



Title: Ahorro de energía en sistemas de aire acondicionado, mediante el uso de aislantes térmicos en un aula académica

Authors: CASADOS-SÁNCHEZ, Alvaro, CASADOS-LÓPEZ, Edzel Jair, ANZELMETTI-ZARAGOZA, Juan Carlos and MARQUINA-CHÁVEZ, Alejandro

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2021-01

BCIERMMI Classification (2021): 271021-0001

Pages: 17

RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 Itzopan Street

La Florida, Ecatepec Municipality

Mexico State, 55120 Zipcode

Phone: +52 1 55 6159 2296

Skype: ecorfan-mexico.s.c.

E-mail: contacto@ecorfan.org

Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

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.

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.

El cuidado del medio ambiente exige la disminución de emisiones contaminantes originada por la quema de combustibles fósiles. El dimensionamiento adecuado de una instalación de aire acondicionado para resolver la necesidad de confort a un costo energético óptimo resulta crucial.

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.



Método CLTD/ SCL / CLF

Este método es un proceso manual de un paso, basado en el TFM (Método de Función de Transferencia), que podría ser utilizado para aproximar la correspondiente carga de enfriamiento de los primeros tres modos de ganancia de calor y la carga de enfriamiento de la infiltración y ventilación.

- CLTD (Diferencia de Temperatura de la Carga de Enfriamiento)
- SCL (Carga de enfriamiento Solar)
- CLF (Factor de la Carga de Enfriamiento)



El objetivo de este trabajo radica en proponer una metodología para el cálculo de la carga de enfriamiento mínima en una edificación, en este caso es un aula académica de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Veracruzana, situada en la ciudad de Poza Rica, Veracruz con la finalidad de disminuir el consumo energético de un sistema de aire acondicionado reduciendo su capacidad.

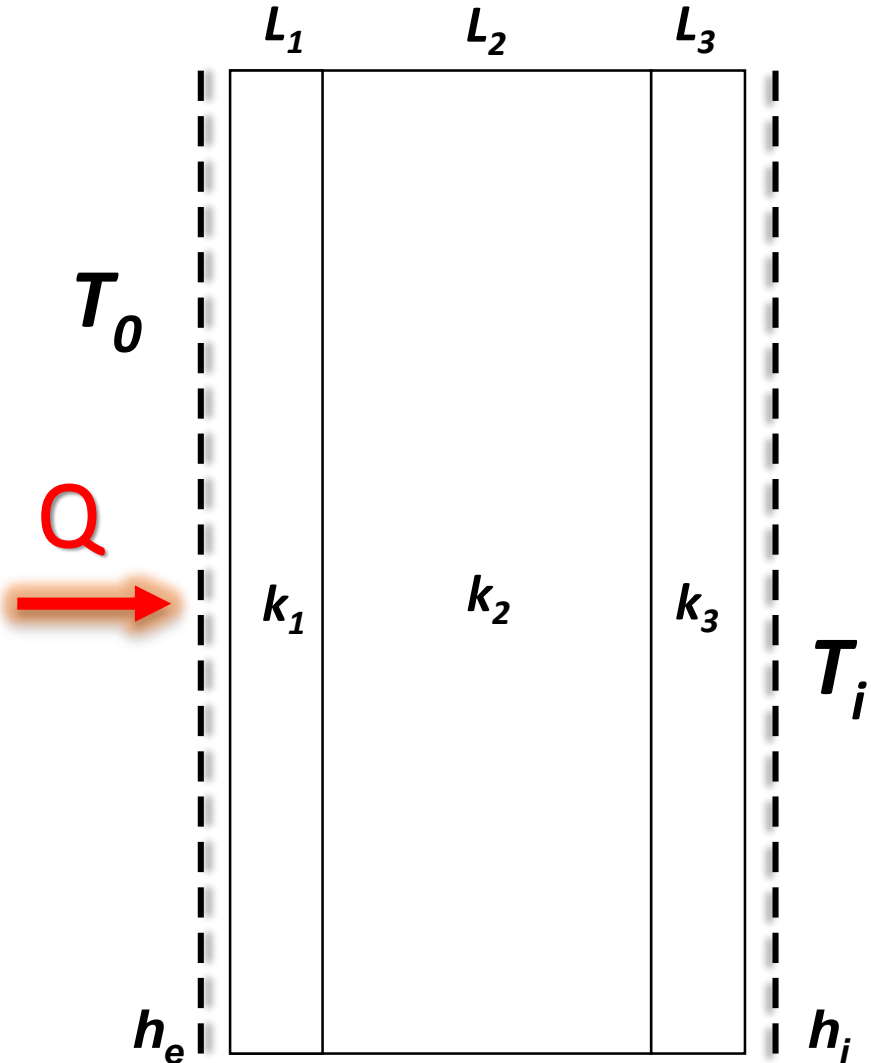
La estrategia de solución consiste en aplicar una metodología para el cálculo de la carga de enfriamiento derivado del método CLTD/SCL/CLF, pero aplicado a materiales de construcción regionales.

