

## EDIFICIO ESCOLAR BIOCLIMÁTICO EN EL SUR PATAGÓNICO PAUTAS-DISEÑO-CÁLCULO

Gustavo A. San Juan<sup>1</sup>, Santiago Hoses<sup>3</sup>, Carlos Discoli<sup>1</sup>, Jorge Czajkowski<sup>2</sup>, Carlos Ferreyro<sup>4</sup>, Carlos Gentile<sup>5</sup>,  
Adriana Toigo<sup>5</sup>, Mónica Bogatto<sup>4</sup>, Gustavo De Pol<sup>6</sup>

IDEHAB, Instituto de Estudios del Hábitat. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata.  
Calle 47 N. 162 c.c.478 La Plata (1900), Argentina. Tel-fax 54-21-214705. E-Mail erosenfe@isis.unlp.edu.ar.

### RESUMEN

El trabajo presenta las pautas de diseño bioclimáticas y cálculo de algunas variables como son: comportamiento térmico y energético, conservación + sistemas pasivos (C+P); riesgo de condensación; iluminación natural y artificial. Integralidad de los procesos. Se expone solamente el sector de Salón de Usos Múltiples/Aula taller. Conclusiones.

### INTRODUCCION

El proyecto arquitectónico nace a partir de la necesidad de contar con la adecuación edilicia de la Escuela Provincial Municipal Experimental N°1 "El Molino", de la localidad de Trévelin, provincia del Chubut. La experiencia pedagógica, pública de gestión pública, involucra nivel Inicial (3 a 5 años), EGB1-EGB2 y EGB3, con una trayectoria ya de 40 años y 10 en la provincia de Chubut. En esta propuesta confluyen los requerimientos edilicio-pedagógicos solicitado por los docentes y los criterios actuales de arquitectura escolar (<sup>1</sup>), avalados por la iniciativa de la "Ley Federal de Educación", en cuanto al apoyo de los Proyectos Educativos locales y su inserción regional: ... *Por lo tanto sus espacios deben ser:* • *Que den respuesta a las condiciones locales, físicas, tecnológicas y socio-culturales...* *El edificio escolar debe:* • *Adecuarse a las características y requerimientos de la región tanto en relación con las particularidades sociales, culturales y económicas locales, como con las características geográficas, físicas y climáticas...*

Dicha propuesta arquitectónica se apoya sobre dos pilares fundamentales:

- entender lo que la Escuela *quiere ser*, *forma escuela*, es decir cómo el edificio se adecua a la modalidad pedagógica;
- que el edificio responda al sitio, con su tecnología, modo constructivo y su adecuación climático-regional.

Sobre este último punto, la experiencia atestigua la necesidad de responder adecuadamente a una situación ambiental rigurosa, donde con una mínima inversión inicial se logran minimizar posteriores problemas. Además el edificio escolar actúa como situación demostrativa para la comunidad. Al respecto se trabajó sobre los siguientes puntos:

- reducir al máximo la ocurrencia de patologías constructivas que dañen la estructura edilicia (filtraciones, rajaduras, condensación superficial e intersticial, generación de hongos, etc);
- reducir el consumo de vectores energéticos críticos (gas, electricidad, leña) y por lo tanto su costo de funcionamiento;
- reducir el costo inicial referido a los equipos de calefacción y su costo de mantenimiento;
- y fundamentalmente, mejorar el confort ambiental, minimizando la rigurosidad de las condiciones exteriores.

### ASPECTOS GEOGRÁFICO-CLIMÁTICOS

Trévelin, está localizada en un extenso valle al pie de la cordillera de los Andes, a 20 km de la ciudad de Esquel, situada en la Zona Bioambiental VI, correspondiente a la extensión de las altas cumbres. En el período estival las temperaturas medias son inferiores a los 12°C y en el período invernal no superan los 4°C. Tensiones de vapor anuales inferiores a 1070Pa (8mmHg). Radiación Global Media diaria sobre plano horizontal de 11,2MJ/m<sup>2</sup>.

