

## Alternativa energética sustentable mediante la utilización de aislantes térmicos de diferentes materiales en edificaciones con sistemas de aire acondicionado

### Sustainable energy alternative, by using thermal insulators of different materials in buildings with air conditioning systems

CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair†\*, CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CRUZ-VICENCIO, Raúl y HORST-SÁNCHEZ, Alvaro

*Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Campus Poza Rica - Tuxpan*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Edzel Jair, Casados-López / ORC ID: 0000-0002-0601-9242

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Alvaro, Casados-Sánchez / ORC ID: 0000-0002-3122-4571

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Raúl, Cruz-Vicencio / ORC ID: 0000-0002-4668-0772

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Alvaro, Horst-Sánchez / ORC ID: 0000-0002-2801-0943

DOI: 10.35429/JRE.2020.13.4.1.8

Recibido 16 de Junio, 2020; Aceptado 30 Octubre, 2020

#### Resumen

Se propone una metodología para el cálculo de la carga de enfriamiento, y el consumo energético de los equipos de aire acondicionado en tres modelos a escala de edificaciones objeto de estudio, utilizando el método CLTD/SCL/CLF de la ASHRAE. La edificación en la que se utiliza el método mencionado son tres modelos a escala de edificaciones situados en la ciudad de Poza Rica estado de Veracruz, México. Este método se aplica con la finalidad de obtener la carga de enfriamiento lo más exacto posible y de esa manera evitar el sobredimensionamiento en los equipos de aire acondicionado, y al utilizar el aislante térmico, lograr una disminución en el consumo energético y de esa manera contribuir a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>, al ahorro de energía y por ende al desarrollo sustentable. Se procede a calcular la carga de enfriamiento aplicando la metodología propuesta a tres casos: el modelo A, B y C. Se comparan los resultados para los tres modelos de prueba, objeto de este estudio. Se realizan mediciones de consumo energético para realizar el análisis de error del consumo real energético respecto al calculado utilizando el método. Por último, se cuantifica el ahorro energético, en los casos mencionados.

**Carga de enfriamiento, Aislante térmico, Equipos de aire acondicionado**

#### Abstract

A methodology is proposed for calculating the cooling load and the energy consumption of air conditioning equipment in three scale models of buildings under study, using the ASHRAE CLTD / SCL / CLF method. The building in which the mentioned method is used are three scale models of buildings located in the city of Poza Rica, state of Veracruz, Mexico. This method is applied in order to obtain the cooling load as exact as possible and thus avoid oversizing in air conditioning equipment, and by using thermal insulation, achieve a decrease in energy consumption and thus contribute to the reduction of CO<sub>2</sub> emissions, to energy saving and therefore to sustainable development. The cooling load is calculated by applying the proposed methodology to three cases: model A, B and C. The results for the three test models, object of this study, are compared. Measurements of energy consumption are made to perform the error analysis of the actual energy consumption with respect to that calculated using the method. Finally, energy savings are quantified, in the cases mentioned.

**Cooling load, Thermal insulator, Air Conditioning equipment**

**Citación:** CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair, CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CRUZ-VICENCIO, Raúl y HORST-SÁNCHEZ, Alvaro. Alternativa energética sustentable mediante la utilización de aislantes térmicos de diferentes materiales en edificaciones con sistemas de aire acondicionado. Revista de Energías Renovables. 2020. 4-13: 1-8

\*Correspondencia al Autor (correo electrónico: edcasados@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El acondicionamiento de aire ha sido uno de los más recientes y valorados servicios del hombre en su búsqueda por una existencia más confortable. El propósito primordial de un sistema de aire acondicionado ya sea calefacción o enfriamiento, es el de mantener las condiciones adecuadas, ya sea para proporcionar confort térmico a los ocupantes de una edificación o condiciones que sean requeridas por algunos productos y procesos dentro de la industria. Los sistemas de calefacción central fueron desarrollados en el siglo XIX mientras que el desarrollo de sistemas de enfriamiento con aplicación al confort llegó en el siglo XX. Desde entonces, los progresos en esta dirección han alcanzado grandes avances con significativo desarrollo en varias áreas de la ciencia y tecnología.

