

EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORAS TÉRMICAS Y LUMÍNICAS PARA AULAS DE ESCUELAS PRIMARIAS DE RECIENTE CONSTRUCCIÓN EN TUCUMÁN

Eje 2: Tecnología para la construcción sustentable

Ledesma Sara Lía¹

Nota Viviana María²

Martinez Cecilia Fernanda³

Orio Solana⁴

Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable, FAU-UNT, Argentina
¹sledesma@herrera.unt.edu.ar, ²vnota01@yahoo.com.ar, ³cfernandamartinez@gmail.com,
⁴solanaorio@gmail.com

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento energético-ambiental en aulas de escuelas primarias de la provincia de Tucumán, a fin de definir propuestas y soluciones de diseño que posibiliten generar condiciones adecuadas de habitabilidad aportando a la disminución de los consumos de energía para acondicionamiento artificial.

Para ello, a partir de la definición de la situación edilicia prototípica de las escuelas de reciente construcción, se evaluaron las condiciones lumínicas, de asoleamiento y térmicas que presentan sus aulas. Las condiciones de iluminación se evaluaron a partir de mediciones in situ y con la aplicación de software de simulación. Se verificó la efectividad de la protección solar para un período anual, mediante métodos gráficos y programas computacionales. Se registraron datos de temperatura y humedad y se determinaron por cálculo computacional los valores de transmitancia térmica de la envolvente exterior. Se evaluó el comportamiento térmico global de la envolvente del aula mediante el uso de programa de cálculo desarrollado por el Equipo de Investigación.

A partir de los resultados obtenidos se plantearon y evaluaron opciones para mejorar las condiciones: i) se analizaron alternativas de parasoles, con el objetivo de obstruir la mancha solar en los planos de trabajo y captar la radiación solar para calefacción pasiva, además de aumentar los niveles de iluminación natural. ii) se analizó y evaluó la propuesta de mejora térmica de la envolvente exterior con soluciones de intervención sencillas y accesibles y sin modificar o alterar el espacio áulico.

Los resultados permiten cuantificar el mejoramiento del comportamiento energético, demostrando que es posible lograr condiciones de confort con intervenciones simples y factibles de realizar, con los consiguientes beneficios ambientales y de ahorro de energía.

PALABRAS CLAVES: ESCUELAS - CONFORT INTERIOR - CONSUMO ENERGÉTICO



1. INTRODUCCIÓN

Los espacios áulicos dentro de los edificios escolares son uno de los ámbitos más importantes donde se desarrolla el proceso de enseñanza-aprendizaje y la calidad ambiental que estos espacios pueden brindar a sus usuarios resultan factores de gran influencia en el resultado final del proceso didáctico. Dentro de los aspectos ambientales que se relacionan con el confort los que más influencia tienen en el rendimiento estudiantil se relacionan con la iluminación y las condiciones térmicas (Conway, Epps y P. Plympton, 2000 y Earthman, 2002).

Cuando estos dos aspectos ambientales, iluminación y confort térmico, deben ser controlados de forma artificial para mejorar las condiciones del aula, se incurre en un costo económico de gran importancia sin que con ello se pueda garantizar el lograr condiciones de habitabilidad de calidad. En este sentido un informe de APrA (2014), indica que el 75% del consumo de energía eléctrica en edificios escolares se debe a la iluminación artificial.

Es también de destacar que en nuestro ámbito las escuelas públicas no cuentan, o es escaso, el equipamiento para acondicionamiento térmico, para verano o invierno, como se evidencia en el trabajo de Ledesma et al (2016), lo que lleva a que los alumnos se encuentren constantemente en situación de inconfort con la influencia negativa que ello supone en su proceso de aprendizaje.

El siguiente trabajo se desarrolla en el marco del Programa de Investigación “Habitabilidad, Energía, Ambiente y Post-ocupación de Escuelas en Tucumán”, CIUNT B520 (2014-2018), cuyo objetivo principal es establecer metodologías de evaluación, propuestas de reglamentaciones y pautas de diseño que permitan mejorar el balance energético global y las condiciones ambientales de los espacios destinados a la enseñanza.

