de la Universidad. En resumen, en la primera planta hay 16 sensores. En la Zona norte hay 7 de ellos, en la zona centro existen 2 y en la zona sur, también, 7.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y SENSORES PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL

Súper zona 1 : Zona norte		
Zona	Equipos	Sensores
ZONA 1	EQUIPO 8	EPP5, RPP7, RPP8
ZONA 2	EQUIPO 7	EPP10, RPP11
ZONA 3	EQUIPO 9	EPP13, RPP15
ZONA 4	EQUIPO 6	RPP7, EPP10, RPP11
Súper zona 3 : Zona Sur		
ZONA 1	EQUIPO 4	ERPP1, RPP2, RPP4
ZONA 2	EQUIPO 3	EPP1, EPP8, RPP2
ZONA 3	EQUIPO 1 Y EQUIPO 2	RPP6, RPP9, EPP8

2) *Estrategia de control*: La metodología se basa en realizar un control zonificado; y como ya se había mencionado anteriormente, se ha considerado dividir la primera planta de la Biblioteca en tres súper zonas: la súper zona norte, centro y sur. A la vez, la súper zona norte y súper zona sur se dividen en sub-zonas tal y como se muestra en la Fig.5. De igual forma, la estrategia de control se mantiene casi igual, solamente cambian ciertos parámetros que en el sistema real no puede ser considerado; pero que más se explican

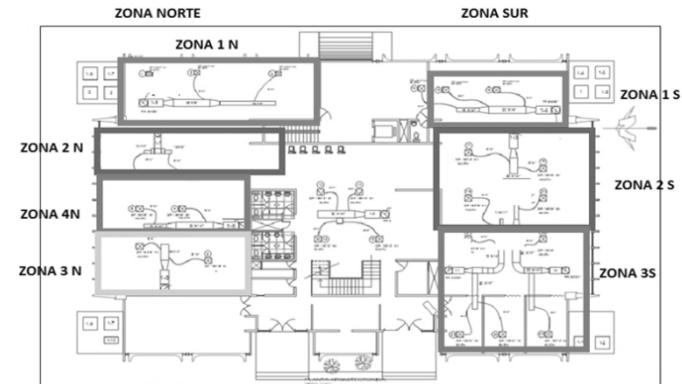


Fig. 5 División de súper zonas y sub-zonas en la primera planta de la Biblioteca.

La estrategia de control a implementar en el sistema de aire acondicionado de la primera planta de la Biblioteca se basa, como en un principio se planteó, en el modelo de la cuadrícula descrito en la sección anterior.

En la medida en que la topología pasa del modelo de la cuadrícula al sistema de aire real, es necesario realizar ciertos cambios que, en esta sección se van a ir dando a conocer; puesto que hay ciertas características nuevas que se contemplan en el caso real y que hacen necesario la reformulación de la topología desarrollada para la cuadrícula; ya sea por consideraciones físicas del funcionamiento de los equipos de aire acondicionado o por la forma de programación del control.



A partir ciertas observaciones detectadas en cuanto al funcionamiento del sistema de aire acondicionado, las consideraciones a tomar, para la topología de programación, son las siguientes:

a) Algunos de los sensores se ven afectados por las salidas de aire, mueble o paredes, y relativamente no miden la temperatura percibida por el usuario, ya que se encuentran en el techo; por lo que a la hora de considerar sus valores dentro de los cálculos del algoritmo, se calcula un factor de compensación para el valor de temperatura medido por el sensor.

b) Los equipos, por consideraciones de vida útil, no pueden estar encendiendo y apagándose en tiempo muy cortos. Por lo que la incorporación de una restricción de tiempo es efectiva para la implementación de la nueva topología.

c) Los ventiladores de los equipos deben permanecer encendidos todo el tiempo; desde el arranque inicial del sistema hasta el apagado final.

