

## **EVALUACION TERMICA Y ECONOMICA DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS ESCOLARES EN SAN MIGUEL DE TUCUMAN**

**Sara Lía Ledesma, Viviana Nota, María Mostajo, Cristina Llabra, Cintya Villa**

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

*Recibido 16/08/19, aceptado 17/10/19*

**RESUMEN:** El presente trabajo tiene como objetivo analizar y evaluar la incidencia de las decisiones de diseño sobre el comportamiento térmico de la envolvente vertical opaca de edificios escolares construidos por el estado en San Miguel de Tucumán. Para ello, con la utilización de programas desarrollados por el Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable (CEEHAS) de la FAU-UNT, se realizó la evaluación del comportamiento frente a la transferencia de calor, de diferentes sistemas constructivos de muros. Se tomaron como punto de partida los sistemas tradicionales, a los que se evaluaron bajo diferentes condiciones de diseño. Se analizaron también soluciones constructivas que incluyen materiales de uso reciente. Los resultados alcanzados permitieron cuantificar la incidencia de la orientación, color superficial, protecciones solares y materialización constructiva de la envolvente; sobre la transmisión térmica del elemento.

**Palabras clave:** transmisión térmica, energía, escuelas

### **INTRODUCCION**

Al área edilicia le corresponde más del 40 % de la energía que se consume en nuestro país, donde la mayor parte es empleada en la climatización de los ambientes interiores. Los requerimientos de energía para la calefacción y refrigeración, van a depender de la situación climática en el que se encuentra inserto el edificio y, en gran medida, del comportamiento térmico de la envolvente edilicia, donde una inapropiada resolución de la misma, va a determinar espacios interiores con inadecuadas condiciones de habitabilidad y por lo tanto elevados requerimientos energéticos para su acondicionamiento.

Dentro del área edilicia, se encuentra el sector educativo, el cual representa uno de los sectores esenciales en el desarrollo humano, desafortunadamente, los espacios educativos de nuestro país no siempre se adecuan a las premisas de habitabilidad, y se encuentran ajenos a principios de sustentabilidad, por lo que resulta de fundamental importancia incorporar estrategias de diseño pasivo en los edificios escolares, considerando que los mismos no cuentan con equipamiento para la climatización artificial (Venhaus H.M.; s/f).

Las estrategias de diseño pasivo que, de acuerdo a la definición del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) (Norma IRAM 11900, 2019), son las modificaciones que permiten mejorar la sensación de confort y reducir la demanda de energía convencional a través de las características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos, resultan de fundamental aplicación para alcanzar niveles de alta calificación en el etiquetado energético de los edificios.

Una herramienta que posibilita la evaluación de las mencionadas estrategias, es la determinación de las cargas térmicas de enfriamiento y calefacción necesarias para el acondicionamiento de los ambientes. Dicho análisis facilitará la toma de decisiones proyectuales apropiadas para lograr el confort térmico interior. Estudios realizados, sobre las cargas energéticas requeridas para la climatización artificial de edificios, permitieron demostrar que la modificación de la envolvente, mediante estrategias de

conservación de energía, produce disminuciones del 77% y 75% en verano y del 44% y 93% en invierno para el caso másico y liviano respectivamente (Balter, Ganem, Discoli; 2015).

La ciudad de San Miguel de Tucumán, localidad donde se centra este estudio, pertenece a la zona bioambiental “IIB” de acuerdo a IRAM 11603 (IRAM, 2011), tiene un clima cálido húmedo, con registros en verano de temperatura media máxima de 30,7 °C y humedad relativa media máxima del 85%, y en invierno, de temperatura media mínima de 7,7 °C y humedad relativa mínima media de 64%, por lo que, en este clima mixto, resulta de fundamental importancia incorporar estrategias de diseño pasivo, que optimicen el comportamiento energético de los edificios escolares, para ambas condiciones estacionales.

Estudios realizados por el CEEHAS, demostraron que las soluciones constructivas empleadas con mayor frecuencia en los muros exteriores de las escuelas de Tucumán no cumplen con las condiciones de aislamiento térmico adecuadas, por lo que resulta necesario contar con alternativas de mejoramiento térmico y/o incorporar nuevos materiales, de manera tal de alcanzar las condiciones térmicas necesarias para lograr condiciones de confort interior. (Ledesma *et al*, 2014)

El objetivo del presente estudio, ha sido evaluar el comportamiento térmico de los paramentos verticales externos prototípicos de edificios escolares, cuantificar el aporte de diferentes estrategias de diseño pasivo, tales como, incorporación de materiales aislantes, protecciones solares, variación en los colores superficiales y orientaciones; y analizar comparativamente los costos requeridos para su construcción de cada una de las alternativas planteadas.

Los resultados alcanzados permitieron valorar cada decisión de diseño, de acuerdo a su contribución a la eficiencia energética y al acondicionamiento higrotérmico, de las aulas, atendiendo las características climáticas de la localidad, a la vez de ponderarlos en relación a su conveniencia económica. El trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación PIUNT B620/2: “Etiquetado energético en edificios escolares de Tucumán”.

## DESARROLLO:

### *Casos de análisis*

A efectos de valorar la contribución a la eficiencia energética y al acondicionamiento térmico de diferentes soluciones de diseño, se llevó a cabo la evaluación del comportamiento térmico de muros exteriores utilizados con más frecuencia en las escuelas construidas por el estado: mampostería de ladrillo común de 0,30 m y de 0,20 m de espesor y de ladrillo hueco de 0,18 m. Cabe destacar que el muro de ladrillo común de 0,15 m, que también tuvo un uso frecuente, no fue estudiado, dado a que el muro de 0,20 fue el más empleado en la construcción escolar en décadas anteriores e incluso presenta un mejor comportamiento térmico. (Ledesma S.L. et al, 2016).



*Fig.1: Vista de los muros exteriores de escuelas de Tucumán*

Sobre estos sistemas constructivos de base, denominados CASO A, se plantearon de mejoramiento: incorporación de cámara de aire y placa de yeso (CASO B) e incorporación de cámara de aire, aislante térmico y placa de yeso (CASO C) (Fig. 2).

Las diferentes soluciones constructivas, fueron evaluadas térmicamente, empleando los programas desarrollado por el CEEHAS, el coeficiente de transmisión térmica K, su verificación de Normas, el

amortiguamiento y retardo, se empleó el programa CEEMAKMP (Gonzalo, 2003) y para verificar el riesgo de condensación superficial e intersticial, se utilizó el programa CEEMACON (Gonzalo, 2003), todos ellos bajo los procedimientos establecidos por la normas IRAM 11601 (IRAM, 2002) y 11625. (Tabla 1).