Los métodos de cálculo de carga pioneros ponen poca atención a los costos de operación y al aspecto relacionado con la sustentabilidad ambiental dando como resultado en el cálculo equipos sobredimensionados. Sin embargo, el aumento del precio de la energía, los materiales de construcción y las estructuras complejas en los edificios, así como todo lo concerniente a los recursos naturales y al medio ambiente han requerido un continuo refinamiento de los métodos de cálculo de carga. Los métodos de cálculo de carga en la actualidad se dirigen más hacia el dimensionamiento de sistemas de tamaño mínimo apropiado los cuales dan como resultado sistemas económicos con buen comportamiento energético y por lo tanto más acorde con la filosofía de un medio ambiente sustentable.

Por otro lado, el grado óptimo de protección térmica depende de criterios económicos y técnicos. Además, está determinada por consideraciones de las demandas de enfriamiento y de calefacción del edificio y de la factibilidad de la inversión necesaria para alcanzar el grado deseado de protección térmica del edificio. Como todos esos parámetros varían con respecto a las condiciones climáticas, la fluctuación de los factores de costo y la forma real en la cual los edificios son diseñados y construidos, la determinación de una protección térmica óptima está siempre sujeta a discusión.

Una alternativa para resolver este problema se presenta en este trabajo.

La energía consumida en edificios es usada para calefacción, refrigeración, iluminación y otras aplicaciones o equipos. El consumo depende de las condiciones climáticas, la arquitectura y las características constructivas del edificio, la ocupación y los parámetros operacionales, los diferentes sistemas de calefacción, aire acondicionado, y otros tipos de aparatos y equipos electromecánicos.

Es notable indicar que del total de clientes con que cuenta la Comisión Federal de Electricidad 88.13 % pertenecen al sector doméstico, 0.43 % al agrícola, 0.80 % al industrial, 10.02 % al comercial y 0.62 % al de servicios. Como se observa el mayor número de clientes pertenece al sector doméstico lo que indica que un ahorro de energía en edificios y casas-habitación impacta de una manera significativa en los patrones de consumo de combustibles fósiles y por lo tanto en las emisiones de bióxido de carbono a la atmosfera.

Esas características de consumo tienen, aparte del efecto directo en los costos de operación de los edificios, un efecto significativo sobre el ambiente debido a la combustión de gas y combustibles líquidos fósiles (aceite, diesel, petróleo y combustóleo) en las centrales de generación de energía. Dado que en México los sistemas centrales de generación de energía eléctrica están basados en combustibles fósiles, reduciendo el consumo eléctrico en el sector de edificios se da un paso necesario hacia la implementación del protocolo de Kioto.

De esta manera, la necesidad de tomar medidas para ahorrar energía en el sector de edificios llega a ser importante con la finalidad de reducir el consumo de fuentes de energía convencionales, lo cual es un hecho que puede ofrecer mejoras económicas no solo a los propietarios de los edificios sino también a la economía nacional. Esta necesidad constituye también una obligación para México hacia la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. En ese orden de ideas, una de las principales medidas hacia el ahorro de energía, aplicables a edificios nuevos o las ya existentes, es el mejoramiento de la protección térmica, como también mediante el uso de ventanas de alto rendimiento.

La mejora en la protección térmica de edificios en su envolvente podría no solo conducir a reducir las pérdidas térmicas durante el periodo de invierno, sino también conducir a una reducción de la carga de enfriamiento en el verano, un problema que ha cobrado significativa importancia en la última década. Finalmente, el uso de sistemas de iluminación de bajo consumo energético, junto con la aplicación de dispositivos de sombra, constituyen nuevas acciones que pueden contribuir a la reducción del consumo energético para acondicionamiento de aire, a pesar del hecho de que ellos no están directamente relacionados con la protección térmica de edificios.

