

ESCUELAS RURALES ENERGETICAMENTE EFICIENTES
EN ECOSISTEMAS ARIDOS DE LA PROVINCIA DE MENDOZA

A.Cantón*, C.de Rosa**, A.Esteves***, A.Pattini*, M.Basso****

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - (LAHV)
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
(CRICYT) Casilla de Correo 131 5500 Mendoza.
Tel 061-242797 - Tx 55438 CYTME AR - FAX 061-380370

M. Guisasola#

Dirección de Arquitectura y Urbanismo (DAU)
Ministerio de Obras y Servicios Públicos (MOSP)
Casa de Gobierno 5500 - Mendoza

RESUMEN

Según un relevamiento realizado en 1989, aproximadamente 60 escuelas rurales de la provincia de Mendoza tienen problemas de suministro energético. Las condiciones ambientales de estas construcciones, muchas de ellas funcionando en edificios precarios, son particularmente críticas en las zonas pedemontanas del secano, al sud-oeste de la provincia, durante la estación invernal.

Con el objeto de dar respuestas en forma progresiva a las situaciones más urgentes, el Gobierno de Mendoza, ha financiado desde 1990 un proyecto de investigación cuyo objetivo es el desarrollo de edificios escolares rurales energéticamente eficientes, incluyendo medidas no tradicionales de conservación, calefacción solar pasiva, iluminación natural, calentamiento solar de agua y sistema fotovoltaico para suministro de electricidad.

Uno de estos proyectos se presenta en este trabajo: el nuevo edificio para la escuela ubicada en la localidad de La Junta, departamento de Malargüe, al sudoeste de la provincia. Los indicadores energéticos principales del mismo son los siguientes:

Coeficiente Volumétrico de Pérdidas (G): 0,92 W/m³°C;
Fracción de Ahorro solar (FAS) (24 horas): 62,77%
Iluminación en aulas para cielo cubierto [lux]:

	MINIMO	MAXIMO
Para el mes de junio, 12,00hs	279	654
Para el mes de noviembre, 12,00hs	802	1878

INTRODUCCION

En las zonas de secano de la provincia de Mendoza, una población rural de aproximadamente 30.000 (2% del total de la provincia) se encuentra diseminada sobre el extenso territorio de 145.000 km², siendo su principal actividad económica la cría de caprinos. Las

- * Becarias de Perfeccionamiento (CONICET)
- ** Investigador Independiente (CONICET)
- *** Profesional Adjunto (CONICET)
- **** Profesional Principal (CONICET)
- # Arquitecto (DAU)

escuelas rurales, en muchos casos edificios precarios, son generalmente centros de actividad social y cultural de estas comunidades aisladas. El suministro de energía a las escuelas rurales, particularmente gas envasado para varios usos y gasoil para el funcionamiento de grupos electrógenos, resulta difícil, costoso y su continuidad por lo tanto, no está asegurada. En las zonas pedemontanas del sudoeste de la provincia, los rigores del clima invernal agudizan los problemas de confort, obligando en muchos casos a trasladar el período de vacaciones a la estación de invierno.

Con el objeto de implementar soluciones tecnológicas que contribuyan a mejorar la calidad ambiental de estos establecimientos, minimizando consumos de energía convencional y dentro de criterios de racionalidad en el uso de los recursos, el gobierno de Mendoza está financiando desde 1990 un programa de investigación, en el marco de un Acuerdo de Colaboración entre el Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia (MOSP) y el Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT). Unidades técnicas de ambos organismos; la Dirección de Arquitectura y Urbanismo (DAU-MOSP) y el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV-CRICYT) se abocaron en forma conjunta y con roles específicos al desarrollo de una serie de proyectos de escuelas rurales energéticamente eficientes, incluyendo refuncionalización de estructuras existentes y edificios nuevos. La primera de ellas ha sido ya licitada y su construcción se ha iniciado. El presente trabajo expone el tercer proyecto de la serie; que corresponde a un nuevo edificio escolar en la localidad de La Junta, departamento de Malargüe, al sudoeste de la provincia.

GEOGRAFIA Y CLIMA

El sitio es típico de la planicie aluvional árida, siendo sus coordenadas geográficas:

Latitud: $-35,26^\circ$; longitud: $69,47^\circ$; altitud: 950 m.s.n.m.

