

## MONITOREO HIGROTÉRMICO, ENERGÉTICO Y SOCIO AMBIENTAL DE UNA ESCUELA SOLAR EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA \*

C. Filippín<sup>1</sup> y L. Marek<sup>2</sup>

CONICET - Spinetto 785-(6300) Santa Rosa - La Pampa, TeFax: 954 434222, E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

**RESUMEN** El presente trabajo muestra los resultados del monitoreo higrotérmico y energético de una escuela solar construida en la localidad de Algarrobo del Aguila, a 36°26', 67°09' y 320m de latitud., longitud y altura sobre el nivel del mar, respectivamente, en el Noroeste de la provincia de La Pampa. Se analizan los resultados de una encuesta socio – ambiental. Para condiciones reales de uso del edificio la temperatura promedio interior es de 16°C con un consumo de gas natural para calefacción de 0.009 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de superficie construida, valor que corresponde a un ahorro de energía del 90% respecto a una escuela de diseño convencional en la región en estudio. Los resultados muestran una conducta permanente y clara de la comunidad educativa respecto al uso racional de la energía. Los usuarios trabajan en un ambiente confortable según los resultados de la encuesta.

**PALABRAS CLAVES** Arquitectura solar - Eficiencia energética - Ahorro de energía - Sostenibilidad energética - Confort térmico

### INTRODUCCION

Más del 75% de nuestro país posee climas áridos y semiáridos. A este porcentaje La Pampa aporta su región árida centro - occidental con un área que abarca el 53% del territorio provincial. Estas regiones con ambientes altamente sensitivos poseen extremos climáticos que son realidades básicas al momento de tomar decisiones. La precipitación mínima y su variabilidad, elevados niveles de insolación, importantes variaciones estacionales y diarias de la temperatura, y elevados albedos caracterizan a esta extensa región. La localidad de Algarrobo del Aguila según una clasificación macroambiental simplificada de la provincia de La Pampa pertenece a la región árida que toma parte del centro, sud y oeste provincial y cubre un área de terrazas basálticas, suelos de elevada dureza, altimetría creciente hacia el NW (300 a 1000 m sobre el nivel del mar), elevados albedos y un régimen pluviométrico que responde a un ambiente típicamente desértico (Fig.1). Su vegetación es también típicamente desértica, con predominio del monte bajo, achaparrado y arbustos xerófilos. La región acusa una densidad poblacional de 0.06 a 0.1 habitantes/km<sup>2</sup>, el mayor porcentaje de necesidades básicas insatisfechas y el mayor índice de analfabetismo de la provincia. Algarrobo del Aguila es una comunidad de 250 habitantes, se ubica en el extremo NW, a 36°26', 67°09' y 320m de latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar. Al carecer la localidad de datos climáticos se emplean para su pre -diseño arquitectónico y energético los valores que corresponden a Santa Isabel, población distante a 60 km. (Tabla 1). A partir del bioclimograma de Olgyay (1963) se deduce que la condiciones exteriores de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo permanecen dentro del área de confort. Las pautas de diseño determinantes son: máximo asoleamiento y minimización de las pérdidas térmicas en el período invernal. Para Givoni (1969) las correcciones de diseño necesarias que se deben implementar para ingresar a la zona de bienestar involucran: ganancia solar directa, ventilación natural y masa térmica. Ciertos meses del año y para valores medios de temperatura y humedad relativa se necesita calor auxiliar. Además de estas recomendaciones se implementan criterios de iluminación natural, control solar, y fundamentalmente una envolvente de baja permeabilidad térmica.