2. DESARROLLO

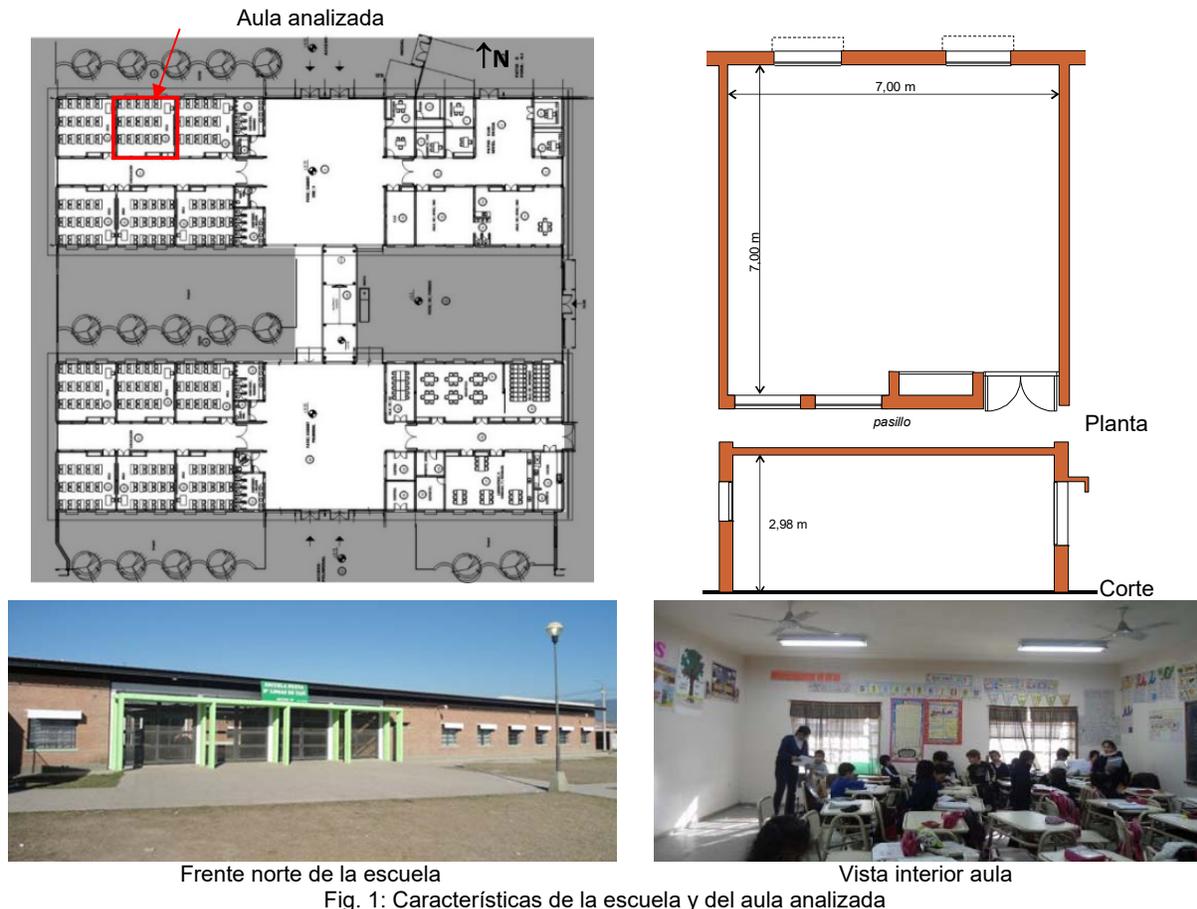
2.1. Determinación del prototipo de análisis

Se determinó la situación prototípica a evaluar, a partir del trabajo “Análisis tipológico-ambiental del parque edilicio escolar de Tucumán”, (Ledesma et al, 2015), el cual analiza las características edilicias y morfológicas de las escuelas de la provincia de Tucumán.

Habiendo definido la situación edilicia que se presentan con mayor frecuencia en las escuelas de reciente construcción se seleccionó para analizar las condiciones de habitabilidad de las aulas la escuela Nueva Lomas de Tafí, la cual es representativa de la tipología, figura 1.

Para los estudios planteados se seleccionó un aula con frente orientado al norte. Estas aulas presentan una situación desfavorable debido al ingreso de radiación directa sobre los pupitres, por lo cual se utiliza en el aula cortinado interior, lo que no permite aprovechar la iluminación natural ni la radiación solar directa para calefacción solar pasiva en invierno.

Sus dimensiones son típicas, 7,00 m de ancho por 7,00 m de largo y una altura media de 2,98 m. Hacia el exterior tiene dos ventanas de 1,40 m por 1,40 m, siendo sus protecciones solares aleros horizontales con quiebre de 0,60 m de profundidad. Hacia el pasillo las ventanas que posee tienen un aporte lumínico nulo.



