

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE TECHOS DE ESCUELAS. ANALISIS DE SU DESEMPEÑO TÉRMICO PARA EL CLIMA DE SAN MIGUEL DE TUCUMAN

Sara Lía Ledesma, Viviana M. Nota

Centro de Estudios Energía Habitabilidad y Arquitectura Sustentable (CEEHAS) Instituto de Acondicionamiento Ambiental – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Tucumán – Tel. 03814364093 – int. 7914 – Av. Roca 1800
sledesma@herrera.unt.edu.ar–vnota01@yahoo.com.ar

RESUMEN: En este trabajo se pretende ampliar el conocimiento sobre el comportamiento térmico de algunas de las soluciones de techos más utilizadas en edificios escolares en San Miguel de Tucumán, realizando una evaluación comparativa de las mismas a fin de recomendar las más convenientes para reducir el flujo de calor, considerando su costo de construcción. Se analizan diferentes materiales, terminaciones superficiales y orientaciones de los techos, con la utilización de programas desarrollados por el Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable (CEEHAS). Los resultados alcanzados permitieron concluir que el incremento de la aislación produce importantes reducciones en las cargas térmicas estacionales con un bajo impacto en el costo de construcción, y que es posible alcanzar una significativa disminución de las cargas térmicas necesarias para el acondicionamiento interior, a partir de la adecuada selección de materiales, color, orientación e inclinación de los techos analizados.

Palabras clave: Energía. Habitabilidad. Escuelas. Techos.

INTRODUCCION

El confort térmico en las aulas escolares tiene un gran impacto en el rendimiento y la salud de los niños (Sensharma, Woods y Goodwin 1998; Bluysen 2014), resultando este aspecto aún más importante cuando se considera la cantidad de horas que los niños pasan en la escuela. Este hecho pone de manifiesto la importancia de alcanzar un ambiente térmico confortable al interior de los establecimientos educacionales.

El diseño de escuelas sustentables resulta necesario para lograr educación con calidad, lo que se logrará proyectando edificios escolares, con la visión de disminuir las demandas de energía en iluminación, calefacción y refrigeración para lograr el confort térmico interior minimizando los consumos de energía y las emisiones de CO₂, que impactan negativamente al ambiente.

En este sentido, el conocimiento del comportamiento térmico de los elementos de la envolvente de los edificios es de gran interés para poder plantear alternativas más efectivas que permitan la generación de espacios con confort térmico. Dentro de los elementos de la envolvente, los techos presentan ciertas particularidades, tales como la gran exposición a la radiación solar, y las grandes superficies, que determinan que influyan de manera considerable en el confort y en el consumo de energía para la climatización de un recinto. Debido a esto, es que es importante conocer su desempeño térmico y la incidencia en el mismo de diferentes las variables de diseño.

El estudio de los techos utilizados en edificios escolares cobra importancia debido a las características climáticas de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Esta es una localidad que presenta un clima cálido

húmedo en el verano, sin embargo, en el invierno, las temperaturas son relativamente bajas, por lo que resulta necesario considerar esta variabilidad anual incorporando estrategias para ambas situaciones. Es así que, para garantizar el confort interior de una manera pasiva, será necesario considerar estrategias para evitar que el calor ingrese al edificio en verano, como así también para la conservación del calor y la calefacción solar pasiva en invierno. Estas características pueden observarse en el diagrama de la figura 1, en donde los requerimientos de enfriamiento para alcanzar el confort en verano son del 31% de las horas anuales, presentando porcentajes similares de requerimientos de calefacción en invierno, 32%.



Figura 1: Diagrama de solicitudes térmicas para el confort para S.M. de Tucumán

Dadas las características climáticas de esta localidad, los techos en las escuelas pueden representar un considerable porcentaje del total de las ganancias y pérdidas del calor envolvente, esto se observa en estudios realizados por el CEEHAS, en donde se analizaron soluciones constructivas empleadas con mayor frecuencia en los techos de las escuelas de Tucumán (Ledesma et al, 2014).



Figura 2: Carga térmica total a través de cada uno de los elementos de la envolvente de aulas prototípicas de escuelas de S.M. de Tucumán

En el relevamiento realizado sobre de 250 escuelas públicas de S.M. de Tucumán construidas con anterioridad al año 2003, se observa que el 75% posee cubiertas de chapa con cielorraso de yeso y el 25% de losa de hormigón, pero la totalidad de las escuelas construidas en los últimos 15 años, que corresponden al Programa Nacional 700 Escuelas, presentan sobretecho de chapa sobre losa. Otro aspecto a considerar es que la mayoría de las escuelas se desarrollan en planta baja, razón por la cual la superficie de los techos toma una dimensión importante en el balance térmico en relación a los

demás elementos de la envolvente (Ledezma et al, 2014).



Figura 3: Ejemplo de techos de escuelas de Tucumán.

En este trabajo se pretende ampliar el conocimiento sobre el comportamiento térmico de algunas de las soluciones de techos más utilizadas en edificios escolares en San Miguel de Tucumán, realizando una evaluación comparativa de las mismas y planteando modificaciones de diseño tendientes a reducir la transmisión de calor y, por lo tanto, mejorar las condiciones de confort que perciben los usuarios. El propósito de esta investigación es conocer la eficiencia de techos, en términos de transmisión de calor, mediante el análisis de diferentes materiales, terminaciones superficiales y orientaciones, a fin de recomendar las soluciones más convenientes para reducir el flujo de calor, considerando su costo de construcción. El trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación PIUNT B620/2: "Etiquetado energético en edificios escolares de Tucumán".

METODOLOGÍA

Se adoptaron para el análisis las soluciones constructivas de uso más frecuente en edificios escolares estatales, además de otras alternativas, que si bien, se usan en menor medida en la edificación de escuelas, sí son empleadas en otras tipologías edilicias:

- a. Losa llena de hormigón armado cubierta de chapa galvanizada bajo las situaciones de cámara de aire cerrada, medianamente ventilada y sobretecho.
- b. Chapa galvanizada con cielorraso de yeso, con cámara de aire cerrada y medianamente ventilada.
- c. Losa de viguetas de hormigón con bovedilla cerámica con terminación de baldosa y de teja cerámica.
- d. Losa de viguetas de hormigón con bovedillas de poliestireno expandido con terminación de baldosa y de teja cerámica.