Zona Bioambiental	Grados Día	Rad. Glo. Med	T. media	Hr media (%)
VI (Muy Fría)	GD: 3684°C/año	11,7 Mj/m <sup>2</sup>	8°C	Junio 78%Año 60%

### MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO - PAUTAS BIOCLIMÁTICAS

Cada una de las estrategias adoptadas se fundamenta sobre la subordinación de la arquitectura a la modalidad de funcionamiento que la escuela requiere. Las ideas centrales que impulsaron el diseño arquitectónico son:

- escuela conformada por el diálogo compositivo de tres bloques, uno existente otros dos nuevos;
- espacio destinado a Aula-Taller (Salón de Usos Múltiples, SUM), como complemento de espacios menores, con función de aulas (sobre el cual se basa el trabajo), espacio de cuatro aulas-taller, circulación y servicios;
- composición, funcionalmente resuelta por medio de un espacio "nexo" con funciones de acceso y distribución, con una circulación central indiferenciada formalmente;
- construcción y funcionamiento autónomo de los nuevos bloques, respecto al existente. Esta particularidad resuelve el hecho de generar actividades extra escolares con la comunidad en horarios desfasados con el escolar;
- apropiación sectorizada de los espacios exteriores e interiores;
- refuncionalización del edificio existente y de la nueva construcción a las necesidades de funcionamiento pedagógico.

<sup>1</sup> Investigador CONICET; <sup>2</sup> Becario Post-doctoral CONICET; <sup>3</sup> Becario UNLP; <sup>4</sup> Investigador FAU; <sup>5</sup> Técnico;  
<sup>6</sup> Profesor Escuela Provincial Municipal de Trévelin, Chubut.

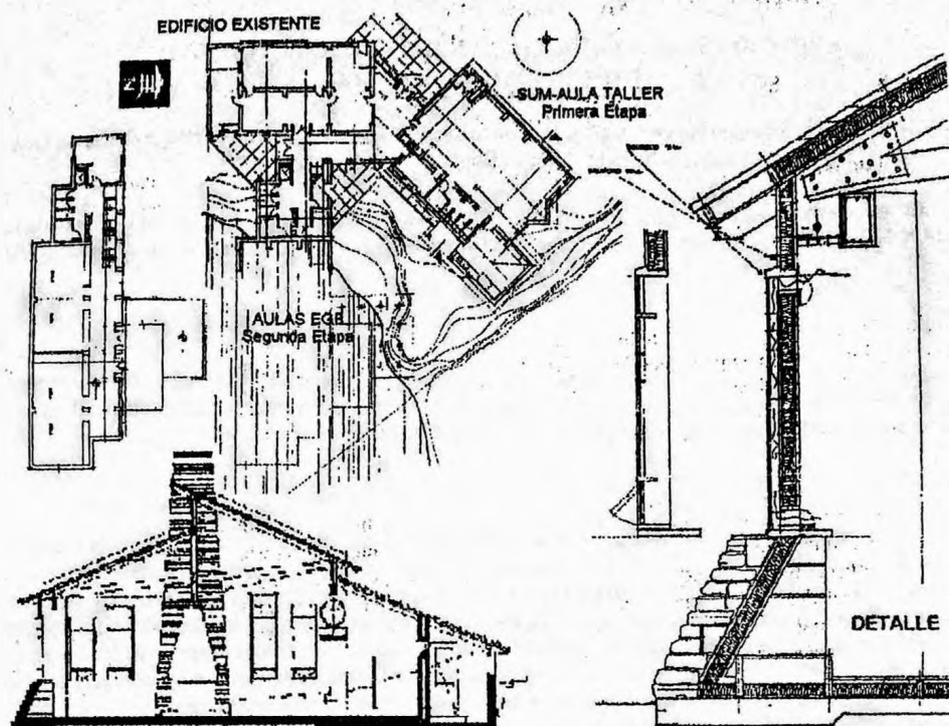


Fig. 1. Planta, corte y detalles del proyecto.