2.2. DIAGNÓSTICO

2.2.1. Diagnóstico de asoleamiento

A fin de determinar la incidencia de la radiación solar en el interior del aula, se analizó la obstrucción solar que producen los aleros utilizando para la metodología del Diagrama de Trayectoria Solar y de Visión de Bóveda.

Se pudo verificar que en verano el parasol existente evita el ingreso de sol en el período de setiembre a marzo, figura 2, lo cual es adecuado al restringirse el aporte de calor por radiación directa sobre las superficies transparentes. En invierno se observa un importante ingreso de sol durante todas las horas del día, situación que resulta favorable por el aporte solar que contribuye a calefaccionar en forma pasiva el espacio, pero que presenta el inconveniente de producir deslumbramiento al incidir la radiación directamente sobre los pupitres.

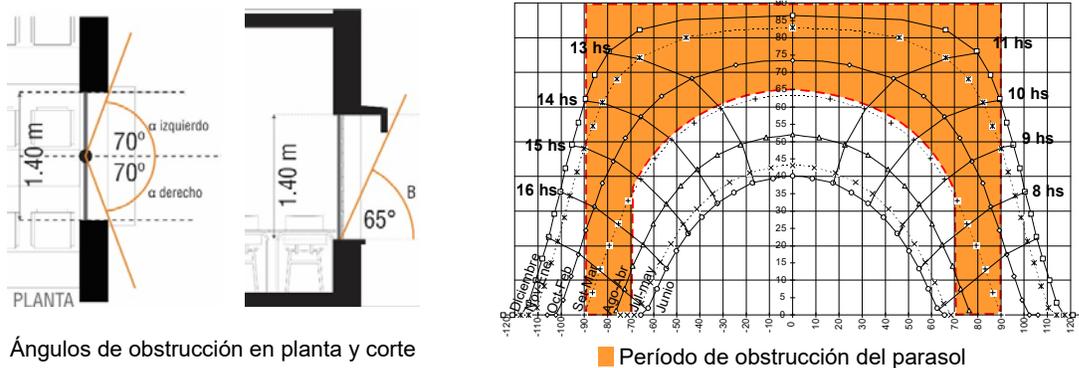


Fig. 2: Obstrucción solar de los aventanamientos del aula analizada

2.2.2. Diagnóstico de iluminación natural

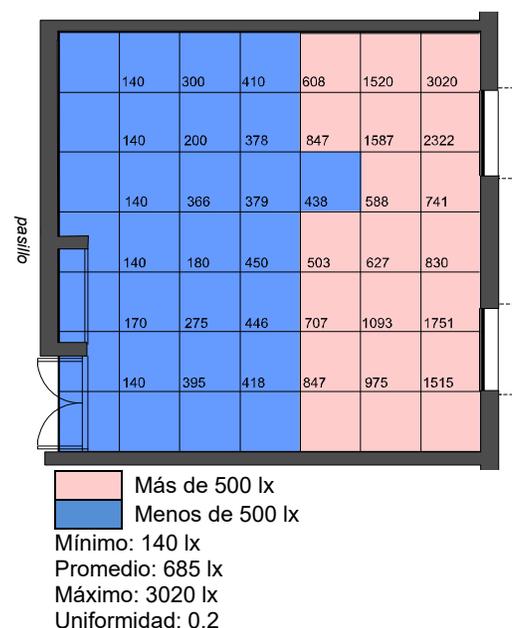
Para evaluar las condiciones de iluminación natural del aula se realizaron mediciones y simulaciones computacionales, tomando el mes junio como el más desfavorable.

- i. Las mediciones se realizaron con luxímetro Tenmars DL-201 en el horario de mayor altura solar, bajo condición de cielo despejado, con el fin de evaluar la incidencia de la radiación solar directa.
- ii. Las simulaciones de los niveles interiores de iluminación natural se realizaron con el software Autodesk Ecotec Analysis, para horas del día y bajo condiciones de cielo cubierto uniforme, a fin de evaluar los niveles lumínicos en condiciones desfavorables de reducida iluminación externa.

Los valores de iluminancia obtenidos en ambos procesos se compararon con los establecidos por las Normas de Higiene y Seguridad en el Trabajo, con un valor mínimo de iluminación sobre el plano de trabajo para las aulas comunes de 500 lux (Ley N°19587, 1979).