Fig.1: Localización de Algarrobo del Aguila

\* El trabajo se encuadra dentro de los objetivos del proyecto BID 1201/OC – AR PICT 2000 N° 13 - 09991

<sup>1</sup> Investigadora

<sup>2</sup> Arquitecto, técnico

En la Figura 2 se observa la planta y el corte del edificio. El proyecto se desarrolla en una tira de 8 módulos de 7.20 \* 6.20 m con una superficie total de 357 m<sup>2</sup>. Mediante un quiebre en la estructura resistente de la cubierta, además de las aulas, poseen ganancia directa e iluminación a través de ventanas altas, la administración, el salón de usos múltiples y los servicios. La ganancia solar directa queda definida a través de áreas transparentes colectoras y corresponden 28.80m<sup>2</sup> a sector aulas (7.20m<sup>2</sup>/módulo) y 17.30m<sup>2</sup> al sector administrativo, salón de usos múltiples y servicios (4.30m<sup>2</sup>/módulo). En las aulas, y hacia los extremos, se incorporan módulos de carpintería bajo la altura del dintel para proveer visuales al exterior y ventilación natural. El marco del área transparente (poli-carbonato perfilado) es de madera maciza. La envolvente está constituida por: a) paramento de ladrillo macizo de 0.18m de espesor, b) aislación térmica de poliestireno expandido de 0.04m de espesor y c) revoque exterior sobre metal desplegado con estructura de madera de soporte. La envolvente superior está integrada por: a) estructura resistente (losa cerámica prefabricada), b) barrera de vapor, c) aislación de poliestireno expandido de 0.08m de espesor y d) chapa galvanizada como protección hidrófuga y mecánica. En el trabajo de Filippín et al. (1993) se describe el edificio. La Tabla 2 muestra algunos indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos. La distribución de las áreas funcionales elegida permite lograr un 75% de compacidad.

Tabla 1: Datos climáticos. Localización geográfica de Algarrobo del Aguila: 36°26', 67°09' y 320m de latitud., longitud y altura sobre el nivel del mar

Anual		Invierno		Verano				
Temperatura (°C)	media máxima	24.3	media máxima	15.3	media máxima	33.3		
	media mínima	6.7	media mínima	-0.6	media mínima	14.3		
	media	15.6	media	6.9	media	24.6		
Radiación solar media sobre superficie horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )		18.8	Radiación solar media sobre superficie horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )		9.1	Radiación solar media sobre superficie horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )		27.4
Humedad relativa (%)		48	Amplitud térmica		8.4	Amplitud térmica		10.3
Grados-día de calefacción <sub>(t=18°C)</sub>		1646	Velocidad media del viento (km./h)		7	Velocidad media del viento (km./h)		9

Fuente: Datos del Servicio Meteorológico Nacional correspondientes a la localidad de Santa Isabel (localidad ubicada a 60 km. al NO)

Tabla 2: Indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos

Perímetro (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Envolvente (m <sup>2</sup> )	Ic (%)	FF (%)	K pared (W/m <sup>2</sup> °C)	K techo (W/m <sup>2</sup> °C)	G (W/°Cm <sup>3</sup> )
83.2	320	959	681	75	71	0.60	0.35	2.03

Referencias: Ic - Índice de compacidad; FF - Factor de forma; K - transmitancia térmica; G - Coeficiente global de pérdidas

