

“Simulación Térmica de un Edificio con Fines de Ahorro Energético”

Orozco Alvarado C. y Duque J.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

corozco@espol.edu.ec

jduque@espol.edu.ec

Resumen

*Este trabajo presenta el análisis del comportamiento térmico del auditorio de la FIMCP en proyecto. El auditorio estará ubicado en el Campus Gustavo Galindo de la ESPOL en la ciudad de Guayaquil, en un área de 280 m², con capacidad de 260 persona; está orientado 22 ° con respecto al norte y las fachadas y el techo están directamente expuestos a los rayos solares. Por medio de una simulación computacional, se evaluaron varias medidas de ahorro energético que se podrían implementar en el edificio y se compararon entre sí, empleando el programa **EnergyPlus** versión 1.3.0 de protocolo abierto desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos. Las medidas simuladas fueron la mejora del aislamiento de las paredes y cubierta, pre-enfriamiento de la zona acondicionada, la implementación de recuperadores de calor de la corriente de salida y el control de suministro de aire de ventilación. Se determinó que todas las medidas simuladas producen ahorros energéticos; siendo los conseguidos por controlar la ventilación en función de la ocupación y la recuperación de calor de la corriente de salida, los que producen ahorros significativos del orden de 25 % y 36% respectivamente con respecto a la situación base. De acuerdo al análisis económico las medidas orientadas a disminuir la transferencia de calor por paredes y cubierta no son viables; en contraparte el control de la ventilación, y el recuperador de calor, se estima tienen tasas de retorno del 21% y 12% respectivamente.*

Palabras Claves: Simulación, Medidas, Ahorro, Energía, EnergyPlus, Pre-enfriamiento.

Abstract

This paper show the analysis of the Thermal Behavior of, the FIMCP Auditorium project located in the Gustavo Galindo Campus of ESPOL in Guayaquil. The auditorium has a capacity of 260 persons; 280 m² of floor surface area, orientated 22° to the north. It's envelop is directly exposed to the sun rays and will be situated inside city; the auditorium was analyzed using an open code computer simulation program EnergyPlus 1.3.0 developed by DOE (US Department of Energy). Several energy saving measures were evaluated. The measures simulated were the increase of insulation of the walls and roof, pre-cooling of conditioned space, the implementation of energy recovery device in the exhausted air and the implementation of a building ventilation control. It was found that all measures produce a positive effect on the building energy consumption. The main savings were obtained by the applications of the ventilation control and the energy recovery device which reduced on 25% and 36% of savings respectively. The economic analysis shows that the building insulation measures are not feasible, but that the ventilation control and the installation of energy recovery device have payback rates of 21% and 12% respectively.

1. Introducción

Uno de los grandes consumidores de electricidad en los países en desarrollo como Ecuador es el sector comercial; en particular en la región Costa la electricidad es utilizada para los sistemas de acondicionamiento de aire en los edificios de oficinas, hoteles e instituciones.

En el camino a encontrar edificios confortables con menor consumo de energía, uno de los problemas identificados en el Ecuador es la falta de utilización de herramientas modernas para predecir el desempeño energético de edificios que puedan usarse en paralelo

al momento de diseño. Las medidas analizadas en la fase de diseño y realizadas en la fase de construcción han demostrado ser fáciles de implantar y producen ahorros más significativos que las medidas realizadas una vez ha sido ya construido [1].

Como aporte a la solución de esta problemática este trabajo estuvo enfocado en encontrar medidas de ahorro energético para el Auditorio de la FIMCP (Figura 1) en proyecto, por medio de una simulación computacional del comportamiento térmico del edificio en su concepción original y con las medidas.



Figura 1. Edificio "Auditorio FIMCP"

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es mostrar la metodología empleada en el análisis térmico del edificio, y presentar los resultados con los cuales se estableció medidas de conservación de energía aplicables al proyecto.

3. Metodología

Para modelar el edificio se utilizó el programa *Energy Plus* [2] versión 1.3.0. de protocolo abierto desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) por sus siglas en inglés.