Mediante esta metodología se dimensionará en forma óptima la instalación de aire acondicionado, lo que garantizará un consumo energético mínimo. Adicionalmente se utilizará aislante térmico de poliestireno extruido incrementando el ahorro energético, lo cual se cuantificará mediante la medición del consumo de energía con instrumentación certificada proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).



Pared del Modelo Tipo A

Sin/Aislante



$$Q = A U \text{ (CLTD)}$$

$$U = \frac{1}{R}$$

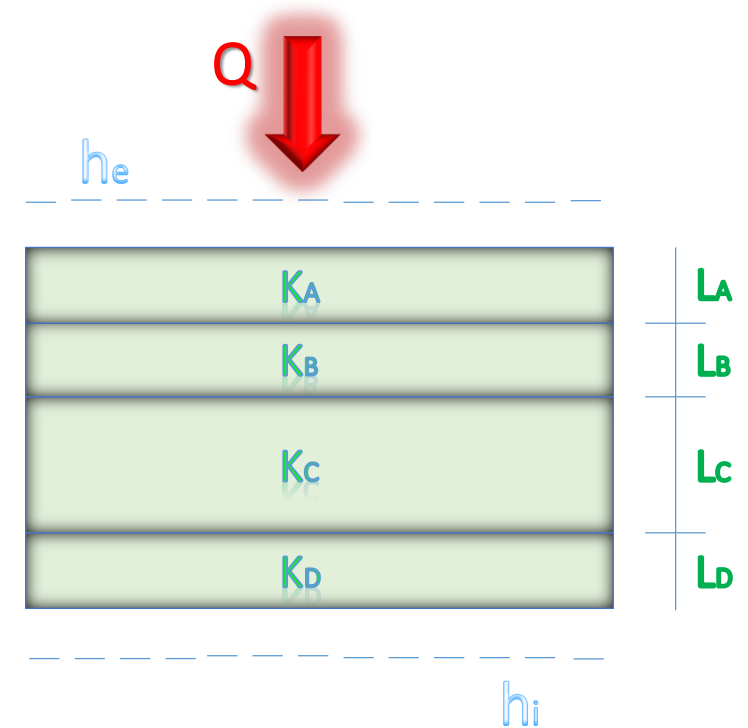
$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \frac{1}{h_e}$$

$$\text{CLTD}_{\text{CORR}} = [\text{CLTD} + \text{LM}] K + [25.5 \text{ }^\circ\text{C} - T_i] + [T_{\text{oav}} - 29.4 \text{ }^\circ\text{C}]$$