Se consideraron para todos los casos, las situaciones de i) ausencia de material aislante térmico; ii) con aislante térmico de 25 mm; iii) con aislante térmico de 50 mm. Se evaluaron los techos, en posición horizontal e inclinada a 30° hacia las cuatro orientaciones y se consideraron dos comportamientos frente a la radiación solar i) con coeficiente de absorción de 0.5 (correspondiente a un color medio de la cubierta) ii) coeficiente de absorción de 0.7 (color oscuro)

En la evaluación del comportamiento térmico de las alternativas seleccionadas, se aplicó el programa desarrollado por el CEEHAS (Ledezma, Nota, Gonzalo, 2018), que permite determinar las propiedades termo físicas de las soluciones constructivas, el coeficiente de transmisión térmica K, su verificación de Normas, el amortiguamiento y retardo. La verificación del riesgo de condensación superficial e intersticial de las alternativas analizadas, se utilizó el programa CEEMACON.xls (Gonzalo, 2003), desarrollado bajo los procedimientos establecidos por las normas IRAM 11601 y 11625.

Para una mayor comprensión de la dinámica térmica a través de los casos de análisis de techos, se determinaron las cargas térmicas necesarias para el acondicionamiento de los espacios interiores. Para ello se determinaron los requerimientos de enfriamiento y calefacción en condiciones de periodicidad a partir de programa de cálculo desarrollado por el CEEHAS, considerando las temperaturas exteriores promedio de los meses de verano e invierno correspondientes a los registros del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2000-2010) y los valores de temperatura interior establecido por IRAM

DISCUSION DE RESULTADOS

En el análisis de las soluciones constructivas empleadas con más frecuencia en los últimos años, losa llena de hormigón armado con cubierta de chapa galvanizada y chapa galvanizada con cielorraso de yeso, ambas con cámara de aire, se consideraron las alternativas de cámara cerrada, medianamente ventilada y sobre techo. Se estudiaron, además, las situaciones de: techo sin aislación térmica (SA), con cámara de aire de alta emitancia y aislación térmica de poliestireno expandido de 25 mm y 50 mm (PE25 y PE50), y con cámara de aire de baja emitancia y aislación de lana de vidrio de 25 y 50 mm, (LV25-BE y LV50-BE). Tabla 1.

ELEMENTO	CASOS	K inv. W/m ² °C	K ver. W/m ² °C	Verifica normas verano			Presenta condens.		
				A	B	C	Superf.	Inters.	
	LOSA CON SOBRETecho DE CHAPA	SA	2,92	1,78	NO	NO	NO	CONDENSA	CONDENSA
		PE25	0,95	0,78	NO	NO	NO	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE50	0,56	0,5	NO	NO	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
	LOSA - CHAPA CON CÁMARA CERRADA (CámaraC)	SA	2,54	1,87	NO	NO	NO	CONDENSA	CONDENSA
		PE25	0,9	0,8	NO	NO	NO	NO CONDENSA	CONDENSA
		LV25-BE	0,73	0,56	NO	NO	SI	NO CONDENSA	CONDENSA
		PE50	0,55	0,51	NO	NO	SI	NO CONDENSA	CONDENSA
	LOSA - CHAPA CON CÁMARA MEDIANAMENTE VENTILADA (CámaraMV)	SA	2,31	1,87	NO	NO	NO	CONDENSA	CONDENSA
		PE25	0,96	0,8	NO	NO	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		LVBE25	0,87	0,56	NO	NO	SI	CONDENSA	CONDENSA
		PE50	0,61	0,51	NO	NO	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		CHAPA - YESO CON CÁMARA CERRADA (CámaraC)	SA	3,12	2,17	NO	NO	NO	CONDENSA
PE25			0,97	0,85	NO	NO	NO	NO CONDENSA	CONDENSA
LV25-BE			0,78	0,59	NO	NO	SI	NO CONDENSA	CONDENSA
PE50			0,57	0,53	NO	NO	SI	NO CONDENSA	CONDENSA
	CHAPA - YESO CON CÁMARA MEDIANAMENTE VENTILADA (CámaraMV)	SA	3,10	2,17	NO	NO	NO	CONDENSA	CONDENSA
		PE25	1,07	0,85	NO	NO	NO	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		LV25-BE	0,95	0,59	NO	NO	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE50	0,65	0,53	NO	NO	SI	CONDENSA	NO CONDENSA
		LV50-BE	0,61	0,41	NO	SI	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA

Tabla 1: Situaciones de análisis de techos, propiedades higrotérmicas y verificación de normas.

Los resultados del análisis de las propiedades termofísicas de los elementos analizados, permitieron observar que, la sola presencia de cámara de aire no garantiza adecuadas condiciones de resistencia al paso del calor ya que ningún caso de techo sin aislación térmica cumple con el nivel mínimo o C establecido por IRAM.

Se observa que al incorporar aislación térmica se mejora la resistencia al paso de calor, no obstante 1" de poliestireno o lana de vidrio no garantiza la verificación del cumplimiento de la categoría C para verano ($0,72 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$). Solo en el caso de incorporar superficie de alta emitancia en la cámara de aire, será posible, con 25 mm de aislación, cumplir con el nivel C, en este caso se logra una disminución de la transmisión del calor en el orden del 30 % en verano y del 10 al 20% en invierno, según la ventilación de la cámara. Por otro lado, para alcanzar el nivel B o recomendado, se requiere como mínimo, 50 mm

de aislamiento térmico sumado a una cámara de aire con superficie de baja emitancia. Finalmente se puede observar que ninguna de las opciones de uso frecuentes, verifica el nivel A. Figura 4.