El clima mesotermal árido presenta las siguientes características:

Temperatura de Bulbo Seco [C]:	Máxima media anual	29,10 °
	Minima media anual	-1,47 °
Grados-día anuales [C]:	Enfriamiento (base 23°C)	0,00
	Calefacción (base 16°C)	1.773,00
Humedad relativa media anual [%]		54,10
Radiación solar global media anual sobre superficie horizontal [MJ/m ² día]		17,04

Iluminancia exterior sobre superficie horizontal [lux]

Mes	Cielo Claro	Cielo Cubierto
Junio (8 hrs)	10140	4860
Junio (12 hrs)	52600	12700
Noviembre (8 hrs)	58910	14540
Noviembre (12 hrs)	102220	36480

DISEÑO Y TECNOLOGIA

El programa arquitectónico consta de dos componentes edilicios; el edificio escolar y la vivienda para el director del establecimiento. El primero de ellos está compuesto por: dos aulas para 30 alumnos, un patio cubierto, comedor, oficina y servicios, totalizando una superficie cubierta de 294 m². El partido arquitectónico se estructura a lo largo del espacio multiuso que se convierte en una amplia circulación longitudinal, con figurando un invernadero adosado sobre la fachada norte del edificio. El resto de los espacios se alinea al sur del invernadero, ganando energía e iluminación a través de ventanas superiores (Fig.1).

A pesar de las severas restricciones presupuestarias, se ha realizado un esfuerzo importante para maximizar el confort térmico y visual y los ahorros de energía en el manejo del edificio. La vivienda para el director, una pequeña estructura solar pasiva de 67,90 m² no se describe en el trabajo.

MEDIDAS DE CONSERVACION

Estructuralmente el edificio hace pleno uso de las prácticas constructivas locales: muros de ladrillo macizo de 0,20 m de espesor y losas macizas en techos y contrapisos de hormigón, contando con la masa de acumulación necesaria y el soporte adecuado para medidas no-tradicionales de conservación: aislación adicional sobre techos, aislación exterior y taludes de tierra en muros exteriores, aislación exterior sobre fundaciones no cubiertas por taludes.

La carpintería exterior es de chapa doblada, sin ruptura del puente térmico con doble vidriado en todas las aberturas, dobles contactos y burletes alrededor de los paños operables. Aunque el edificio no es utilizado durante los meses de verano, un sistema de aleros fijos proveerá plena sombra desde el 6 de noviembre al 5 de febrero sobre aberturas solares. En invierno, plena insolación de las mismas ocurrirá entre el 7 de mayo y el 5 de agosto.

ABERTURAS SOLARES

La ganancia solar principal es provista por el invernadero adosado, a lo largo de toda la fachada norte del edificio, con un área vidriada neta de 39 m². El calor será entregado a los espacios principales por conducción a través del muro de mampostería y por convección por ventanillas en la parte superior e inferior de dicho muro. Los espacios principales recibirán también calor solar adicional a través de las ventanas superiores con una superficie de vidrio neta de 37 m².

PREDICCION DE COMPORTAMIENTOS

Los ahorros energéticos potenciales en calefacción de espacios han sido calculados por el método mensual del LANL (1), para un periodo de 24 hrs. Sin embargo, debida al horario de funcionamiento del edificio, de 10.00 a 16,30 hr solar, cinco días por semana, la energía real necesaria se reducirá sustancialmente debida a varias razones: los grados-hora que ocurren durante las horas de operación del edificio, son solamente el 11,33 % del total anual; un valor medio del 87,8 % de la radiación solar en días de invierno es ganada durante las horas de uso; además aportes internos de calor