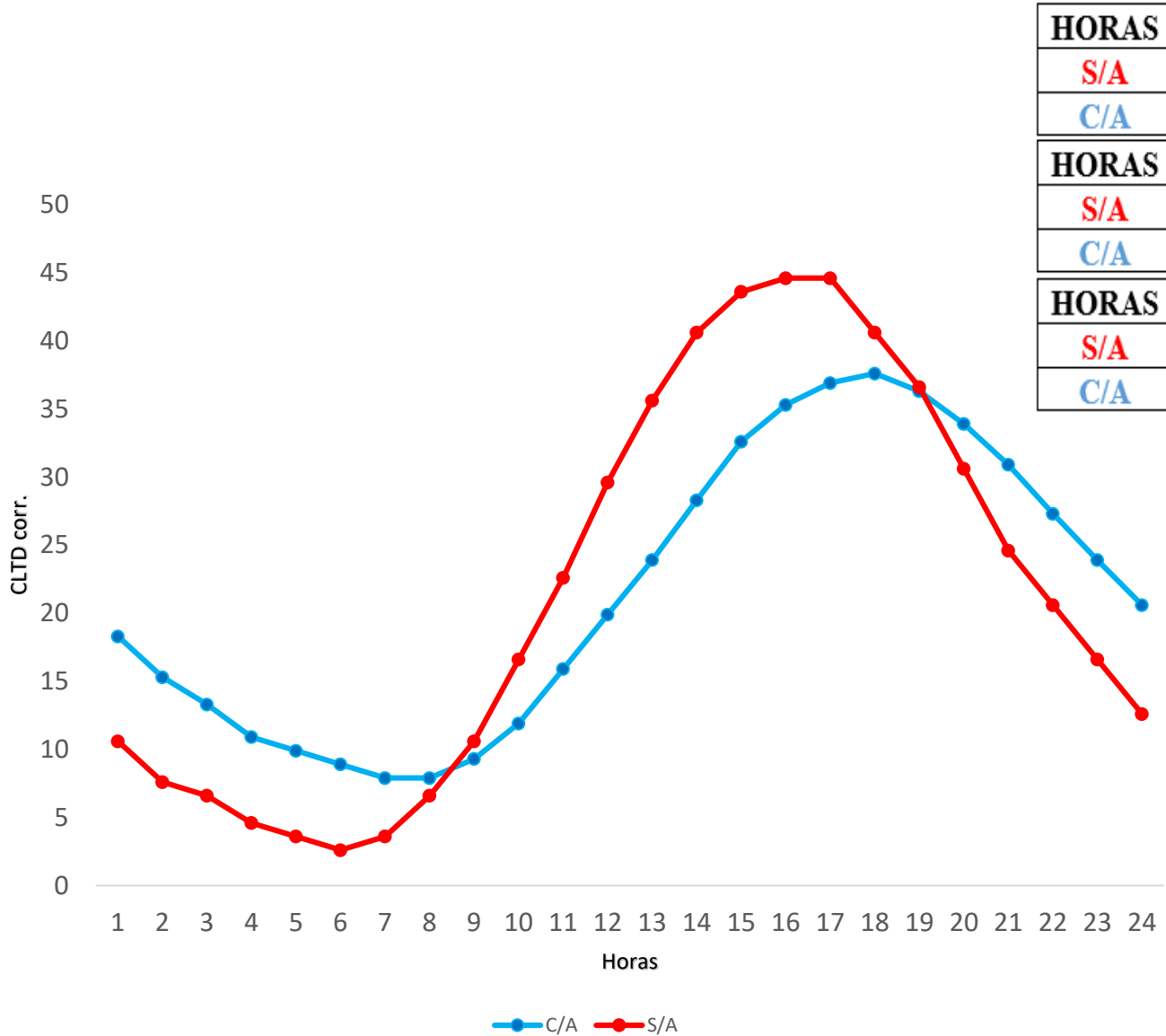
$$Q = A U \text{ (CLTD corregido)}$$

Losa del Modelo Tipo C

Con/Aislante

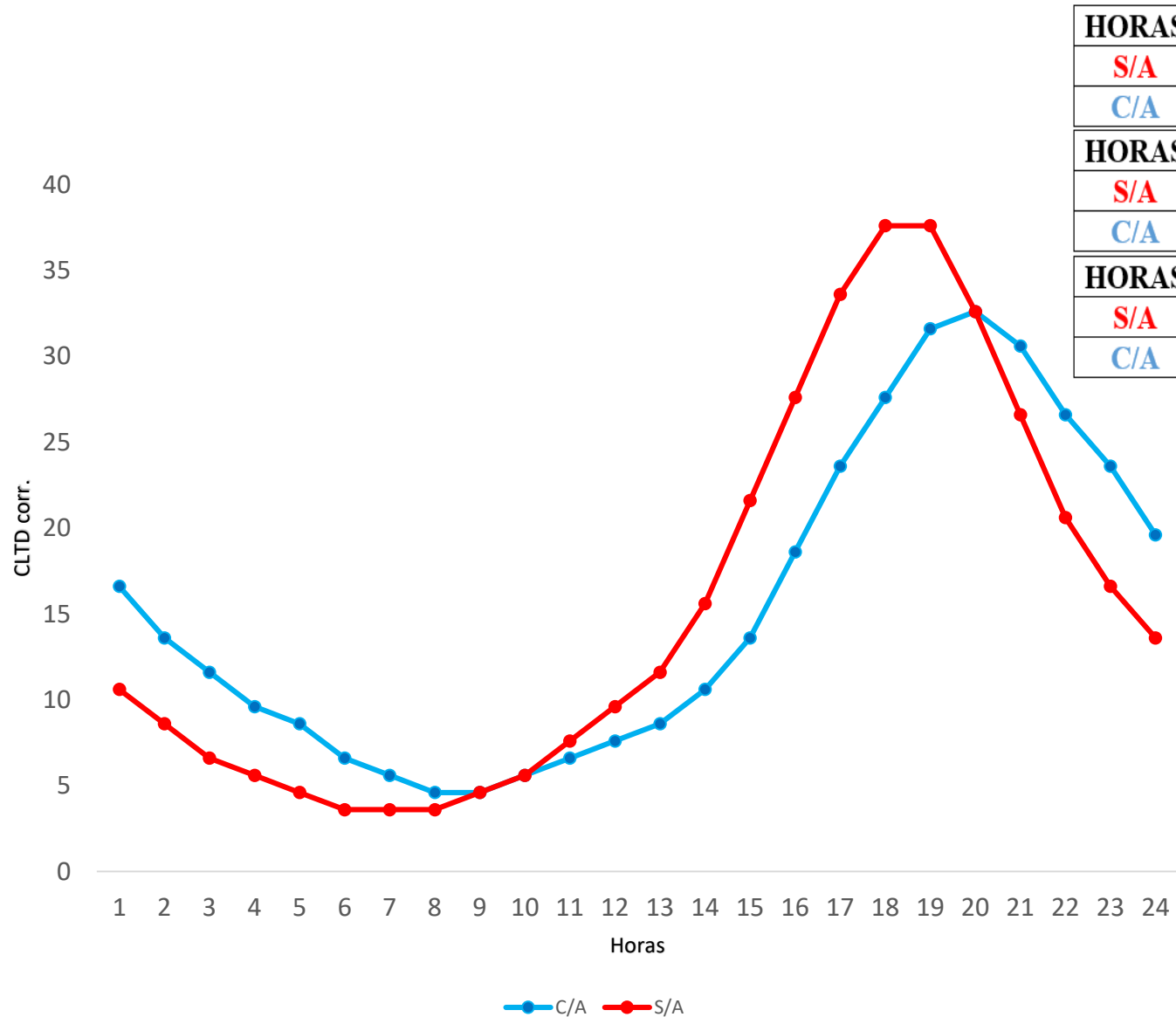


Valores CLTD Corregidos para las losas, sin aislante térmico y con aislante térmico.