3) *Algoritmo:* Por cuestiones de orden y de posibles aplicaciones de diseño para la implementación del control de aire acondicionado de las otras plantas de la Biblioteca, se ha estructurado un algoritmo dispuesto en diferentes etapas. Es así como el algoritmo está compuesto por las etapas de Inicio, de preparación, y de operación normal:

a) Etapa de inicio: En esta etapa se verifica el día y la hora correcta, para que los equipos puedan entrar en operación normal. La acción que permite dar inicio al control se activa en base a los horarios en que las biblioteca está habilitada para los usuarios; es decir, se activa de lunes a viernes, a las 7:55 am y se desactiva a las 6:30 pm; además, el día sábado se activa a las 7:55 am y se desactiva a las 12:00 pm.

Es importante mencionar que los ventiladores se deben encender y apagar con las condiciones de la etapa de inicio. También, Además en esta etapa también se pretende (luego de verificar el día y la hora de operación en la etapa de inicio) arrancar todos los equipos al mismo tiempo y hacer que permanezcan encendidos por 20 minutos. Esta etapa se utiliza para establecer las condiciones normales de funcionamiento y tratar de homogenizar la temperatura de las distintas zonas de la Biblioteca. Una vez cumplidos los 15 minutos, se apertura el funcionamiento de la etapa de operación normal.

b) Etapa de preparación de cálculo: En esta etapa se habilita la realización de los cálculos de temperatura compensada, temperaturas promedios y los errores calculados dentro de la topología de programación, con los cuales se realizan las comparaciones respectivas.

c) Etapa de operación normal: La etapa de operación normal corresponde al cuerpo de toda la programación. Aquí es donde se establecen las condiciones y comparaciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de los aires, en base a la

topología y cálculos implementada en el modelo (incluyendo los cambios previstos para el experimento real)

El primer paso dentro del proceso de la programación del control corresponde al de asignar el factor de ajuste de los valores de la lectura de temperatura de los sensores. Una vez que se tienen estas lecturas corregidas, son usadas para llevar a cabo el cálculo de los promedios de temperaturas de las súper zonas, la verificación de comparaciones y condiciones que permiten en encendido y apagado de cada uno de los equipos.

Una de las consideraciones importantes de esta parte, corresponde a la del tiempo que limita la ejecución del programa. Esto se refiere a que, sin importar el valor de las condiciones establecida programa (entiéndase por condiciones, las comparaciones entre los valores de temperaturas promedios y temperatura, estas no se están ejecutando media vez no se cumpla cierto tiempo asignado en la programación; con esto, prácticamente, se pretende controlar el encendido de los equipos de aire acondicionado. Es así, como para este caso, el tiempo limitado es de 15 min.

C. Mediciones

Medición de temperatura: Para la medición la temperatura, en varios puntos de la primera planta de la Biblioteca, se utiliza el aparato mostrado en la Fig. 6 El Vernier LabQuest 2 es una interfaz autónoma utilizada para recoger datos de los sensores con su aplicación integrada de gráficos y análisis (para este caso se utiliza la interfaz de temperatura). Por medio de estas

mediciones se pretende obtener el factor de compensación para la lectura de temperatura de los sensores. [7]

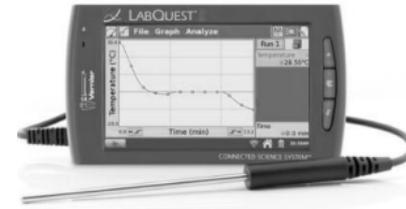


Fig. 6 LABQUEST 2, aparato utilizado para la medición de temperatura.

Medición de energía consumida: Para poder hacer una comparación entre la potencia eléctrica (Watts) demandada por los equipos, antes y después de implementar el control, se realizaron mediciones de corriente y voltaje en la subestación eléctrica de la Biblioteca. Para efectuar las mediciones se utiliza el instrumento Fluke 435 serie II, mostrado en la Fig. 7. Al obtener valores de voltaje y la corriente, fácilmente se puede obtener la potencia eléctrica y, así, efectuar un análisis.