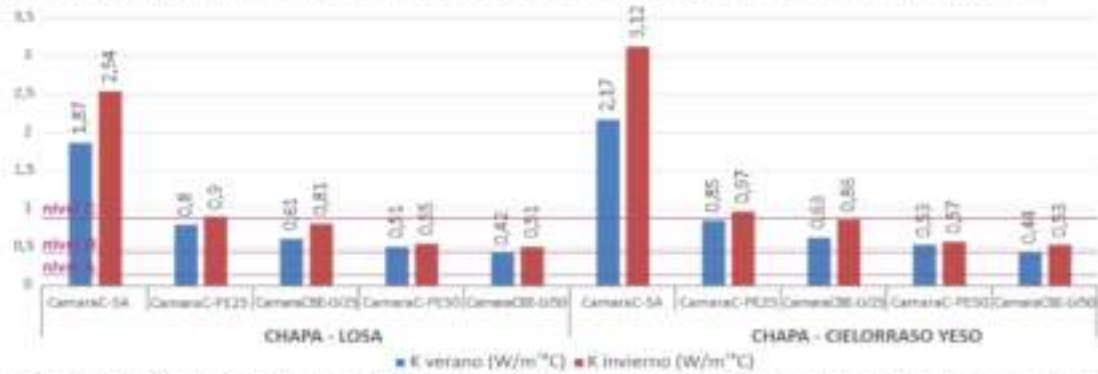


Figura 4: Variación de los valores de K de las soluciones constructivas de techos de chapa, sobre losa y sobre cielorraso de yeso, según grado de aislamiento térmico

Los resultados de la evaluación del comportamiento térmico de los techos según el grado de ventilación de la cámara de aire, i) Cámara cerrada (CámaraC), Cámara medianamente ventilada (CámaraMV) y sobretecho o cámara abierta (CA), se muestran en figura 5.

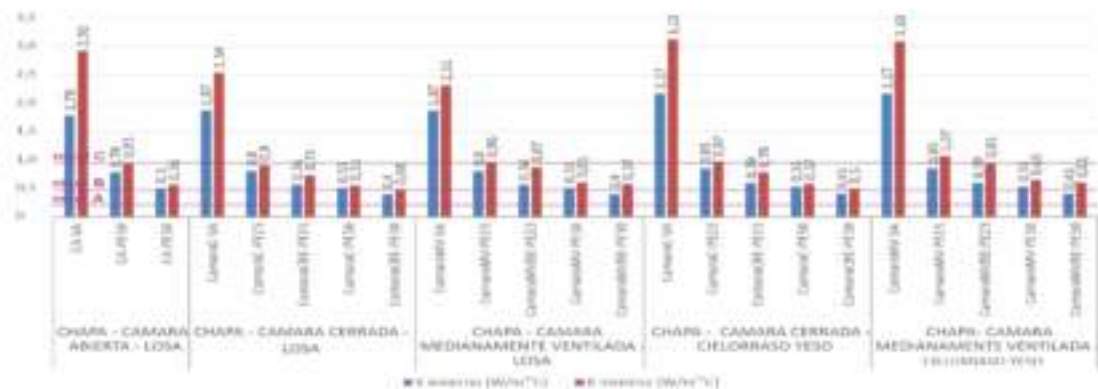


Figura 5: Variación de los valores de K de las soluciones constructivas de techos de chapa, sobre losa y sobre cielorraso de yeso, según grado de ventilación de la cámara de aire.

Se observa que, para verano, no se registra variación en el comportamiento térmico entre la cámara cerrada y la medianamente ventilada, de acuerdo a lo establecido por Normas. No así para invierno, donde se observa que las soluciones que si cumplen con los valores normados, para la misma condición de aislamiento, la situación más conveniente desde el punto de vista de la transmisión del calor es la de cámara cerrada, siendo prácticamente entre un 10 y 12% menor que los casos de cámaras medianamente ventiladas, no obstante, éstas presentan riesgo de condensación intersticial, no así los techos con cámara ventilada con aislamiento de 25 o 50 mm. Figura 6.

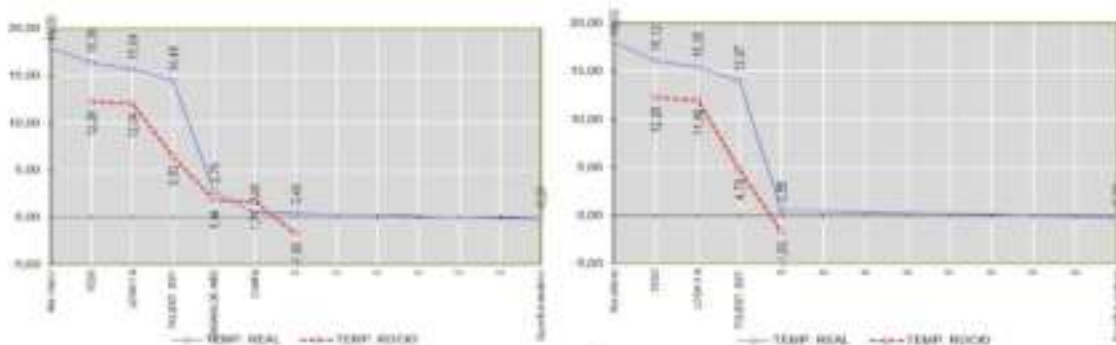


Figura 6: Verificación de riesgo de condensación para el techo de losa con cubierta de chapa con cámara de aire: fig. izquierda: cerrada y fig. derecha: abierta.

Al analizar la carga térmica total (Q) para cada uno de los casos estudiados, (Figura 7) puede concluirse que las diferencias del comportamiento térmico de los techos bajo las mismas condiciones de aislación, no son sustanciales cuando se comparan la cámara cerrada y la medianamente ventilada, siendo idénticos sus los comportamientos para verano, y para invierno el techo con cámara medianamente ventilada presenta una pérdida de calor mayor en el orden del 11%. La situación presenta mayores variaciones para la condición de cámara abierta o sobretecho, en donde “la hoja exterior del componente consiste en una pantalla o protección situada a cierta distancia, el espacio de aire está totalmente abierto y el ambiente exterior no puede considerarse en calma” (IRAM 11601, 2002). Por este motivo, en el balance térmico global, se considera la resistencia que ofrece el forjado interior (losa) y que la hoja exterior (chapa) actúa como protección de la incidencia solar. En el análisis se plantean dos situaciones, de acuerdo a la distancia entre la losa y chapa, obstrucción parcial del 50% y obstrucción total del 100%.