Por lo tanto, un método apropiado para el cálculo de carga de enfriamiento en una edificación junto con la elección de un aislante térmico apropiado constituye una manera efectiva para dimensionar adecuadamente un sistema de acondicionamiento de aire con la finalidad de proporcionar condiciones de confort minimizando el consumo energético y por lo tanto disminuyendo emisiones de bióxido de carbono hacia la atmosfera impactando esto en forma favorable a nuestro medio ambiente.

Por lo anterior en este trabajo se busca como objetivo proponer una metodología para el cálculo de la carga de enfriamiento en edificaciones objeto de estudio, en este caso son tres modelos a escala de edificaciones situados en la ciudad de Poza Rica estado de Veracruz, en México, con la finalidad de disminuir el consumo energético de un sistema de aire acondicionado reduciendo su capacidad y de esta manera lograr una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>, contribuyendo al desarrollo sustentable.

### Características constructivas de los modelos a escala



**Figura 1** Modelos a escala A, B y C  
Fuente: *Elaboración Propia*



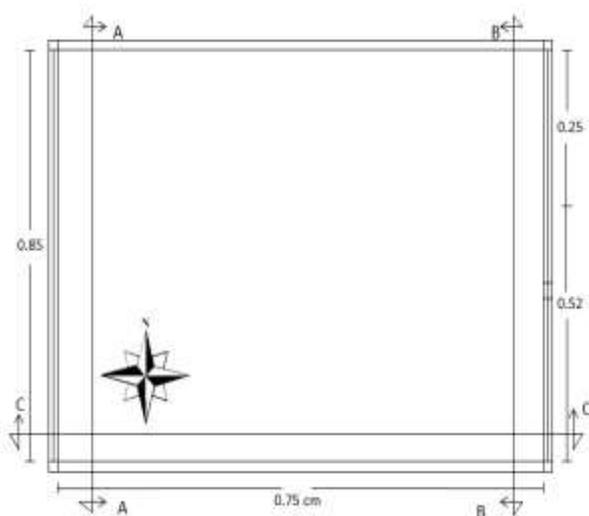
**Figura 2** Vista Posterior de los modelos a escala A, B y C  
Fuente: *Elaboración Propia*



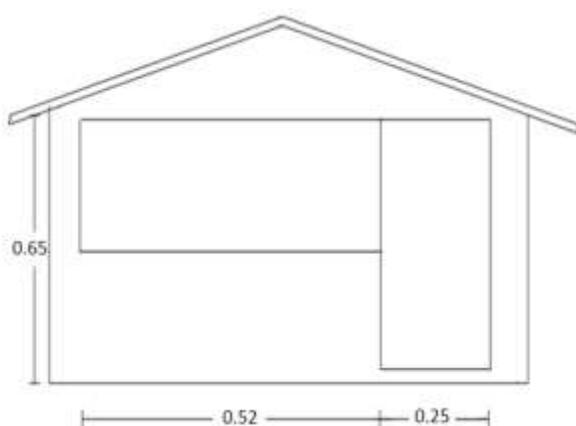
**Figura 3** Medidores proporcionados por la CFE para la medición del consumo de energía  
Fuente: *Elaboración Propia*

La construcción donde es aplicada la metodología de este trabajo, son tres modelos a escala de edificaciones, situados en la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Edo Veracruz en México, y sus características principales son para el Modelo A: Muros de ladrillo, Losa de concreto revocado de ambos lados, ventana de cristal sencillo claro y puerta de madera. Para el Modelo B: Muros de Block, Losa de Covintec recubierto con cemento –arena, Ventana de cristal sencillo claro y puerta de madera. Para el Modelo C: Construido de igual manera que el modelo B, pero a este se le colocó aislante térmico de 1 pulg. de espesor, dicho aislante es de poliestireno extruido para los muros y techo.

