EVALUACION TERMICA Y ECONOMICA COMPARATIVA DE CRUJIAS DE AULAS EN EDIFICIOS ESCOLARES BIOCLIMATICOS EN LA PROVINCIA DE MENDOZA.

Basso M, Fernández Llano J., de Rosa C.
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: mbasso@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo es analizar la eficiencia térmica y económica de 4 configuraciones de crujías de aulas en escuelas proyectadas por esta UID, a fin de determinar las mas convenientes en la zona Norte de la provincia. El comportamiento térmico se simula mediante el SIMEDIF. El análisis de costos se realiza a partir de los presupuestos oficiales presentados para el llamado a Licitación Pública. La simulación térmica en Junio determinó que las aulas con aislación en muros exteriores presentan temperaturas medias de 17.6 ºC y de 16.1 ºC sin aislación cuando la media exterior es de 12.1 ºC. Estos valores se reducen en las aulas de planta baja. Los aportes internos producidos por los alumnos producen un incremento de la temperatura interior entre 4 y 5ºC en al alternativa con aislación, y 3.8 - 4.3 ºC en la otra. El costo es de 400 $/m2 con aislación y 370 $/m2 sin aislación. El esquema 2 presenta un incremento del 14 y 13% según sea aislado o no, por su mayor superficie cubierta (504.74 m2), en relación con los otros tres esquemas (430 m2).
Palabras clave: escuelas solares, escuelas bioclimáticas, simulación térmica, costos constructivos, aislación en muros.

INTRODUCCION

En el marco de la reestructuración del sistema estatal de educación en la Argentina, la Dirección General de Escuelas de la Provincia de Mendoza encomendó a esta UID el proyecto de 3 edificios escolares energéticamente eficientes para su construcción encuadrados según de las normativas de la nueva Ley Federal de Educación. En los mismos se diseñaron distintas crujías de aulas respondiendo a las necesidades propias del proyecto y al terreno disponible. Como consecuencia de ello, se proyectaron 3 tipologías de crujías con el máximo aprovechamiento de la energía solar, iluminación y ventilación natural. La necesidad de conocer la tipología más eficiente hace que en este trabajo se estudien todos los esquemas comparativamente desde el punto de vista térmico y económico.
Dado que en el funcionamiento de las escuelas se prioriza el sector de aulas, el análisis comparativo se centra en el mismo, dejando de lado las otras zonas. Las escuelas construidas poseen distinto número de aulas, en este trabajo a los fines comparativos, se plantean cuatro esquemas de 6 aulas: dos en dos plantas y dos en una planta.

DISEÑO

Las pautas para el diseño de las cuatro alternativas (Figura Nº 1) fueron: Idéntica superficie de aulas, idéntica configuración espacial, exceptuando las de planta baja que tienen techos planos, ancho de pasillos estipulado en la Ley Federal de Educación e igual superficie de ventanas para calefacción, iluminación y ventilación en la medida que el esquema lo admita.

- **Esquema 1:** 3 aulas en planta alta y 3 en la baja, el acceso a las mismas está dado por una galería a semi-cubierto ubicada en la fachada Norte. La planta alta tiene ganancia solar directa por las ventanas superiores, con las cuales se cubre también las necesidades de iluminación natural. En la planta baja este beneficio esta disminuido por la presencia de la galería, ya que las aberturas al norte están bajo el techo de la misma. En este caso, se requiere una abertura mayor en el muro sur del aula para mejorar la iluminación.

Los beneficios de este esquema para ambos niveles son: adecuada ventilación cruzada, la galería es un espacio exterior intermedio protegido, con pleno acceso al sol en invierno y sombreado en verano. Este espacio permite una agradable permanencia en el mismo en ambas estaciones.

- **Esquema 2**: al igual que en el esquema anterior, presenta 2 plantas con la misma distribución de aulas pero el acceso a las mismas es a través de una circulación cerrada ubicada al Sur. La planta baja tiene una altura de 3.30 m, superior a la requerida por la Ley Federal de Educación (3.00 m) para permitir la incorporación de difusores como control de la incidencia directa de los rayos solares sobre el plano de trabajo. Se han efectuado aberturas en el muro Sur de las aulas para permitir la ventilación cruzada. No obstante, esta ventilación se reduce ya que se realiza indirectamente a través del pasillo de circulación. Desde el punto de vista termo-lumínico, su funcionamiento es correcto en ambas plantas. Los pasillos cerrados mejoran el comportamiento térmico de las aulas. Si bien cumplen la función de patio cubierto en días de lluvia, es un lugar poco agradable en invierno por no tener acceso de sol.