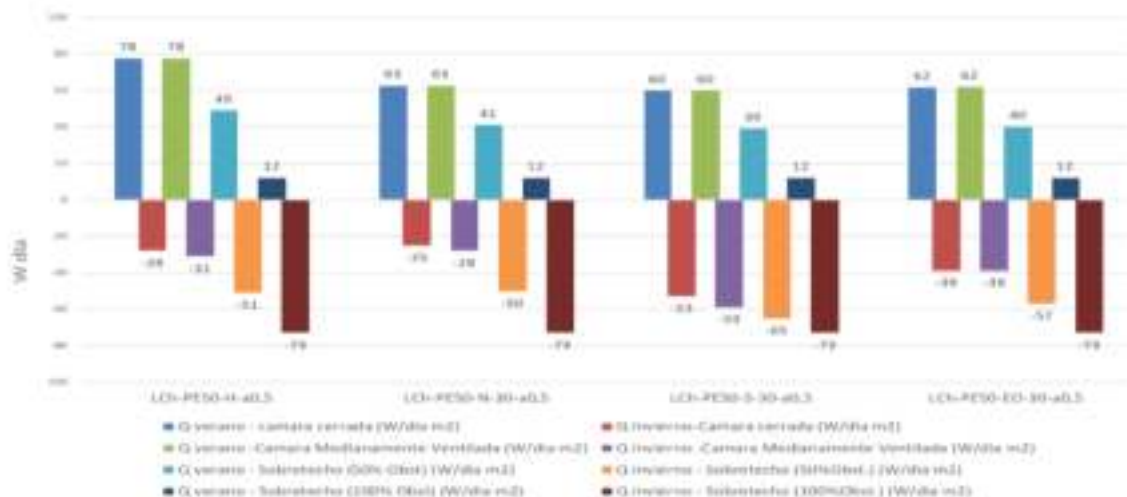


Figura 7: Variación de las cargas térmicas del techo de chapa sobre losa, según la ventilación de las cámaras de aire.

Al comparar el comportamiento entre el techo con cámara cerrada y el sobre techo, se observa para el caso de un 50% de obstrucción solar que, en el verano, el mejor comportamiento térmico lo presenta el sobre techo, ya que presenta un menor ingreso de calor, en un promedio de 35%. En el invierno la situación se invierte, el techo con cámara cerrada inclinado al norte presenta pérdidas en un 50% menor al sobre techo; el horizontal un 45% menor y el inclinado al Sur un 18% menor. Para el caso de obstrucción total, las diferencias serán mayores, para el verano el sobre techo presenta un 85% de menor ganancia térmica y en invierno la cámara cerrada un promedio del 60% menor de pérdidas de calor para las orientaciones norte y horizontal, y un 19% para la sur.

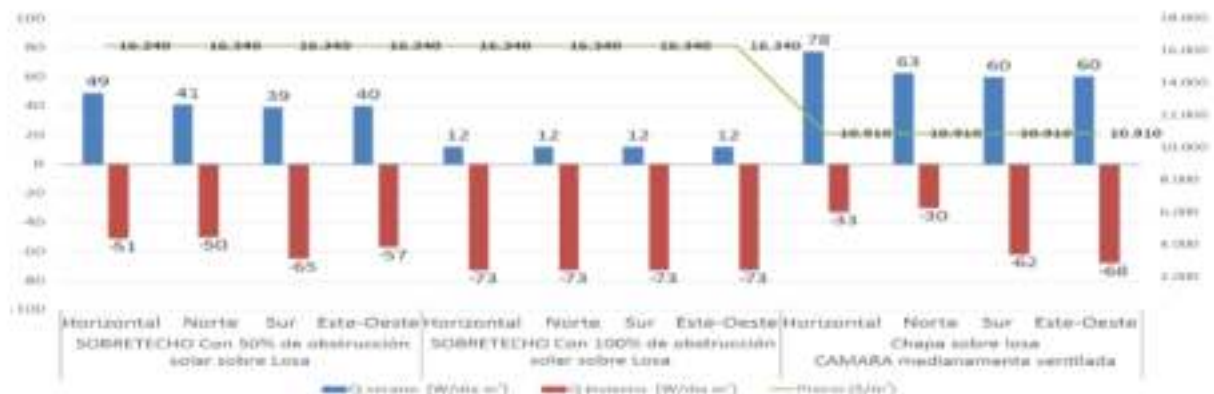


Figura 8: Cargas térmicas y costos del techo de losa con sobretecho de chapa y techo de chapa y yeso con cámara medianamente ventilada.

En la evaluación comparativa de las cargas térmicas y costos del techo de losa con sobretecho de chapa versus el techo de chapa y cielorraso con cámara medianamente ventilada (figura 8) puede observarse que, si bien la cubierta de losa sobre chapa es más costosa, esta solución constructiva posibilita el planteo de sobretecho, que como mencionamos anteriormente, si obstruye en un 50% la incidencia solar, registra en verano un ingreso de calor un 35% inferior que la chapa con cámara medianamente ventilada. Finalmente cabe acotar, que, si bien una obstrucción total de radiación solar posibilita una disminución de 83% de ganancias en verano, presenta una pérdida de calor importante en invierno, por lo tanto, se considera más conveniente el planteo de un sobretecho que permita un ingreso parcial del sol en este período.

Análisis del comportamiento térmico de soluciones constructivas menos frecuentes

El análisis de las soluciones constructivas de techos de losa de viguetas pretensadas con bovedilla cerámica y de poliestireno expandido, con terminación de baldosa y de teja cerámica para todos los casos y considerando las situaciones de techo sin aislación y con aislación de poliestireno expandido de 25 mm (PE25) y 50 mm de espesor (PE50), se muestran en tabla 2. Para la situación de techo de losa llena o bovedilla cerámica, con terminación de baldosa o teja, resulta necesario contar con un espesor mínimo de 50 mm de aislación, para verificar el nivel C de Normas; solo contando con bovedilla de PE y 25 mm de aislante térmico, como mínimo, podrá verificarse la categoría B (figura 9). Todas las situaciones de techos con aislación térmica no presentan riesgo de condensación.