Se adoptaron una serie de principios bioclimáticos a saber:

**A. Referencias tradicionales:** Tecnología tradicional de la zona y materiales de uso cotidiano: cubierta con cabriadas y tirantería de madera (ciprés o lenga) y machimbre; muros de mampostería tradicional con refuerzos horizontales y verticales de H°A°; tabiques livianos con aislación térmica; zócalo exterior de piedra basáltica del lugar; mano de obra del lugar.

**B. Forma del edificio.** Edificio compacto protegido de las rigurosidades del clima en sus peores orientaciones, SO y SE, por el sector de servicios y ambientes complementarios. Se adoptan factores de exposición (Fe) y compacidad (Co) optimizados, para minimizar las pérdidas térmicas a través de la envolvente y reducir el volumen a calefaccionar.

**C. Espacio tapón.** Se adopta una serie de espacios (cocina, sanitarios, sala de maestros, acceso, etc) con el objeto de poder integrar ambos bloques, que actúan como "espacio tapón", es decir que la misma forma edilicia funcione como aislante, minimizando las pérdidas térmicas. El acceso independiente al SUM y el distribuidor, actúan como chifloneras.

**D. Orientación.** La orientación óptima estuvo condicionada debido a la conformación de los espacios exteriores, por el tamaño y forma del lote. De allí que se colocó la fachada principal a medio rumbo (NO) y la fachada secundaria hacia el NE.

**E. Aportes Solares.** Se aprovecha el aporte solar (energético y lumínico) equilibrando la ecuación entre pérdidas y ganancias térmicas, adoptándose aberturas rectangulares en los muros, incorporando colectores solares livianos con tecnología simple de bajo costo (?), entre ventanas sobre el muro NO. Los aventanamientos estarán provistos de postigones interiores que ofician de seguridad y que brinden aislación nocturna.

**F. Iluminación natural.** El corte edilicio y su diseño; la ubicación y orientación de los aventanamientos y la adopción de colores claros en el interior, acompañan la premisa de una iluminación pareja en todos los ambientes y sobre todo en los sectores destinados al trabajo. Además, minimiza la iluminación artificial. Se diseñaron ventanas alargadas en el sentido vertical para alcanzar mayor profundidad, y ventanas superiores que brindan una solución satisfactoria.

**G. Aislación Térmica de la envolvente.** Se adoptó una fuerte aislación térmica en la envolvente edilicia (muro, piso, techo) y doble vidrio en ventanas, reduciendo las pérdidas térmicas y evitando condensación del vapor de agua ambiental. Esta solución asegura consumos energéticos reducidos, un aprovechamiento racional de los recursos (URE), una menor dependencia de las variaciones climáticas exteriores y condiciones de confort ambiental interior, estable y controlado.

**H. Inercia térmica.** Según el concepto de edificio de uso discontinuo (en fase con el periodo de radiación solar), se adoptó un edificio liviano, obteniéndose regulación controlada, rápida respuesta del nivel térmico frente al uso diario y funcionamiento de los equipos de calefacción (mínimo desfase de la onda térmica).

**I. Implantación del edificio.** El edificio está en parte enterrado en el terreno, protegiéndose así parte de los espacios.

**J. Espacios exteriores.** Tanto los posteriores como los de frente, gozan de buen asoleamiento.

## ACONDICIONAMIENTO TERMICO-ENERGETICO

**Conservación de energía y uso de sistemas pasivos.** La estrategia de acondicionamiento térmico-energético, combina: conservación de energía, sistemas solares pasivos y baja inercia térmica. La aislación térmica es de 10cm de poliestireno expandido en muros y tabiques y de 12,5cm en cubierta (dens. 20Kg/m<sup>3</sup>). Dobles vidrios en aberturas de doble contacto que poseen postigones aislados en el interior. El cálculo se basó en simulaciones estacionaria y dinámica de dos situaciones:

1. Situación Tradicional: muro 0,30 y techo con 1" de poliestireno expandido. Sin aislación de piso;
2. Situación Mejorada: muros, tabiques, techo y piso aislados.