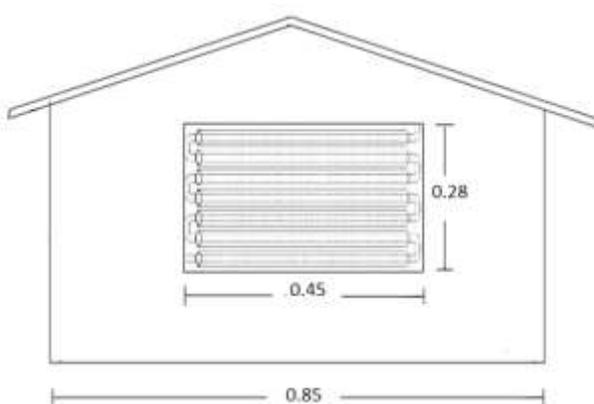
A continuación, se muestran los planos arquitectónicos de uno de los modelos ya que los tres son de las mismas dimensiones.



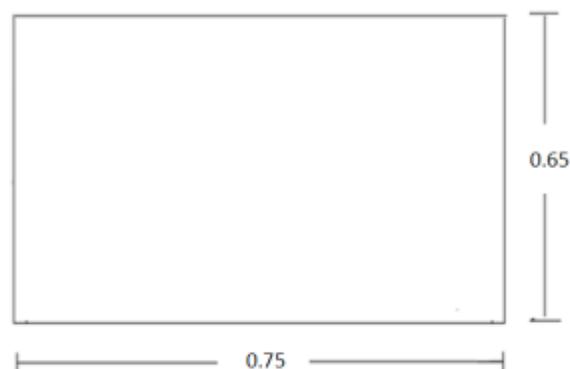
**Figura 4** Planta de los modelos A, B y C  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 5** Corte B-B (metros)  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 6** Corte A-A (metros)  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 7** Corte C-C (metros)

Fuente: *Elaboración Propia*

### Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de calor

El cálculo de este coeficiente se lleva a cabo considerando cada uno de los materiales de que están compuestas las paredes y los techos. El aislante utilizado es de poliestireno extruido de 0.0254 metros de espesor con una conductividad térmica de 0.043 Watts – m °K. Los valores del coeficiente global de transferencia de calor resultante para cada elemento estructural y para la zona a climatizar, se presentan en la tabla 1. Estos se derivan de los materiales y planos arquitectónicos que se utilizaron en el diseño y construcción de los modelos a escala de la edificación, que son los casos de estudio de este trabajo. En la tabla 1 se pueden observar que el comportamiento de los coeficientes globales de transferencia de calor depende de cada caso. En los casos donde no se tiene aislantes térmicos, los coeficientes son altos. En el caso en donde se aplica el aislante térmico se muestra una reducción en los valores de los coeficientes.

Elementos estructurales	Sin aislamiento térmico	Con aislamiento térmico
Muro de ladrillo con revoque de cemento-arena en ambas caras	4.3668	
Muro de Block con revoque de cemento-arena en ambas caras	4.3821	1.2210
Losa de concreto armado con revoque de cemento-arena en ambas caras	4.7722	
Losa de covintec con revoque de cemento-arena en ambas caras	1.2208	0.6889
Ventana de Cristal	5.91	
Puerta de Madera	4.40	0.7392

**Tabla 1** Coeficientes globales de transferencia de calor de los elementos de construcción (Watts /m<sup>2</sup> °K)

Fuente: *Elaboración Propia*

### Determinación de la demanda de enfriamiento

Los cálculos de la demanda de enfriamiento se basaron en el método CLTD/SCL/CLF de la ASHRAE. Para ello fueron consideradas las siguientes condiciones: Latitud 20 °N, para el 21 de julio, temperatura interior de 24 °C, temperatura exterior 38 °C, porcentaje diario de temperatura 32 °C, rango diario de temperatura 12 °C, coeficiente de transmisión de calor por convección exterior 22.68 W/m<sup>2</sup>-°K, coeficientes de transmisión de calor interior 7.48 W/m<sup>2</sup>- °K. Los valores CLTD corregidos se obtuvieron de acuerdo, a la siguiente ecuación:

$$CLTD_{Corr} = (CLTD + LM) K + (25.5 - T_i) + (T_{OAV} - 29.4 \text{ °C}) \tag{1}$$