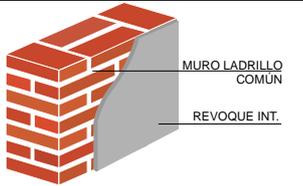
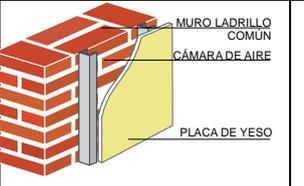
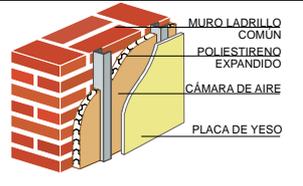
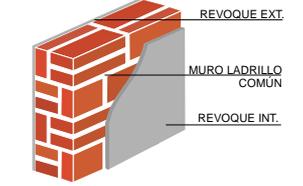
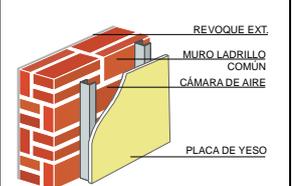
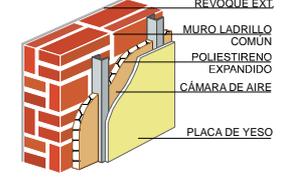
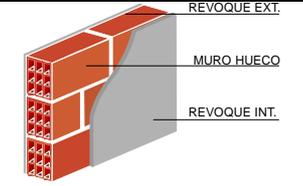
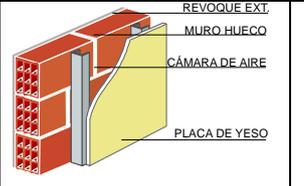
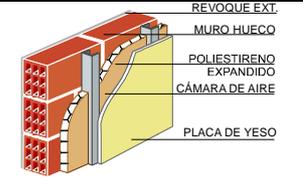
Elemento	Croquis		
	CASO A - Muro base	CASO B - Muro con cámara de aire 0,07m y placa de yeso	CASO C - Muro con poliest. expand. 0,05m, cámara de aire y placa de yeso
Ladrillo común de 0,27 m			
Ladrillo común de 0,17 m			
Ladrillo hueco de 0,18 m			

Fig.2: Soluciones constructivas analizadas

Elemento	K W/m <sup>2</sup> °C	$\mu$	$\phi_{hs}$	Verifica K Normas Verano			Verifica K Normas Invierno			Verifica condensac.		
				A	B	C	A	B	C	Sup.	Interst.	
				0,45	1,10	1,80	0,37	1,01	1,82			
Ladrillo común de 0,27m	con una cara revocada (LC30)	<b>1,85</b>	0,17	7	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	con cámara de aire de 0,07m y placa de yeso (LC30cam)	<b>1,18</b>	V:0,17 I:0,14	V:7 I:9	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO	SI
	con 0,05m de poliest. exp., cámara de aire 0,02m y placa de yeso (LC30aisl)	<b>0,47</b>	V:0,16 I:0,02	V:8 I:12	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO
ladrillo común de 0,17m	con dos caras revocadas (LC20)	<b>2,47</b>	0,35	5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
	con cámara de aire de 0,07m y placa de yeso (LC20cam)	<b>1,33</b>	V:0,3 I:0,15	V:4 I:8	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO	SI
	con 0,05m poliest. exp, cámara de aire 0,02m placa de yeso (LC20aisl)	<b>0,49</b>	V:0,28 I:0,05	V:5 I:10	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO
ladrillo hueco de 0,18m	con dos caras revocadas (LH18)	<b>1,91</b>	0,2	5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
	con cámara de aire de 0,07m y placa de yeso (LH18cam)	<b>1,14</b>	V:0,32 I:0,17	V:4 I:7	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO	SI
	con 0,05m poliest. exp, cámara de aire 0,02m y placa yeso (LH18ais)	<b>0,47</b>	V:0,29 I:0,08	V:5 I:10	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO

Tabla N°1: Valores de K, amortiguamiento y retardo, cumplimiento de valores máximos admisibles de K y verificación de riesgo de condensación.

A partir de los resultados obtenidos podemos concluir que, dentro de las soluciones constructivas que se emplean, (soluciones de base), el muro de ladrillo común de 0,27 con una cara revocada presenta un valor de coeficiente K muy próximo al nivel C, y no presenta riesgo de condensación. Con un valor de K levemente mayor, se encuentra el ladrillo hueco de 0,18 con dos caras revocadas, pero presenta

riesgo de condensación. El muro de ladrillo macizo de 20 cm, no cumple con los valores normados y presenta riesgo de condensación.

Dentro de las soluciones mejoradas, con cámara de aire, a las cuales se les incorporo una barrera de vapor de pintura asfáltica sobre la superficie interior del ladrillo, cumplen con los valores mínimos de  $K$ , algunos presentan valores de  $K$  próximos a los establecidos por IRAM 11605 para nivel B, pero presentan riesgo de condensación en todos los casos. Las soluciones con aislante térmico, cumplen nivel B y algunos se encuentran próximos al nivel A de las Normas y no presentan riesgos de condensación.

#### *Métodos y resultados*

Con el fin de evaluar el comportamiento térmico de cada una de las soluciones constructivas bajo diferentes condiciones de diseño, se utilizó el programa CEEHASQPER (Ledezma, Nota, Gonzalo, 2018), que permitió determinar el flujo de calor bajo régimen periódico y establecer la carga térmica promedio diaria, para verano e invierno, de cada elemento.

Para la implementación del programa CEEHASQPER, se emplearon los valores de temperatura exterior promedio horaria, para verano e invierno, brindados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2000-2010); los valores de temperatura interior, establecidos por IRAM 11659 (IRAM, 2007) y los valores de  $K$ , amortiguamiento y retardo de cada elemento calculados con el programa CEEMAKMP.xls (Gonzalo, 2002), estos últimos se encuentran en la tabla N° 1.

Se realizaron los cálculos para la unidad de superficie de cada elemento, bajo las condiciones de: (i) las cuatro orientaciones, (ii) dos situaciones color superficial (claro y oscuro), correspondientes a los coeficientes de absorción de 0,2 y 0,7 y (iii) las condiciones de muro totalmente asoleado, totalmente obstruido el sol o protegido por un alero.