**Cálculo de comportamiento térmico.** La simulación en estado estacionario se realizó según valores IRAM (Norma I t. 60 I), donde los resultados finales se resumen en las siguientes tablas:

		TRADICIONAL	MEJORADO
Pérdidas por	Muros	25%	11%
	Techo	18%	7,5%
	Aberturas	16%	15%
	Pisos	6%	3%
	R. Aire	35%	63,5%
Carga Térmica	(Kwh)	83.164	45.890
Coefficiente UA	(w/°C)	940,6	519
Coef. UA/m <sup>2</sup>	(w/m <sup>2</sup> °C)	6,03	3,30
Coefficiente G	(w/m <sup>2</sup> °C)	1,5	0,83
Consumo de gas	(m <sup>3</sup> /año)	7.651	4.222
<b>Implica una reducción del :</b>			<b>45%.</b>
Equipo de calef.	(Kcal/h)	22.659	12.500
Fracción Ahorro Solar (FAS)			10%

Para cuantificar el aporte de los sistemas pasivos se calculó la Fracción de Ahorro Solar (FAS), o sea la determinación mensual o anual que de la carga energética de calefacción es provista por el sol. Se utilizó el método del Cociente Carga Colector (CCC<sup>3</sup>), estimándose una FAS de 10%. Esto implica que entre conservación + pasivos (C+P) se alcanzaría un 55% de reducción de la carga térmica de calefacción. La simulación térmica de un día tipo de invierno (Junio) se realizó con el programa CODYBA (Insa de Lyon, Francia), tanto para la situación tradicional como la mejorada.

**Riesgo de condensación.** Se analizó uno de los sectores críticos donde se puede producir condensación superficial, para la solución mejorada, con las siguientes hipótesis para la determinación del punto de rocío:  
Condiciones del interior:

50% HR 18°C = 8,0°C	70% HR 18°C = 12,8°C
50% HR 20°C = 9,5°C	70% HR 20°C = 14,5°C
	70% HR 22°C = 16,5°C (situación más desfavorable)

Se calcularon las isoterms para la situación interior de 18°C y exterior -3°C (Temp. Media anual) resultando una temperatura superficial interior de 17°C. (Ver gráfico), lo que implica la reducción de probabilidades de condensación.

## ACONDICIONAMIENTO LUMÍNICO

**Iluminación Natural.** La situación optimizada fue obtenida con la evaluación de las siguientes variables:

- **Orientación del aventanamiento.** En una latitud donde no hay problemas de exceso de asoleamiento se orientan las ventanas en modo de aprovechar la mayor cantidad de luz posible. En días nublados (°), las condiciones críticas se verifican solamente en la temporada invernal hasta las 8.00 de la mañana y después de las 16.00 de la tarde, horarios en el que no se desarrolla ningún tipo de actividad didáctica;
- **Dimensionado del aventanamiento y tipo de vidrio utilizado.** El dimensionado del aventanamiento fue calculado para las condiciones más desfavorables: cielo cubierto o semi-cubierto (Según datos del Servicio Meteorológico Nacional). La localidad está caracterizada por un clima muy riguroso, factor que hizo descartar la solución que proporcionaría más luz, la ventana-pared, para evitar un exceso de pérdidas de calor, y optar por una serie de ventanas separadas colocadas a lo largo del local que permiten una buena entrada y distribución de la luz en el mismo y que presentan una superficie con un fuerte desarrollo vertical (1.80 m) para permitir una entrada más en profundidad de la misma. De igual manera se proyectó una entrada de luz vertical en el corte de la cubierta para complementar el aporte de luz de las ventanas

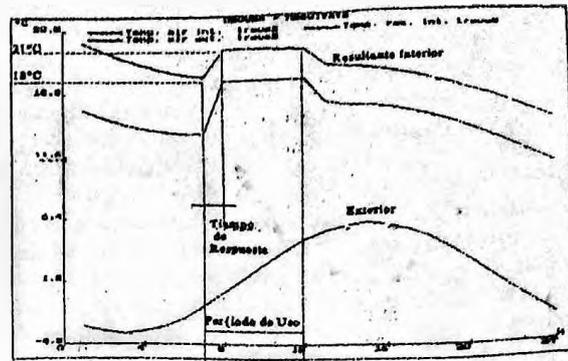


Fig. 2: Comportamiento Térmico interior. Situación mejorada.