A partir de las mediciones, figura 3, se pudo verificar que en un día con cielo despejado, existe una distribución deficiente de la iluminación natural, produciéndose una iluminancia muy elevada en la zona próxima a las ventanas y amplios sectores de muy baja iluminancia en las zonas más alejadas. El valor de uniformidad obtenido de 0,2 resulta muy inferior al mínimo recomendado de 0,5, por lo que se encuentra muy lejos de las condiciones de confort lumínico aconsejables y si bien algunos sectores presentan valores de iluminación superiores a los establecidos por Normas, éstos son los más próximos a la mancha solar habiendo puntos que presentan un notable problema de deslumbramiento.

Fig. 3: Valores de iluminancia registrados in situ, bajo condiciones de cielo claro



En las simulaciones lumínicas se adoptó para el cielorraso el coeficiente de reflexión del 70%, para las



paredes de 65% y del 65% para el piso. No se consideraron obstrucciones exteriores ni reflexiones del pavimento exterior. A partir de los resultados se observó que en el 88% de los puntos considerados, los valores de iluminancia son inferiores a los recomendados por Normas y sólo en el 12% se superan los valores mínimos. Con ello se verifica que la iluminación brindada por los espacios áulicos resulta inadecuada para el desarrollo de la tarea visual requerida, figura 4.

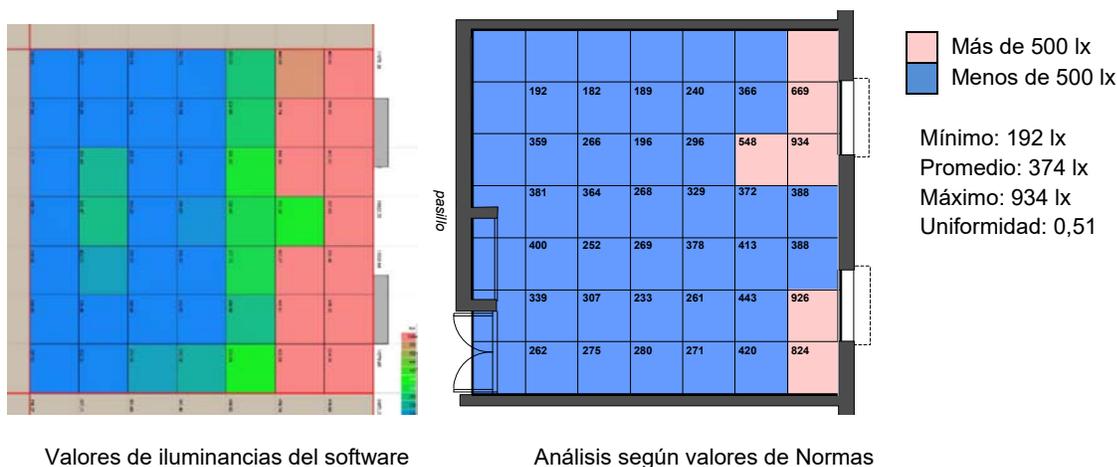


Fig. 4: Valores de iluminancia determinados con Autodesk Ecotect Analysis

2.2.3. Diagnóstico de condiciones térmicas

A fin de evaluar el comportamiento térmico global de la envolvente del aula analizada, se verificó con el programa CEEMAKMP.xls, el cumplimiento de los valores máximos admisibles de transmitancia térmica establecidos por Normas IRAM para la situación de verano e invierno y para el nivel mínimo de confort higrotérmico. A partir de los valores obtenidos, indicados en tabla 1, se puede observar que los cerramientos no cumplen con los valores normados.

Con el objeto de conocer el comportamiento térmico global de la envolvente del aula se determinó, a partir de programa de cálculo desarrollado por el Equipo de Investigación, el balance térmico total considerando el intercambio de calor a través de cada uno de los componentes de la envolvente (muros, cubierta y superficies transparentes), bajo régimen periódico, considerando la efectiva radiación solar incidente sobre cada una de las superficies. En la tabla 2, se pueden observar las cargas térmicas de la envolvente por cada uno de los elementos que la componen.