En este último ítem, cabe destacar que se adoptó como modelo de análisis, un alero de 0,85 m de profundidad, dado que es el que se presenta en las escuelas construidas del plan 700 escuelas. Se consideraron los factores de protección establecidos en la Normas IRAM 11900. Por lo que corresponde de acuerdo a la orientación y estación:

Factor de protección orientación Norte = 0,5 verano; 0,8 invierno (fig. 5)

Factor de protección orientaciones Este y Oeste: 0,68 verano (redondeo: 0,7); 0,8 invierno

Factor de protección orientación Sur: 0,73 verano; 0,67 invierno (a efectos del cálculo se redondea a 0,7 para ambos casos)

#### *Análisis de resultados.*

A partir del análisis del comportamiento térmico en verano, de las situaciones constructivas empleadas con mayor frecuencia en las escuelas de Tucumán, muros simples totalmente asoleados y considerando la variación de acuerdo a distintas orientaciones y coeficientes de absorción (0.2 y 0.70), se puede observar la notable la diferencia que existe entre ellos. En un primer análisis, se evaluaron comparativamente, las soluciones constructivas de base de los muros simples (Caso A), con las de mejor comportamiento térmico, muros compuestos con cámara de aire y aislación térmica, (Caso C).

Para el verano, las mayores cargas térmicas se producen en el muro de ladrillo común de 0,20 m (LC20), de color oscuro y para las orientaciones Este y Oeste (187 Wdía), correspondiendo a un 70% superior a los que presentan menor carga térmica, los muros de ladrillo común de 0,30 (LC30) y ladrillo hueco (LH18), color claro, orientadas al norte y sur, (56Wdia).

Para la situación de invierno, nuevamente se observa que el mejor desempeño térmico se produce en los muros LC30 y LH18, con orientación Norte, color oscuro, los cuales presentan un ingreso diario de calor de 19 Wdía, en contraposición con el muro LC20, color claro, que presenta hacia el norte, una pérdida promedio diaria de 184Wdía, constituyendo los valores máximos de pérdidas de calor. (Fig.3).

Cabe destacar que la solución constructiva que registra el comportamiento térmico más desfavorable para las situaciones de invierno y verano (LC20), resulta en un promedio un 15 % más costosa que las soluciones constructivas más favorables.

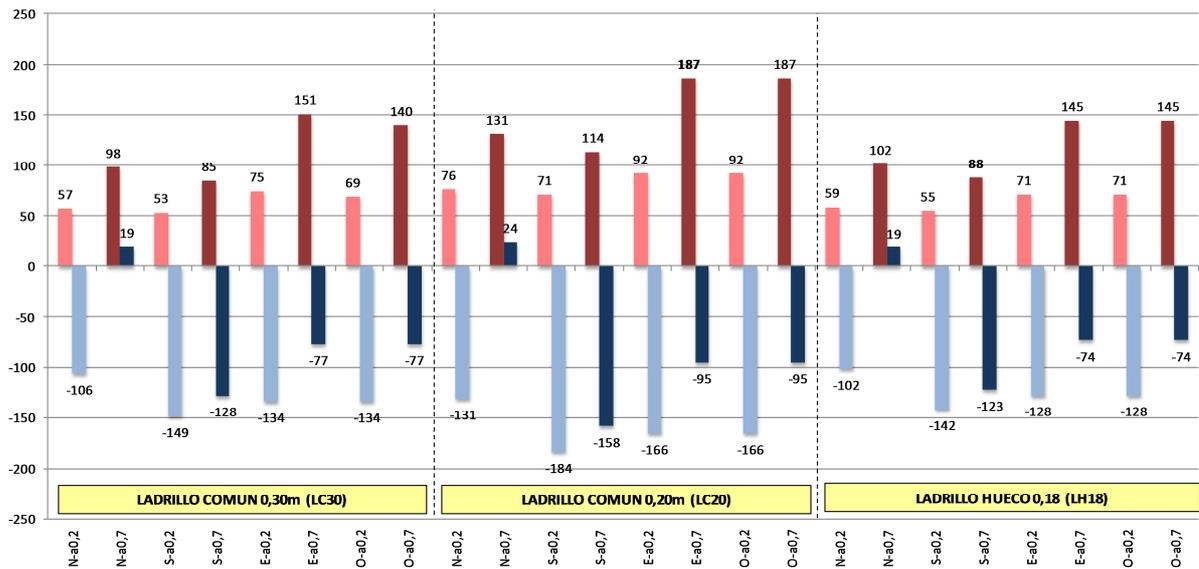


Fig 3: Carga térmica diaria, verano e invierno, de muros simples y aseados, variación de acuerdo a orientación y color

Al analizar el comportamiento térmico de los muros con cámara de aire y aislación térmica, aseados, observamos igual comportamiento que en el caso anterior. (Fig.4)

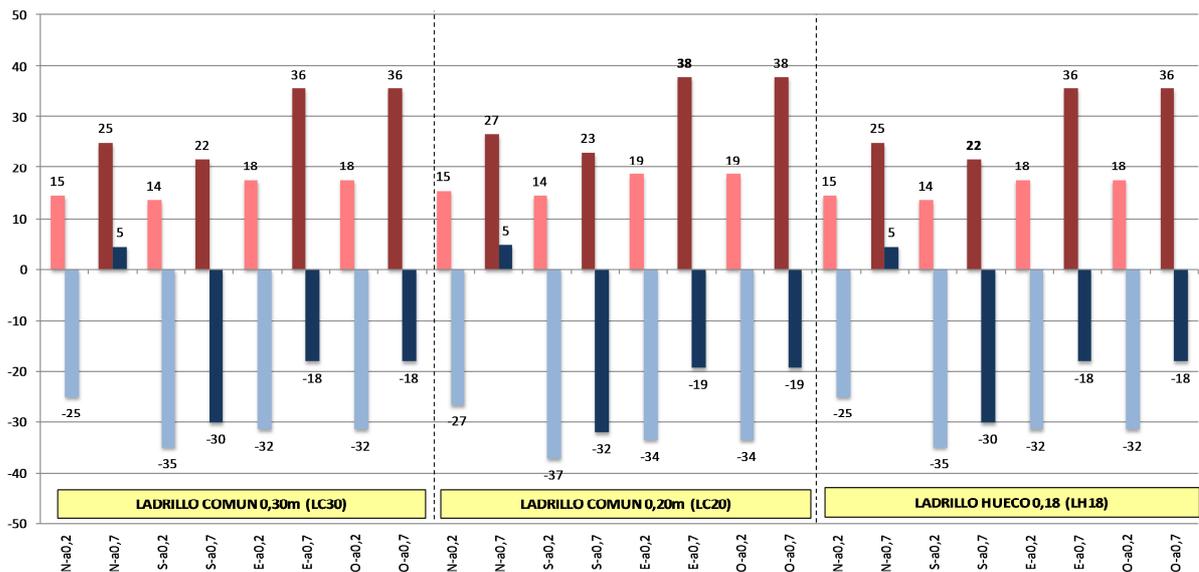


Fig 4: Carga térmica diaria, verano e invierno, de muros aislados y aseados, variación de acuerdo a orientación y color