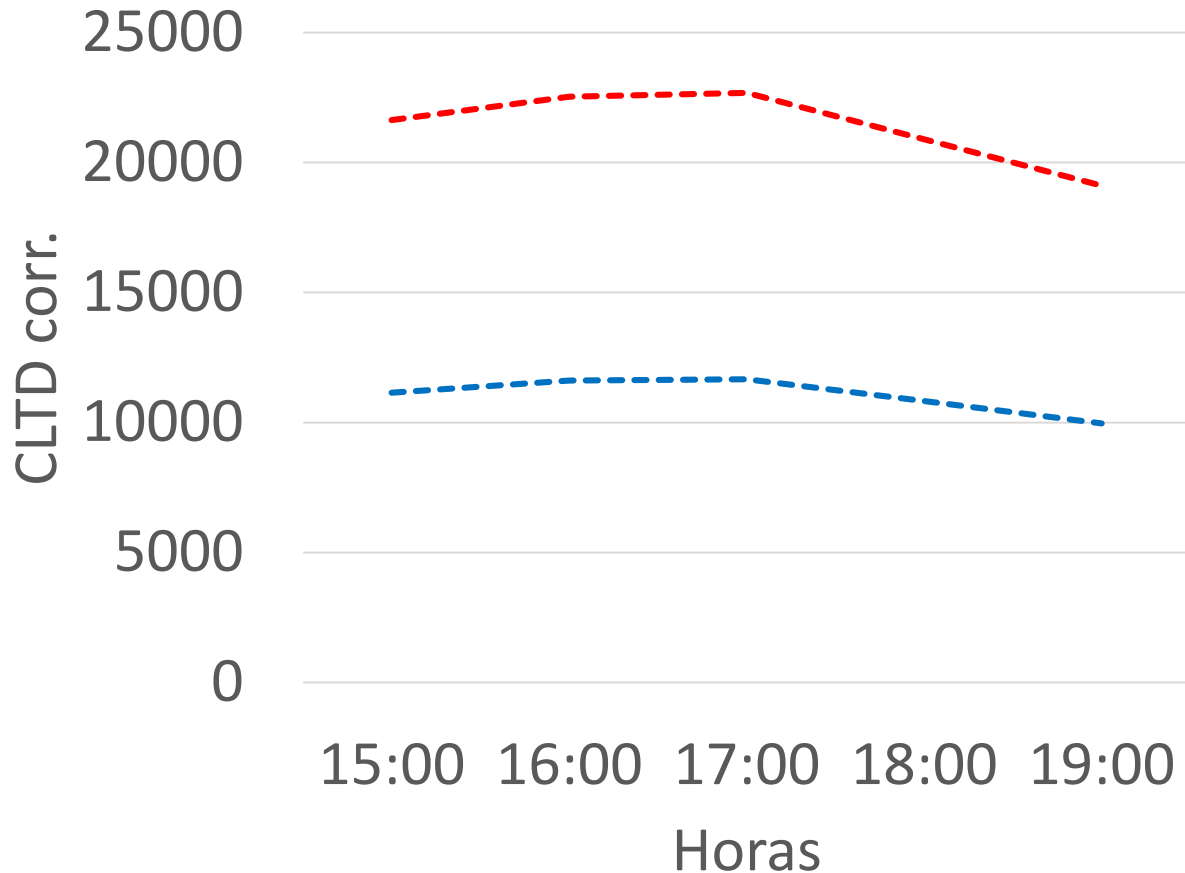
HORAS	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
S/A	10.6	7.6	6.6	4.6	3.6	2.6	3.6	6.6
C/A	18.3	15.3	13.3	10.9	9.9	8.9	7.9	7.9
HORAS	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
S/A	10.6	16.6	22.6	29.6	35.6	40.6	43.6	44.6
C/A	9.3	11.9	15.9	19.9	23.9	28.3	32.6	35.3
HORAS	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
S/A	44.6	40.6	36.3	30.6	24.6	20.6	16.6	12.6
C/A	36.9	37.6	36.3	33.9	30.9	27.3	23.9	20.6

Valores CLTD Corregidos para las paredes, sin aislante térmico y con aislante térmico.