Fig. 7 Fluke 435 serie II, analizador de energía.

En la Fig. 8 muestra una de las mediciones efectuadas, entre el 8 y 13 de julio, de la potencia consumida normalmente en la biblioteca. El máximo valor registrado durante esos días corresponde a 144.15 kW.

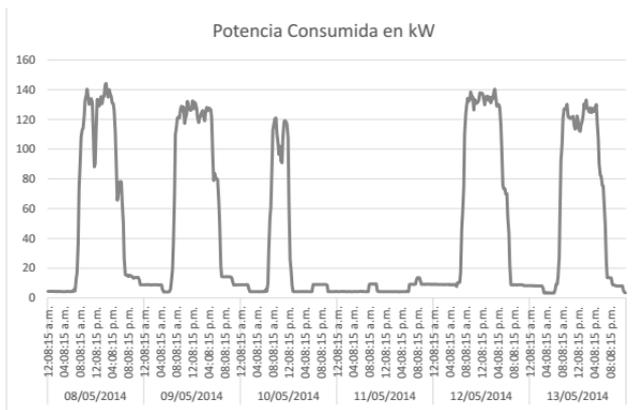


Fig. 8 Potencia (kW) consumida en la biblioteca entre el 8 y 13 de julio de 2014.

V. RESULTADOS

Análisis de resultado del control de temperaturas en el modelo:
El principal reto de este experimento se basa en regulación de la temperatura en toda la cuadrícula, pero con un valor máximo final que se establece mediante una temperatura deseada. Siendo así, la idea en este caso es cada una de las zonas siga la temperatura deseada, ajustada por el usuario. La temperatura

deseada ajustada para las pruebas es de 30 °C .En la Fig. 9 se muestran los valores de temperatura de los sensores 3, 4 y 7. Se han escogido estos sensores dado que representan un mejor seguimiento de la temperatura establecida como deseada. Lo valores finales oscilan entre 31.3 y 29.4 °C, a una temperatura ambiente de 23.8 °C (las pruebas se realizaron en un recinto climatizado aire acondicionado). Las pruebas fueron realizadas durante aproximadamente 350 segundos

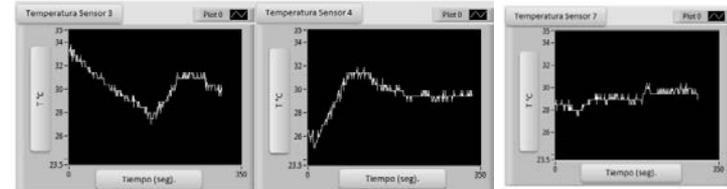


Fig. 9 Valores de temperatura del experimento. Se presentan tres sensores (una de cada zona) que muestran mejor seguimiento de la temperatura deseada. Las temperaturas finales oscilan entre 31.3 °C y 29.4 °C; estableciendo una temperatura de 30°C al comenzar el experimento.

Análisis de resultado del control de temperaturas en el sistema de aire acondicionado de la primera planta de la Biblioteca: Para mostrar como el nuevo control opera, se puso en marcha un proceso de prueba que pretende establecer una comparación entre tres tipos de funcionamiento: funcionamiento del sistema con termostatos (aplicado el 28 de mayo de 2014), funcionamiento con el control existente y desarrollado en otro trabajo de graduación anterior a este (aplicado el 23 de julio de 2014), y por último se muestra el

funcionamiento (aplicado el 22 de julio de 2014) usando la estrategia, que a lo largo de toda esta tesis se ha descrito. Se ha decidido establecer una temperatura de 22 ° C como temperatura deseada para la operación del funcionamiento.

El análisis de control de la temperatura es realizado por zonas; las mismas que se han venido trabajando a lo largo de este documento. Siendo así, es importante recordar a estas alturas que la zona norte se ha dividido en cuatro sub zonas y la zona sur en tres.