El programa *EnergyPlus* fue creado a partir de los programas DOE y Blast también desarrollados por el Departamento de Energía de US años antes. *EnergyPlus* puede calcular la carga térmica de un edificio hasta en intervalos de 15 min. A partir de los datos geométricos del edificio, las características de los materiales empleados; el intensidad de ocupación, el horario de ocupación, la ubicación geográfica del edificio, las condiciones climáticas y las condiciones de confort deseada. Además, se puede ingresar las curvas de operación de los equipos acondicionadores de aire y con ello estimar el consumo energético de estos.

La modelación empieza por ingresar los datos del edificio al programa; el programa calcula la carga térmica del edificio, la carga térmica sirve como referencia para establecer la potencia nominal de los equipos acondicionadores de aire. Se selecciona un equipo y se ingresa los datos de rendimiento del equipo junto a los datos del edificio al programa para determinar el consumo eléctrico de los equipos que es el resultado de la modelación.

La Figura 2 muestra el proceso de obtención de medidas de ahorro, los bloques calculo de carga, selección de maquina y evaluación de las medidas se realizan procesando la información ingresada al programa. Los datos del edificio, las medidas y las curvas de rendimiento de los equipos modelados son los datos de entrada. Las medidas son las características del edificio que son variadas

(Implementación de medida en los datos del edificio). El resultado de ejecutar el bloque "selección de maquina" es la selección de la maquina de menor consumo con los datos del edificio en su concepción original; después de esto, la curva de desempeño de la maquina seleccionada mas cada una de las medidas son ingresadas al programa y procesadas (Evaluación de medida) una a la vez y por ultimo todas para obtener como resultado el consumo de energía esperado con la aplicación de cada una de las medidas y de la suma de todas.

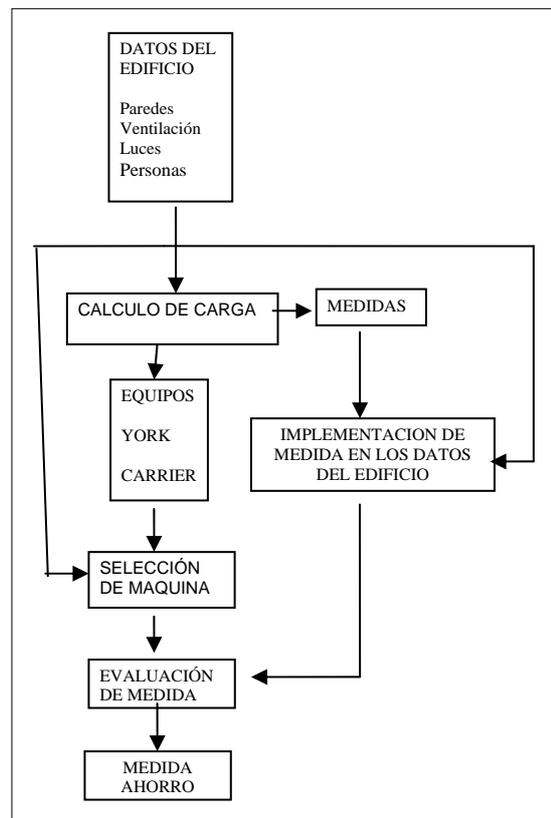


Figura 2. Proceso de Obtención de Medidas de Ahorro Energético

4. La simulación

4.1. Datos del edificio

El edificio a simular es el auditorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica próximo a construirse en el Campus Gustavo Galindo de la ciudad de Guayaquil, en un área de 280 m² orientado 22 ° con respecto al norte. La Figura 3 es una vista de planta del auditorio.



Figura 3. Vista de Planta del Edificio

La Tabla 1 muestra los datos del edificio y las especificaciones del sistema de aire acondicionado en su concepción original, las especificaciones fueron tomadas del manual de aire acondicionado de la Carrier [3] y del manual de fundamentos de la ASHRAE [4].

TABLA 1 DATOS EDIFICIO

LUCES	3550 w
PERSONAS	260 personas
OCUPACION	Sentado y descansando (350 Btu/hr)
VENTILACION	15 CFM
SET-POINTS	23 °C y 60 HR

La Figura 4 muestra la composición de la pared del auditorio; esta pared esta pintada de una pintura clara en ambas superficies, enlucido de 0.015 m en cada lado de la pared y una pared de bloque de concreto de 0.1015 m de espesor.