HORAS	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
S/A	10.6	8.6	6.6	5.6	4.6	3.6	3.6	3.6
C/A	16.6	13.6	11.6	9.6	8.6	6.6	5.6	4.6
HORAS	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
S/A	4.6	5.6	7.6	9.6	11.6	15.6	21.6	27.6
C/A	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	10.6	13.6	18.6
HORAS	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
S/A	33.6	37.6	37.6	32.6	26.6	20.6	16.6	13.6
C/A	23.6	27.6	31.6	32.6	26.6	20.6	16.6	13.6

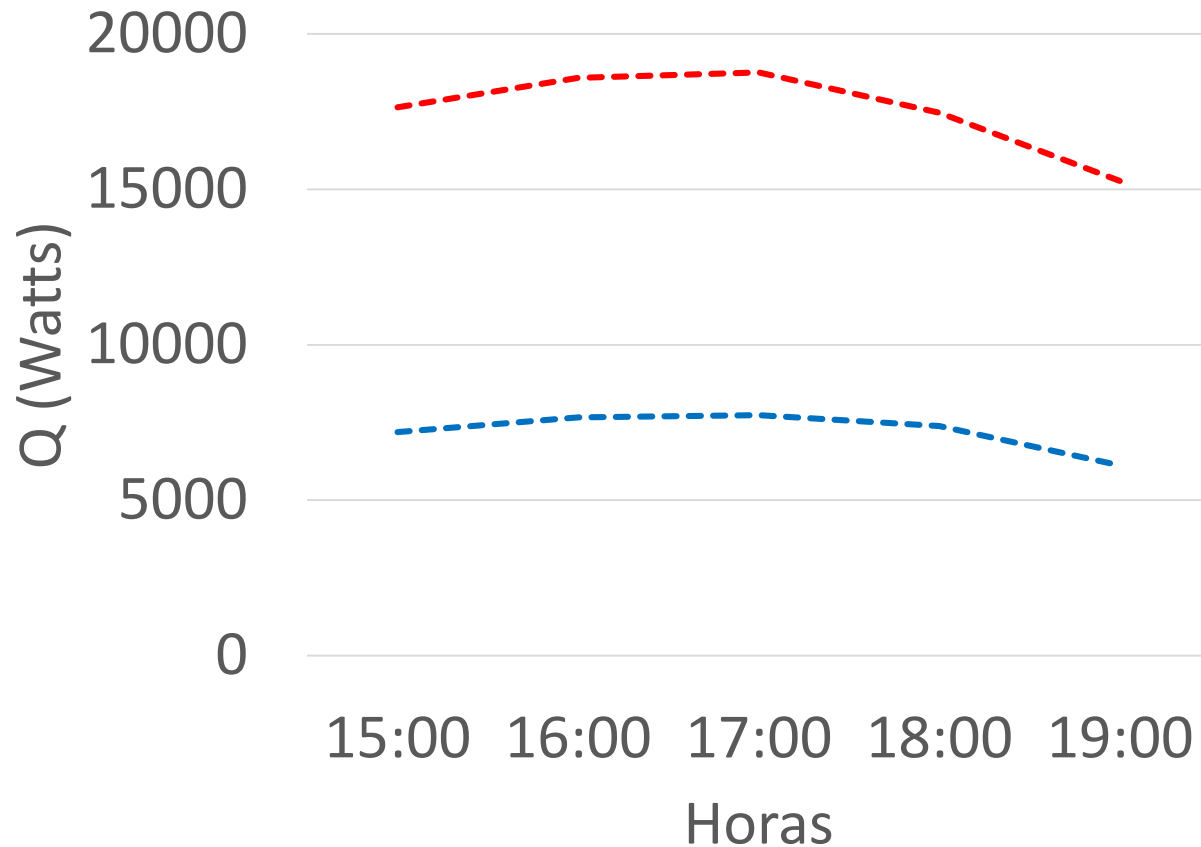
Resultados de la demanda de enfriamiento Q (Watts) considerando 30 alumnos



- Sin aislante térmico
- Con aislante térmico

HORA	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	TOTAL
Sin aislante térmico	21639	22534	22683	20898	19110	106864
Con aislante térmico	11143	11612	11658	10820	9963	55196

Resultados de la demanda de enfriamiento Q (Watts) considerando 3 alumnos



HORA	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	TOTAL
Sin aislante térmico	17640	18583	18757	17467	15270	87717
Con aislante térmico	7194	7661	7732	7389	6123	36099

- Sin aislante térmico
- Con aislante térmico

Reducción de la demanda de enfriamiento con respecto a la construcción sin aislante (%).

La disminución de la demanda de enfriamiento del aula académica con aislamiento y aquellos que no está aislados se presenta en la tabla siguiente, para los 2 casos en porcentaje.

Horas →	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Promedio
Aula académica Con 30 alumnos	48.5	48.5	48.6	48.2	47.9	48.3
Aula académica Con 3 alumnos	59.2	58.8	58.8	57.7	59.9	58.8

Energía de refrigeración (Kw – hr Térmicos) y (Kw – hr eléctricos) para el aula sin y con aislante térmico, considerando 30 alumnos.