- **Esquema 3**: es un esquema compacto en una sola planta, de doble crujía de 3 aulas al norte y 3 al sur. El acceso a las mismas se da a través de un pasillo central cubierto. La ganancia solar directa en las aulas sur se logra por aberturas en la diferencia de alturas en los techos, siendo su superficie equivalente a las aberturas de las aulas Norte. La ventilación cruzada en las aulas Norte se efectiviza por dos ventanas ubicadas en el techo (tragavientos). En las aulas Sur, se logra mediante las ventanas bajas que además se utilizan como visuales al exterior. La circulación central tiene tres lucernarios que aportan ganancia solar e iluminación natural. Este espacio sirve también como recreación a cubierto.

- **Esquema 4:** esquema lineal. Si bien este esquema no fue construido en los proyectos mencionados es una crujía válida para su aplicación, posee la misma configuración que la planta alta del Nº1 (construido). El acceso a las aulas está dado hacia el lado Norte por una galería a semicubierto. Los aportes para calefacción solar e iluminación natural de las aulas están dados por ventanas superiores ubicadas por encima del nivel de techo de la galería. A igual que el esquema 1, la galería es un espacio exterior intermedio protegido, con pleno acceso al sol en invierno y sombreado en verano. Los tres aspectos: térmico, lumínico y ventilación natural, en este esquema se resuelven en forma simple.

La superficie colectora es el área vidriada orientada al Norte necesaria para el aprovechamiento de la Energía Solar, a través de la ganancia directa. La eficiencia térmica de los distintos esquemas se evalúa teniendo en cuenta el porcentaje de superficie vidriada en relación con el área de piso. Este porcentaje, conjuntamente con los volúmenes de las distintas aulas, se puede observar en la siguiente tabla comparativa.

	ESQ1		**ESQ2**		**ESQ3**		**ESQ4**
	PB	PA	PB	PA	NORTE	SUR	NORTE
VOLUMEN INTERIOR DEL AULA (m3)	158.5	192.3	174.7	187.67	198	195.1	192.3
AREA COLECTORA (% de área de piso)	2.76	14.1	11	15.7	15.8	13.7	14.1

En general, las áreas colectoras porcentuales brutas son bastante similares para las aulas de los distintos esquemas (14-16 %), excepto las de planta baja de los esquemas 1 y 2. En el esquema 1, este porcentaje (2.7%), surge de considerar como área colectora solo el 30% del área vidriada real por encontrarse bajo una galería, reduciéndose así las ganancias solares. En la PB del esquema 2, el área colectora (11%) se ve reducida por la presencia de tabiques antisísmicos requeridos por el cálculo estructural.