Dónde:

LM: Factor de corrección para latitud y mes

K: Factor de ajuste de color

T<sub>i</sub> y T<sub>OAV</sub>: Valores de diseño

T<sub>i</sub>: Temperatura interior

T<sub>OAV</sub>: Porcentaje diario de temperatura

Los gráficos 1 y 2, muestran las tablas de los valores de CLTD corregidos para la losa y la pared Oeste. El gráfico 3, muestra la tabla de las demandas de enfriamiento para las horas de máxima carga, que en este caso es considerada de las 15 a 19 hrs. Sin aislante térmico, la demanda de enfriamiento es mayor, y en el otro caso, cuando se instala aislante térmico la carga de enfriamiento disminuye.

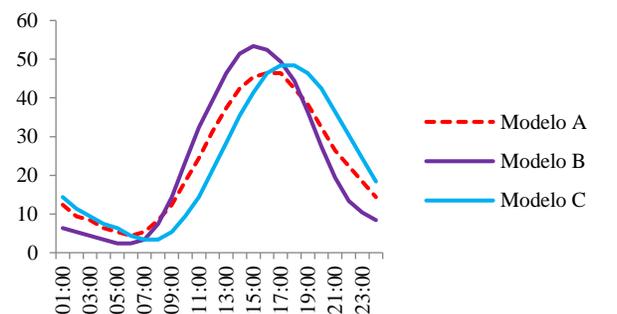
HORAS	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
Modelo A	12.4	9.4	8.4	6.4	5.4	4.4	5.4	8.4
Modelo B	6.4	5.4	4.4	3.4	2.4	2.4	3.4	7.4
Modelo C	14.4	11.4	9.4	7.4	6.4	4.4	3.4	3.4

HORAS	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Modelo A	12.4	18.4	24.4	31.4	37.4	42.4	45.4	46.4
Modelo B	14.4	23.4	32.4	39.4	46.4	51.4	53.4	52.4
Modelo C	5.4	9.4	14.4	21.4	28.4	35.4	41.4	46.4

HORAS	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Modelo A	46.4	42.4	38.4	32.4	26.4	22.4	18.4	14.4
Modelo B	49.4	44.4	36.4	27.4	19.4	13.4	10.4	8.4
Modelo C	48.4	48.4	46.4	42.4	36.4	30.4	24.4	18.4



**Gráfico 1** Valores CLTD corregidos para las losas de los tres casos, para las 24 hrs.  
Fuente: Elaboración Propia

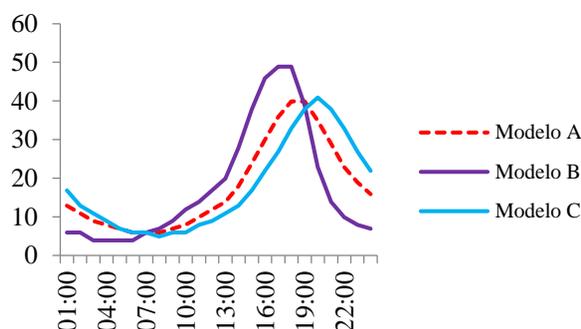
HORAS	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
Modelo A	12.9	10.9	8.9	7.9	6.9	5.9	5.9	5.9
Modelo B	5.9	5.9	3.9	3.9	3.9	3.9	5.9	6.9
Modelo C	16.9	12.9	10.9	8.9	6.9	5.9	5.9	4.9

HORAS	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Modelo A	6.9	7.9	9.9	11.9	13.9	17.9	23.9	29.9
Modelo B	8.9	11.9	13.9	16.9	19.9	27.9	37.9	45.9
Modelo C	5.9	5.9	7.9	8.9	10.9	12.9	16.9	21.9