Horas →			15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Total
Sin térmico	aislante	Kw - hr Térmicos	21.64	22.53	22.68	20.90	19.11	106.8
		Kw - hr Eléctrico	8.66	9.01	9.07	8.36	7.64	42.74
Con térmico	aislante	Kw - hr Térmicos	11.14	11.61	11.66	10.82	9.96	55.19
		Kw - hr Eléctrico	4.46	4.64	4.66	4.33	3.98	22.07

Energía de refrigeración (Kw – hr Térmicos) y (Kw – hr eléctricos) para el aula sin y con aislante térmico, considerando 3 alumnos.

Horas →			15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Total
Sin térmico	aislante	Kw - hr Térmicos	21.64	22.53	22.68	20.90	15.27	87.72
		Kw - hr Eléctrico	8.66	9.01	9.07	8.36	6.11	35.09
Con térmico	aislante	Kw - hr Térmicos	7.19	7.66	18.76	17.47	6.12	36.09
		Kw - hr Eléctrico	2.88	3.06	3.09	2.96	2.45	14.44

Reducción de la energía eléctrica medida para el aula académica, sin y con aislante en (%).

Horas →	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Promedio
Aula académica Con 30 alumnos	49.12	48.99	49.10	48.75	48.38	48.86
Aula académica Con 3 alumnos	59.86	59.38	59.42	58.34	60.40	59.48

Como se apreciar en la tabla, existe un ahorro considerable de energía eléctrica, cuando es utilizado aislante térmico en muros y losa del aula académica. También se podrá notar que existe una diferencia cuando se consideran en el aula 30 o 3 alumnos.

Conclusiones

Al aplicar la metodología desarrollada para el cálculo de la carga de enfriamiento, derivado del método CLTD/SCL/CLF, se logra la dimensión exacta de los equipos de acondicionamiento de aire requeridos, evitando el sobredimensionamiento, lo que implica ahorro sustentable de energía.

Adicionalmente la utilización de aislantes térmicos combinado con el método mencionado permitirá un ahorro de energía del **48.86 %**, cuando el aula es ocupada por 30 alumnos y **59.48 %** cuando es ocupada por 3 alumnos, lo cual representa un ahorro considerable en el consumo de energía por lo que se justifica el uso de estos materiales en la construcción de edificios desde el punto de vista energético.

ANEXOS

Propiedades
térmicas, y
números de
Código de las
capas utilizadas
en la descripción
de paredes y
techos

Numero de código	Descripción	Espesor y propiedades técnicas					
		L	k	ρ	Cp	R	Masa
A0	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0	0.059	0
A1	25 mm de estuco	25	0.692	1858	0.84	0.037	47.34
A2	100 de ladrillo	100	1.333	2002	0.92	0.076	203.5
A3	Acero forrado	2	44.998	7689	0.42	0	11.71
A4	12 mm de escoria	13	0.19	1121	1.67	0.067	10.74
A5	Resistencia de la superficie exterior	0	0	0	0	0.059	0
A6	Final	13	0.415	1249	1.09	0.031	16.1
A7	100 de ladrillo	100	1.33	2002	0.92	0.076	203.5
B1	Resistencia del espacio de aire	0	0	0	0	0.16	0
B2	25 mm de aislamiento	25	0.043	32	0.84	0.587	0.98
B3	50 mm de aislamiento	51	0.043	32	0.84	1.173	1.46
B4	75 mm de aislamiento	76	0.043	32	0.84	1.76	2.44
B5	25 mm de aislamiento	25	0.043	91	0.84	0.587	2.44
B6	50 mm de aislamiento	51	0.043	91	0.84	1.173	4.88
B7	25 mm de madera	25	0.121	593	2.51	0.207	15.13
B8	65 mm de madera	63	0.121	593	2.51	0.524	37.58
B9	100 mm de madera	100	0.121	593	2.51	0.837	60.02
B10	50 mm de madera	51	0.121	593	2.51	0.42	30.26
B11	75 mm de madera	76	0.121	593	2.51	0.628	45.38
B12	75 mm de aislamiento	76	0.043	91	0.84	1.76	6.83
B13	100 mm de aislamiento	100	0.043	91	0.84	2.347	9.27
B14	125 mm de aislamiento	125	0.043	91	0.84	2.933	11.71
B15	150 mm de aislamiento	150	0.043	91	0.84	3.52	14.15
B16	4 mm de aislamiento	4	0.043	91	0.84	0.088	0.49
B17	8 mm de aislamiento	8	0.043	91	0.84	0.176	0.49
B18	12 mm de aislamiento	12	0.043	91	0.84	0.264	0.98
B19	15 mm de aislamiento	15	0.043	91	0.84	0.352	1.46
B20	20 mm de aislamiento	20	0.043	91	0.84	0.44	1.95
B21	35 mm de aislamiento	35	0.043	91	0.84	0.792	2.93
B22	42 mm de aislamiento	42	0.043	91	0.84	0.968	3.9
B23	60 mm de aislamiento	62	0.043	91	0.84	1.408	5.86
B24	70 mm de aislamiento	70	0.043	91	0.84	1.584	6.34
B25	85 mm de aislamiento	85	0.043	91	0.84	1.936	7.81
B26	92 mm de aislamiento	92	0.043	91	0.84	2.112	8.3
B27	115 mm de aislamiento	115	0.043	91	0.84	2.64	10.74
C1	100 mm de placa de arcilla	100	0.571	1121	0.84	0.178	113.7
C2	100 mm de block de concreto de baja densidad	100	0.381	609	0.84	0.266	61.98
C3	100 mm de block de concreto de alta densidad	100	0.813	977	0.84	0.125	99.06
C4	100 de ladrillo común	100	0.727	1922	0.84	0.14	195.2
C5	100 mm de concreto de alta densidad	100	0.731	2243	0.84	0.059	227.9
C6	200 mm de placa de arcilla	200	0.571	1121	0.84	0.352	227.9
C7	200 mm de block de concreto de baja densidad	200	0.571	609	0.84	0.352	123.46
C8	200 mm de block de concreto de alta densidad	200	1.038	977	0.84	0.196	198.62
C9	200 mm de ladrillo común	200	0.727	1922	0.84	0.279	390.4
C10	200 mm de concreto de alta densidad	200	0.731	2243	0.84	0.117	455.79
C11	300 mm de concreto de alta densidad	300	0.731	2243	0.84	0.176	683.2
C12	50 mm de concreto de alta densidad	50	0.731	2243	0.84	0.029	113.7
C13	150 mm de concreto de alta densidad	150	0.731	2243	0.84	0.088	341.6
C14	100 mm de concreto de baja densidad	100	0.173	641	0.84	0.587	64.9
C15	150 mm de concreto de baja densidad	150	0.173	641	0.84	0.88	97.6
C16	200 mm de concreto de baja densidad	200	0.173	641	0.84	1.173	130.3
C17	200 mm de block de concreto de baja densidad	200	0.138	288	0.84	1.467	58.56
C18	200 mm de block de concreto de alta densidad	200	0.588	849	0.84	0.345	172.75
C19	300 mm de block de concreto de baja densidad	300	0.138	304	0.84	2.2	92.72
C20	300 mm de block de concreto de alta densidad	300	0.675	897	0.84	0.451	273.28
E0	Resistencia de la superficie interior	0	0	0	0	0.121	0
E1	20 mm de yeso o yesiforo	20	0.727	1602	0.84	0.026	30.74
E2	12 mm de escoria o piedras	12	1.436	881	1.67	0.009	11.22
E3	10 mm de fieltro o membrana	10	0.19	1121	1.67	0.05	10.74
E4	Espacio de aire en el techo	0	0	0	0	0.176	0
E5	Mosaico acústico	19	0.061	481	0.84	0.314	9.27

