

SEGUIMIENTO Y VALORACION DE LA CONSTRUCCION DE LA ESCUELA SOLAR PASIVA DE CATRILO EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA.

Filippín, C¹. y Beascochea, A.²
C.C. 302 (6300) Santa Rosa, La Pampa
TelFax: 54 2954 434222
E-mail: cvigli@ssdnet.comar

Ente promotor: Subsecretaría de Planeamiento Educativo de la Provincia de La Pampa

RESUMEN Durante 1998 se diseñó un edificio escolar energéticamente eficiente en la provincia de La Pampa, en la región central de Argentina. Las estrategias de diseño involucraron el calentamiento solar pasivo de los espacios, enfriamiento e iluminación natural y el diseño de una envolvente energéticamente eficiente. El edificio cubre un área de 950 m². Está integrado por el área administrativa, el salón de usos múltiples, el taller de tecnología, el laboratorio, aulas, servicios y un aula de recursos pedagógicos. Ganancia solar directa permitirá el acondicionamiento natural en invierno permitiendo, además, la iluminación natural de los espacios. Ventilación cruzada, aspiradores eólicos en cubierta e intercambiadores de calor aire-tierra facilitarán el acondicionamiento ambiental en verano. El área de recursos pedagógicos cuenta con colectores de aire para el acondicionamiento de invierno. Áreas transparentes al norte están protegidas por aleros calculados para tal fin. Un diseño de los entornos adyacentes al edificio permitirá crear zonas sombreadas y de protección en verano. Se estima un consumo de 6525 kWh de energía auxiliar para satisfacer los requerimientos de 1136 grados –día de calefacción anual, base 16°C. Se analizan aspectos de la tecnología de la envolvente vertical y horizontal del edificio. Se evalúan económicamente los distintos componentes y se analiza la revisión de la tecnología.

PALABRAS CLAVES Diseño solar pasivo – Acondicionamiento natural- Envolvente energéticamente eficiente -

INTRODUCCION

Un trabajo anterior mostró el diseño y los aspectos térmicos y tecnológicos de una escuela solar pasiva que se localiza en Catriló, en el este de la provincia de La Pampa, en un clima templado frío (Filippín y Beascochea, 1999). Givoni (1969) para la región en estudio, y según datos de temperatura y humedad suministrados por la Estación Experimental de INTA Anguil distante a 30 km de la localidad de Catriló, propone el uso de calentamiento solar y calefacción auxiliar para los registros de temperatura mínima y humedad máxima durante todos los meses del año (Figura 1). En la Figura 2 se observa el bioclimograma para valores máximos medios de temperatura y mínimos medios de humedad relativa. Givoni propone, dentro de diferentes estrategias de diseño, el uso de masa térmica y ventilación nocturna para diciembre, enero y febrero. Noviembre se encontraría en confort. Marzo necesita ventilación para ingresar a la zona de bienestar. Diciembre, enero y febrero, meses de receso escolar, no serían una preocupación respecto al requerimiento de ventilación. Alta dispersión metabólica por parte de los usuarios, un pico de radiación y una temperatura superior a los 18°C, y un control solar diseñado para verano, pueden generar sobrecalentamiento en marzo. En función de las recomendaciones de diseño, ganancia solar directa y colectores de aire, y una envolvente energéticamente eficiente, deberían satisfacer, según las predicciones, el 75% de los requerimientos térmicos para mantener la temperatura interior a 16°C. La climatización artificial se logra con calefacción por agua en el sector de aulas, talleres y administración con termostatos automáticos sectorizados. El área del salón de usos múltiples podrá reforzar sus requerimientos térmicos con un equipo independiente de calefacción por aire caliente. Para verano, una alternativa para mitigar los efectos del sobrecalentamiento es una ventilación eficiente de los espacios y una masa térmica bien dimensionada. Si bien se plantea el uso de ventilación cruzada como estrategia de refrescamiento, tres son las causas que condicionan la incorporación de una segunda estrategia de acondicionamiento ambiental: a) el edificio es de tipo no-residencial, durante los períodos cálidos las distintas áreas pueden ser ventiladas sólo durante las primeras horas de la mañana, b) el riesgo de tormentas, de agua y viento, son características de la zona, c) seguridad del edificio. Se emplean conductos enterrados, que usan a la tierra como sumidero de calor, como segunda estrategia de diseño de ventilación. Una experiencia anterior, en la región en estudio, mostró que el uso de conductos enterrados es un sistema adecuado para climatizar naturalmente edificios no-residenciales, evitando el riesgo que significa mantener ventanas abiertas durante la noche (Filippín et al., 1998). Se emplea esta estrategia en el salón de usos múltiples, el aula de recursos pedagógicos, y en el taller de tecnología y laboratorio. Su performance será evaluada durante la monitorización. La Figura 3 muestra la planta y el corte del edificio. Las Figuras 4 y 5 muestran la fachada norte y sur, respectivamente.