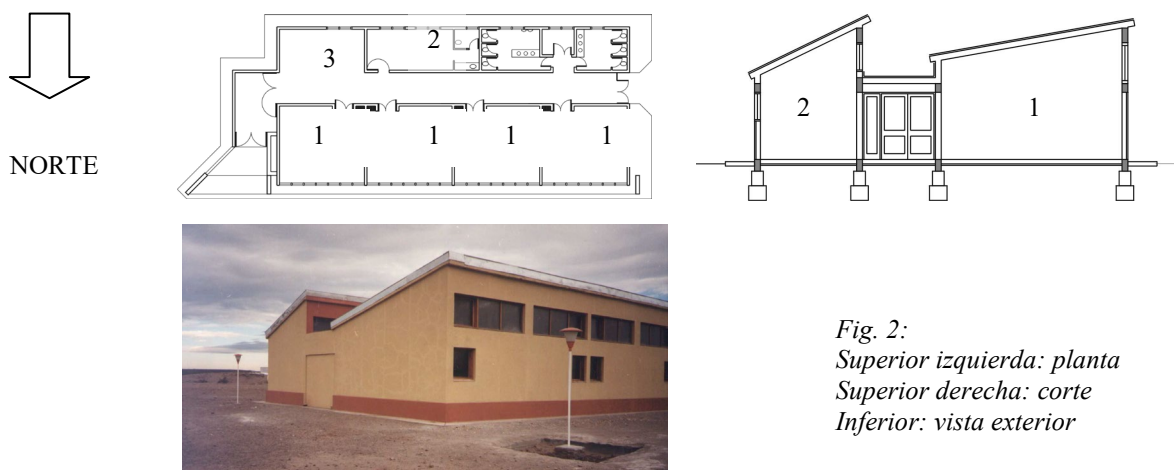


Fig. 2:  
Superior izquierda: planta  
Superior derecha: corte  
Inferior: vista exterior

## MONITOREO HIGROTÉRMICO Y ENERGÉTICO

Finalizado el edificio en 1995 se realizó el primer monitoreo térmico con termómetros simples con el apoyo de alumnos y maestros. Durante las horas de actividad la temperatura interior del aula alcanzó los 15°C sin calefacción auxiliar y con una temperatura en el exterior de -10°C. (Ver trabajo: Filippín y de La Mata, 1995). Luego de cinco años se inició un nuevo monitoreo térmico y energético entre el 22 de agosto de 2003 y el 6 de septiembre del mismo año, como parte del Proyecto PICT 2000 N°13-09991 BID 1201/OC-AR. En la primera semana el edificio se monitoreó en condiciones reales de uso, en la segunda semana, sin ocupantes. Se midió en forma simultánea la temperatura interior y exterior mediante sensores tipo HOBO, y la radiación solar a través de un sensor Licor ubicado en la cubierta del edificio. La campaña de medición estuvo acompañada por la lectura del medidor de gas tres veces al día. En forma paralela se realizaron encuestas a los alumnos y también entrevistas a directivos y maestros.

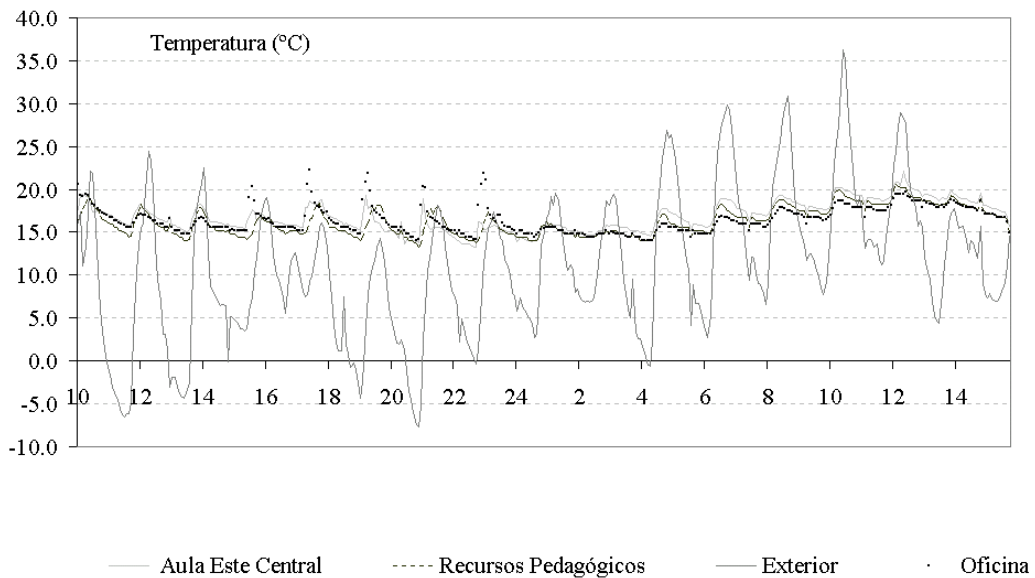
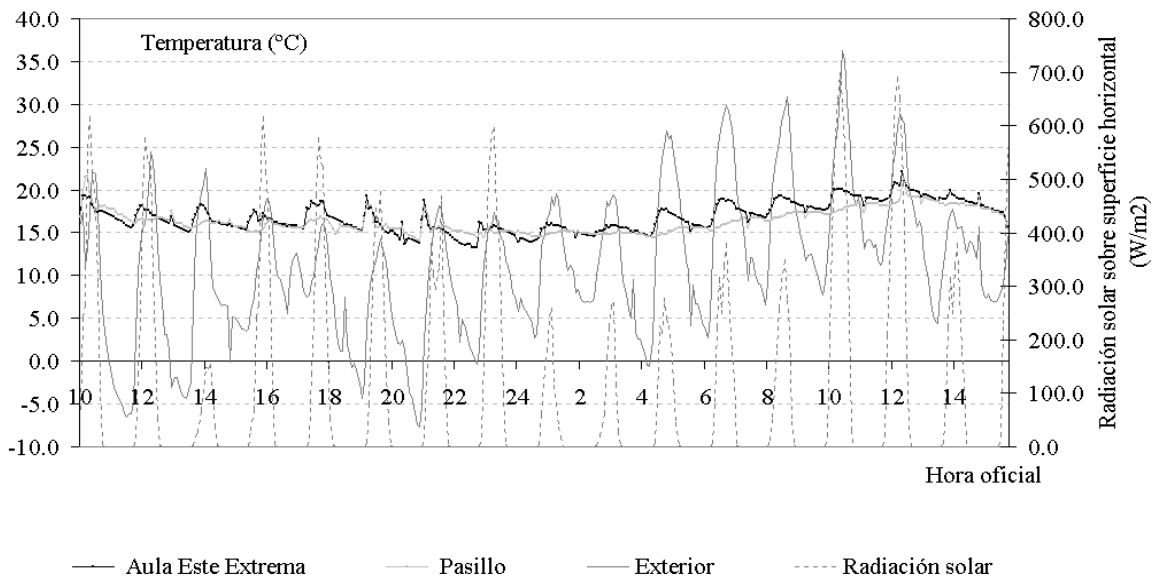