ELEMENTO	CASOS	K inv. W/m ² °C	K ver. W/m ² °C	Verifica normas verano			Presenta condensac.		
				A	B	C	Superf.	Interst.	
	LOSA - BALDOZA	SA	2,81	2,35	NO	NO	NO	CONDENSA	CONDENSA
		PE25	0,93	0,88	NO	NO	NO	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE50	0,56	0,54	NO	NO	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
	LOSA - TEJA	SA	2,45	1,93	NO	NO	NO	CONDENSA	CONDENSA
		PE25	0,89	0,81	NO	NO	NO	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE50	0,54	0,51	NO	NO	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
	LOSA VIGUETA Y BOV. CERÁM. BALDOZA	SA	2,39	2,05	NO	NO	NO	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE25	0,88	0,83	NO	NO	NO	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE50	0,54	0,52	NO	NO	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
	LOSA VIGUETA Y BOV. PE BALDOZA	SA	1,1	0,99	NO	NO	NO	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE25	0,48	0,45	NO	SI	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA
		PE50	0,34	0,49	NO	SI	SI	NO CONDENSA	NO CONDENSA

Tabla 2: Situaciones de análisis de techos, propiedades higrotérmicas y verificación de normas.

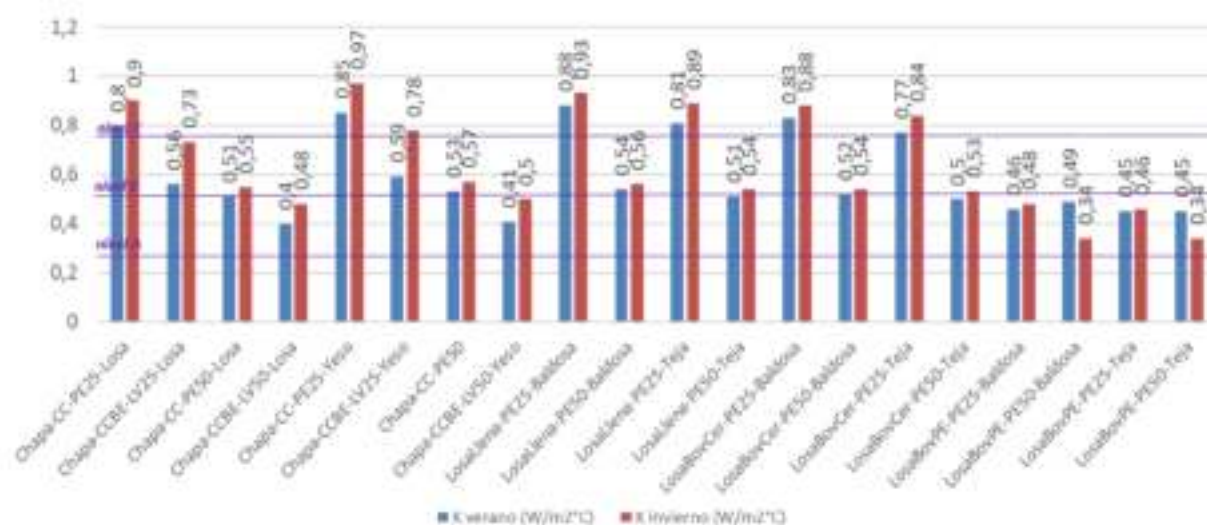


Figura 9: Variación de los valores de K para soluciones constructivas de techos.

No obstante, en el análisis de la carga térmica (Q) transmitida en verano, por las diferentes soluciones constructivas, se observa que elementos que no cumplen con los valores normados, intercambian menos cantidad de calor que otros que si los cumplen, tal como se ve en el análisis del comportamiento de losa con cubierta de chapa y cámara de aire cerrada (Figura 10).

En primer lugar, la incorporación de aislación térmica acompañado con la adecuada orientación y elección del color de la cubierta, puede llevar a lograr una notable disminución de las ganancias y pérdidas de calor a través del techo. Por ejemplo, con solo incorporar 50 mm de aislación y plantear un color con un coeficiente de absorción medio, se logrará una reducción del 84 % de la ganancia de calor en relación a un techo sin aislación color oscuro.

Se observa que algunos casos de techos no cumplen los valores de normas de K, pero sin embargo transmiten igual o menor cantidad de calor al interior que uno que si cumple. Por ejemplo: un techo con PE de 25 mm ($K=0,8 \text{ W/m}^2\text{C}$), color medio, inclinado a 30° hacia cualquier orientación, transmite menos calor que un techo con 50 mm de PE ($K=0,51 \text{ W/m}^2\text{C}$) de color oscuro, horizontal.