En el análisis de la situación de verano se puede observar que los mejores comportamientos se producen en los muros de LC30 y LH18 aislados, claros, con orientación Norte, los que presentan una carga de calor inferior en un 62% con respecto al muro LC20 oscuro al este y oeste, el cual presenta mayor carga. Igual comportamiento se observa para la situación de invierno, en donde los muros LC30 y LH18 aislados, Norte y oscuros, presentan un balance positivo, en contraposición con el muro LC20 aislado claro, orientado al Sur, que presenta pérdidas de calor en el orden de 37 W/día (Fig 4) Nuevamente en este caso se observa que el sistema constructivo que registra el comportamiento térmico más desfavorable para las situaciones de invierno y verano (LC20), supera en un promedio de 40% a las mas favorables.

El color superficial es un factor que tiene gran incidencia en el comportamiento térmico del paramento y que no incide en el costo del sistema constructivo.

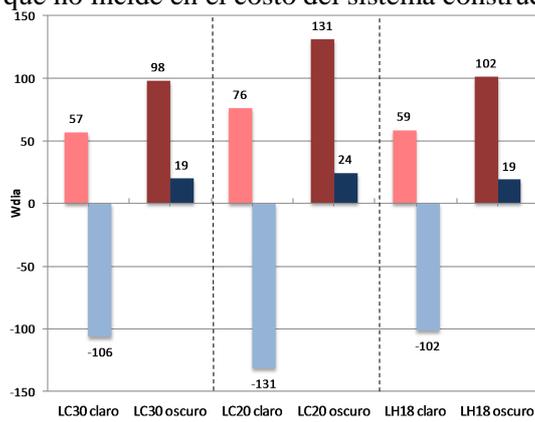


Fig. 5: Carga térmica diaria estacional de muros simples, asoleados, orientación norte, variación de acuerdo a color

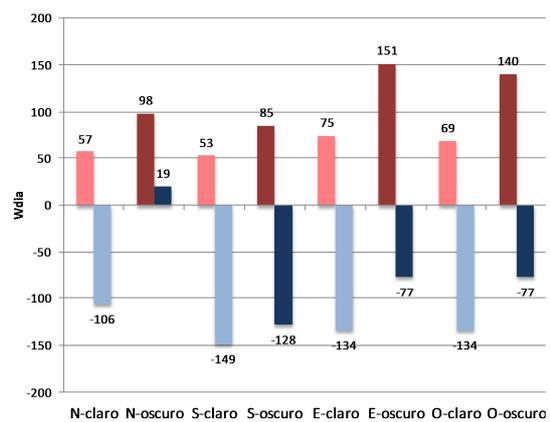


Fig 6: Carga térmica diaria estacional, de muro simple LC30, asoleado, variación de acuerdo a orientación y color

En el análisis del comportamiento bajo diferentes condiciones de color, de los muros simples, podemos observar que, para la situación de verano, el uso de colores claros determina una reducción de las cargas térmicas en un 58% en relación a los oscuros en todos los casos analizados, en contraposición, para la situación de invierno, el color claro determina las situaciones de mayor pérdidas de calor, superando en un 125% superiores al color oscuro, para todas las situaciones analizadas. (Fig.5).

Para realizar un análisis más específico, se toma como referencia, el comportamiento térmico del muro LC30, ya que presenta un comportamiento similar al muro LH18, y por otro lado no se considera el comportamiento térmico del muro de LC20, dado que no cumple con los valores normados. En el análisis de la influencia del color, para las diferentes orientaciones, (Fig. 6), se observa que para la situación de verano, el uso del color claro en relación al oscuro determina, en la orientación Norte una reducción de las cargas térmicas en un 42%, en la orientación Sur en un 37% y en la Este y Oeste en un 51%. En invierno, el color oscuro en relación al claro permite ganancias de calor en la orientación Norte de un 125%, reduce las pérdidas de calor en un 24% en la orientación Sur y en un 42% en la orientación Este y Oeste.

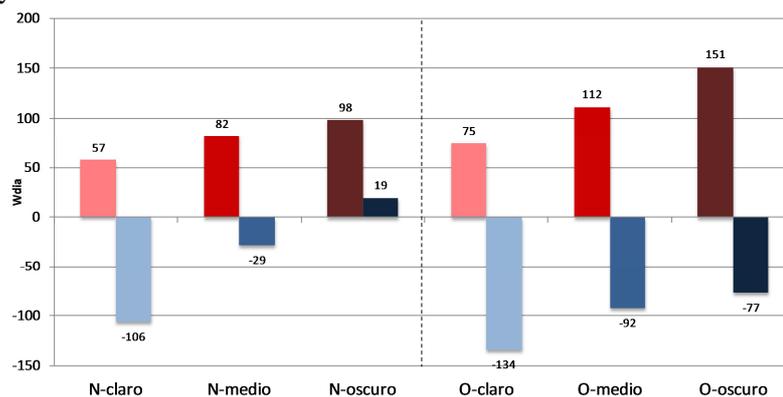


Fig 7: Carga térmica diaria estacional, de muro simple LC30, asoleado, orientación Norte y Oeste, variación de acuerdo a color

Es decir que, para Tucumán, el color oscuro al Norte, determinara un comportamiento global más eficiente y hacia las otras orientaciones será el color claro, el más conveniente. El uso de colores medios reduce las diferencias de comportamiento estacional, fundamentalmente para la orientación norte. En el análisis del comportamiento térmico de un muro LC30, orientado al Norte y Oeste, bajo diferentes condiciones de color, se observa que el muro de color medio orientado al norte disminuye notablemente las pérdidas en invierno con respecto al muro color claro, lo que mejora el balance

global anual, con una disminución del 32 % de la carga térmica global. Para la orientación Oeste un color medio permitirá un comportamiento térmico mejor que el color que el oscuro, con una disminución del 11% de la carga térmica global (fig. 7). En el del muro LC30 aislado, se observa un comportamiento similar al muro LC30, la influencia del color se mantiene (Fig 8)