Fig 3: Comportamiento térmico del edificio entre el 24 de agosto y el 6 de septiembre de 2003

La Fig. 3 muestra el comportamiento térmico de las distintas áreas funcionales. En la Tabla 2 se observa el promedio y la variabilidad de la temperatura durante todo el periodo de medición. Se separan los periodos con y sin actividad. Se observa una zonificación térmica entre las 4 aulas con la misma superficie de ganancia directa e igual dimensión, pero diferente ubicación. Las dos aulas centrales, con menor pérdida energética, se mantienen 1°C por encima de las aulas extremas (dos paredes en contacto con el exterior). Durante la primer semana las condiciones climáticas externas son muy rigurosas con temperaturas promedio que varían entre los 6 y 11°C y temperaturas máximas y mínimas de 24 y -8°C,

Area funcional	Período de monitoreo			
	24 al 28-8-03 (con actividad)		31/8/03 a 4-9-03 (sin actividad)	
	promedio	CV (%)	promedio	CV (%)
Aula Oeste extrema	15.7	8.35	17.9	9.06
Aula Oeste central	16.8	5.16	17.9	8.18
Aula Este central	17.2	6.04	18.5	8.17
Aula Este extrema	16.3	6.44	17.9	8.95
Pasillo	15.7	6.34	16.8	8.98
Recursos pedagógicos	15.5	7.65	17.3	9.51
Oficina	16.4	10.98	16.7	8.59
Ambiente exterior	7.65	83.08	16.7	51.37