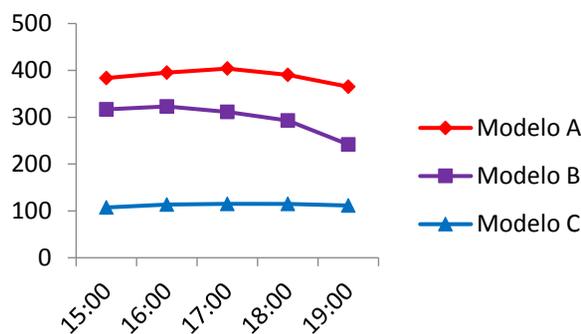
HORAS	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Modelo A	35.9	39.9	39.9	34.9	28.9	22.9	18.9	15.9
Modelo B	48.9	48.9	38.9	22.9	13.9	9.9	7.9	6.9
Modelo C	26.9	32.9	37.9	40.9	37.9	32.9	26.9	21.9



**Gráfico 2** Valores CLTD corregidos para las paredes Oeste, de los tres casos, para las 24 hrs.  
Fuente: Elaboración Propia

El gráfico 3, muestra las demandas de enfriamiento para los tres casos de estudio. Se muestra que sin aislante térmico la demanda de enfriamiento es mayor y para el caso donde se instala aislante térmico disminuye la carga de enfriamiento.

HORA	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	TOTAL
Modelo A	383.7162	395.3276	403.8096	390.1503	365.1225	1938.126
Modelo B	316.4537	322.9812	311.5958	292.5631	241.7841	1485.377
Modelo C	107.3477	113.3085	115.1006	115.0942	111.3377	562.1887



**Gráfico 3** Demanda de enfriamiento para los tres casos de estudio (Watts)  
Fuente: Elaboración Propia

La disminución de la demanda de enfriamiento del modelo con aislamiento y aquellos que no están aislados se presenta en la tabla 2, para los tres modelos en porcentaje.

Hora	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Promedio
<b>Modelo A-B</b>	17.52	18.30	22.83	25.01	33.78	23.36
<b>Modelo B-C</b>	66.07	64.91	63.06	60.66	53.95	62.15
<b>Modelo A-C</b>	72.02	71.33	71.49	70.50	69.50	70.99

**Tabla 2** Reducción de la demanda de enfriamiento, con respecto a los tres modelos en (%)

Fuente: *Elaboración Propia*

En la tabla 2, se muestra un panorama más claro de la comparación de la demanda de enfriamiento para los casos sin aislante térmico y para el caso donde se aplica el aislante. Los valores que se muestran son en porcentajes.

### Determinación del consumo de energía de enfriamiento

Para la determinación del consumo de energía en los tres modelos objeto de estudio para el enfriamiento, se utilizaron wattímetros de 120 V, 60 Hz, 1 F, 2 H y 9 termómetros con escala de -20 a 50 °C.

1. La temperatura interior fue considerada de 24°C de bulbo seco y 50% de humedad relativa en los tres casos.
2. Las condiciones de temperatura y humedad, fueron tomadas de la estación climatológica perteneciente a la Facultad de ingeniería Ambiental de la Universidad Veracruzana en Poza Rica de Hgo. Veracruz.
3. Se llevaron a cabo mediciones por 28 días en cada uno de los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto del 2015.

### Consumo de energía para enfriamiento (Resultados)

Los cálculos de consumo de energía para enfriamiento consistieron en determinar las ganancias térmicas totales a través de la estructura de los modelos a escala A, B y C. Obteniéndose como resultado, los requerimientos energéticos para cada uno de los modelos. El coeficiente de operación de los equipos de aire acondicionado fue considerado de 2.5.

La tabla 3, muestra la energía de refrigeración en Kw-hr térmico y Kw-hr eléctricos para los modelos A, B y C.