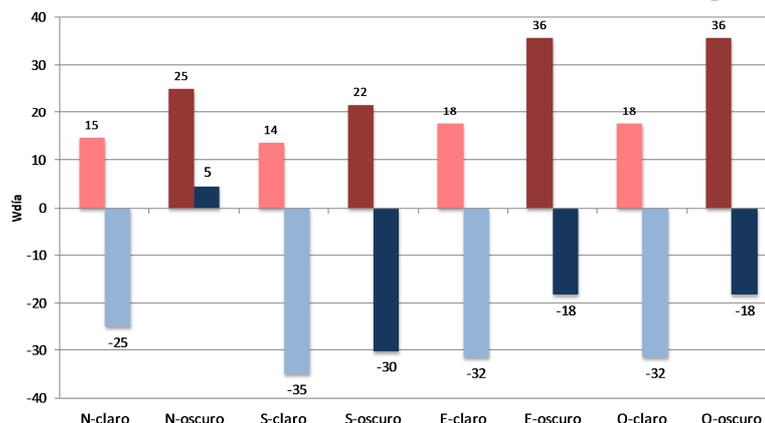


Fig. 8: Carga térmica diaria estacional, de muro LC30 aislado y asoleado, variación de acuerdo a la orientación y color

Analizando las orientaciones Este y Oeste, se puede concluir que, manteniendo el elemento constructivo, o sea manteniendo su costo, con solo cambiar el color, es posible disminuir la carga en un 50 %, de 151 a 75 W, para LC30 simple y 36 a 18 W, para LC30 aislado. Si por cuestiones de diseño es necesario mantener un color oscuro, es posible reducir la carga térmica, mediante la mejora del elemento en un 76% (de 151 a 36W/día) mediante la incorporación de aislación térmica, con un incremento del costo del paramento de un 39%. La presencia de algún elemento que obstruya la radiación solar, también será determinante del comportamiento térmico de un muro, con el fin de evaluar la ocurrencia conjunta del color y la protección solar, se analizó la incidencia de un alero corrido de 0.85m, solución frecuente en escuelas de reciente construcción, tal como fue explicado en párrafos anteriores. (Ver Fig.4)

Al analizar el comportamiento térmico en verano, de un muro LC30, con el alero y bajo distintas condiciones de color y orientación, se puede observar que, si bien la presencia de la protección solar ha determinado una disminución de la carga en un promedio de 18.5 % en relación a la situación de muro totalmente asoleado, la notable mejora del comportamiento del muro se observa en la comparación entre el muro oscuro versus el muro claro, con una reducción promedio de carga térmica en muros parcialmente protegidos del 35%, (siendo la reducción promedio en muros sin protección solar, del 58%) (Fig.9)

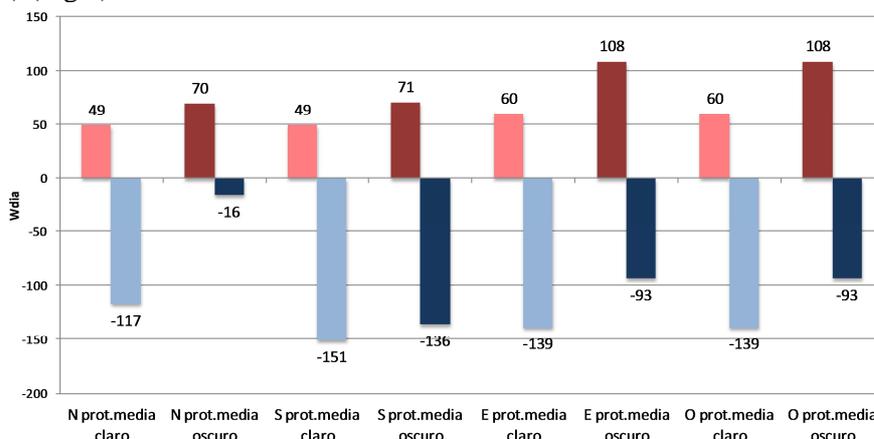


Fig. 9: Carga térmica diaria estacional, de muro LC30 simple, con alero de 0.85 m (protección media, variación de acuerdo a orientación y color

Un análisis más detallado, de la influencia de la protección solar, en relación al color del elemento, puede observarse en Fig. 10. Podemos apreciar que hacia el Norte en verano, un muro oscuro con

alero (protección media) (70Wdía), tendrá una carga térmica inferior en un 28%, al muro oscuro totalmente asoleado (98Wdía), pero superará en un 23% al muro claro asoleado (57Wdía). Situación similar se observa en la orientación sur, pero la diferencia es aún mayor en las orientaciones este y oeste, donde el muro oscuro, con protección media (108 Wdía), tiene una carga superior en un 56%, con respecto al muro claro totalmente asoleado (69 Wdía). Podemos entonces concluir que la elección de colores claros, que no significa incremento en el costo del paramento, tiene un impacto más significativo en la mejora del comportamiento térmico que la incorporación de una protección parcial. Se observa además, que una protección total de la radiación solar, deja sin efecto las incidencias del color y la orientación dentro del comportamiento del elemento, siendo la alternativa más recomendable para la orientación este y oeste en nuestra latitud. Para el caso del muro con aislación térmica, las relaciones porcentuales se mantienen, siendo los valores nominales significativamente menores, por lo que se relativiza la influencia del color y la protección.

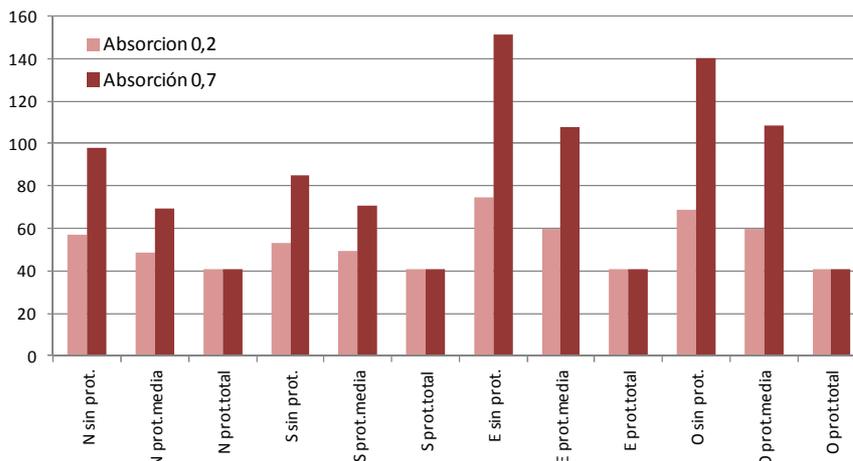


Fig. 10: Carga térmica diaria de verano, de muro LC30 simple. Variación de acuerdo a orientación, color y presencia de protección.