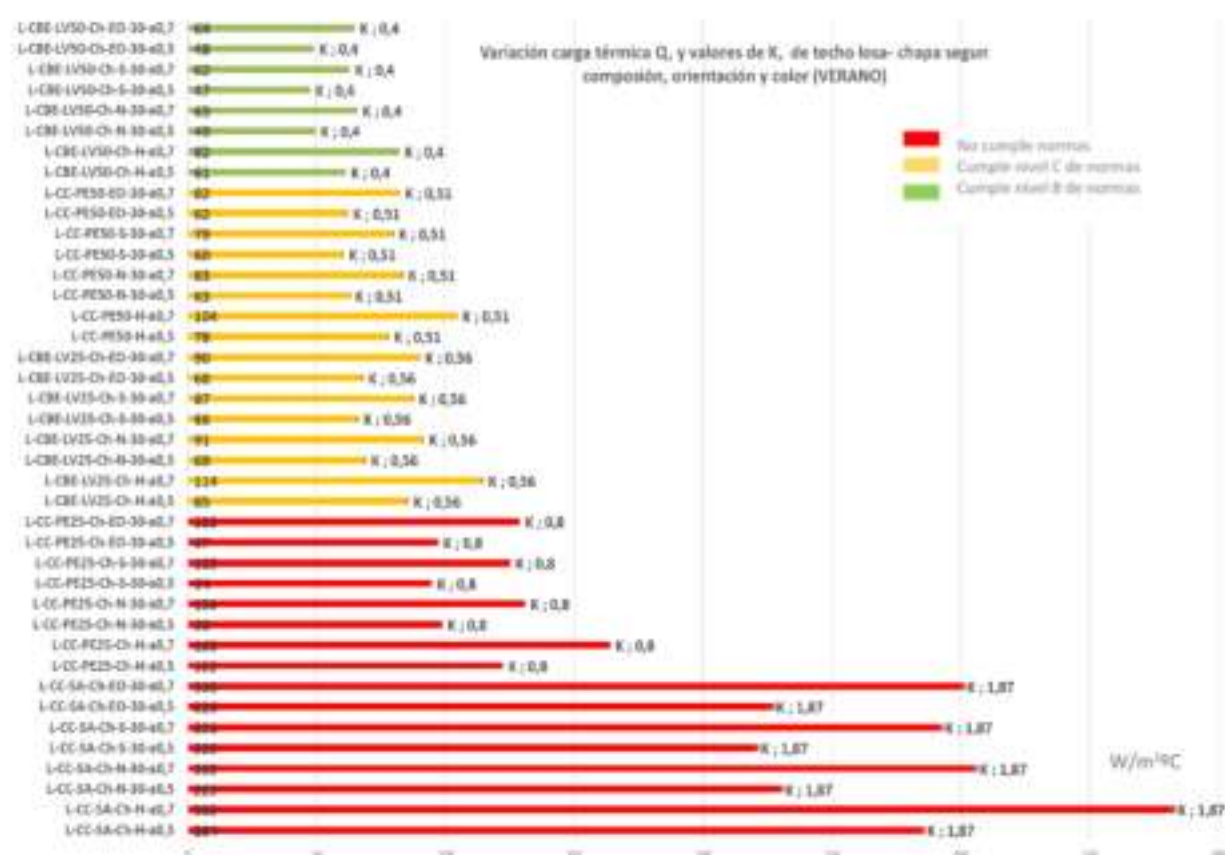


Figura 10: Valores de transmitancia térmica K y variación de la carga térmica Q según aislación, orientación y color, de techo de losa con cubierta de chapa con cámara cerrada

Al analizar la variación de la carga térmica de acuerdo a espesor aislante térmico, se puede observar que la colocación de 1" de aislación en el elemento produce una reducción del 57% de la carga térmica en verano y, si el espesor es 2" de la reducción alcanza un 73%. Para la situación invierno, la aislación de 1" y 2" producen una reducción del 64% y del 78% respectivamente. Figura 11.

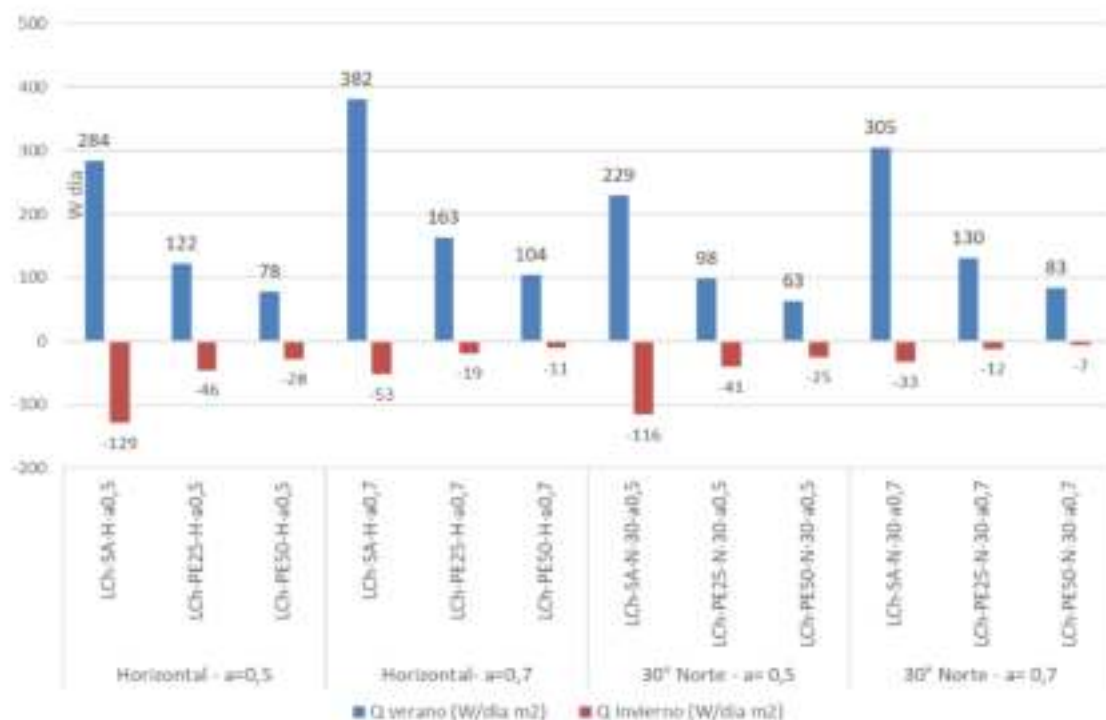


Figura 11: Variación de la carga térmica del techo de chapa sobre losa con cámara de aire cerrada, según espesor de la aislación térmica.

Al analizar el desempeño térmico de las soluciones constructivas que cumplen con los valores normados se observa que, frente a un mismo componente con igual orientación e inclinación, el cambio de color de la superficie exterior de oscuro a medio significa una reducción de ganancias en verano del 24 al 25%. En la situación de invierno, los menores requerimientos energéticos se darán para los casos de colores oscuros, resultando más notoria la diferencia entre ambos colores, para el techo horizontal y el inclinado al Norte, con una disminución de 61 y 72% respectivamente. Figura 12.