Existe bastante diferencia entre los tres controles. Como puede observarse con el control existente la temperatura promedio llega a valores bastante altos; con cual se incrementa la inconformidad de los usuarios de la primera planta de la Biblioteca al percibir calor. Por otro lado, con el control por medio de termostatos, la temperatura llega a valores bastante bajo; con lo cual también se incrementa la inconformidad de los usuarios al percibir el frio. La Tabla II muestra un resumen de los valores máximos y mínimos de la temperatura promedio de las zonas para cada tipo de control.

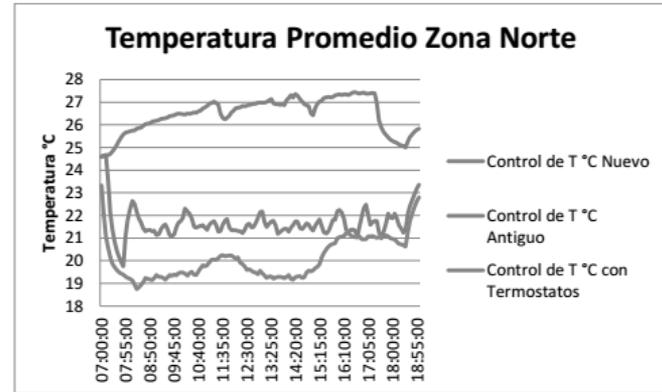


Fig.10 Comportamiento general de temperatura promedio en la zona norte.

De manera general, en la Fig. 10 también se presenta el comportamiento de la temperatura promedio de la zona norte. Se puede notar que siempre sigue la tendencia que las subzonas también presentan. En este caso la temperatura máxima con el nuevo corresponde a un valor de 24.66 °C y la mínima a uno de 19.74 °C. Para analizar los demás casos se recomienda observar la fig.10.

En el caso de la zona sur, el control propuesto responde de manera similar a como lo hizo en la zona norte; con la única diferencia que los resultados obtenidos con las prueba del nuevo control y la prueba de termostato no varían significativamente. La zona sur se ha dividido en 3 sub zonas, zona 1, zona 2 y zona 3. Para tener noción de los valores de temperatura máximos y mínimos alcanzados para cada caso, en la tabla II se presenta un resumen.

Y de manera general, en la Fig. 11 también se presenta el comportamiento de la temperatura promedio de la zona sur. Se puede notar que siempre sigue la tendencia que las sub-zonas también presentan. En este caso la temperatura máxima con el nuevo corresponde a un valor de 24.02 °C y la mínima a uno de 20.36 °C. Para analizar los demás casos se recomienda observar la Fig. 11.

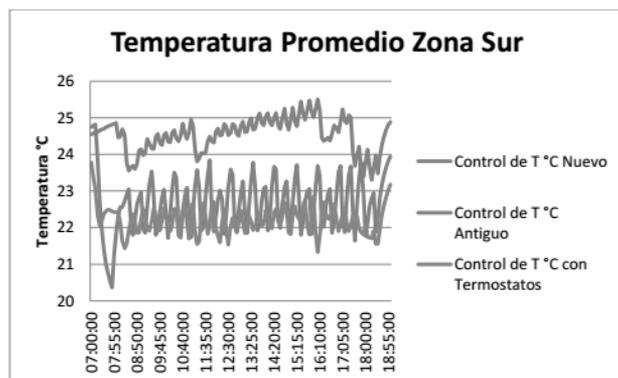


Fig. 11 Comportamiento general de la temperatura promedio de la zona sur.

En cuanto al consumo energético, en la Fig. 12 se muestra el gráfico de la potencia (W) consumida con el funcionamiento del control nuevo (color azul) y el funcionamiento con el control antiguo (color rojo). Las mediciones están referidas a los mismos días. Los datos fueron tomados cada 5 minutos. Fácilmente se puede identificar que el consumo de energía eléctrica con el nuevo control es mayor que el consumo de energía con el antiguo control. Sin embargo, hay que recordar

que esto se debe a que el control antiguo no funciona de manera correcta; ya que en contraste con el control de temperatura, se puede observar que los equipos no encienden debidamente y por tanto los valores de temperatura incrementan, generando inconformidad a los usuarios que perciben cierto grado de calor.