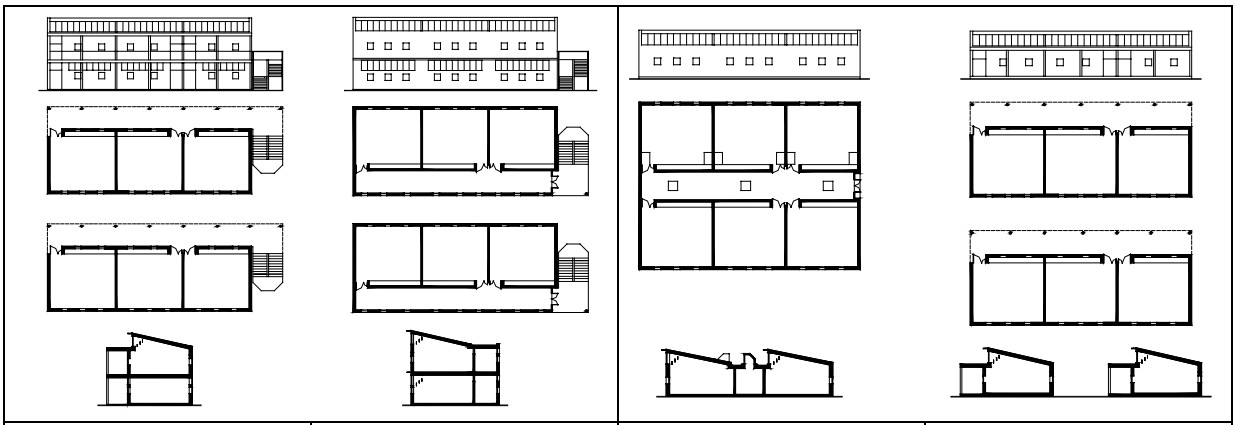


Figura Nº1: Crujías de aulas propuestas para el análisis

COMPORTAMIENTO TERMICO

El comportamiento térmico de los esquemas analizados se evaluó mediante un programa de simulación (SIMEDIF). Se simularon distintas situaciones de uso: con y sin aportes internos en invierno (Junio) y verano (noviembre), con y sin aislación en muros.

Esquema en su situación real (Invierno): con aportes internos de los alumnos, aislación en los muros exteriores, 3 renovaciones de aire por hora (RAH) y durante las horas de uso del edificio escolar (8 a 17 hs. – hora solar).

	ESQ1		**ESQ2**				**ESQ3**			**ESQ4**	
	AULAS		AULAS		PASILLO		AULAS		PAS.	AULAS NORTE	Text.
	PB	PA	PB	PA	PB	PA	NORTE	SUR			
Temp Media	15.2	17.5	16.3	17.8	12.3	12.0	17.7	17.7	13.4	17.7	12.1
Temp Max	16.8	20.1	18.2	20.4	13.4	13.0	20.3	20.2	14.6	20.3	19.2
Temp Min	13.3	13.9	14.2	14.3	10.7	10.5	14.1	14.3	11.7	14.0	0.2
ΔT	3.6	6.2	4.0	6.1	2.7	2.6	6.2	6.0	2.9	6.3	19.0

Tabla Nº 1: Resumen de las temperaturas interiores para todos los esquemas con aislación de muros

En los esquemas con aislación térmica en muros exteriores, la mayor protección del aula intermedia se ve reflejada en un pequeño incremento de la temperatura media (0.2 ºC) en relación con las aulas extremas más expuestas, tanto en la planta

baja como en la alta. Por este motivo, en la Tabla Nº 1 se observan las temperaturas medias de las aulas por planta, en lugar de cada una de ellas por separado.
Se presenta un resumen dado por la misma situación anterior (mes de Junio, con aportes internos, 3 RAH y durante las horas de uso) pero sin la aislación de los muros exteriores:
En la tabla Nº 2 se puede observar la reducción que experimentan todas las temperaturas interiores (media, máxima y mínima) con relación a las de la tabla Nº 1. En general, todas las aulas permanecen fuera de la situación de confort durante las horas de clase. La falta de aislación en los muros exteriores empeora la situación térmica de las aulas de PB de los esquemas 1 y 2.

	ESQ1		**ESQ2**				**ESQ3**			**ESQ4**	
	AULAS		AULAS		PASILLO		AULAS		PAS.	A.NORTE	T. Ext
	PB	PA	PB	PA	PB	PA	NORTE	SUR			
Temp Media	13.2	15.6	15.0	16.5	10.9	10.6	16.5	16.6	12.2	15.7	12.1
Temp Max	15.0	18.4	17.0	19.3	11.9	11.6	18.4	18.3	13.4	18.5	19.2
Temp Min	11.3	12	13.0	13.1	9.4	9.2	12.5	12.7	10.5	12.1	0.2
ΔT	3.7	6.4	4.1	6.2	2.5	2.4	5.8	5.0	2.9	6.4	19.0

Tabla Nº 2: Resumen de las temperaturas interiores para todos los esquemas sin aislación de muros

	ESQ1		**ESQ2**		**ESQ3**		**ESQ4**
AULAS	PB	PA	PB	PA	NORTE	SUR	NORTE
temp media	1.9	1.9	1.3	1.3	1.1	1.1	1.9
temp max	1.8	1.7	1.2	1.1	1.9	1.9	1.7
temp min	1.9	1.9	1.2	1.2	1.5	1.5	1.9

Tabla Nº 3: Resumen de las diferencias entre las temperaturas interiores con y sin aislación de muros

Esquemas en las distintas situaciones (Invierno): Se hace una evaluación de los 4 esquemas (media de aulas de todos los esquemas por un lado y aulas de PB del 1 y 2 por otro) con y sin aislación, con y sin aportes internos y 3 renovaciones de aire por hora (RAH). Además se analiza el comportamiento del esquema 3 con y sin aislación, con aportes internos y con distintas renovaciones de aire (1 y 3 RAH).