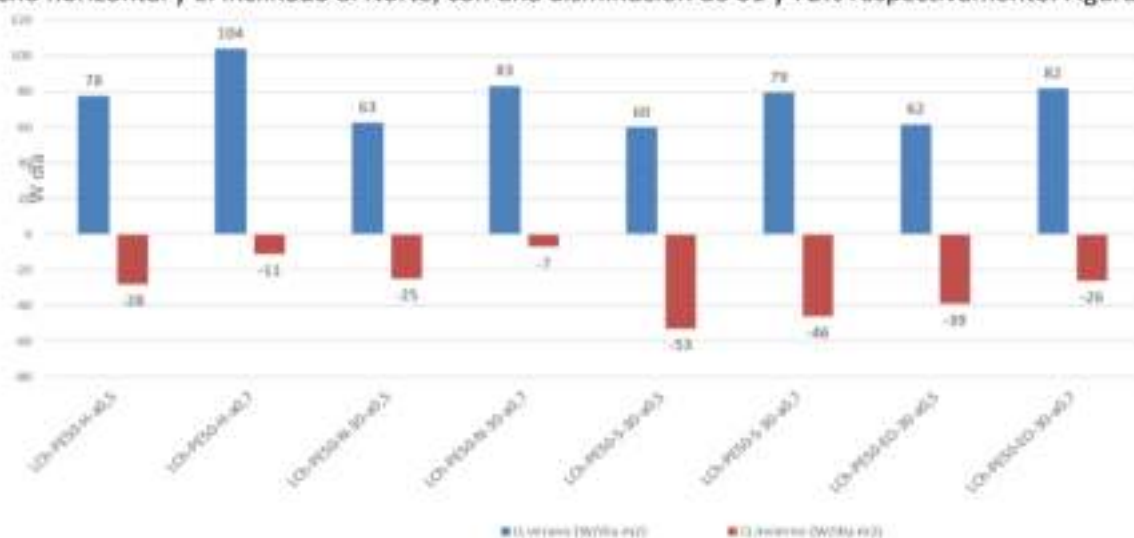


Figura 12: Variación de la carga térmica según color de la superficie, de techo de losa con cubierta de chapa con cámara de aire cerrada y PE 50 mm

Considerando una misma composición y color del elemento, el cambio de posición de techo horizontal a techo inclinado a 30° hacia el norte, sur o este-oeste, representará una disminución de ganancias de calor en verano del 20, 24 y 22% respectivamente. Para invierno, dicha variación significará un aumento en la ganancia de calor diaria en el orden del 27%; si la superficie se inclina hacia una orientación este-oeste o sur, la disminución será del orden del 99% y 130%, respectivamente, por lo que ésta orientación será la más desfavorable. Figura 13.

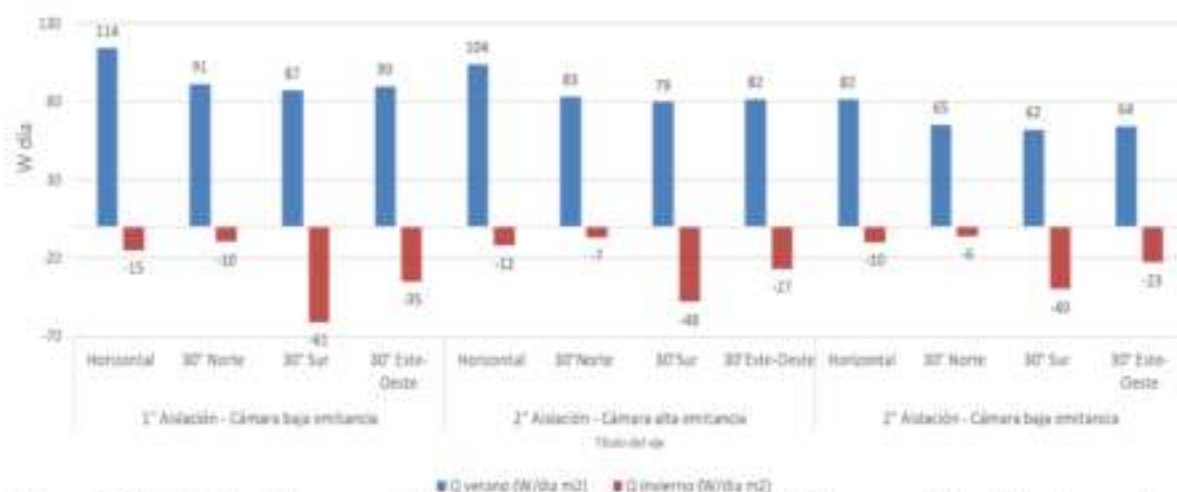


Figura 13: Variación de la carga térmica, según espesor de la aislación, superficie de la cámara de aire, inclinación y orientación del techo de losa con cubierta de chapa, con cámara de aire cerrada

Al evaluar la variación de las cargas térmicas de los techos considerando diferentes materiales, pero manteniendo la aislación del elemento, se observa que es posible alcanzar una reducción del 44% de la energía necesaria para su acondicionamiento, a partir de la adecuada selección de materiales, color, orientación e inclinación. Por ejemplo, un techo con 50 mm de material aislante (PE o LV), en caso de ser de chapa con cámara de aire medianamente ventilada, color oscuro, orientado al sur requiere 134 Wdía, mientras un techo de losa de bovedilla al Norte, de color claro, requerirá 75 Wdía.

En el análisis de los costos en relación al comportamiento térmico de los componentes se observa que el techo más conveniente no será necesariamente el más costoso. Al analizar todas las soluciones constructivas estudiadas, se puede observar que los techos sin aislación térmica, que no verifican los valores de K de Normas, presentan elevados requerimientos para su acondicionamiento, a pesar de que sus costos no son mucho menores a los que sí cumplimentan los valores normados.

A partir del análisis de las alternativas estudiadas, se verifica que el componente que presenta mayores ganancias de calor en verano es el techo de losa llena sin aislación (de color oscuro y horizontal), con una carga térmica de 480 W/m² diaria y un costo de 13.280 \$/m²; mientras que entre los elementos que presentan menores ganancias se encuentran el techo chapa con cielorraso suspendido, cámara de aire cerrada con superficie de baja emisividad, con 50 mm de aislación, color medio, inclinado 30° hacia el Norte, con una carga térmica 10 veces menor (49 W/m²) y un costo un 18% menor (10.910 \$/m²) y el techo losa con cubierta de chapa, cámara de aire cerrada con superficie de baja emitancia, con 50 mm de aislación, color medio, inclinado 30° hacia el Norte, con una carga térmica también 10 veces menor (49 W/m²) y un costo solo un 22% mayor (16.340 \$/m²)