La potencia promedio de consumida con la operación del control nuevo es de 113,950.55 Watts; mientras que el valor promedio de potencia consumida con la operación de control antiguo corresponde a 95,195.49 Watts.

Por otra parte, en la Fig. 13 se muestra la potencia consumida con el funcionamiento del control por medio de termostatos. Esta medición fue realizada el 8 de mayo de 2014 y se realizó con frecuencia de 15 minutos. Para este caso, la potencia promedio consumida corresponde a un valor de 113, 410.63 W

Puede notarse que en cuanto a promedios de potencia consumida, la operación del sistema de aire acondicionado por medio del control con termostatos es ligeramente menor que el promedio consumido con el control propuesto en entre trabajo de graduación. La diferencia es de 539.92 Watts.



TABLA II
TABLA RESUMEN DE LOS VALORES DE TEMPERATURA EN LA SUB.-ZONAS DE LA ZONA NORTE

CONTROL DE TEMPERATURA ZONA NORTE												
Valores	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4		
	Control	Control	Control									
	Nuevo	Antiguo	Termostatos									
Valor de T °C mínimo	24.13	25.75	21.81	18.94	23.56	18.01	18.44	23.46	16.05	20.6	23.93	19.04
Valor de T °C máximo	25.95	28.16	24.63	23.82	26.66	22.25	25.49	28.65	23.63	24.15	26.99	22.75

Fuente: Elaboración Propia

TABLA III
TABLA RESUMEN DE LOS VALORES DE TEMPERATURA EN LA SUB.-ZONAS DE LA ZONA SUR

CONTROL DE TEMPERATURA ZONA SUR									
Valores	Zona 1			Zona 2			Zona 3		
	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control
	Nuevo	Antiguo	Termostatos	Nuevo	Antiguo	Termostatos	Nuevo	Antiguo	Termostatos
Valor de T °C mínimo	20.98	22.7	20.53	21.1	23.56	21.38	18.99	21.68	20.53
Valor de T °C máximo	25.18	26.34	23.35	23.76	25.4	23.67	24.92	24.86	23.35

Fuente: Elaboración Propia

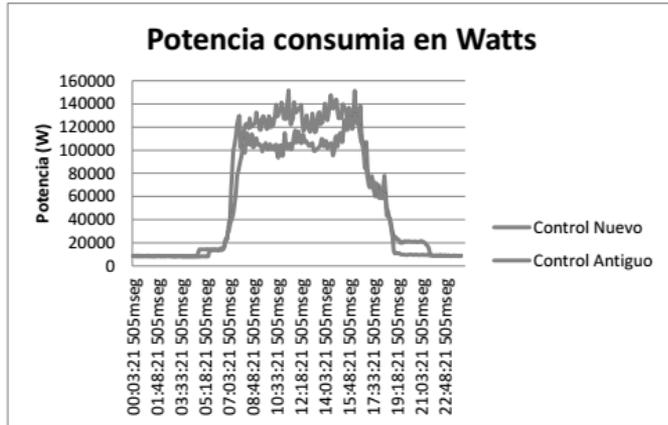


Fig. 12 Potencia consumida en Watts con el nuevo y antiguo control.