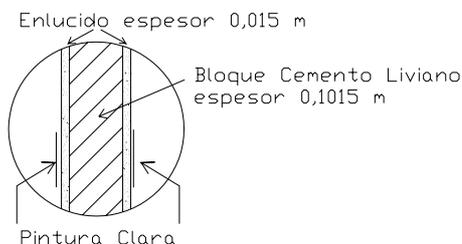


Figura 4. Pared Concepción Original

Se tiene planificado usar las instalaciones cinco días a la semana los días lunes, martes y miércoles se

utilizará a un 30 % de operación en la tarde y a un 50% en la noche; los días jueves y viernes se usará a un 30% en la mañana, a un 50% en la tarde y a un 100% en la noche.

4.2. Calculo de Carga

La Figura 5 muestra los resultados del cálculo de carga de enfriamiento del auditorio para un día típico; perteneciente al periodo de mayor demanda, específicamente la semana comprendida entre el 21 al 27 de marzo. El programa se configuro para que diera la demanda térmica en intervalos de 15 min. En el grafico se observa que al inicio de la operación existe un pico de 140,000 W o 40 TON de refrigeración esto es debido a que en el primer intervalo (estado transiente) el programa calcula la potencia que los equipos deben suministrar para llevar a las condiciones de confort al auditorio en el lapso de 15 min. Después del pico existe una zona en que la demanda crece progresivamente (estado estable) en el resto del ciclo de operación; el punto de selección de los equipos fue de 20TON de refrigeración (línea punteada).

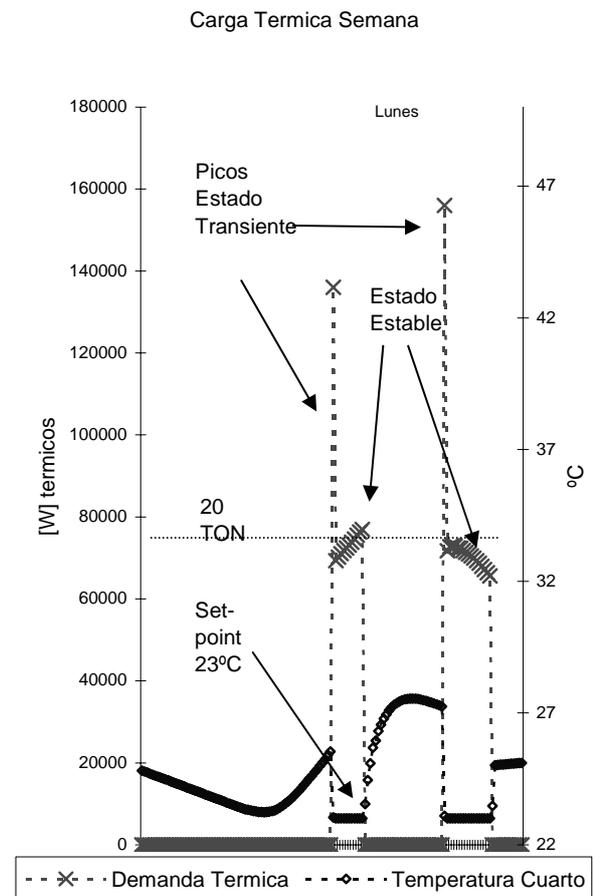


Figura 5. Carga de enfriamiento día típico

La Figura 6 es la distribución de ganancia de calor en el edificio. La mayor ganancia es producida por el aire de ventilación seguida del calor producido por las personas juntas suman el 85% de la carga total de enfriamiento.