INVIERNO			**AULAS DE LOS ESQUEMAS**		**AULAS ESQ1 PB**		**AULAS ESQ2 PB**	
			ΔT ºC (Tex-Tint)	ΔT ºC Tmax-Tmin	ΔT ºC (Tex-Tint)	ΔT ºC Tmax-Tmin	ΔT ºC (Tex-Tint)	ΔT ºC Tmax-Tmin
4 Esquemas	con aislación	c.aportes	**17.6** (Tex+5.5)	6	**15.2** (Tex+3.1)	3.6	**16.3** (Tex+4.2)	4
		s.aportes	**12.4** (Tex+0.3)	5.4	**9.9** (Tex–2.2)	3	**12.3** (Tex+0.2)	3.4
	sin aislación	c.aportes	**16.1** (Tex+4)	6	**13.2** (Tex+1.1)	3.7	**15** (Tex+2.9)	4.1
		s.aportes	**11.8** (Tex–0.3)	5.5	**9.4** (Tex-2.7)	2.8	**10.7** (Tex–1.4)	3.1
			AULAS CON 1 y 3 RAH					
Esquema 3	con aislación c.aportes	1 RAH	**22** (Tex+9.9)	4.4				
		3 RAH	**17.7** (Tex+5.6)	6				
	sin aislación c.aportes	1 RAH	**19.5** (Tex+7.4)	4.2				
		3 RAH	**16.6** (Tex+4.5)	5.7				

Tabla Nº 4: Temperaturas medias interiores de 8 a 17 hs. y su relación con la media exterior en el mismo intervalo de tiempo (Tex. = 12.1ºC) y mediante amortiguamiento interior de temperatura. Invierno (Junio)

En este análisis comparativo de los esquemas en distintas situaciones se tomó como base la temperatura media exterior. Un edificio cuyas ganancias de calor (solar, ocupantes, etc.) son iguales a las pérdidas (infiltraciones, ventanas, muros, etc.) presenta una temperatura media interior coincidente con la media exterior. Por lo tanto, la diferencia positiva entre la temperatura media interior y exterior, representa una medida de la capacidad que tiene el edificio para conservar el calor ganado. Por otra parte, la diferencia entre las temperaturas interiores máximas y mínimas, representa la capacidad que tiene ese edificio para mantener una temperatura interior lo mas constante posible. Si bien esta constancia de la temperatura es importante, no es suficiente para medir el confort interior, ya que la temperatura interior puede ser constante pero mantenerse siempre por debajo de la zona de confort.

Esquemas en las distintas situaciones (Verano): Este análisis tiene por objeto determinar el comportamiento térmico en el mes más cálido del periodo escolar (Noviembre). El mismo permite evaluar la eficiencia de la aislación de los distintos esquemas en esta época del año.

VERANO		**AULAS**		**ESQ1 PB**		**ESQ2 PB**	
		ΔT ºC (Tex-Tint)	ΔT ºC Tmax-Tmin	ΔT ºC (Tex-Tint)	ΔT ºC Tmax-Tmin	ΔT ºC (Tex-Tint)	ΔT ºC Tmax-Tmin
con aislación	c.aportes	19 (Tex–1.1)	6.2	18.2 (Tex–1.9)	4.6	18.2 (Tex-1.9)	4.6
	s.aportes	16.6 (Tex –4)	5.7	16.3 (Tex–3.8)	3.9	16.4 (Tex–3.7)	4
sin aislación	c.aportes	18.7 (Tex–1.4)	6.2	17.9 (Tex-2.2)	4.6	18.1 (Tex-2)	4.6
	s.aportes	15.8 (Tex–4.3)	5.6	15.1 (Tex–5)	3.9	15.3 (Tex–4.8)	4

Tabla Nº 5: Temperaturas medias interiores en relación con la media exterior de 8 a 17 hs. (Text. = 20.1 ºC) y del amortiguamiento interior de temperatura (Noviembre)

Todas las aulas de los distintos esquemas presentan un comportamiento similar cuando se las compara en una misma situación, excepto las correspondientes a la Planta Baja de los esquemas 1 y 2, (Tabla Nº 5). Esto justifica la simplificación del análisis ya que permite obtener una única temperatura media para las plantas altas y otra, para las de PB.