Tabla 2: Promedio de la temperatura en °C y variabilidad (%) de cada área funcional en el periodo de monitoreo

respectivamente. Los valores muestran la amplitud térmica diaria importante (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) característica fundamental de la región. Por otro lado se observa a través de los datos la diferencia de casi 1°C entre el área con ganancia directa al Norte y el pasillo sin climatización natural (ver corte edificio). También para el período en condiciones reales de uso la oficina tiene una temperatura promedio de 16.4°C con valores máximos que llegan a 23.3°C. En este local se enciende el calefactor de 3000 Kcal en las primeras horas de la mañana (8 a 11h). En la Figura se observa con claridad el efecto del calor auxiliar en el comportamiento térmico diario de la oficina. El aula de recursos pedagógicos, con ganancia solar directa y muy expuesto a los vientos fríos de Sur, muestra una temperatura promedio de 15.5°C con una máxima que no supera los 18°C y una mínima que no cae más allá de los 13°C. Para este período con cargas internas, algo de calor auxiliar y un 11% de ganancia solar directa respecto al área útil, el edificio alcanza una temperatura promedio de 16°C, casi 9°C por encima de la temperatura promedio exterior. La variabilidad de la temperatura interior para la primer semana de monitoreo oscila entre el 5 y el 8% frente a la externa del 83%.

En la segunda semana, sin actividad escolar, las condiciones climáticas externas son más benignas con temperaturas máximas que trepan a 36°C y mínimas de casi -1°C (temperatura promedio=16.7°C). Se observa con claridad que entre las dos semanas que se describen hay dos días de baja radiación solar (250 W/m<sup>2</sup>) con temperaturas máximas de casi 19°C y mínimas de 5°C. A partir de esos dos días hay un incremento de la temperatura y de la radiación solar con una secuencia de días con cielo claro. Para esta semana sin ganancias internas y sin calor auxiliar el edificio alcanza una temperatura promedio de 17.4°C, 1.3°C por encima de la temperatura promedio externa. Hacia el final del período hay un descenso de la temperatura interior que acompaña nuevamente a las condiciones externas. Los tres sensores del aula ubicada en el extremo Oeste muestran un comportamiento similar. Hacia el final de la primera semana se observa un descenso de la temperatura interior en correspondencia con la desaparición de las ganancias internas y la simultaneidad de tres días con temperaturas exteriores máximas por debajo de los 20°C y una radiación solar máxima que no llega a los 300 W/m<sup>2</sup>. La variabilidad de la temperatura interior para la segunda semana de monitoreo (menos rigurosa) es de alrededor del 9% frente a la externa del 51%.

En forma simultánea con el monitoreo térmico los alumnos en el espacio curricular de Tecnología realizan la lectura tri – diaria del medidor de gas. Los resultados se muestran en la Tabla 3. Salvo el miércoles y jueves, días en los cuales se enciende, el calefactor del aula Oeste en las primeras horas de la mañana el consumo diario es de 2 m<sup>3</sup>, valor que se aproxima a las estimaciones realizadas en el pre - diseño en función de los grados-día  $t_{b=16^{\circ}\text{C}}$  (1.6 m<sup>3</sup>). Sólo el calefactor de la oficina (en el sector Sur) se encendió todos los días de 8 a 11h. Durante el mismo horario se prende el calefactor ubicado en el pasillo en el extremo Oeste. El consumo diario osciló entre 2 y 5 m<sup>3</sup> de gas natural. Para este valor el consumo diario por metro cuadrado construido es de 0.009 m<sup>3</sup> que corresponde a un 90% de ahorro respecto a la energía consumida por una escuela convencional en la región en estudio (Flippín y De Rosa, 1997 y Filippín, 1999).

Tabla 3: Valor de lectura del medidor de gas y consumo diario.

hora	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes					
8	10431	10433	10435	10439	10444					
14	10433	10435	10439	10444	10446					
18	10433	2 m <sup>3</sup>	10435	2 m <sup>3</sup>	10439	4 m <sup>3</sup>	10444	5 m <sup>3</sup>	10446	2 m <sup>3</sup>

### Evaluación socio – ambiental

A partir de los datos medidos es importante observar en un diagrama de bienestar el resultado del cruce de las dos variables: temperatura y humedad relativa. Givoni para valores promedios recomienda para el mes de agosto calentamiento solar para ingresar a la zona de bienestar. Si en vez de valores promedios ingresamos datos horarios la situación no es la misma. En el caso del aula Oeste extrema los datos indican que un 50% del tiempo la temperatura del aula está por debajo de los 18°C (Fig. 4). Si bien el diagrama indica discomfort en un porcentaje del tiempo los alumnos y maestros opinan que se encuentran confortables bajo estas condiciones. En la versión castellana de Design with climate (Olgyay, 1963) se resalta que no existe un criterio único para poder realizar una evaluación precisa del confort. Se lo define más en sentido negativo: es la zona en la cual no se produce un sentimiento de incomodidad.