¹ Investigadora de CONICET

² Directora de Arquitectura de la Universidad Nacional de La Pampa

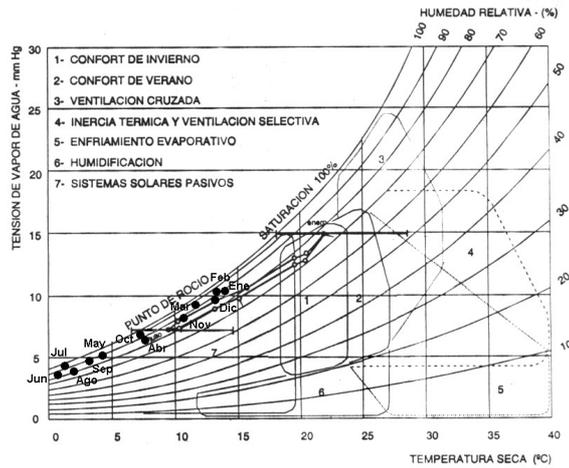


Fig. 1: Bioclimograma de Givoni para valores mínimos medios de temperatura y máximos medios de humedad relativa para la región en estudio. Fuente: Casagrande, Deanna y Babinec, 2000.

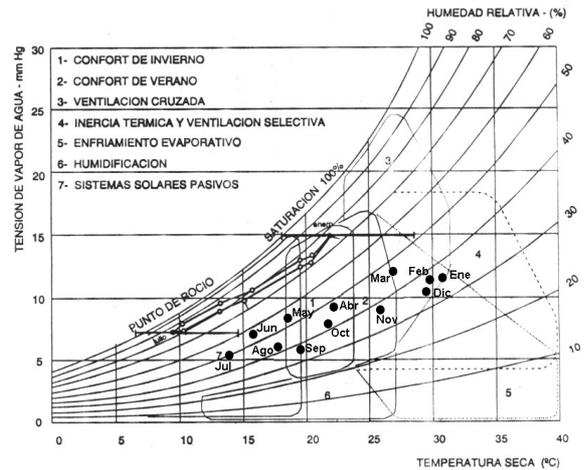


Fig. 2: Bioclimograma de Givoni para valores máximos medios de temperatura y mínimos medios de humedad relativa para la región en estudio. Fuente: Casagrande, Deanna y Babinec, 2000.