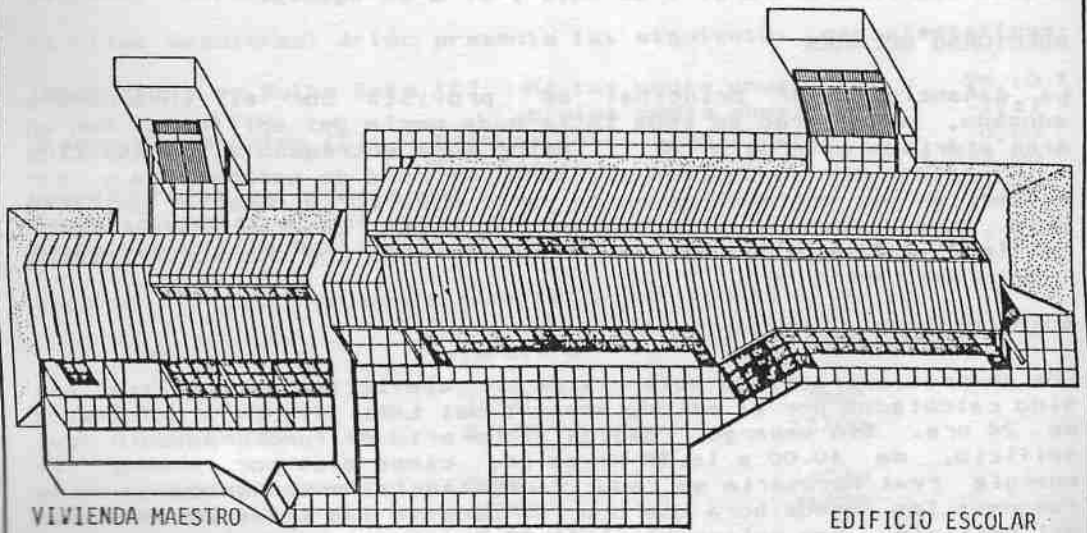
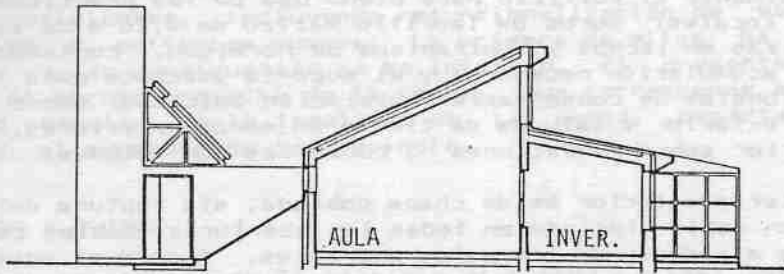
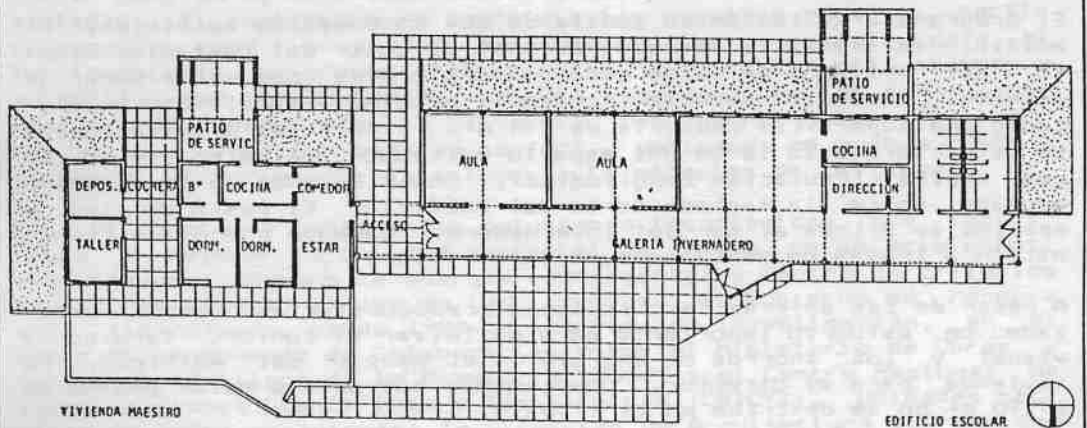


Fig.1: Planta, corte y axonometría del edificio escolar.

para el tercer día soleado y de 15,3 C a 16,2 C para el segundo día nublado consecutivo.

CONFORT VISUAL

La obtención de niveles adecuados de iluminación natural en aulas fue de alta prioridad en el desarrollo del proyecto. Los códigos locales (3) prescriben valores mínimos de 300 a 500 lux sobre el plano de trabajo.

Para la predicción del comportamiento lumínico de las aulas se realizaron mediciones en modelos a escala 1:20 para condiciones de cielo claro y cielo cubierto, para días típicos de la estación escolar de los meses de Junio, Setiembre y Noviembre utilizando sundial.