Merecen un análisis especial los muros con orientación Norte, dado que se contraponen la conveniencia de color claro u oscuro de acuerdo a la estación del año. En el análisis del comportamiento global de un muro de LH18 aislado, podemos observar, que la situación más conveniente será la del muro oscuro con protección media (alero), dado que disminuye en un 28% los requerimientos energéticos globales, en relación a un muro oscuro sin protección, en un 53%, en relación a un muro oscuro con protección total y en un 45%, en relación a un muro claro sin protección. (Fig 11).

Para la orientación Oeste, se verifica una mayor ganancia térmica, superior en un 30% aproximadamente, que el muro norte. El muro claro con protección media presenta el mejor comportamiento térmico global, en el balance anual presenta valores similares al muro oscuro con protección media y a los muros con protección total. No obstante si consideramos el período estival, por ser el más desfavorable, la protección total será altamente recomendable, donde el muro presenta una carga térmica inferior en un 62% y 81% con respecto al muro oscuro con protección media y totalmente asoleado, respectivamente (Fig.12)

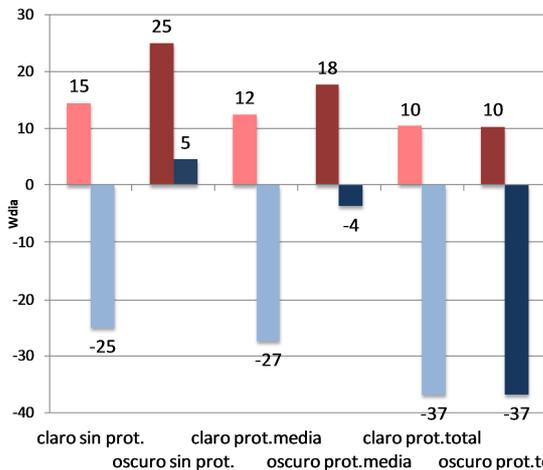


Fig.11: Carga térmica diaria estacional, de muro LH18, Norte, aislado. Variación de acuerdo a color y presencia de protección.

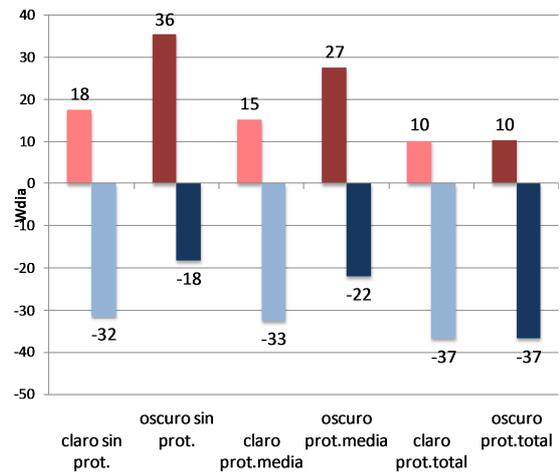


Fig.12: Carga térmica diaria estacional, de muro LH18, Oeste, aislado. Variación de acuerdo a color y presencia de protección.

La variación constructiva del elemento, es el principal condicionante de su comportamiento energético, a modo de ejemplo en la fig.13, puede apreciarse la variación para un muro LH18, de acuerdo a sus materiales y resolución constructiva. Para la situación de color claro, se aprecia una notable reducción de la carga de intercambio, en el verano será de 40% y 75% la disminución registrada en la comparativa entre el muro simple (71 W día) y el muro con cámara de aire (43%) y muro con cámara y aislante (18W día), respectivamente. Para el invierno la relación será similar.

Si comparamos para verano, el muro simple oscuro (145 W día) con el muro con aislación térmica claro (18W día), éste último presentará una ganancia de calor un 87% inferior.

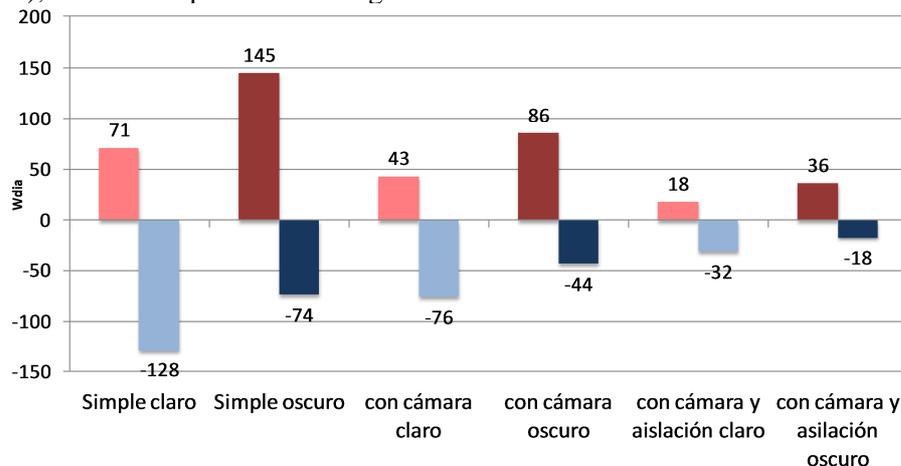


Fig.13: Carga térmica diaria estacional, muro LH18, Oeste. Variación de acuerdo a solución constructiva y color

La figura 14, muestra el comportamiento térmico de un paramento asoleado orientado hacia el norte, color claro y oscuro, considerando distintas soluciones constructivas que cumplen con la normativa IRAM 11605, nivel B, y se encuentran cercanos al nivel A. Se incorporaron en el análisis, los siguientes sistemas constructivos:

Elemento	Lad. macizo 0.13, lana de vidrio 2", foil alum., cámara aire, placa yeso (LC15aisl)	Ladrillo hueco 0.12, lana de vidrio 2", foil alum. cámara aire y placa de yeso (LH12aisl)	Mampostería Hormigón celular 0.15 m (H Cel15)	Mampostería Hormigón celular 0.175m (H cel17.5)	Mampostería Hormigón celular 0.20m (H Cel20)	Ladrillo macizo 0.27, revoque exterior termoaislante (LC30RevAis)
K (W/m <sup>2</sup> °C)	0.51	0.47	0.7	0.62	0.54	0.91

Tabla 2: Sistemas constructivos incorporados al análisis y valores de transmitancia térmica

Podemos observar que, para verano los valores oscilan entre 15 y 28 W día, para color claro y entre 25 a 48Wdía para color oscuro, y para invierno una pérdida de calor entre 25 y 35W día, en colores claros y 27 y 48Wdía en oscuros, se destaca nuevamente la incidencia del color con una reducción del 40%. En el balance térmico global, los muros tradicionales compuestos, LC30aisl, LC20aisl y LH18aisl, LH12aisl, presentan similar comportamiento, muy próximo a ellos el muro compuesto de ladrillo común de 0,15 (LC15aisl), presentando los muros con materiales no tradicionales (hormigón celular y revoque termoaislante), una carga térmica superior en promedio, entre un 30 y 40%, para colores claros y oscuros respectivamente.