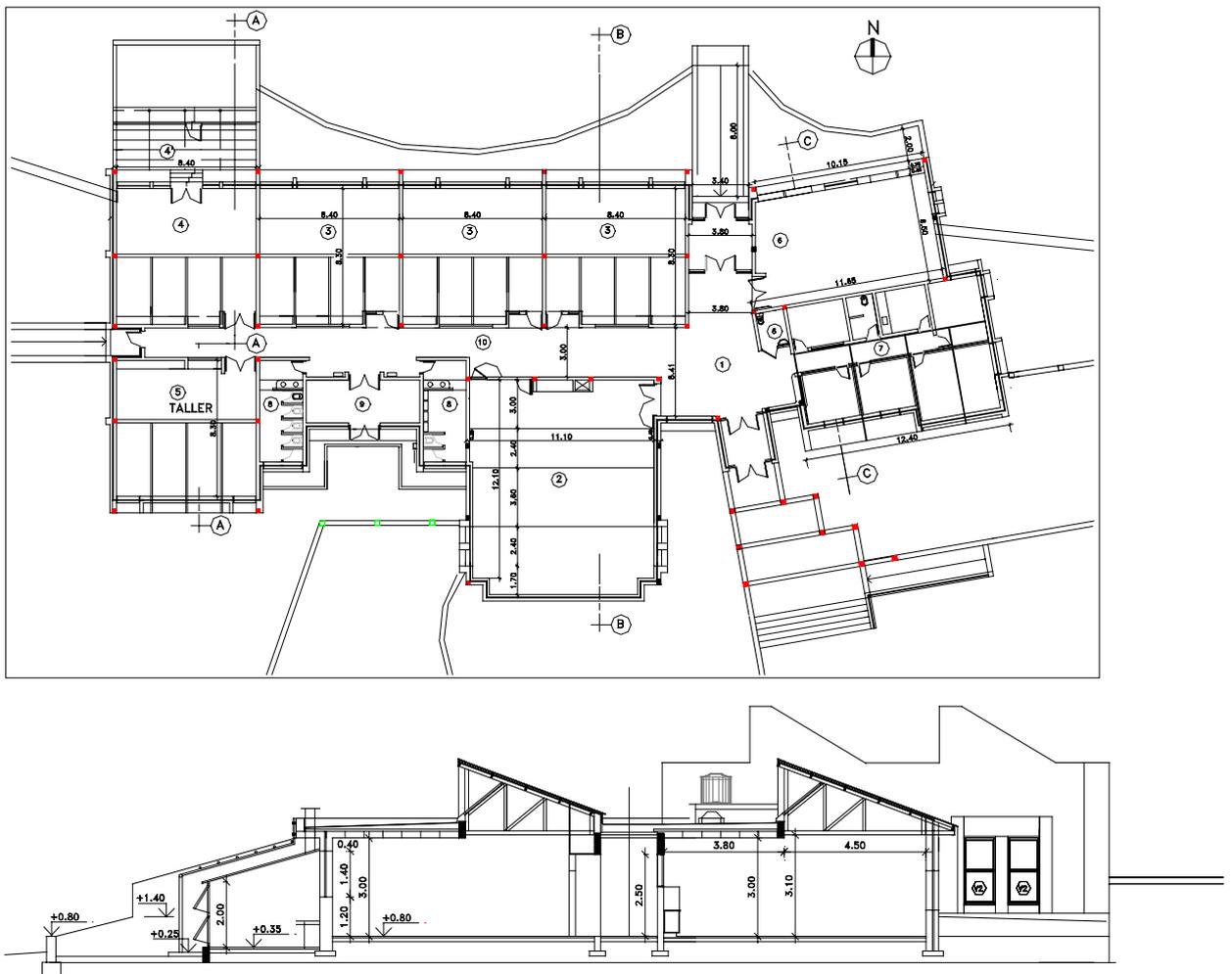


Fig. 3: Planta y corte del edificio- Referencias: 1-Hall 2-SUM 3- Auslas 4- Laboratorio 5- Tecnología 6-Recursos pedagógicos 8 y 9 - Servicios

La concreción de una obra de arquitectura, en este caso particular solar, involucra distintas etapas: la factibilidad, el avalúo, el diseño y la construcción. Además, luego de habilitado, el edificio debe ser monitoreado para evaluar su comportamiento higrotérmico, lumínico y energético. Cada una de las etapas presenta, en mayor o menor medida, la alternativa de ser valorada y perfeccionada. En este contexto, el presente trabajo muestra la evolución de la obra y la revisión de las estrategias de diseño y determinados aspectos tecnológicos. El proceso de seguimiento y valoración se vio favorecido por la participación activa del representante técnico de la empresa y del comitente, a través de la figura del inspector de obra. Ambas situaciones, permitieron revisar y evaluar técnica y económicamente determinados detalles constructivos y analizar la factibilidad de una revisión de la tecnología. El presente trabajo intenta, además, compendiar la opinión del inspector de obra, el sobrestante y el representante técnico respecto a la resolución de diferentes aspectos de la construcción.