Componentes	Croquis	Transmit. térmica (W/m ² °C)	Verific. K max. adm. Nivel "C"		Carga térmica (Wdía)	
					Ganancias de calor verano	Pérdidas de calor invierno
Muros norte y sur de ladrillo común e=0,27m c/una cara revocada		Ver: 1,91	1,80	NO		
		Inv: 2,20	1,80	NO		
Cubierta de losa H°A° e=0,15m con sobre-techo de chapa		Ver: 2,95	0,72	NO		
		Inv: 3,71	1,00	NO		

Tabla 1: Valores de transmitancia térmica y carga térmica calculados para la envolvente del aula



EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORAS TÉRMICAS Y LUMÍNICAS PARA AULAS DE ESCUELAS PRIMARIAS DE RECIENTE CONSTRUCCIÓN EN TUCUMÁN

Carga térmica		Superficie (m ²)	Verano		Invierno	
			Q total (Wdía)	Q por m ² (Wdía)	Q total (Wdía)	Q por m ² (Wdía)
Por envolvente	cubierta	49	3180	64,90	-22977	-468,92
	muros	36,7	2326	63,38	-6922	-188,61
	ventanas	5,04	789	156,55	-4532	-899,21
TOTAL			6295		-34431	

Tabla 2: Carga térmica total y por m² del aula analizada

A partir de los resultados se pudo observar que el elemento que ocasiona las mayores ganancias y pérdidas de calor es la cubierta, un 67 % de ganancias en verano y 74 % de pérdidas en invierno. En el caso de las ventanas, las ganancias de calor en verano son poco significativas debido a la orientación y a la presencia de las protecciones solares, en tanto para la situación de invierno, el aporte de calor por radiación solar se ve reducido debido al uso de cortinas interiores para evitar el deslumbramiento.

Se realizaron además mediciones de temperatura interior y exterior con registradores de datos HOBO Mod.H08-004. El sensor interior se ubicó a una altura de 1,50 m y en la pared que contiene el pizarrón y el exterior en las galerías a la sombra y expuesto a las corrientes de aire. El aula seleccionada tiene dos caras (norte y sur) en contacto con el exterior y se ocupa en turnos de mañana, de 8 a 12 h y en la tarde de 14 a 18 h. Las mediciones se programaron cada 15 minutos y se realizaron durante 17 días en los períodos frío y cálido, figuras 5 y 6.

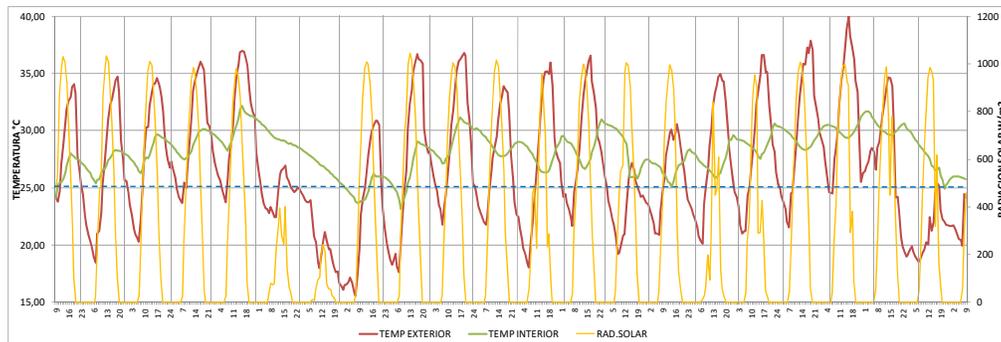


Fig. 5: Variación de temperaturas en verano en el aula tipo

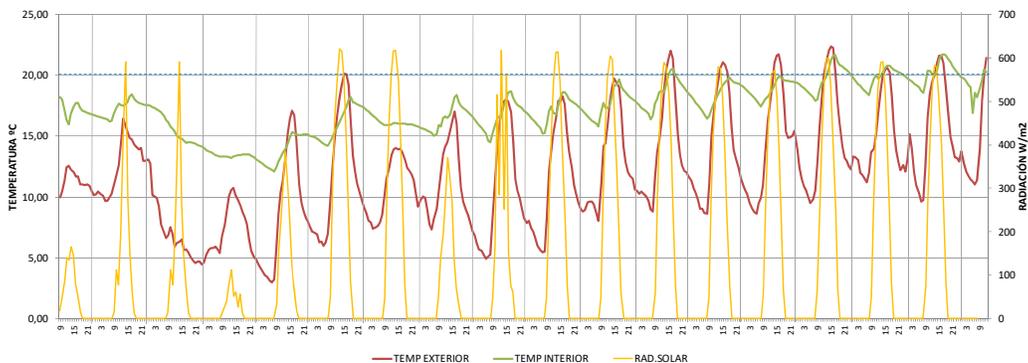


Fig. 6: Variación de temperaturas en invierno en el aula tipo

A partir de los resultados de las mediciones se pudo observar que, para la situación de verano, las temperaturas en el aula superan a la de confort, 25°C, entre 2° y 6°. La presencia de protecciones en los aventanamientos norte evita que se produzca un sobrecalentamiento interior. En la



situación de invierno las condiciones de temperatura interior se encuentran por debajo de la situación de confort, a pesar de contar con ingreso de radiación solar directa por las ventanas norte.