Para estas sensaciones de los alumnos es importante analizar, entre otros aspectos, la vestimenta. A la mañana el 42% usa tres prendas (camisa ó camiseta + pulóver + campera). El 57.7% se saca la campera. Hacia la tarde disminuye el porcentaje con tres prendas al 17.4% y aumenta el número con dos prendas (78.3%). (Ver Figura 5)

Asociando temperatura en el aula y vestimenta se observa que el 67% de los alumnos que contestaron que tienen calor a la mañana, han permanecido con sus camperas puestas.

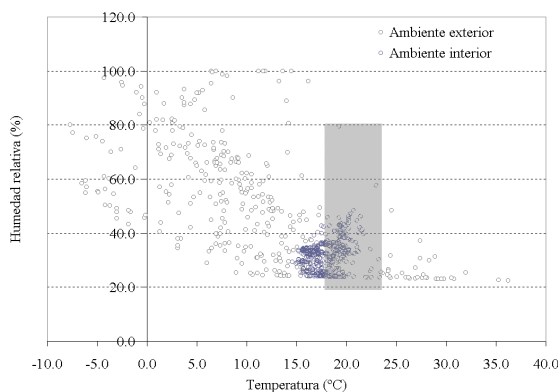


Fig. 4.: Condiciones climáticas externas y comportamiento higrotérmico del aula extrema Oeste

Para una temperatura interior de 17°C y una humedad relativa del 27%, con un valor de arropamiento de 1.6 clo (alto con abrigo) y una dispersión metabólica de 1.8 met (actividad manual sentado con ligeros desplazamientos) el VMP (valor medio predicho) es de 0.52 y el PPD (porcentaje de personas en discomfort) es 5.04. Aún bajando el arropamiento a 1.25 clo (arropamiento medio) el PPMV es de 0.13 y el PPD no supera el 5%.

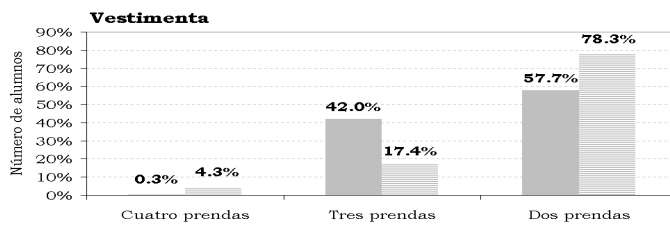
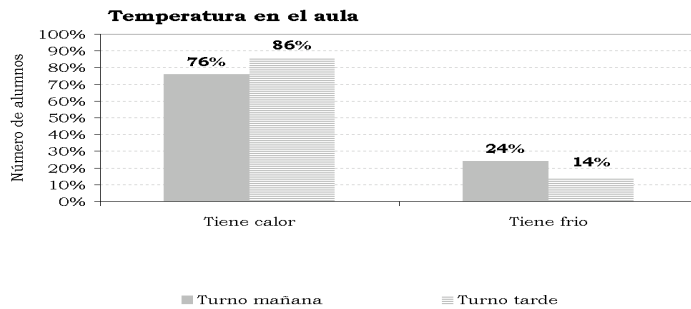


Fig.5 : Resultados de la encuesta

### Conclusiones

A partir de la experiencia desarrollada durante el período de construcción del edificio y a partir de los resultados de las distintas campañas de medición, con el edificio sin gas natural, con los calefactores a gas natural instalados, en condiciones reales de uso, y sin usuarios es posible establecer algunas consideraciones contundentes.