Grados de calefacción: es otra de las variables que refleja el comportamiento térmico de los esquemas. En la Tabla Nº 6, se pueden observar los grados ºC necesarios para alcanzar la situación de confort interior de las aulas con aportes internos durante el mes de Junio, con y sin aislación exterior (base 18ºC), durante las horas de uso del edificio (8 a 17 hs).

	ESQ1			ESQ2			ESQ3			ESQ4
	PB	PA	TOTAL	PB	PA	TOTAL	NORTE	SUR	TOTAL	TOTAL
ºC de calefacción mes de Junio c/aislac.	1283.42	592.52	1875.94	735.17	498.33	1233.50	504.18	531.98	1036.16	1067.45
% necesidades calefacc. satisfechas c/ais	61.4	82.2	71.82	77.8	85.0	81.47	84.0	84.9	84.43	84.0
ºC de calefacción mes de Junio s/aislac.	2216.13	1095.52	3311.65	1353.21	799.45	2152.66	853.02	882.34	1735.36	2040.45
% necesidades calefacc. satisfechas s/ais.	33	67	50.25	59.3	76.0	67.66	73.5	74.4	73.93	69.4
Diferencia de grados de calefacción	932.70	503.00	1435.71	618.05	301.12	919.16	348.84	350.36	699.20	973.00

Tabla Nº 6: Grados de calefacción de 8 a 17 hs. 3RAH

La tabla Nº 6 muestra los grados de temperatura requeridos para alcanzar el confort como así también, las necesidades satisfechas de calefacción en cada uno de los esquemas expresadas en forma porcentual. Los G ºC para el mes de Junio (solo en días de clase), para el turno y para las temperaturas exteriores de diseño, es de 6656.27 ºC. Se calcula con las diferencias horarias de la temperatura exterior con respecto a 18 ºC por 6, correspondiente a la cantidad de aulas por esquema.

Grados de calefacción para 1 y 3 RAH del esquema 3

	ESQ 3			
	NORTE	%	SUR	%
ºC de calefacción mes de Junio C.A. 3RAH	534	84.0	504	84.9
ºC de calefacción mes de Junio C.A. 1RAH	0	100.0	0	100.0
ºC de calefacción mes de Junio S.A. 3RAH	882	73.5	852	74.4
ºC de calefacción mes de Junio S.A-1RAH	108	96.8	66	98.0

Tabla 7: Grados de calefacción de 8 a 16 hs. : 3RAH y 1RAH del ESQ3

El edificio aislado con **1 RAH** permanece en confort durante todas las horas de uso. Si en cambio consideramos esta situación con el edificio sin aislación, el % satisfecho alcanza al 96.8% en las aulas Norte y 98 % en las Sur. Si se consideran **3 RAH**, las necesidades satisfechas de calefacción con y sin aislación, son del 84 % y 68% respectivamente. (Tabla Nº 7)

Grados de enfriamiento

	ESQ1			ESQ2			ESQ3			ESQ4
	PB	PA	TOT.	PB	PA	TOT	NOR	SUR	TOT	NOR
ºC de enfriamiento mes de Nov. C.A	-12	-252	-264	-12	-240	-252	-222	-222	-444	-492
% necesidades enfr. satisfechas c/ais	98.9	77.5	88.2	98.9	78.6	88.8	80.2	80.2	80.2	78.1
ºC de enfriamiento mes de Nov. S.A	0	-180	-180	0	-192	-192	-180	-180	-360	-360
% necesidades enfr. satisfechas s/ais	100.0	84.0	92.0	100.0	82.9	91.4	84.0	84.0	84.0	84.0
Diferencia de grados de enfriamiento	-12	-72	-84	-12	-48	-60	-42	-42	-84	-132

Tabla 8: Grados de enfriamiento de 8 a 17 hs. 3RAH

La tabla Nº 8 muestra las necesidades satisfechas de enfriamiento en cada uno de los esquemas y en forma porcentual, considerando que los ºC para el mes de Noviembre (solo en días de clase), durante el turno y para las temperaturas exteriores de diseño, es de 2244 ºC. En Verano el comportamiento de los esquemas es bastante similar ofreciendo una buena respuesta térmica.