2.3. PROPUESTAS DE MEJORAS

2.3.1. Protecciones solares en aberturas

Se plantearon y analizaron mejoras al sistema de aventanamientos con el objetivo de obstruir la mancha solar de invierno, aumentar los niveles de iluminación natural, reforzar la iluminación en zonas alejadas y captar la radiación directa para calefacción pasiva en invierno, las cuales consistieron en:

i Utilizar protecciones solares que permitan la obstrucción total de la radiación incidente tanto en el invierno como en el verano.

ii Utilizar ventanas superiores para mejorar la iluminación natural interior ya que permiten el ingreso de luz hacia la parte más profunda del local.

iii Incorporar estantes de luz los cuales mejoran la distribución de la iluminación natural a la vez que permiten el ingreso de radiación solar en el invierno evitando su incidencia sobre los planos de trabajo.

Las propuestas consistieron en la incorporación de una ventana superior corrida con dos opciones analizadas, figura 7, para cada una de las cuales se consideró tres alternativas para evitar el ingreso del sol a través de las ventanas existentes: 1. Incorporar dos aleros horizontales intermedios y quitar del alero existente la visera (quiebre), 2. Incorporar un alero horizontal intermedio que complemente el alero existente (con visera o quiebre), 3. Incorporar una obstrucción móvil de lamas horizontales y quitar del alero existente la visera.

Las seis propuestas planteadas fueron evaluadas con el software Autodesk Ecotec Analysis (Orio, 2017) manteniendo las mismas condiciones de simulación adoptadas para la situación original.