Paralelamente se ha trabajado en un modelo computacional de predicción de la iluminancia exterior (5) que está en función de las coordenadas geográficas de la localidad y de los parámetros atmosféricos. Esto permitió calcular analíticamente los Factores de Luz Diurna (relación entre la iluminancia exterior en un punto dado y la iluminancia interior, ambas sobre superficie horizontal y medidas simultáneamente) máximos y mínimos del aula para cada tipo de cielo (claro y cubierto). Ver Tabla N° 2.

La metodología empleada permitió, además de predecir los valores de iluminancia interior máxima y mínima, hacer un análisis detallado de la distribución cualitativa de los niveles de iluminación y los contrastes de luminancia.

HS.	JUNIO		SETIEMBRE		NOVIEMBRE	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
8.00	308	750	506	1249	1767	4359
9.00	822	2028	1180	2910	2307	5690
10.00	1231	3037	1765	4353	2719	6708
11.00	1489	3674	2214	5462	2978	7347
12.00	1578	3894	2497	6159	3067	7565

Tabla N° 2a: Niveles de iluminancia sobre planos de trabajo en aulas para cielo claro.

HS.	JUNIO		SETIEMBRE		NOVIEMBRE	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
8.00	107	249	217	509	320	749
9.00	171	401	316	771	431	1008
10.00	223	521	407	953	524	1228
11.00	264	618	465	1087	665	1557
12.00	279	654	485	1136	802	1878

Tabla N° 2b: Niveles de iluminancia sobre planos de trabajo en aulas para cielo cubierto.

significativos deben ser tenidos en cuenta en aulas. Por último debe asignarse la debida importancia al efecto de la masa térmica para una medición más ajustada de los ahorros reales de energía. Los valores más significativos del comportamiento energético del edificio se presentan en la Tabla N° 1.

Coeficiente global de pérdidas	[W/C]	764,44
Coeficiente volumétrico de pérdidas G	[W/C.m ³]	0,92
Coeficiente Neto de pérdidas	[W/C]	520,62
Area colectora neta	[m ²]	75,88
Relación Carga Térmica/Colector	[W/m ² .C]	6,86
Fracción de Ahorro Solar (24 horas)	[%]	62,77
Energía Auxiliar (24 horas, 7 días/semana)	[MWh/año]	10,99
Energía Auxiliar (8 horas, 5 días/semana)	[MWh/año]	0,89

Tabla N° 1: Indicadores energéticos principales

CONFORT TERMICO

La predicción de temperaturas interiores para los diferentes espacios se realizó utilizando el SIMEDIF (2). Se realizaron corridas para secuencias de días soleados y nublados (Fig. N° 2), típicamente frios de junio, con temperaturas mínimas exteriores de -3,3 C.

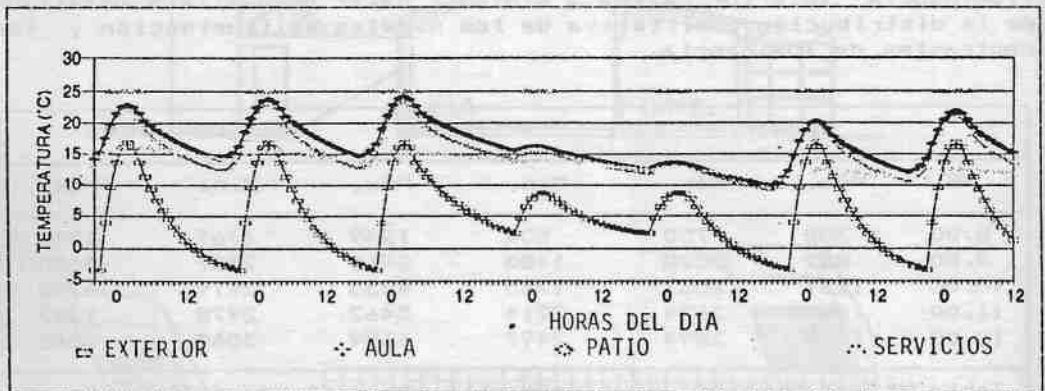


Figura N° 2: Variación de la temperatura interior en espacios de la escuela durante secuencias de días de invierno soleados y nublados.