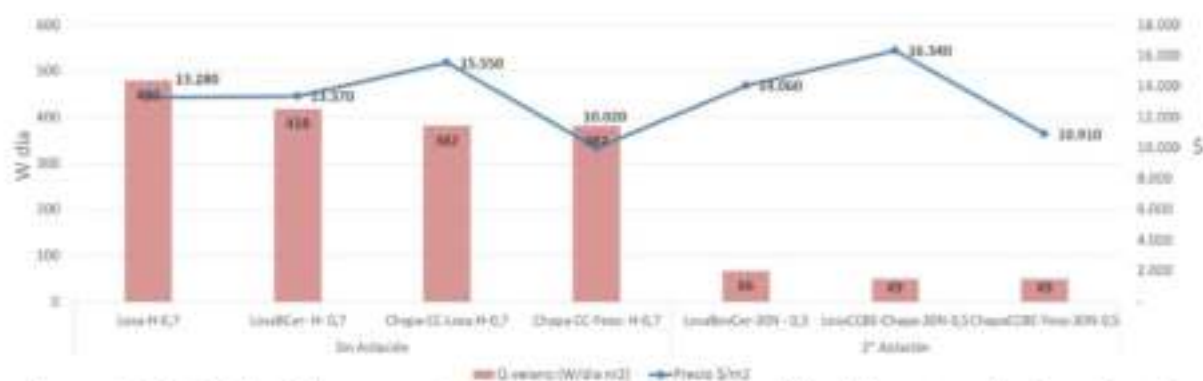


Figura 14: Variación de las cargas térmicas en verano y costos de las diferentes soluciones de techo considerando los comportamientos más favorables y más desfavorables.

En el análisis del techo de losa y chapa, para la situación de verano, se puede observar, que por cada pulgada de espesor de aislación que se incorpore, el porcentaje de disminución no es el mismo, al colocar 1" de aislación se disminuye en un 57% el ingreso de calor en verano, si se incorpora una pulgada más, la disminución sobre el anterior será del 36% y, con una pulgada más, la disminución con respecto al de 2" será de un 28%. Cada pulgada de espesor de aislación que se incorpora significa un incremento sobre el costo total del elemento de un 3%. En conclusión, el techo con 3" de aislación presentará un ingreso del calor en un 80% menor, siendo el incremento de su costo de un 7%.



Figura 15: Variación de la carga térmica y costos del techo de chapa sobre losa con cámara cerrada.

Si se analiza el comportamiento en invierno, al colocar una pulgada de aislación se disminuyen en un 64% las pérdidas de calor, si se incorpora una pulgada más, la disminución en relación a la anterior será en el orden del 40% y agregando una pulgada más, la disminución con respecto al de 2" será de un 28%. Cada pulgada de espesor de aislación que se incorpora significa un incremento sobre el costo total del elemento de un 3%. En conclusión, el techo con 3" de aislación reducirá la pérdida del calor en un 85%, siendo el incremento de su costo en el orden de un 7%.

CONCLUSIONES

Al analizar la influencia de los tipos de cámara de aire, puede concluirse que no se observan significativas diferencias en el comportamiento térmico de los techos, al comparar la cámara cerrada y la medianamente ventilada. Una mayor variación de produce en los casos con cámara abierta, ya que presenta un mejor comportamiento en verano, al actuar la chapa como un elemento de sombra, siendo conveniente una obstrucción del 50% al considerar la situación de invierno. Las cámaras ventiladas, además, reducen el riesgo de condensación intersticial.

Del análisis de la incorporación de aislación térmica en los casos analizados, se puede concluir que el incremento del espesor de la aislación térmica reduce sustancialmente la transferencia de calor, con un incremento en el costo de solamente de un 7%. La inclinación de 30° hacia la orientación norte resultará más favorable ya que disminuyen las ganancias de calor en verano y se incrementan en invierno, en el orden del 25%.

Considerando todas las alternativas estudiadas, se concluye que el comportamiento más desfavorable lo presenta la losa de H°A° sin aislación de color exterior oscuro. Una situación más favorable será la del techo de chapa con cielorraso suspendido con cámara de aire cerrada y aislación de 50 mm con

baja emisividad, color exterior medio, inclinado 30° hacia el Norte, siendo su carga térmica 10 veces menor y el costo un 13% más bajo.

Si bien el balance térmico de verano se realiza, en parte, durante el periodo de receso escolar (diciembre, enero y febrero), la diferencia porcentual de las ganancias de calor con respecto a considerar los meses cálidos con actividad escolar (noviembre, diciembre y febrero) sería un 7% menor. Cabe destacar que, para un clima cálido como el de San Miguel de Tucumán, se observan necesidades de enfriamiento de octubre a marzo (Figura 1), por lo que el control de las ganancias de calor será fundamental para evitar el sobrecalentamiento interior.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Gonzalo G (2003). Manual de Arquitectura Bioclimática, 2da. Edición. pp. 222. ISBN 950-43-9028-5.
- Ledesma S.L., Martínez C.F, Quiñones, G.I.; Llabra, C.; Márquez Vega, S. G.; Mostajo M., Orio S.(2016) Análisis tipológico-ambiental del parque edilicio escolar de Tucumán- IAA-FAU-UNT.
- Ledesma S. L., Nota V.M., Mostajo M., Llabra C., Villa C. (2019) Evaluación térmica y económica de soluciones constructivas para la envolvente de edificios escolares en San Miguel de Tucumán. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 23, pp. 01.33-01.44. ISSN 2314-1433.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2002) Normas IRAM 11601: Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (1996) Normas IRAM 11.605: Valores máximos de transmitancia térmica para cerramiento opacos.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2012) Normas IRAM 11603: Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2000) Normas IRAM 11625: Verificación de riesgo de condensación de vapor de agua.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2007) Normas IRAM 11.659: Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas.
- Sensharma N., Woods J. y Goodwin A., (1998). Relationship between the indoor environment and productivity: A literature review. ASHRAE Transactions.

ABSTRACT: This work aims to broaden the knowledge about the thermal behavior of some of the most used roofing solutions in school buildings in San Miguel de Tucumán, carrying out a comparative evaluation of them in order to recommend the most convenient ones to reduce heat flow, considering its construction cost. Different materials, surface finishes and roof orientations are analyzed, with the use of programs developed by the Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable (CEEHAS). The results achieved allowed to conclude that the increase in insulation produces significant reductions in seasonal thermal loads with a low impact on construction cost, and that it is possible to achieve a significant decrease in the thermal loads necessary for interior conditioning, from the adequate selection of materials, color, orientation and inclination of the analyzed roofs.

KEYWORDS: Energy. Habitability. Schools. Roofs.