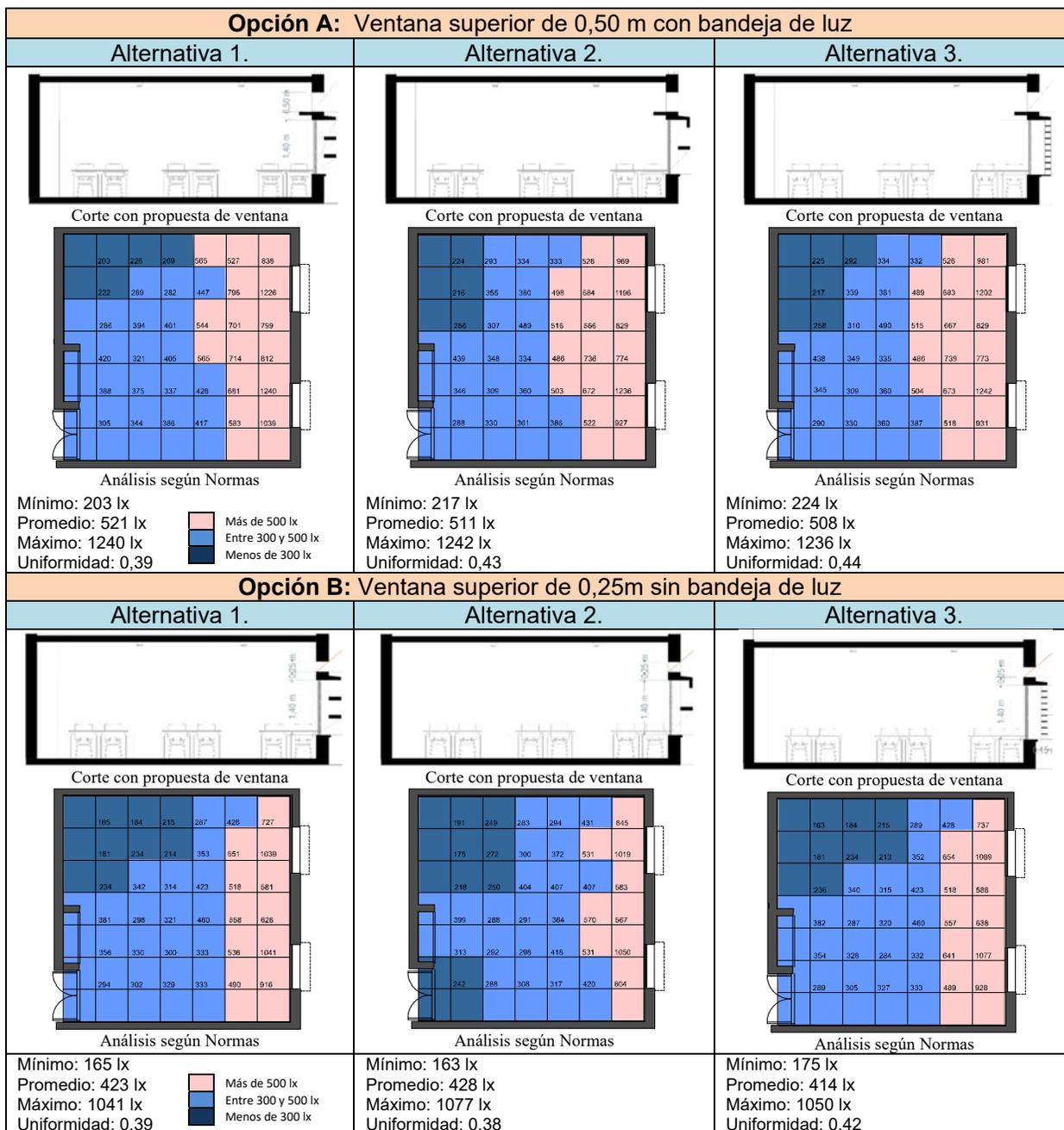


Fig. 7: Propuestas de diseño de aventanamientos y resultados de la simulación lumínica del aula norte.

El análisis comparativo determinó que la opción más conveniente resultaba la incorporación de una ventana superior de 0,50 m con la protección solar 2, manteniendo el alero original y agregando uno intermedio, presentando ésta un óptimo comportamiento lumínico y un menor costo. Se verificó con simulación de iluminación que, con la propuesta de diseño, se lograría alcanzar los valores de Normas en la mitad de los puntos analizados, por lo que se pueden lograr ahorros de energía en iluminación artificial de hasta un 50% en el período de invierno, el más desfavorable.



2.3.2. Condiciones térmicas

Con la finalidad de mejorar el comportamiento térmico global, además de la modificación del sistema de protecciones solares que permite el adecuado aprovechamiento de la radiación solar en invierno, se plantea la colocación de una aislación térmica de poliestireno expandido de 8 cm sobre la cubierta de losa, dado que es el elemento de la envolvente a través del cual se producen las mayores pérdidas de calor, figura 8.

No se plantea ninguna modificación en los cerramientos verticales debido a que los mismos son muros de 0,30 m de ladrillo macizo que presentan un comportamiento térmico aceptable como se puede constatar en los análisis térmicos, tabla 1.

Con el objetivo de cuantificar el aporte de las modificaciones planteadas, se realizaron los cálculos de carga térmica total para invierno y verano del aula analizada, cuyos resultados se muestran en tabla 3.

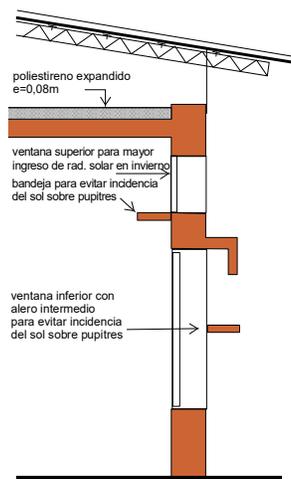


Fig. 8: Detalle de propuesta

Carga térmica		Q total (Wdía) - VERANO		Q total (Wdía) - INVIERNO	
		Sit. Original	Sit. Propuesta	Sit. Original	Sit. Propuesta
Por envolvente	cubierta	3180	431	-22977	-2477
	muros	2326	2153	-6922	-6651
	ventanas	789	1114	-4532	-233
Total		6295	3699	-34431	-9361

Tabla 3: Carga térmica total en verano e invierno para la situación original y propuesta del aula analizada

A partir de los valores de carga térmica total obtenidos se pudo observar que, con las propuestas planteadas, se logra reducir en el aula las ganancias de calor en verano con respecto a la situación original en un 41 % y las pérdidas de calor en invierno, en un 72 %, figura 9.