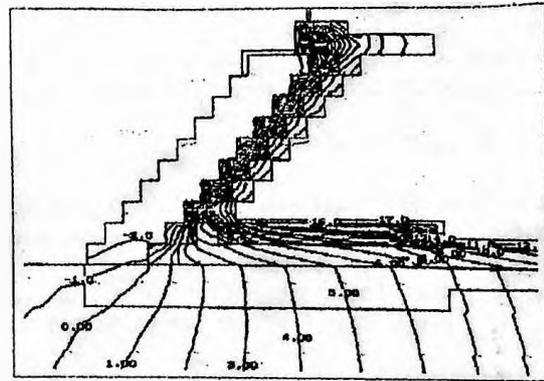


Fig. 3. Simulación de la distribución de temperatura (zócalo).

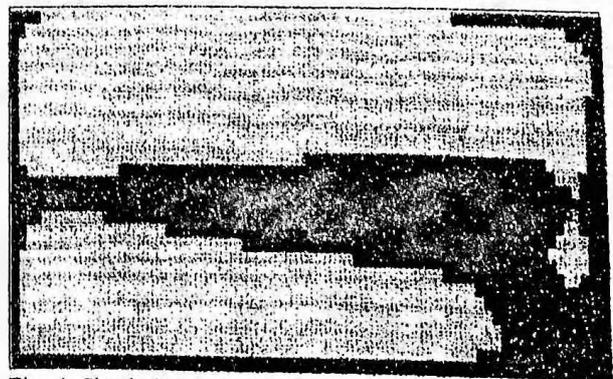


Fig. 4. Simulación de la distribución de iluminación natural en Aula Taller - SUM. Situación modificada.

y permitir lograr buenas condiciones de iluminación en la zona más profunda del local. Se emplea doble vidrio para disminuir las dispersiones térmicas a través de la superficie aventanada, con transparencia (coef. trans. = 0.7) inferior a la de un vidrio simple que no perjudica la entrada de luz natural;

- Elección de colores claros (coef. reflexión = 0.8) para los revestimientos y terminaciones del local para lograr un mayor aprovechamiento de la cantidad de luz entrante y su mejor distribución debido a las múltiples reflexiones e interreflexiones entre los diferentes paramentos. Se adoptó un color oscuro del piso (coef. reflexión = 0.3), para evitar la desagradable sensación de flotación que los colores demasiado claros aplicados a esto suelen inducir, y a la elección de un piso de madera.

**Iluminación artificial.** Se determinó una iluminación artificial complementaria a la iluminación natural. Las condiciones de diseño que se tuvieron en cuenta fueron la cantidad y calidad del alumbrado interior. El estudio se basó en los requisitos de: rendimiento, comodidad, agradabilidad, eficiencia energética y costo. Se tuvo en cuenta un valor de iluminación de 500lux (°), dado por las distintas actividades a desarrollar en el aula-taller, teniendo como referencia un plano de trabajo menor a 0,80m. Se desarrolló una forma de iluminación directa en toda el aula con distribución general uniforme (90% del flujo luminoso hacia el piso).

Se utilizaron elementos fluorescentes ya que su rendimiento luminoso es elevado y su índice de reproducción de colores muy bueno, estos equipos entregan 4 a 7 veces más luz que las incandescentes, tienen mayor vida útil y proporcionan menor temperatura al interior. • La ubicación es en tres bandas paralelas en sentido longitudinal, apoyada por una iluminación adicional, que complementa las zonas que cuentan con menor iluminación natural. • Todo el sistema de iluminación está organizado para funcionar alternativamente, esto permite obtener un ahorro energético, dado que en momentos u horarios de mayor iluminación natural, porque se permite optar por un funcionamiento reducido del equipo.