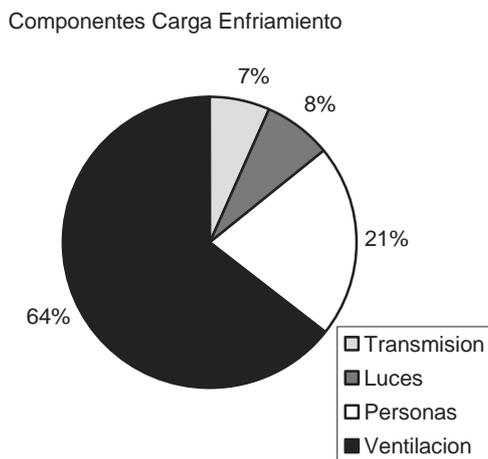


Figura 6. Distribución porcentual carga de enfriamiento

4.3. Máquinas simuladas

Se eligió entre maquinas de distinta marca pero de la misma capacidad (20 TON de acuerdo a los resultados del calculo de carga). Se selecciono dos marcas de equipos, el Carrier de 20 TON de refrigeración modelos 50PG24 y 50TJ024 y YorK de 20 TON de refrigeración modelos ZJ 240 y DH 240.

La Figura 7 muestra los consumos mensuales proyectados; en este se puede apreciar que para todas las maquinas, el mes de mayor consumo es el mes de marzo, el mes de menor consumo es julio y que el equipo CARRIER 50PG24 es el de menor consumo anual.

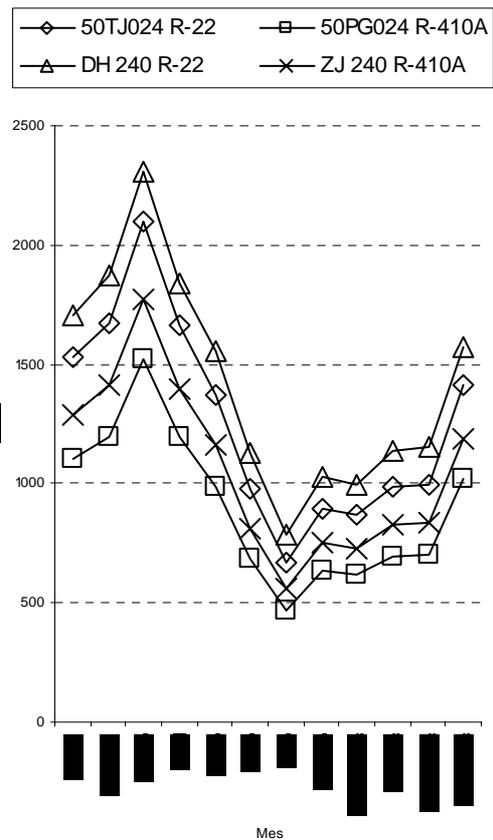


Figura 7. Consumo eléctrico mensual equipos paquetes

4.4. Medidas

Al modelo del edificio elaborado con los datos del edificio y los datos de la maquina seleccionada se le denominó CASO BASE.

Las medidas de ahorro son presentadas como MEDIDAS, una de las medidas se divide en tres ALTERNATIVAS.

De acuerdo a los resultados del cálculo de carga (Figura 6) el mayor aporte de carga es producido por el aire de ventilación y personas, debido a esto se buscó medidas orientadas a disminuir estos consumos. De la bibliografía consultada el libro Edificios del Siglo 21 [5] y el Manual de Aplicaciones de la ASHRAE 1999 [6] se tomó las siguientes opciones de ahorro.

- Implementación de recuperador de calor de la corriente de salida
- Ventilación controlada de acuerdo a ocupación

El incremento repentino en la carga de enfriamiento producido por el ingreso de las personas, produce un pico en el demanda de energía, por esto se simuló los efectos producidos por el pré-enfriamiento del

auditorio para disminuir la potencia demandada en el arranque de las máquinas.

- **Pré-enfriamiento de la zona acondicionada**
A pesar que tan solo representa el 7% de la carga de enfriamiento se simuló los efectos producidos por mejorar las propiedades aislantes de los materiales de la construcción.
- **Mejora del aislamiento de las paredes y cubiertas**

MEDIDA 1 (Mejora del aislamiento de las paredes y cubiertas)

La mejora del aislamiento, en paredes y techos externos; tiene por objetivo crear mayor resistencia a la transferencia de calor desde el ambiente exterior al acondicionado. Esta influencia se refleja en el coeficiente global de transferencia de calor U definido en el cálculo por ganancias en las paredes. En esta medida se probaron dos tipos de paredes definidas como alternativa 1 y 2; además de aplicar aislamiento a la cubierta como alternativa 3.