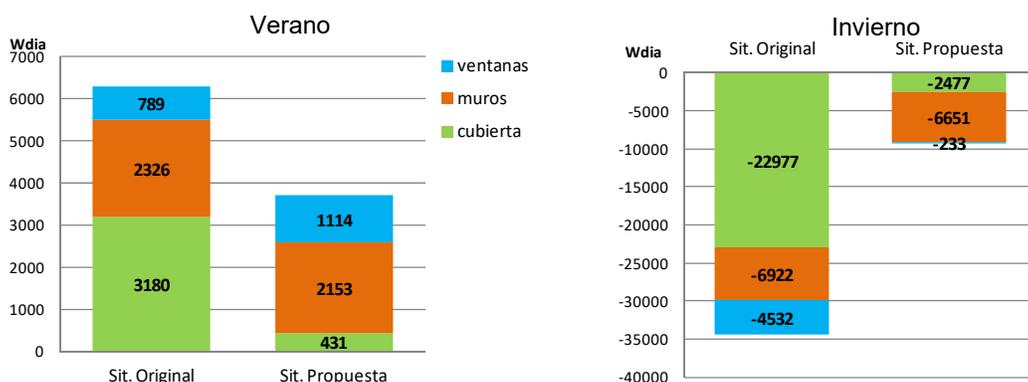


Fig. 9: Carga térmica para verano e invierno de la envolvente del aula analizada con las propuestas de mejoramiento

La propuesta de modificación de los aventanamientos permite una reducción de las pérdidas de calor en invierno de un 95 %, lo cual se debe al incremento de las ganancias de calor por mayor superficie de captación de la radiación solar. En el caso de verano, se produce un incremento poco significativo en las ganancias de calor debido al incremento de la superficie de ventanas.



3. CONCLUSIONES

De los análisis realizados sobre la situación real de construcción de la escuela estudiada se infiere que los edificios escolares que se están construyendo no logran alcanzar condiciones aceptables de confort interior en las aulas. A partir del análisis de las propuestas de modificación de los aventanamientos y de la envolvente exterior, se puede concluir que no se necesitan intervenciones importantes ni onerosas para solucionar los problemas básicos de confort, verificándose que es posible el planteo de soluciones que respondan adecuadamente a las condicionantes lumínicas y de asoleamiento que presenta nuestra situación climática.

Con ello es posible lograr en las escuelas importantes beneficios en cuanto a condiciones de habitabilidad y, directamente, la reducción de los costos económicos de funcionamiento de los establecimientos educativos, relacionados principalmente con el gasto por iluminación artificial, dado que la mayoría no cuentan con acondicionamiento térmico artificial.

Los beneficios energético-económicos posibles de alcanzar son un aspecto fundamental a tener en cuenta, por un lado, al considerar la crisis energética actual y el posible agotamiento de los recursos naturales y por otro al considerar el ahorro económico que trae aparejado un diseño que contemple el correcto aprovechamiento de la iluminación natural, la calefacción pasiva y el desempeño energético de la envolvente exterior.

BIBLIOGRAFÍA

APrA (2014). *Agencia de Protección Ambiental*, Gobierno de Buenos Aires. El cambio climático y Buenos Aires. Informe. 2014. [En línea. Noviembre 2017]. <http://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/cambioclimatico/publicaciones>

Conway, S., K. Epps, y P. Plympton (2000). *Daylighting in Schools Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford*. The American Solar Energy Society Conference. Madison, Wisconsin. [En línea. Diciembre 2017]. <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28049.pdf>

Earthman, Glen I. (2002). *School Facility Conditions and Student Academic*. Los Angeles, CA: UCLA's Institute for Democracy, Education, & Access. [En línea. Diciembre 2017]. <https://mfc205.wikispaces.com/file/view/wws08-Earthman.pdf>

Ledesma, Sara Lía et al (2016). *Caracterización del sector edilicio educativo de nivel primario de la provincia de Tucumán y evaluación de consumos energéticos en caso de estudio*. Revista AVERMA, Vol. 20, ISSN 2314-1433. Argentina. <http://www.asades.org.ar/biblioteca/revista-averma/>

Orio, S., Ledesma S.L., Nota V. (2017). *Condiciones lumínicas en aulas prototípicas de escuelas de reciente construcción de la provincia de Tucumán*. Evaluación y propuestas. XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. ISBN 978-987-29873-0-5.