COSTOS

El análisis de costos se realizó con los presupuestos oficiales presentados en el llamado a Licitación Pública para la construcción de las escuelas proyectadas por la UID, con crujías de aulas dadas en los esquemas 1, 3 y 4.
Los sobre-costos en edificios solares están dados por: aislación en muros exteriores, aislación en cubiertas (diferencia del espesor con la práctica corriente de aislación) y carpinterías: doble contacto, 2 vidrios, burletes y marco cajón.
El costo de las estrategias para la iluminación natural no se considera dentro del sobre-costo solar, ya que ésta es una práctica que debe cumplirse en todo espacio de trabajo.
El análisis de costos con aislación en muros exteriores y sin ella, se realiza en la Tabla Nº 9. Para el análisis se han agrupado 43 ítems distintos en solo 10 ítems. Las tablas muestran la incidencia porcentual, por rubros agrupados, sobre el costo total de obra que surgen a partir de los valores medios, de los presupuestos oficiales para cada esquema.

RUBROS	CON AISLACIÓN				SIN AISLACIÓN			
	ESQ1	ESQ1	ESQ2	ESQ3	ESQ1	ESQ1	ESQ2	ESQ3
PREP.TERRENO	2.59	2.30	4.55	5.11	2.76	2.47	4.86	5.45
ESTRUCTURA	36.14	33.14	27.29	29.24	38.57	35.64	29.13	31.19
CHAPA TRAPEZOIZAL	3.86	3.38	7.67	7.66	4.12	3.63	8.19	8.17
YESO	2.28	2.05	0.83	1.07	2.43	2.20	0.88	1.14
DURLOCK	3.76	3.29	7.47	7.46	4.01	3.54	7.98	7.96
LADRILLO 0.12m +AISLACION 0.05m	9.93 18.43	11.14 21.85	8.56 19.4	9.97 19.41				
MUROS INT. DE LADRILLON (0.20m)	8.50	10.71	10.84	9.44				
MUROS: exterior 0.30 m, interior 0.20 m					16.51	19.93	17.99	17.53
PISOS	10.06	8.92	11.03	12.21	10.73	9.60	11.78	13.02
CARPINTERIA	12.02	14.16	16.18	12.63	9.27	11.25	13.22	9.99
PINTURA	5.08	5.84	5.58	5.22	5.43	6.28	5.96	4.98
ASCENSOR	5.79	5.07	0.00	0.00	6.18	5.46		
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla Nº 9: Contribución porcentual de los distintos rubros para los esquemas con y sin muros exteriores aislados

Costo total de obra: En la siguiente tabla se observa el porcentaje de incremento sobre el costo total de obra en los distintos esquemas, con muro exterior aislado y con muro de ladrillo visto de 0.30 m. Este sobrecosto varía entre el 7.54 y el 6.65% .

	ESQ1	ESQ2	ESQ3	ESQ4
COSTO TOTAL CON MUROS AISLADOS	172616.34	197094.68	173674.60	173932.16
COSTO TOTAL CON MUROS DE 0.30 m S/ AISLACION	161744.31	183272.96	162649.99	163083.82
Diferencia de costos	10872.04	13821.72	11024.61	10848.34
Incremento porcentual por la aislación	**6.72**	**7.54**	**6.78**	**6.65**

Tabla Nº 10: Costo total de obra de los esquemas con y sin aislación en muros

Costo de carpintería: Las diferencias observadas en el costo final de obra están dadas por los siguientes rubros: carpintería (doble contacto, doble vidrio y burletes) y aislación de muros.
Una de las estrategias en la conservación de energía es la utilización de 2 vidrios en aberturas. El Código Rector de Arquitectura Escolar exige el uso de vidrio armado para aberturas superiores a los 2.10m de altura, el cual se reemplazó en los casos analizados, por policarbonato de 10mm, con un costo inferior al del vidrio armado, (térmicamente equivalente a 2 vidrios). Además, la superficie de aberturas inferiores es mínima. La incidencia porcentual del vidrio en el costo total de obra es insignificante (media 0.47 %). Debido a lo expuesto, no se ha comparado el costo entre carpintería con 1 y 2 vidrios.
La carpintería es un componente fundamental en las pérdidas por infiltración de los espacios por lo que el análisis comparativo de los esquemas se realiza sin variar el diseño (doble contacto y burletes), excepto los marcos. Cuando los esquemas tienen aislación, los marcos de la carpintería deben ser de 0.375 m (marco cajón) como protección de la misma. Si se trata de muros sin aislar se puede utilizar un marco de 0.10 m como en los casos analizados.