Fig.4: Vista norte



Fig. 5: Vista sur

Revisión de la tecnología de la envolvente vertical y superior

Los elementos opacos de la envolvente de un edificio juegan un rol significativo en un diseño solar, siendo el nivel de aislación térmica uno de los componentes más importantes. Dentro de la envolvente, la elección de la protección mecánica de la aislación, en el paramento externo del muro doble, involucra una decisión tecnológica y económica fundamental. El tratamiento de la elevación del muro externo confiere además al diseño, parte de su impronta. En la Fig.6 se observa un detalle de las características del muro exterior. Con una resistencia térmica de $2.1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Wm}^2$ la envolvente vertical está integrada por ladrillón mendocino en el interior, poliestireno expandido en el centro y bloque de hormigón en el exterior. La Tabla 1 muestra la participación de cada insumo en un análisis de precios del costo de 1 m^2 de envolvente. Los resultados indican que la aislación térmica absorbe sólo el 7%, mientras que el costo de la pared de

bloque participa con un 37% en el costo total superando el costo de la pared interior necesaria como masa térmica. Considerando que los sobre costos de una obra solar deben ser tal que el costo total del edificio no supere el de una construcción convencional, es posible que la opción de la tecnología no haya sido la más adecuada. La Fig. 7 muestra el detalle constructivo de la envolvente horizontal e inclinada. En la envolvente horizontal la aislación térmica nuevamente absorbe sólo el 7% del costo total de 1m². El hormigón liviano constituye una base resistente de la aislación hidrófuga protegiendo mecánicamente el poliestireno expandido y mejorando la resistencia térmica del conjunto. La participación relativa de este insumo es del 13%. El diseño de la cubierta horizontal es tecnológicamente aceptable. Desde un punto de vista económico necesita una revisión. Es posible que nuevos espesores del hormigón de pendiente, del poliestireno expandido y de la capa de protección permitan llegar a la misma resistencia mecánica del conjunto con una disminución del costo. La Tabla 2 muestra los resultados de su análisis. La Tabla 3 muestra el análisis de la envolvente superior inclinada. La cubierta de chapa con estructura de madera, con una resistencia térmica similar a la envolvente superior horizontal, es económicamente más interesante. En los tres casos analizados la participación de la aislación térmica en el costo total oscila entre el 7 y el 9%.

Tabla 1: Participación de cada insumo en el costo-costo de 1m² de envolvente vertical

Insumo	Unidad de medida	Precio unitario (\$)	Participación relativa (%)
Revoque grueso y fino interior	m ²	9.09	17
Pared de adobón de 0,20	m ²	17.7	33
Barrera de vapor	m ²	2.96	6
Poliestireno expandido (15 kg/m ³) 5 cm	m ²	3.77	7
Pared de bloques de hormigón	m ²	19.78	37
Total COSTO-COSTO	m ²	53.30	100

Tabla 2: Participación de cada insumo en el costo-costo de 1m² de envolvente superior horizontal

Insumo	Unidad de medida	Precio unitario (\$)	Participación relativa (%)
Losa premoldeada	m ²	42.5	41
Contrapiso de pendiente con granulado volcánico	m ²	15.94	15
Barrera de vapor	m ²	4.10	4
Poliestireno expandido (20 kg/m ³) 7cm	m ²	7.05	7
Contrapiso de protección con granulado volcánico	m ²	13.6	13
Carpeta alisada	m ²	8.51	8
Membrana hidrófuga	m ²	5.22	6
Canefas y gárgolas de hormigón	gl	5.22	6
Total COSTO-COSTO		104.14	100

Tabla 3: Participación de cada insumo en el costo-costo de 1m² de envolvente superior inclinada

Insumo	Unidad de medida	Precio unitario (\$)	Participación relativa (%)
Chapa trapezoidal	m ²	6.05	9.90
Film con aluminio 2mm	m ²	2.04	3.30
Poliestireno expandido de 7cm (15 kg/m ³)	m ²	5.29	8.60
Fieltro asfáltico	m ²	0.50	0.82
Fenólico de 9mm	m ²	6.22	10.1
Madera p/estructura	gl	9.06	14.8
Anclajes y accesorios	gl	1.94	3.20
Cenefas	gl	0.80	1.31
Ayuda de gremios	gl	2.31	3.80
Mano de obra	m ²	27.0	44.10
Total COSTO-COSTO		61.26	100