Horas		15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Total
<b>Modelo A</b>	Kw-hr Térmicos	383.71	395.32	403.81	390.15	365.12	1938.12
	Kw - hr Eléctricos	135.11	139.19	142.18	137.37	128.56	682.41
<b>Modelo B</b>	Kw-hr Térmicos	316.45	322.98	311.59	292.56	241.78	1485.36
	Kw - hr Eléctricos	111.42	113.72	109.71	103.01	85.13	522.99
<b>Modelo C</b>	Kw-hr Térmicos	107.34	113.30	115.10	115.09	111.33	562.16
	Kw - hr Eléctricos	37.79	39.89	40.52	40.52	39.20	197.92

**Tabla 3** Energía de refrigeración (Kw – hr Térmicos) y (Kw – hr eléctricos) para los modelos A, B y C.

Fuente: *Elaboración Propia*

La tabla 4, muestra la energía de refrigeración en Kw-hr térmico y Kw-hr eléctricos medidos, para los modelos A, B y C.

Horas		15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Total
<b>Modelo A</b>	Kw-hr Térmicos	383.71	395.32	403.80	390.15	365.12	1938.1
	Kw - hr Eléctricos	141.02	145.40	148.53	143.50	134.30	712.86
<b>Modelo B</b>	Kw-hr Térmicos	316.45	322.98	311.59	292.56	241.78	1485.36
	Kw - hr Eléctricos	118.35	120.80	116.53	109.41	90.42	555.52
<b>Modelo C</b>	Kw-hr Térmicos	107.34	113.30	115.10	115.09	111.33	562.16
	Kw - hr Eléctricos	39.68	41.88	42.54	42.54	40.95	207.81

**Tabla 4** Energía de refrigeración (Kw – hr Térmicos) y (Kw – hr eléctricos medidos), para los modelos A, B y C.

Fuente: *Elaboración Propia*

Modelo	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	% de ahorro
A con B	16.07	16.91	21.54	23.75	32.67	22.07 %
Modelo	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	% de ahorro
B con C	63.94	62.71	60.73	58.18	51.05	59.76 %
Modelo	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	% de ahorro
A con C	69.74	69.02	69.19	68.11	67.04	68.64 %

**Tabla 5** Reducción de la energía eléctrica medida para los modelos A, B y C en (%)

Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede apreciar en las tablas 4 y 5 existe un ahorro considerable de energía eléctrica cuando es utilizado aislante térmico en muros y losa en los modelos.

Anexos

- ASHRAE (1979, 1992). "Cooling and Heating Load Calculation Manual."
- ASHRAE (1967, 1972, 1985, 1989). "ASHRAE Handbook of Fundamentals". Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Propiedades térmicas, y números de Código de las capas utilizadas en la descripción de paredes y techos

Materiales y sistemas constructivos		Cálculo y propiedades térmicas			
Número	Descripción	ρ	λ	μ	U
A1	20 cm de concreto	2400	0.85	0.025	11.76
A2	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	4.76
A3	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	28.57
A4	12 mm de yeso	1000	0.17	0.0125	80.00
A5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.033
A6	Pared	15	0.415	0.025	10.91
A7	100 mm de yeso	1000	0.17	0.0125	80.00
A8	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0.176
A9	25 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	117.65
A10	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A11	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A12	25 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	117.65
A13	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A14	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A15	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A16	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A17	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A18	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A19	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A20	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A21	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A22	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A23	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A24	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A25	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A26	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A27	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A28	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A29	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A30	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A31	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A32	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A33	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A34	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A35	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A36	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A37	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A38	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A39	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A40	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A41	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A42	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A43	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A44	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A45	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A46	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A47	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A48	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A49	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A50	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A51	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A52	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A53	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A54	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A55	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A56	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A57	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A58	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A59	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A60	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A61	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A62	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A63	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A64	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A65	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A66	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A67	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A68	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A69	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A70	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A71	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A72	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A73	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A74	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A75	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A76	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A77	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A78	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A79	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A80	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A81	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A82	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A83	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A84	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A85	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A86	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A87	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A88	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A89	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A90	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A91	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A92	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A93	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A94	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A95	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A96	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A97	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A98	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
A99	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
A100	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71