	ESQ1	ESQ2	ESQ3	ESQ4
CARPINTERIA: Marcos de 0.10m para muros sin aislar	14988.47	20621.62	21506.85	16285.17
CARPINTERIA: Marcos de 0.375m para muros aislados	20752.43	27899.14	28100.69	21968.49
DIFERENCIA DE COSTOS EN CARPINTERIAS	5763.96	7277.52	6593.83	5683.32
Incremento porcentual marcos de 0.375 m	**27.77**	**26.09**	**23.47**	**25.87**

Tabla Nº 11: Carpintería. Análisis de costos por esquemas del rubro

Costo de muros: Para este análisis se ha considerado la superficie total de los muros: interiores y exteriores tanto para los esquemas con y sin aislación. En el rubro muros existe también un incremento en el costo de los muros exteriores con aislación, con variación por esquema entre 15.14% y 19.13%, respecto a los mismos sin aislar.

	ESQ1	ESQ2	ESQ3	ESQ4
LADRILLO 0.12 m + AISLACION	17143.43	21963.27	14870.32	17334.53
MUROS DE LADRILLON 0.20m	14665.48	21099.69	18826.47	16410.98
Costo total de muros aislados	**31808.91**	**43062.96**	**33696.79**	**33745.51**
MUROS LADRILLO VISTO 0.30m	26700.83	36518.75	29266.01	28580.49
DIFERENCIA DE COSTOS EN MUROS	5108.08	6544.20	4430.78	5165.02
Incremento porcentual muros aislados	**19.13**	**17.92**	**15.14**	**18.07**

Tabla Nº 12: Muros. Análisis de costos por esquemas del rubro.

Costo por aislación de techos: En cuanto al sobrecosto de la diferencia de espesor en la aislación de techos, no merece un análisis particular. La incidencia porcentual en el costo total de obra, en las dos situaciones analizadas para los distintos esquemas, con aislación de poliestireno de 0.075 m de espesor es muy baja (0.24 - 0.52%).

CONCLUSIONES

- Amortiguamiento interior de la temperatura. El amortiguamiento de la temperatura interior de las aulas está mas influenciado por la protección que ofrece el aula de PA con respecto a la de PB, que la aislación térmica de los muros en todos los casos. Las aulas de PB de los esquemas 1 y 2 con y sin aislación en muros exteriores presentan un mayor efecto de amortiguamiento en Invierno (2.8-4.1ºC) que el resto de las aulas de los distintos esquemas (5.4-6 ºC), cuando en el exterior esta oscilación es de 19 ºC. Desde este punto de vista, los esquemas se comportan en forma similar cuando tienen o no

aislación en muros. El amortiguamiento térmico interior no representa una variable significativa para la comparación de los esquemas analizados en esta situación climática excepto para la diferenciación de las aulas ubicadas en la planta baja.

- Aportes internos y aislación en muros. Los **aportes internos** producidos por los alumnos implican un incremento de la temperatura de las aulas que varía entre 4 y 5ºC cuando el edificio está aislado, y entre 3.8 y 4.3 ºC cuando no lo está. El **beneficio de la aislación** en las aulas **con alumnos** implica un incremento de la temperatura media interior entre 1.3 y 2ºC según los distintos esquemas.. Cuando estas aulas se encuentran **sin alumnos**, esta variación es entre 0.5 y 1.6ºC. Las diferencias en las áreas colectoras conjuntamente con el volumen y su situación de mayor protección del ambiente exterior, hacen que las PB de los esquemas 1 y 2, se comporten térmicamente de una manera diferente al resto de las aulas. Esta diferencia hace que el comportamiento de las aulas de PB sea mejor en verano que en invierno. Las diferencias entre las temperaturas interiores en los distintos esquemas, por el uso de la aislación en esta zona climática resultan poco significativas y se pueden observar en la Tabla Nº 3.

- Costos de construcción

	ESQ1		ESQ2		ESQ3		ESQ4	
	s/aislación	c/aislación	s/aislación	c/aislación	s/aislación	c/aislación	s/aislación	c/aislación
COSTO TOTAL	161744.31	172616.34	183272.36	197094.68	162649.99	173674.60	163083.82	173932.16
SUPERFICIE m2	433.49		504.74		435.91		429.45	
COSTO / m2	373.12	398.20	363.11	390.49	373.13	398.42	379.75	405.01

Tabla Nº 13: Costo total de obra. Superficie cubierta. Costo por m2.