Dentro de la explotación de la ganancia de calor solar, de la iluminación y ventilación natural, las ventanas juegan un rol muy importante pero también son la ruta principal de pérdidas de calor o de ingreso excesivo de calor solar. Distintas alternativas fueron evaluadas en el diseño de las áreas transparentes. Dentro de las tecnologías usadas en el medio se optó por perfilera de aluminio pre-pintada, alternativa muy difundida en la región que minimiza las pérdidas de calor por su diseño. La necesidad de interponer un premarco sólido para fijar la perfilera al vano que actúa, además, como obturador de la cámara de aire significó elevar el costo de la carpintería por m².(Figura 6).

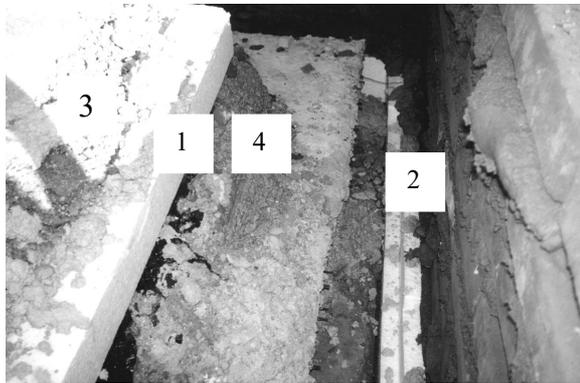


Envolvente vertical



Premarco de madera

Fig. 6: Tecnología de la envolvente vertical



Envolvente horizontal

1. Aislación térmica en envolvente horizontal
2. Aislación térmica en envolvente vertical
3. Protección mecánica de la aislación térmica
4. Hormigón liviano



Alero en aulas y talleres

Fig. 7: Tecnología de la envolvente superior

PLAN DE MONITORIZACION

Habilitado el edificio se iniciará en forma inmediata un 'Plan de Monitorización' como parte de un Proyecto Educativo Institucional que intenta involucrar a toda la comunidad educativa. Una estación meteorológica colocada en el patio del establecimiento permitirá conocer las condiciones del clima exterior. Los datos serán analizados por los alumnos y divulgados diariamente a través de una radio y de un canal de televisión local a la comunidad que se orienta fundamentalmente hacia la actividad agrícola-ganadera. Mensualmente se editará en la escuela un boletín con la información climática. En cuanto al clima interior, sensores tipo HOBOS colocados en cada aula y diferentes áreas didácticas y administrativas permitirán medir el comportamiento higrotérmico del edificio en condiciones reales de uso,

en configuración fija sin ocupación, y con ventilación. Toda la información se centralizará en el aula de recursos pedagógicos. Las docentes del área de Tecnología y Ciencias han planteado sus propios proyectos a desarrollarse en el laboratorio y taller de tecnología e invernadero. Encuestas dirigidas a toda la comunidad educativa forman parte del proyecto. Las mediciones permitirán detectar, ante condiciones reales de uso del edificio y sin climatización artificial, la participación cualitativa y cuantitativa de la estrategia de refrescamiento pasivo en el acondicionamiento natural del edificio ante el cierre de puertas y ventanas. Se medirá la temperatura y la velocidad del aire a la entrada y salida de cada uno de los conductos enterrados y dentro de ellos, para lo cual se dejan acometidas cada tres metros por donde se introducirá el sensor de medición. Se pretende ratificar o rectificar la metodología empleada para definir la profundidad y longitud del conducto enterrado. Se estudiará la influencia de la velocidad del viento exterior y del contenido de humedad de la tierra y del tipo de cobertura del suelo en la performance del sistema. La evaluación del comportamiento térmico interno de cada área funcional permitirá establecer si los usuarios se encuentran en situación de bienestar durante la permanencia en la escuela, y además calcular, en función de la actividad metabólica y el nivel de vestimenta el porcentaje de personas que se encuentran en situación de discomfort en el verano, invierno y estaciones intermedias.