ALTERNATIVA 1 (Bloque liviano de 0.2033 m)

La Figura 8 es un detalle de la pared, la misma esta pintada en ambas superficies por una pintura clara, una capa de enlucido de 0.015 m y bloques de concreto de 0.2233 m de espesor.

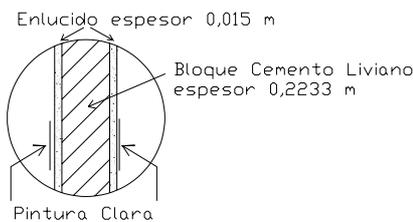


Figura 8. Pared alternativa 1

ALTERNATIVA 2 (Pared con espacio de aire)

La Figura 9 es un detalle de la pared, la misma esta pintada en ambas superficies por una pintura clara, una capa de enlucido de 0.015 m, una doble pared de bloques de concreto de 0.1033 m de espesor con un espacio intermedio de aire de 0.10 m.

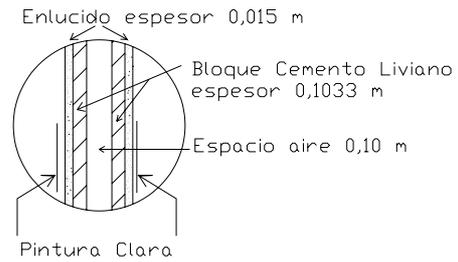


Figura 9. Pared alternativa 2

ALTERNATIVA 3 (Adición de Aislamiento al Techo).

El techo originalmente esta compuesto por una panel de acero galvanizado como medida de ahorro se analizo la influencia de adicionar una capa de aislante de uretano de 0.0762 m (3 pulgadas).

MEDIDA 2 (Pre-enfriamiento de la zona acondicionada)

La medida se simuló introduciendo horarios de arranque y paró del sistema de acondicionamiento de aire media hora antes al horario planificado de uso de las instalaciones.

MEDIDA 3 (Implementación de recuperadores de calor de la corriente de salida)

Los cálculos de carga; muestran que la carga de ventilación esta en el orden de 64% de la carga total de enfriamiento; por esto se simuló un sistema recuperador de calor para enfriar el aire fresco de ventilación con la corriente fría de la corriente de salida del sistema.

MEDIDA 4 (Ventilación controlada de acuerdo a ocupación)

Debido a que en auditorios se requiere altas tasas de aire de ventilación (15 CFM por persona); existe la posibilidad de ahorrar energía al controlar el flujo de ventilación de acuerdo al nivel de ocupación. Tomando en cuenta que en el caso base se simulo que el nivel de ventilación constante a un 100% de ocupación.

La medida simuló el funcionamiento de un sistema en el que se controla el flujo de aire fresco en función de la ocupación del edificio. El flujo de ventilación fue de un 30%, 50% y 100% de acuerdo al horario de operación y densidad de personas esperado.

5. Resultados

5.1. Análisis Energético

La Figura 10 muestra la variación de consumo eléctrico mensual de la **MEDIDA 1**, en este se presentan cuatro curvas pertenecientes al caso base (pared de 0,1015m), alternativa 1 (pared de 0.2033), alternativa 2 (pared espacio de aire) y la alternativa 3 (aislamiento de cubierta). Para las cuatro curvas el mayor consumo se da en el mes de marzo y el mes de menor consumo es julio; en las tres alternativas se producen ahorros de energéticos (las tres curvas de las alternativas están por debajo del caso base); de las tres alternativas la que mas ahorros produce es la alternativa 3 en el mes de mayor consumo esta 200 Kw.-hr por debajo del caso base; en el resto del año esta diferencia va disminuyendo siendo mínima en el mes de junio donde es de apenas 60 kW-hr. Las alternativas 1 y 2 siguen aproximadamente la misma tendencia siendo la diferencia promedio respecto al caso base de 31 kw-hr y 38 kw-hr respectivamente.

La Tabla 2 tiene los consumos anuales del caso base y de la medida 1 con sus respectivas alternativas. La tercera columna lista los ahorros producidos respecto al caso base; se lo obtuvo restando el consumo anual del caso base del consumo de cada una de las alternativas. La alternativa 1 consume un 3,4 % menos que el caso base; la alternativa 2 un 4,3 % y la alternativa 3 un 15,4 %.