En los cuatro esquemas con aislación el costo por m2 está en el orden de los $400 y sin aislación en $370. En los esquemas de dos plantas se compensan los costos de los rubros de mayor incidencia, con los de menor para los esquemas de una planta, obteniendo como resultado similar costo unitario. Esta situación se produce por los siguientes rubros: Preparación de terreno, Chapa trapezoidal, Durlock y Contrapiso que al ser esquemas de una planta, duplican la superficie a ejecutar, en contraposición con su menor incidencia estructural.
En ambas situaciones las mayores incidencias porcentuales en el costo total de obra están dadas por: Estructura, Muros, Pisos y Carpintería. Si consideramos los costos totales, 3 esquemas presentan similar valor, solo el esquema 2 presenta un incremento del 14 y 13% según sea aislado o no. El mismo corresponde a la mayor superficie cubierta dada por los dos niveles del pasillo cerrado al sur: 504.74 m2 en relación a los 430 m2 de los otros tres esquemas.

- Generales. En el comportamiento térmico interior de los espacios no solo debe considerarse el porcentaje de área de piso para la ganancia directa sino también el volumen a calefaccionar. Teniendo en cuenta las complicaciones presentadas en la construcción de las obras por la ejecución del doble muro con aislación y su resolución en los encuentros con los distintos componentes (aberturas y aleros, encuentro de techos), se puede concluir que para esta zona climática, la aislación no constituye un elemento fundamental en el comportamiento térmico de escuelas de uso diurno, coincidente con las horas de mayor asoleamiento. La opción de la aplicación de alguna de las cuatro alternativas de crujías depende fundamentalmente del terreno que se disponga, por un lado, y del programa de necesidades del conjunto total de la escuela por otro.

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARATIVE EVALUATION OF CLASSROOM TIER IN BIOCLIMATIC SCHOOL BIULDINGS IN THE PROVINCE OF MENDOZA.

ABSTRACT. The goal of this research is to assess the thermal and economic efficiency of 4 configurations of classroom tiers, used in schools designed by this research unit, with the purpose of determining the most suitable choice for the Northern region of our province. The thermal behaviour was simulated using SIMEDIF. The cost analysis was performed using the official budgets calculated in order to call for bids. Thermal simulation results in classrooms, with wall insulation, for the month of June, yield a mean temperature of 17.6 ºC and 16.1 ºC when walls and are not insulated. For both cases, the daily mean exterior temperature was 12.1 ºC. Those values are reduced in ground floor classrooms. The internal gains due to the classroom occupants cause an increase in interior temperature between 4 and 5 ºC for the insulated wall building and between 3.8 and 4.3 ºC for the uninsulated wall case. The unit cost of the building in 400 $/m2 when exterior walls are insulated and 370 $/m2 when wall insulation is not used. Scheme 2 presents a cost increment of 14 and 13 %for the insulated and uninsulated cases, due to its additional covered area (504.74 m2), when compared to the other three schemes (430 m2).
Key words: solar schools, bioclimatic schools, thermal simulation, construction cost, insulated walls.

REFERENCIAS

J. C. Fernández Llano, M. Basso y C. De Rosa. (1999) Análisis de Costos en Edificios Escolares Bioclimaticos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 3 Nº2, pp 08.69-72.*

A. Esteves, J. C. Fernández Llano, M. Basso, J. Mitchell y C. De Rosa. (1994). Simulación Térmica de Edificios: Aplicación de los Modelos Quick y Simedif. *Actas ASADES, Tomo I, pp 543-550.*

C.de Rosa et al. Un Edificio Escolar Energéticamente Eficiente en un Terreno con Orientacion Intermedia. (1998). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 2 Nº 1, pp 03.1-4.*

J. Mitchell et al. Escuela Marcelino Blanco. Un Edificio Energéticamente Eficiente en el Este de Mendoza. (1999). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 3 Nº2, pp 05.17-20.*

M. Basso et al. (1999). Un Edificio Escolar Energéticamente Eficiente en el Centro-Oeste de Argentina. Actas V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza – Brasil.