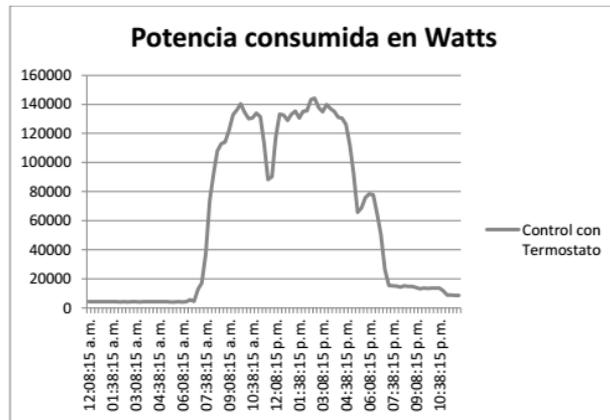


Fig. 13 Potencia consumida en Watts con el control por medio de Termostato

VI. CONCLUSIONES

- El control de temperatura por zonas, implementado en este trabajo de graduación, resulta más efectivo que el control antiguo (con el cual se alcanzan temperaturas de hasta 28.65 °C para la zona norte y 24.3 °C para la zona Sur. Por otro lado, en contraste con el control con termostatos, el control propuesto es más efectivo dado que este último mantiene cierta uniformidad y no experimenta temperaturas, como por ejemplo, de 18.01 °C en operación normal, con el uso de termostatos en la zona norte. Respecto a la zona sur no hay mucha variación entre ambos controles, ya que la tendencia del comportamiento de la temperatura en ambas zonas es bastante similar. En ese sentido el nuevo control permite que la temperatura promedio de la zona norte y sur se mantenga con mayor uniformidad durante las horas de operación de los sistemas; y en la medida en que los equipos estén en mejores condiciones, el control responderá mejor.
- El funcionamiento del sistema de aire acondicionado con el control antiguo demanda potencia eléctrica que el nuevo control propuesto; sin embargo, se pierde el control de la temperatura, llevándola a valores donde se comienza a percibir calor (esto ocurre en la zona norte y sur). Por otro lado, La diferencia total entre la potencia promedio consumida con el nuevo control y el control con termostatos es mínima (aprox. de 539.92 Watts). Esta diferencia compensa la uniformidad, en cuanto a la temperatura, alcanzada en la zona norte; ya que en la zona sur el comportamiento para ambos casos es similar.



- La distribución de las salidas de aire acondicionado en la zona sur afecta el funcionamiento de la topología del control de temperatura implementado. El problema 87se genera, dado que equipo 1 y 2 suplen espacios cerrados y espacios abiertos; al igual que el equipo 4 suple el cuarto de reparaciones y parte de estantería.
- Un sistema de aire acondicionado con control de volumen variable resulta más útil puesto que en él se regula la cantidad de aire que se suministra a cada recinto. Con lo que se evita el arranque y apagado constante de los equipos de a/c; y por ende se alarga más la vida útil de dichos equipos.

VII. REFERENCIAS

- [1] GUASCH, J. y HERNÁNDEZ CALLEJA, A. (1998). Criterios de ventilación para edificios no industriales. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo (Madrid)*, 14-17.
- [2] JENNINS, D. y LEWIS, S. (1994). *Aire acondicionado y refrigeración*. México: Compañía Editorial Continental.
- [3] BECERRA, L. (2006). *Automatización, control y supervisión remota del sistema central de aire acondicionado de un edificio*. Trabajo de graduación para optar al grado de ingeniero mecánico en la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

- [4] CONTRERAS HERNÁNDEZ, R., MENA RUÍZ, D., RODRÍGUEZ BELTRÁN, M. y SÁNCHEZ MARTÍNEZ, M. (2011). *Eficiencia en aires acondicionados del edificio Biblioteca "P. Florentino Idoate, S.J."*. Trabajo de graduación para optar al grado de ingeniero electricista en la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Antiguo Cuscatlán, El Salvador.
- [5] QUIJANO, N. y PASSINO, K (2002). *Experiments and Technologies for Decentralized Temperature Control*. Tesis presentada para optar al grado de Maestro en Ciencias en la Universidad del estado de Ohio, Ohio, Estados Unidos.
- [6] SIEMENS (2013), *PXC Compact Series Owner's Manual*.
- [7] <http://www.innmentor.com/2012/09/19/que-es-un-modelo/> (Consulta 05/04/14)