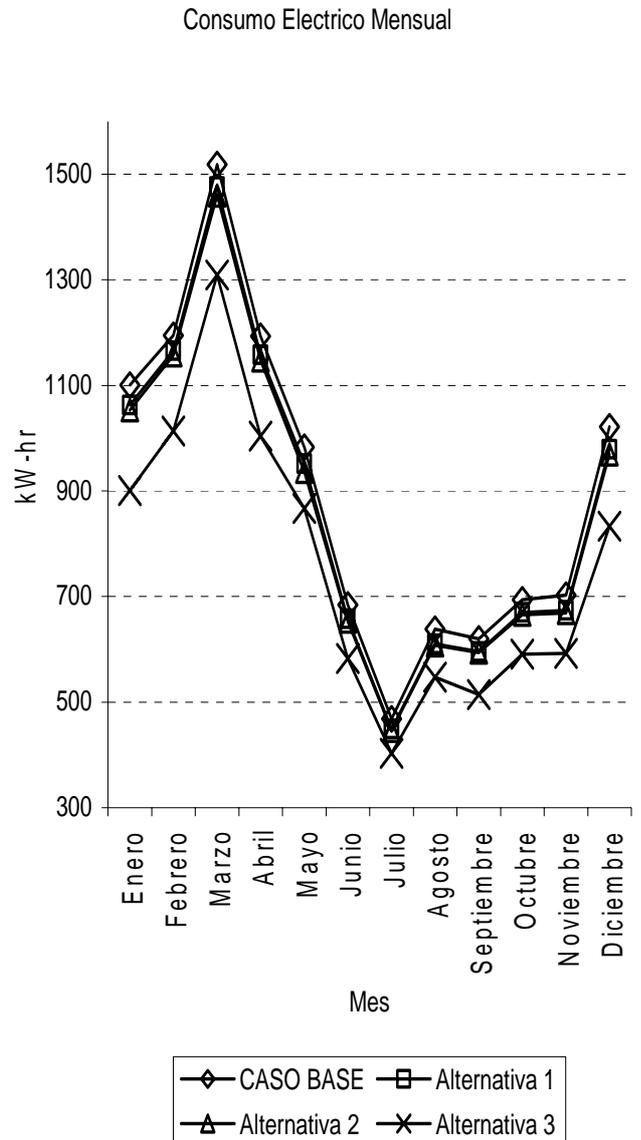


Figura 10. Consumo eléctrico mensual medida 1

La Figura 11 grafica la potencia eléctrica demandada cuando se aplica la estrategia de pre-enfriamiento **MEDIDA 2**; en esta grafica se presenta cuatro curvas dos de temperatura y dos de potencia eléctrica consumida. La curva con el nombre Potencia Demanda representa la potencia eléctrica consumida cuando se arranca el sistema en el horario que se planea usar las instalaciones, la curva con el nombre Temperatura muestra la temperatura durante ese periodo de ocupación; la potencia demandada en el arranque es de 10.5 KW y el tiempo que tarda el equipo en llegar a la temperatura de confort (23°C) es de 30 min; la curva con el nombre Potencia Demanda Pre-enfr muestra una reducción en la potencia de arranque en 4 KW y la

temperatura esta en la región de confort desde el ingreso de las personas.