Se asignó una especial atención a la situación de las aulas, en las que los requerimientos de confort son más significativos. Se consideró un incremento medio de 3,0 °C en la temperatura de los locales simulados debido a las ganancias internas. La ventilación media para un periodo de 24 horas se consideró como dos renovaciones de aire por hora. En el caso de que fuese necesario aumentar la tasa de ventilación, se consideraría la posibilidad de precalentamiento solar del aire de entrada. La ventilación cruzada de los espacios está incorporada en el diseño, permitiendo su operación en forma intermitente o permanente según la necesidad. Las temperaturas de las aulas durante las horas de uso, varían entre 19,3 C y 24,7 C

CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA Y SISTEMA ELECTRICO

Dos estructuras independientes, una para la escuela y otra para la casa de los maestros se ubican hacia el Sur de cada edificio. Contendrán todo el equipamiento necesario para la provisión de servicios: tanques elevados para el agua fría, colectores planos y tanques para agua caliente en su parte superior y depósito de cilindros de gas envasado para cocción y funcionamiento de la heladera y calentamiento auxiliar al agua y leña para energía suplementaria para calefacción, a nivel de piso.

Tomando en cuenta la máxima capacidad de la matrícula (60 alumnos) y para un mes entero de clases, las necesidades de agua caliente son: 19070 litros/mes. Se dimensiona el sistema utilizando el criterio de capacidad estacional nula y resultan 15,13 m² de área de colector cuyo rendimiento responde a la siguiente expresión: $\eta = 5.216 - 0.604 (t_{in} - t_a)/G$, que se materializan en 5 colectores planos y tanque de 1140 litros de capacidad para el agua caliente solar. Esto permite obtener un ahorro anual del 65,7 % de la energía necesaria.

La provisión de energía eléctrica se prevé realizarla mediante paneles fotovoltaicos. Cinco paneles de 45 Wp de potencia son suficientes para proveer la energía necesaria para iluminación, radio de comunicaciones, T.V. y alguna otra herramienta adicional según la necesidad (taladro, esmeril, etc). Los requerimientos de acumulación resultan en 3600 Wh necesarios para proveer energía eléctrica durante 3 días nublados consecutivos.

Es importante resaltar que la provisión de estos sistemas no se realizará por medio de licitación en conjunto con la construcción del edificio (ya que sería muy difícil establecer un buen control de calidad de los productos) sino por compra independiente a través de un concurso de precios por parte del Ministerio de Obras y Servicios Públicos.

COMENTARIOS FINALES

La continuidad del programa en marcha, permitirá ir proveyendo al medio rural de la provincia de edificios escolares nuevos o reciclados, con comportamientos ambientales satisfactorios e importantes economías de energía. El edificio de La Junta, es el tercero de la serie y el primero en su tipología.

A pesar de que los valores calculados de conservación de energía son aceptables, existen todavía un amplio espacio para optimización de confort térmico y visual. en el primer caso, mayor trabajo en análisis térmico y simulación. El confort en aulas es obviamente un punto crítico, especialmente evitando sobrecalentamiento y proveyendo la calidad necesaria del aire interior.

Como es conocido, es difícil alcanzar valores homogéneos de iluminación natural con ventanas laterales solamente. Existirán situaciones en ambos extremos del rango de confort visual que deberían ser evitadas o minimizadas.

Otros aspectos son también de importancia en este tipo de edificios, bajo costo de construcción y operativo, durabilidad y poca necesidad de mantenimiento, lo que en muchos casos plantea conflictos para optimizar las condiciones de confort térmico y

visual. La evaluación post construcción es obviamente de extrema importancia pero también una buena medida de éxito inicial asegurará la continuidad del programa y posteriormente la adopción plena de las tecnologías propuestas en las nuevas escuelas rurales de la provincia.

REFERENCIAS

- (1) Balcomb, J.D. et al. (1983). "Passive Solar Design Handbook". Vol. Nº 3. Pág. 132-137. American Solar Energy Society. Boulder Colorado. USA.
- (2) Cassermerio, M. y Saravia L. (1984) ."Cálculo Térmico horario de Edificios Solares Pasivos". IX Reunión de Trabajo de ASADES. San Juan.
- (3) DINA E - Código Rector Escolar.
- (4) Loveland, J. (1985). "Simulating Daylighting with Architectural Models". Cap. II, pp. 17-36.
- (5) Mermet A. y Pattini A. (1992). "Modelo de Iluminancia Natural Exterior para Superficies Horizontales y Verticales". Presentado a la XV Reunión de Trabajo de ASADES. Catamarca.