- Numeros de grupo de techo

Materiales del techo		Cálculo y propiedades térmicas			
Número	Descripción	ρ	λ	μ	U
T1	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0.033
T2	25 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	117.65
T3	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T4	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T5	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T6	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T7	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T8	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T9	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T10	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T11	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T12	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T13	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T14	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T15	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T16	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T17	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T18	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T19	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T20	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T21	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T22	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T23	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T24	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T25	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T26	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T27	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T28	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T29	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T30	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T31	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T32	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T33	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T34	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T35	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T36	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T37	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T38	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T39	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T40	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T41	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T42	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T43	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T44	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T45	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T46	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T47	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T48	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T49	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T50	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T51	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T52	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T53	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T54	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T55	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T56	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T57	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T58	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T59	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T60	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T61	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T62	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T63	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T64	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T65	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T66	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71
T67	100 mm de ladrillo	1800	0.42	0.025	47.62
T68	100 mm de aislamiento	300	0.035	0.025	285.71

- McQuiston, F. C., & Parker, J.D. (1988). Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.
- Mitalas, G. P., & Stephenson, D. G. (1967). Cooling Load Calculations by Thermal Response Factor Method, ASHRAE Transactions, 73(I), III.1.1 – 1.7.
- Mitalas, G. P., & Stephenson, D. G. (1967). Room Thermal Response Factors, ASHRAE Transactions, 73(II), III.2.1 – 2.10.
- Mitallas, G. P. (1969). An experimental check on the weighting factor method of calculating room cooling load, ASHRAE Transactions, 75(2), 222 – 232.
- Mitallas, G. P., & Stephenson, D. G. (1971). Calculation of heat conduction transfer functions for multi – layer slabs, ASHRAE Transactions, 77(2), 117 – 126.
- Mitallas, G. P. (1971). Transfer Function Method of calculating cooling loads, heat extraction and space temperature, ASHRAE Journal, 12, 54 – 56.
- Romine, T. B. (Jr.) (1992). Cooling Load Calculation: Art or Science?, ASHRAE Journal, 34, 14-24
- Rudoy, W., & Duran, F. (1975). Development of an Improved Cooling Load Calculation Method, ASHRAE Transactions, 81(2), 19 – 69.
- Spitler, J. D., McQuiston F.C., & Lindsey K. (1993). The CLTD/SCL/CLF Cooling Load Calculation Method, ASHRAE Transactions.
- Spitler, J. D., McQuiston F.C., & Lindsey K. (1993). Development of a Revised Heating and cooling Load Calculation Manual, ASHRAE Transactions.
- Stephenson, D. G. (1968). Calculation of cooling load by digital computer, ASRAE Journal, 4, 41 – 43.
- Sowell, E. F., & Chiles, D. C. (1984a). Characterization of zone dynamic response for CLF/CLTD tables, ASHRAE Transactions, 91(2A), 162 – 178.
- Sowell, E. F., & Chiles, D. C. (1984b). Zone descriptions and response characterizations for CLF/CLTD calculations, ASHRAE Transactions, 91(2A), 179 – 200.
- Sowell, E. F., & Chiles, D. C. (1984c). A counter – intuitive effect of mass on zone cooling load response, ASHRAE Transactions, 91(2A), 201 – 208.
- Sowell, E. F. (1988a). Load calculations for 200, 640 zones, ASHRAE Transactions, 94(2), 716 – 736.
- Sowell, E. F. (1988b). Cross-check and modification of the DOE-2 program for calculation of zone weighting factors, ASHRAE Transactions, 94(2), 737 – 753.
- Sowell, E. F. (1988c). Classification of 200, 640 parametric zones for cooling load calculations. ASHRAE Transactions, 94(2), 754 – 777.
- Threlkeld, J. L. (1963). Solar Irradiation of Surfaces on Clear Days, ASHRAE Transactions, 69, 24 – 36.
- Threlkeld, J. L. & Jordan R. C. (1959). Direct Solar Radiation available on Clear Days, ASHRAE Transactions, 64, 45 – 68.
- Todorovic B. (1982). Cooling Loads from Solar Radiation through Partially Shaded Windows, taking Heat Storage Effect into Account, ASHRAE Transactions, 88(2), 924 – 937.