L = Espesor, mm
k = Conductividad térmica, W/(m²K)
 ρ = Densidad, kg/m³

Cp = Calor específico, kJ/(kg^oK)
R = Resistencia térmica, (m²K)/W
Masa = Masa x unidad área, kg/m²

No	Códigos	Masa interior						Masa integral						Masa exterior							
		Números del rango del valor R ^b						Números del rango del valor R ^b						Números del rango del valor R ^b							
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
1	B7							1	2	2	4	4									
2	B8							4	5	9	10	18									
3	B9							19	21	27	27	28									
4	C5	6	7	7	10	10		3					6	7	7	10	11				
5	C12	2	2	4	4	5		2					2	3	4	5	5				
6	C13	7	12	13	13	20		5					7	12	13	13	20				
7	C14		4	5	9	9		2	2				4	5	9	9					
8	C15		5	10	18	18	18		4				5	10	10	18	18	18	18		
9	C16		9	19	20	27	27		9				9	18	20	27	27				
10	A3							1	1	1	2	2									
11	Ático							1	2	2	2	4									
Sistemas de azotea																					
12	C12-C12							4	5	9	9	9		5	5	7	9	9			
13	C12-C5							6	11	12	18	18		7	12	12	12	20			
14	C12-C13							11	20	20	21	27		12	13	21	21	21			
15	C5-C12							5	10	10	17	17		5	10	11	11	18			
16	C5-C5							10	20	20	26	26		10	13	21	21	21			
17	C5-C13							20	27	28	28	35		20	22	22	22	28			
18	C13-C12							10	18	20	20	26		10	13	20	29	21			
19	C13-C5							18	27	27	28	35		20	22	22	28	28			
20	C13-C13							21	29	30	36	36		21	29	30	31	36			