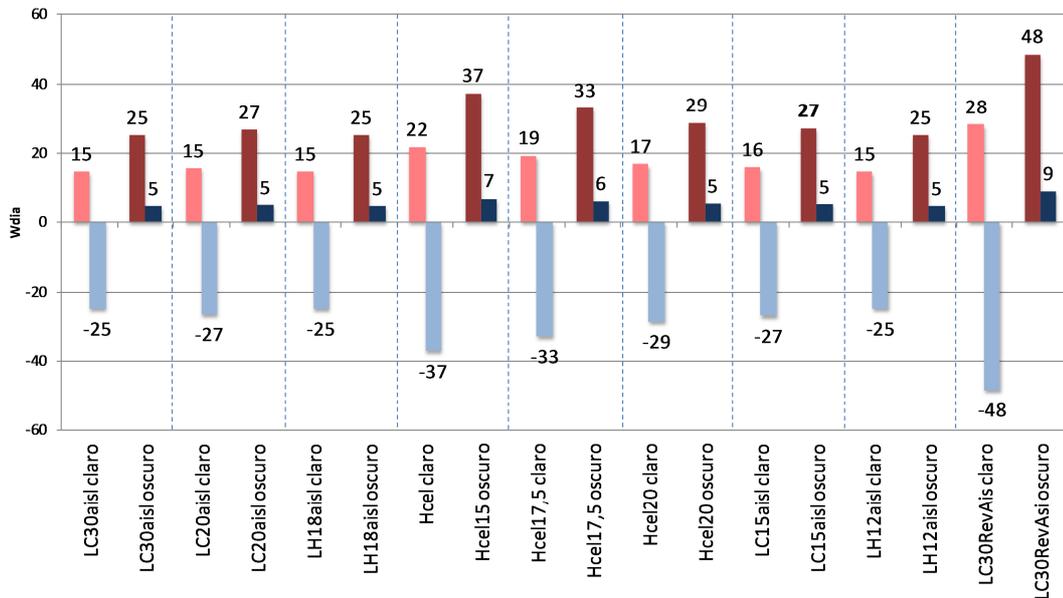


Fig. 14: Carga térmica diaria estacional, muro Norte, aislados y asoleados. Variación de acuerdo a solución constructiva y color

Se observa similar comportamiento para la orientación oeste, con valores superiores, dada la orientación. Se destaca, la notable la diferencia en el comportamiento entre los muros con materiales tradicionales con los que incorporan materiales “no tradicionales”. Tomando como referencia el muro LH18aisl, se observa que los muros construidos con hormigón celular HCel15, HCel17.5 y HCel20, presentan una carga mayor que el caso de referencia del 49%, 33% y 14% respectivamente. El muro de ladrillo con revoque termoaislante (LC30RevAisl), presenta una carga superior en un 94% (fig.15)

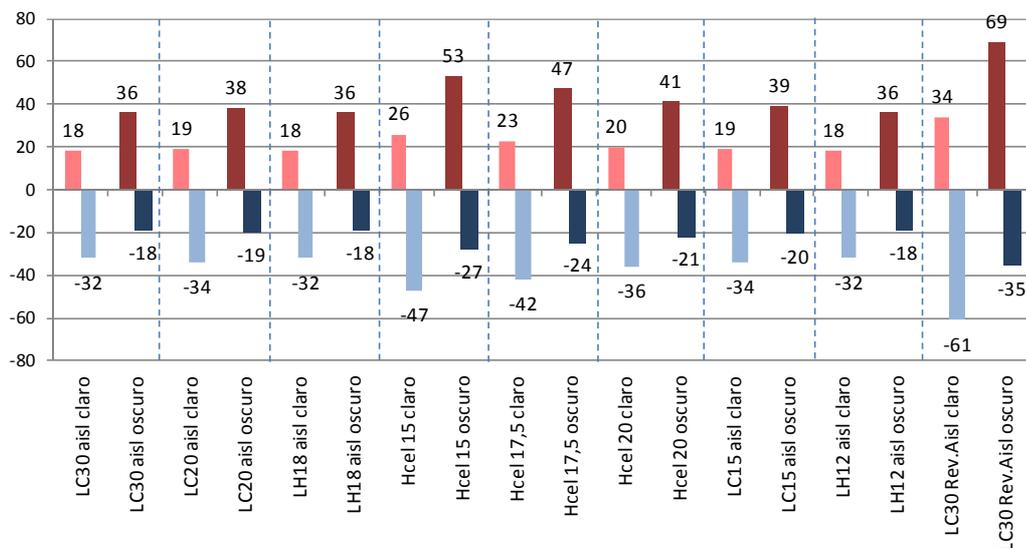


Fig.15: Carga térmica diaria estacional, muro Oeste, aislados y asoleados. Variación de acuerdo a solución constructiva y color

Es notable la diferencia del comportamiento térmico entre los muros simples no aislados y los muros compuestos aislados, pero cabe analizar las diferencias en sus costos. Dicha relación se muestran en la figura 16. A modo de ejemplo podemos observar que la reducción de la carga térmica entre un muro LH18 y LH18aisl, es del 75%, mientras que el incremento del costo es 39%. Situación que se repite en las otras tipologías.