## CONCLUSIONES

De la comparación entre la situación tradicional y la propuesta se concluye de que se puede disminuir el consumo en un 45%, debe contemplarse además la carga térmica del equipo que se reduce, de 22.659Kcal/h a 12.500Kcal/h. Se observa que las falencias de pérdidas térmicas por la envolvente (muro 25%, techo 18% y aberturas 16%) fueron corregidas (16%, 7,5% y 15% respectivamente). Para el cálculo se utilizaron 4 Renovaciones de aire (RA), aunque invirtiendo en una buena carpintería, doble contacto y burleteada podríamos reducir a 2 RA/h. Esa medida mejoraría la situación con una reducción del 10%.

El edificio tradicional, responde lentamente a la carga de calefacción, estabilizándose cuando se termina la actividad diaria y no alcanza la temperatura de confort de 18°C. Cuando el equipo se apaga la temperatura cae hasta llegar a los 10°C y responde en forma similar a la curva exterior. Para el caso de la situación mejorada, con poca inercia térmica, el tiempo de respuesta es mucho menor. La diferencia entre T máx (uso) y mín (no uso) es pequeña, el calor se mantiene en el edificio (en 14°C) y la temperatura resultante interior llega a los 21°C lo que evidencia una utilización más eficiente del recurso energético, una mayor estabilidad y regulación de las condiciones ambientales y una posible reducción del consumo energético debido a los aportes calóricos de los ocupantes y la ganancia directa. Esto implica que en climas rigurosos como el de Trévelin, se justifica incrementar costos adicionales en aislaciones, carpinterías y sistemas de captación, ya que se amortiza rápidamente debido a la reducción de costos energéticos operativos, además de mejorar el nivel de confort interior. Es importante destacar el aprovechamiento de sistemas pasivos como es el de ganancia directa, utilizando aventanamientos y sistemas captadores que optimizan el balance energético sin la necesidad de reducir la resistencia térmica de la envolvente.

La determinación de la situación más desfavorable según probabilidad de condensación, implica rangos de Temperatura y Humedad Relativa (HR) elevados en el interior del local. Este es un caso poco típico, ya que el sistema de calefacción utilizado no es de combustión interna. En el caso de actividades deportivas se debe reducir la temperatura base de calefacción y la Humedad Relativa por ventilación del local.

La distribución interior de la luz es buena. Los valores mínimos de FIN se detectan solamente en las zonas periféricas y en la zona central del ambiente, no son usados como espacios de trabajo. En toda la zona de trabajo el valor más bajo de FIN que se detecta es el medio, parece entonces admisible tomar este valor como "valor mínimo" de FIN sobre el plan de trabajo en el local. El aporte recíproco de las dos zonas redundaría en un incremento positivo de la uniformidad de la luz entrante. Analizando con más detalle los resultados: Fin medio del local = 4,36%, valor que satisface las normas (°). Sólo para trabajos específicos se necesita el aporte de la iluminación artificial, graduada en General, Media y Puntual.

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación (1997) *Criterios y Normativa básica de Arquitectura Escolar. Anteproyecto. Versión 1.* Pag. 5-7.
2. Di Bernardo E. Perone D. Vazquez J. Seffino R. (1986) *Diseño, construcción y experimentación de un muro de captación solar liviano de alta resistencia térmica, para viviendas en el sur argentino.* Actas de la 11ª Reunión de ASADES. Pag. 71-76, San Luis, Argentina.
3. Fabris A. Yarle R. (1985) *Tablas del Coeficiente Carga Colector para 60 localidades de la Argentina.* Ed. ISABA, Buenos Aires, Argentina.
4. IRAM-AADL J20-02 (1969). *Iluminación natural en edificios. Condiciones generales y requisitos especiales.*
5. IRAM-AADL J20-06 (1971). *Iluminación artificial de interiores. Niveles de iluminación.*
6. IRAM-AADL J20-04 (1974). *Iluminación en escuelas. Características.*