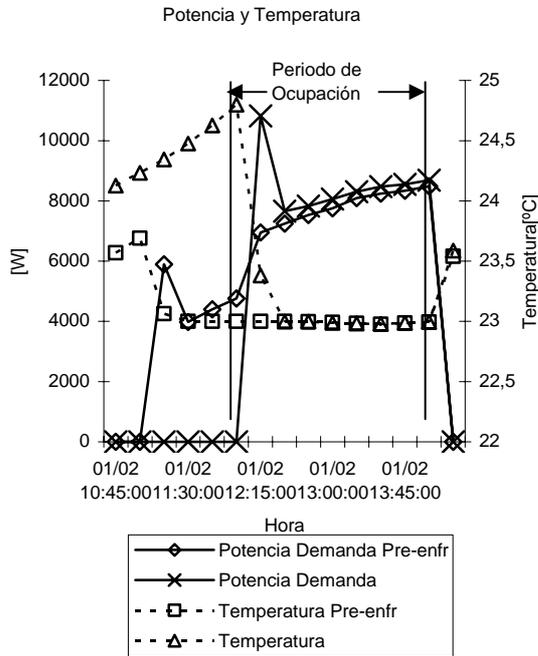


Figura 11. Potencia eléctrica demandada pre-enfriamiento

La Figura 12 muestra el consumo eléctrico del caso base y de las medidas. La suma de las medida 1, 3 y 4 es graficada como **TODAS**; en esta simulación no se incluyo la **MEDIDA 2** por que esta orientada a disminuir la potencia y no la energía consumida. La curva **TODAS** reporta el menor consumo; con un máximo de 600 kW-hr en el mes de marzo y un mínimo de casi 200 kW-hr en el mes de julio. En el grafico la medida 2 consume más que el caso base, esto se debe a que se usa media hora más el equipo.

La **MEDIDA 3** en el mes de marzo registra el mayor ahorro de aproximadamente 700 kW-hr y va decreciendo hasta el mes de julio donde el ahorro es de tan solo 220 kW-hr. La **MEDIDA 4** también registra ahorros pero en menor grado que la medida 3, en el mes de marzo se registra el mayor ahorro (500 kW-hr) y decrece hasta julio donde es de 200 kW-hr.

Consumo Electrico

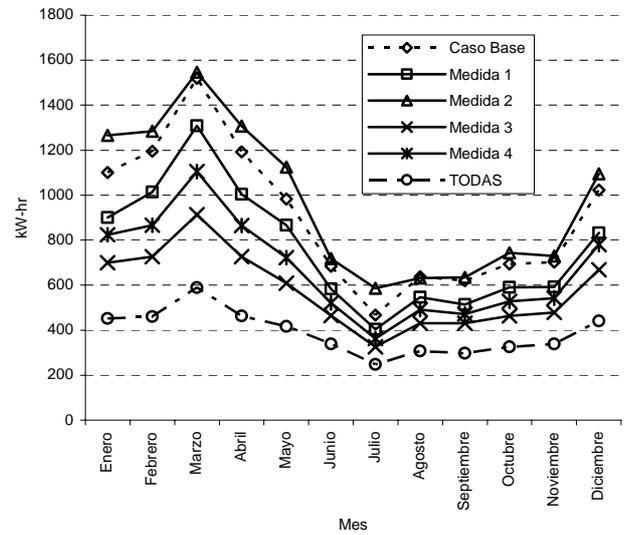


Figura 12. Consumo eléctrico mensual medidas

La Tabla 2 muestra los ahorros anuales de la implementación de la medida 1, 3 y 4. La medida 3 registra un ahorro anual del orden del 36 % respecto al caso base. La medida 4 registra un ahorro anual del 25 % respecto al caso base.

TABLA 2 AHORROS ANUALES MEDIDAS

Descripción	Consumo Anual (Kw-hr)	Ahorro Anual (Kw-hr)
Caso Base	10820	0,00
MEDIDA1/ALTERNATIVA1 Pared de mayor espesor	10452	368
MEDIDA1/ALTERNATIVA2 Pared espacio de aire	10359	461
MEDIDA1/ALTERNATIVA3 Techo aislado	9157	1663
MEDIDA3 Recuperador de calor	6938	3882
MEDIDA4 Ventilación controlada	8081	2739
TODAS Medida 1, 3 y 4	4675	6145

5.2. Análisis Económico

Los costos de implementación de las medidas se listan en la Tabla 3. La tabla muestra que a pesar que todas las medidas propuestas reducen el consumo energético; el análisis económico TIR (Tasa interna de retorno) evaluado en un periodo de 10 años (vida que se estima que las maquinas operen), mostró que solo

son factibles desde el punto de vista económico las MEDIDAS 3 y 4.

Las medidas orientadas a mejorar la envoltura del auditorio tuvieron efectos positivos en el consumo de energía (Alternativa 3 / -15,4%) pero no en la medida en que se justifique la inversión en la implementación de estas.