CONCLUSIONES

En la introducción se plantea que, la concreción de una obra de arquitectura, y dentro de ella una obra solar, involucra distintas etapas: la factibilidad, el avalúo, el diseño y la construcción. Se requiere además, luego de habilitado el edificio, un plan de monitorización para evaluar su comportamiento higrotérmico, lumínico y energético. El análisis de los resultados de la monitorización permitirá hacer un diagnóstico, detectar situaciones críticas y prever situaciones conflictivas. En este contexto, el presente trabajo intentó mostrar diferentes aspectos de la evolución de la obra. Según datos de un análisis de precios, se observa la participación de la aislación térmica en la envolvente, además de los distintos componentes que cumplen una función específica.

Respecto a la envolvente vertical, las opiniones, recogidas en el seguimiento de la obra consideran que el uso del bloque de hormigón, empleado en el diseño como protección mecánica de la aislación térmica y como elemento que otorga la impronta de la elevación al edificio, necesita de un replanteo minucioso para respetar la modulación, además de mano de obra calificada para levantar la pared. Tecnológicamente parece ser menos simple que otras protecciones mecánicas ya usadas. Sin bien el uso de ladrillo cerámico hueco, como alternativa de protección mecánica de la aislación térmica, simplificaría constructivamente la envolvente vertical, realizado un análisis de los insumos de 1m² de pared doble, la opción significa incrementar, para la región en estudio, un 10% el costo de la pared. Una situación similar surge al realizar el análisis económico de 1 m² de pared de ladrillo común. La envolvente horizontal, estudiada energéticamente, no significó incorporar complicaciones constructivas. De todas formas un análisis y una revisión de los espesores del contrapiso de pendiente, de la aislación térmica y de la capa de protección permitirá para una misma resistencia térmica disminuir el costo de 1m². de envolvente. En los edificios solares construidos en la provincia se detectó la vulnerabilidad y la complejidad constructiva que involucra el vano de los muros exteriores del vano. En el edificio que se describe existe un avance en la resolución constructiva del encuentro de la pared doble y el marco de la carpintería, pero requiere ser racionalizada desde un punto de vista económico. El uso del premarco con una importante escuadría para permitir un anclaje perfecto sobre las dos paredes encarece el costo de la carpintería. Un estudio más riguroso del premarco permitiría alojar el vidrio doble fijo, y sólo cumplir la función de premarco en la carpintería móvil.

ABSTRACT During 1998, to provide a pilot study, an energy efficient school building was designed in the province of La Pampa, in the temperate semi-arid region of central Argentina, comprising features of energy conservation, passive solar heating, natural cooling and daylighting strategies. The design involves an useful floor area of 950 square meters. An administration area, classrooms, the rooms for science and technology, the room for pedagogical resources and a multi-purpose enclosed courtyard, complement the functional areas. Solar windows are installed in all main spaces. Upper windows contribute to add solar gains and natural lighting. An air solar collector is designed to heating the room for pedagogical resources. Summer cooling strategies, includes natural ventilation which is reinforced by aeolian suction pipes in covering, and earth-coupled ducts that operate in the multi-purpose courtyard. Shading devices and pergolas located in the North elevation provide window protection during the summer. To match the annual thermal requirements of 1136 degree-days (base 16°C), an auxiliary energy need of 6526 kWh must be supplied by natural gas. This paper analyzed the evolution of the construction. The analysis allow to review the design and technology of the envelope.

BIBLIOGRAFIA

CASAGRANDE G, DEANNA M. Y BABINEC F., 2000. Temperaturas, 1964/1998, Observatorio Agrometeorológico INTA, Anguil

CASAGRANDE G., DEANNA M. Y BABINEC F., 2000. Humedades, 1964/1998, Observatorio Agrometeorológico INTA, Anguil

FILIPPIN, C. y BEASCOCHEA, A., (1999), Escuela solar pasiva para la provincia de La Pampa en el marco de la nueva ley federal de educación. Avances en energías renovables y medio ambiente. Vol.3 N°1, 05.01-0.5.04.

GIVONI, B., (1969), Man, Climate and Architecture. Elseiver Publishing Company Limited, England.