No	Códigos	Masa interior						Masa integral						Masa exterior							
		Números del rango del valor R ^b						Números del rango del valor R ^b						Números del rango del valor R ^b							
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
1	B7								4	5	9	10	10								
2	B8								9	20	21	22	28								
3	B9								20	28	30	37	38								
4	C5	8	15	18	18	23		6					7	7	7	10	10				
5	C12	5	8	13	13	14		3					3	3	4	5					
6	C13		18	24	25	25		11	11				12	13	13	20					
7	C14		4	10	11	18	20		4				4	5	9	9	17				
8	C15		10	18	21	21	28		9				9	10	18	19	26				
9	C16			20	28	29	36			18				18	26	27	27				
10	A3							1	1	2	2	4									
11	Ático																				
Sistemas de azotea																					
12	C12-C12							6	13	22	22	22		5	5	7	9	9			
13	C12-C5							10	21	23	24	31		12	12	18	20				
14	C12-C13							13	23	24	33	33		13	21	21	21				
15	C5-C12							10	20	22	28	29		10	12	18	18				
16	C5-C5							13	23	32	32	33		20	21	21	21				
17	C5-C13							21	32	34	40			22	22	28	28				
18	C13-C12							12	28	30	31	37		13	20	20	21				
19	C13-C5							21	31	39	40	40		22	22	28	28				
20	C13-C13							39	41	41	42	42		29	30	31	36	37			

Los espacios en blanco denotan un techo que no es posible con las combinaciones de los parámetros elegidos. Los números 12 a 20 son sistemas de azoteas. El primer material es una capa exterior, el segundo material es una capa interior. Los números de los materiales masivos son: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20. Los números de los materiales no masivos son: 1, 2, 3, 10 y 11.

Rangos del valor R en m ² K/W			
No	Rango	No	Rango
1	0 a 0.88	3	1.76 a 2.64
2	0.88 a 1.76	4	2.64 a 3.52
		5	3.52 a 4.40
		6	4.40 a 5.28

No	Hora																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	-1	-2	-3	-3	-3	0	7	16	25	33	41	46	49	49	46	41	33	24	14	8	5	3	1
2	1	0	-1	-2	-3	-3	-2	2	9	18	27	34	41	46	48	47	44	39	31	22	14	8	5	3
3	7	4	3	1	0	-1	0	3	7	13	19	26	32	37	40	41	41	37	33	27	21	17	13	9
4	9	6	4	2	1	-1	-2	-2	0	4	9	16	23	30	36	41	43	43	41	37	31	25	19	13
5	12	9	7	4	3	2	1	1	3	7	12	17	23	28	33	37	38	38	36	33	28	23	19	15
8	16	13	12	9	8	7	6	6	7	9	12	16	19	23	27	29	31	32	31	29	27	24	21	18
9	18	14	12	9	7	5	3	2	2	4	7	11	15	20	25	29	33	35	36	35	32	29	25	21
10	21	18	15	13	11	8	7	6	5	6	7	9	13	17	21	24	28	31	32	32	31	29	26	23
13	19	17	16	14	12	11	10	9	9	9	11	13	16	18	21	23	26	27	27	27	26	24	22	21
14	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	12	13	16	18	20	22	23	24	25	25	24	23	22	21

Nota: 1. Aplicación directa de datos
 Superficie oscura
 Temperatura interior de 25.5 °C
 Temperatura máxima exterior de 35 °C con temperatura promedio de 29.5 °C y rango diario de 11.6 °C
 Radiación solar típica de un día claro el día 21 del mes
 Resistencia de la película de la superficie exterior de 0.059 m²K/W
 Con o sin techo suspendido y sistemas de cámaras de retorno de aire
 Resistencia de la superficie interior de 0.121 m²K/W

Nota: 2. Ajuste de la tabla de datos
 Diseño de temperaturas: Corr: CLTD = CLTD + (25.5 - t_i) + (t_m - 29.4)

Donde:
 t_i = temperatura interior y t_e = temperatura exterior promedio
 t_m = temperatura exterior máxima - (rango diario)/2
 Ningún ajuste recomendado para el color
 Ningún ajuste recomendado para la ventilación del aire del espacio sobre el techo

Diferentes temperaturas de la carga de enfriamiento de Julio para el cálculo de la carga de enfriamiento de los techos planos a 40° latitud norte

Referencias

- Falconer, D.R., E.F. Sowell, J. D. Spitler, and B. Todorovich. (1993). Electronic tables for the ASHRAE transactions 99
- Harris, S. M., & McQuiston, F.C. (1988). A study to categorize walls and roofs on the basis of thermal response, "ASHRAE Transactions", 94(2), 688 – 715.
- Lindsey, Kirk (1991). Revision of the CLTD/CLF Cooling Load Calculation Method, M.S. Creative Component, Oklahoma State University.
- Machler, M. A., & Iqbal M. (1985). A modification of the ASHRAE clear sky irradiation model, ASHRAE Transactions, 91(IA), 106 – 115.
- McQuiston, F. C., & Parker, J.D. (1988). Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.
- Mitallas, G. P., & Stephenson, D. G. (1971). Calculation of heat conduction transfer functions for multi – layer slabs, ASHRAE Transactions.
- 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.
- 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.
- Threlkeld, J. L. (1963). Solar Irradiation of Surfaces on Clear Days, ASHRAE Transactions, 69, 24 – 36.
- Todorovic B. (1982). Cooling Loads from Solar Radiation through Partially Shaded Windows, taking Heat Storage Effect into Account, ASHRAE Transactions.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)