Se obtuvo un rendimiento sobre la inversión de implementar la MEDIDA 3 del 12% y en la MEDIDA 4 del 21%; para las demás medidas dio un valor inferior al cero; que significa que se esta perdiendo dinero.

TABLA 3 ANALISIS ECONOMICO

Descripción	Inversión (\$US)	Ahorro (\$US) 9cc/kWhr	Tir (10 años)
Caso Base	0,00	0,00	N/A
MEDIDA1/ALTERNATIVA1 Pared de mayor espesor	1964	33,12	Negativa
MEDIDA1/ALTERNATIVA2 Pared espacio de aire	2976	41,49	Negativa
MEDIDA1/ALTERNATIVA3 Techo aislado	5880	149,67	Negativa
MEDIDA3 Recuperador de calor	2000	349,38	12%
MEDIDA4 Ventilación controlada	1000	246,51	21%
TODAS Medida 1, 3 y 4	8880	553,05	Negativa

6. Conclusiones

1. En el presente trabajo se obtuvo el perfil de carga térmica del auditorio; en el caso base (sin modificaciones) el mes de mayor carga es marzo con una carga pico de 140000 W térmicos o 40 TR y una carga máxima de estado estable de 20 TR.

2. Usar una pared de bloques de concreto de 0.2033 m (alternativa1) produce aproximadamente el mismo ahorro energético; que utilizar una pared doble con espacio de aire intermedio (alternativa2), ambas producen un ahorro del 4%; a pesar de haber conseguido reducir consumo de energía; el análisis económico de estas alternativas propone que estas alternativas no son rentables, estos resultados son discutibles desde el punto de vista; que en el análisis de costo beneficio no considero las mejoras acústicas y de reducción de ruido externo que se podrían ganar con una pared de mayor espesor.

3. Aplicar aislamiento al techo produce una disminución del consumo de energía del 15%; siendo esta la mejor alternativa de la medida 1, la implementación de esta medida no es viable desde el punto de vista económico; dada la extensión del área que se tendría que aislar y el costo del aislante.

4. Pre-enfriar el auditorio (Medida 2) se estima reducirá la potencia de arranque del equipo en un 38% esto es de 10.4 kW a 6.4kW. La implementación de la medida es relativamente sencilla ya que el modelo escogido Carrier 50PG24 cuenta con un panel que se le puede programar los tiempos de arranque y los horarios. Esta medida producirá una ventaja tarifaria al disminuir la demanda eléctrica en horas pico.

5. La implementación de recuperador de calor (Medida 3), se estima producirá ahorros significativos, la simulación muestra que se puede reducir la energía consumida en un 36% y produce una tasa de retorno del 25% en un periodo de 10 años.

6. La implementación de control de la ventilación (Medida 4), es un poco mas costosa ya que se tiene que adicionar una mayor cantidad de componentes que el recuperador; como sensores de CO2 para medir la calidad de aire sus controles y actuadores en la corriente de ventilación, sin embargo, dado que la ventilación es uno de los grandes contribuyente a la carga térmica el ahorro producido por esta medida fue significativo, al año se puede reducir el consumo en un 25% y se tiene una tasa de retorno en 10 años del 12%. Si no se puede implementar un control del flujo de ventilación; se recomienda aplicar como política de manejo energético el considerar el uso del recinto solo cuando este se utilice como mínimo a un 70% de su capacidad; debido que al tener un flujo constante de ventilación se desperdicia energía en enfriar aire fresco que no es necesario para mantener la calidad de aire interior.

7. Referencias

- [1] Arq. Rosa Rada, "Construcciones que cuidan la tierra" La Revista del diario El Universo Pág.24-25. Marzo 25 del 2007.
- [2] DOE, Manual del Usuario Energy Plus 1.3.0. www.energy.gov
- [3] CARRIER, Manual de Diseño de Sistemas A/C Carrier año 1965.
- [4] ASHRAE, Manual de Fundamentos de la Ashrae año 1997. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition Engineers, Inc Atlanta.
- [5] Building for the 21st Century, Edited by Donna Siovos, The Fairmont Press, Inc @ 2000.
- [6] ASHRAE, Manual de Aplicaciones de la Ashrae año 1999.