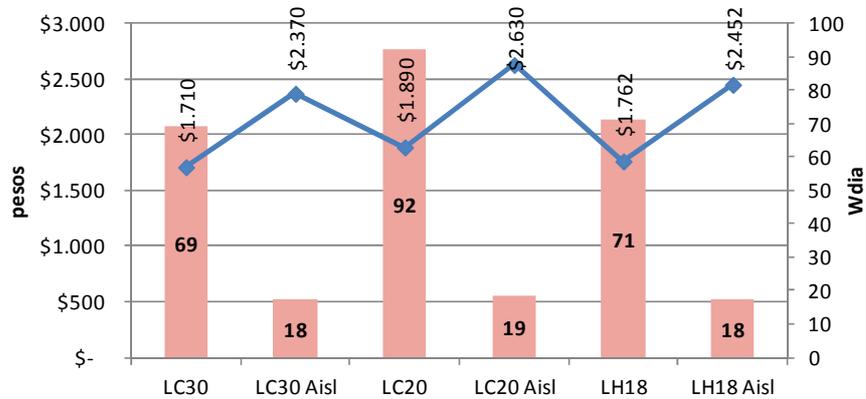


Fig.16: Carga térmica diaria estacional, muro Oeste, aislados y aseleados. Variación de acuerdo a solución constructiva (Q/m2)

La figura 17 muestra la variación de costos y comportamiento térmico global de las soluciones constructivas aisladas, analizadas en párrafos anteriores. Se observa que el muro LC15aisl, tiene el menor costo, con un comportamiento térmico similar al resto de los muros compuestos LC30aisl, LH18aisl y LH12aisl. El resto de las soluciones constructivas lo superan en el costo en el orden del 15 al 30%, excepto el muro con revoque aislante, cuyo costo es 50% superior y su eficiencia mucho menor. Se observa que los nuevos materiales no presentan un mejor comportamiento que los muros compuestos, siendo el más eficiente de ellos, el muro HCel20, que con un costo superior al 20% que el muro LC15Aisl, presenta un ingreso aun mayor al mismo.

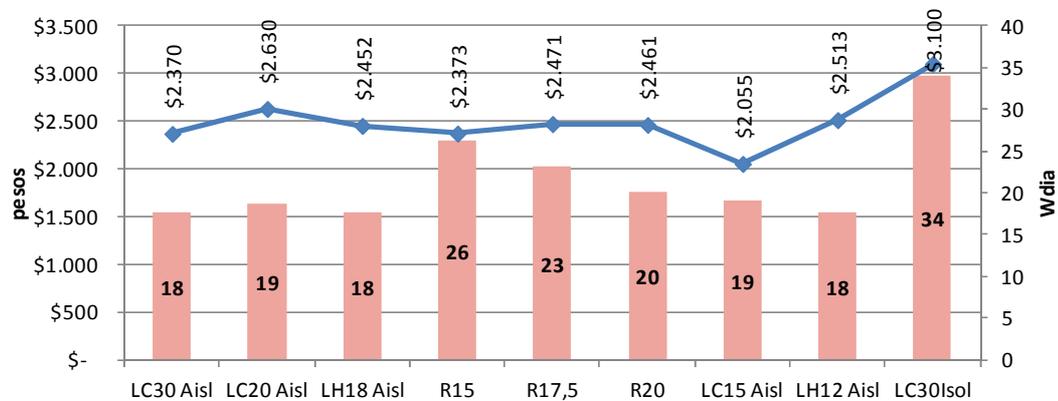


Fig.17: Variación de costos y comportamiento térmico global de las soluciones constructivas aisladas

### CONCLUSIONES:

El estudio permitió cuantificar la contribución de las estrategias de diseño pasivo al mejoramiento del comportamiento térmico de la envolvente vertical opaca, así como la incidencia en los costos de las mismas.

Se verificó la importancia de la incidencia del color sobre el comportamiento final del elemento, decisión que no incide en el costo del mismo. En verano, un muro oscuro orientado hacia el Oeste, permite ingreso de prácticamente el doble de la carga térmica que transmite el mismo elemento pintado de color claro. Decisión de diseño, que supera a la eficiencia que tendría la presencia de una protección solar parcial del paramento, la cual para la misma orientación puede llegar a producir una reducción en el orden del 25%. La orientación, factor también determinante, puede generar una diferencia del ingreso de calor en el orden del 35 al 145%, en la comparativa de muros de igual color y de muro claro versus oscuro respectivamente. La protección total de la radiación solar en el verano, pauta fundamental para nuestra latitud y posible alcanzar con soluciones de bajo costo (árboles,

pérgolas, toldos), posibilita una reducción de hasta el 75% de la ganancia térmica. Para la orientación Norte, frente a la necesidad de aprovechar el sol de invierno y proteger del verano, la solución más conveniente, será usar colores medios y proteger parcialmente el muro.

A modo de ejemplo de la posible reducción de la carga térmica, se pudo verificar que, manteniendo el material de base, ladrillo macizo, es posible reducir la mencionada carga en siete veces, reemplazando un muro LC30 oscuro, por un muro LC15aisl claro, con un incremento del costo del 20%. Si analizamos ambos elementos de color claro la reducción será de tres veces y media. La utilización de nuevos materiales no garantiza la mayor eficiencia del sistema constructivo, aún con costos superiores.

#### **REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:**

- Gonzalo G (2003). Manual de Arquitectura Bioclimática, 2da. Edición. pp. 222. ISBN 950-43-9028-5.
- Ledesma S.L., Nota V.M., Cisterna M.S., Martínez C.F., Gonzalo G.E. (2014) Condiciones térmicas en aulas de escuelas de Tucumán y la respuesta del usuario. Alternativas de optimización. Actas de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 2, pp. 05.109-05.118. ISBN 978-987-29873-0-52014
- 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.
- 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. Ahorro de energía en refrigeración.
- Remess Pérez, M. y Winfiel Reyes, F. (2008) Espacios educativos y desarrollo: Alternativas desde la sustentabilidad y la regionalización. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 42: 45-50.
- Venhaus Held M.I; Alías H. M.; Jacobo G. (s/f) Mejoramiento del desempeño térmico de sistemas de construcción no convencional en el NEA: evaluación y propuesta de atenuación de puentes térmicos. ADNea Revista de Arquitectura y Diseño del Nordeste argentino N°5. ISSN 2347-064X
- Balter J.; Ganem C., Discoli C. (2015) Edificios residenciales en altura. Comportamiento térmicoenergético en construcciones másicas y livianas en la ciudad de Mendoza. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 19, pp.05.23-05.34, 2015. ISSN 2314-1433

#### **THERMAL AND ECONOMIC EVALUATION OF CONSTRUCTION SOLUTIONS FOR BUILDING ENVELOPE IN SAN MIGUEL DE TUCUMAN**

**ABSTRAC:** This paper aims to analyze and evaluate the incidence of design decisions on the thermal behavior of the opaque vertical envelope in school buildings built by the State in San Miguel de Tucumán. For this, with the use of programs developed by the CEEHAS, the evaluation of thermal transmission in different walls construction systems was carried out. The traditional systems were taken as a starting point, evaluated under different design conditions. Constructive solutions that include more recent use materials were also analyzed. The results achieved allow quantifying the incidence of orientation, surface color, use of sunscreens and constructive materialization of the envelope, on the thermal transmission.

**Keywords:** thermal transmission, energy, schools