Considerando la situación desfavorable en que fue construida la obra con ausencia de un director y/o representante técnico, sin mano de obra especializada, en una localidad distante de centros urbanos, los resultados pueden considerarse auspiciosos. De esta experiencia y desde el punto de vista constructivo, surge que debería evitarse el uso de alfajías de madera y metal desplegado como estructura de soporte del revoque exterior para proteger la aislación térmica. El uso de madera no estacionada y condiciones climáticas adversas provocaron movimientos importantes y como consecuencia fisuras y grietas en los revocos exteriores que debieron sellarse con productos especiales. Esta opción tecnológica equivocada significó la persistencia de la patología que se observa con claridad en la visita que se realiza en el año 2003).

Desde el punto de vista ambiental los usuarios del establecimiento, alumnos y maestros,

En este contexto térmico y energético los alumnos debieron responder sobre la vestimenta personal y aspectos térmicos y lumínicos del aula. Se usa como base de la encuesta la desarrollada por San Juan et.al, (1999). Para una temperatura promedio en el aula de 16.3°C, el 76% de los alumnos durante la mañana tiene calor sin calefacción y sólo el 24% restante tiene frío. Durante la tarde aumenta el porcentaje de alumnos que tiene calor (86%) y disminuye el que tiene frío con una temperatura promedio de 16.5°C (Fig. 5 )

Respecto a la iluminación natural sobre el pupitre de cada alumno en particular tanto a la mañana como a la tarde alrededor del 90% responden que es suficiente. El 10% restante opina que es excesiva. A la mañana quienes dicen que la iluminación es excesiva, contestan además que produce reflejos molestos. Del 90% de los alumnos que consideran a la iluminación como suficiente, el 29% dice que es pareja y un 24% considera que es pareja pero que mirando a la ventana encandila y hay ciertos reflejos molestos. Un 14% dice que es suficiente , pareja pero encandila cuando se mira hacia las ventanas.

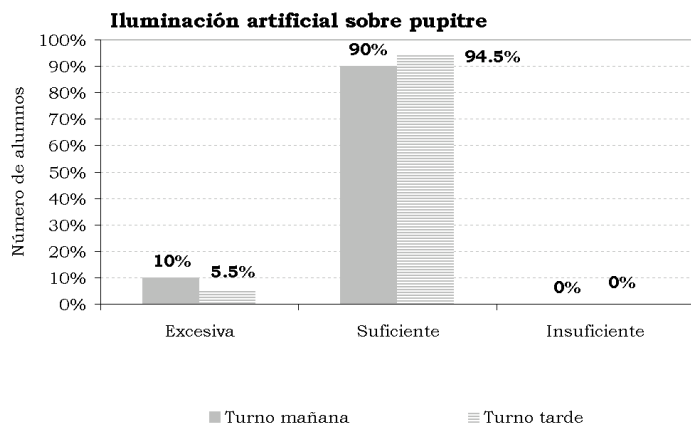
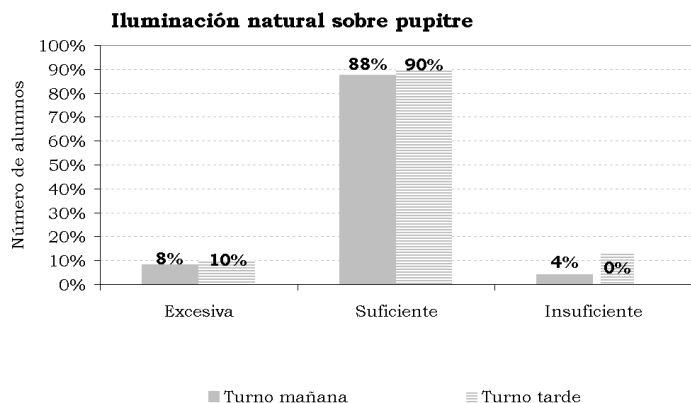


Fig. 6: Resultados de la encuesta

manifiestan trabajar en situación de confort térmico y lumínico. Temperaturas promedio que rara vez superan los 17°C son suficientes. Es posible que los usuarios desarrollen el resto de sus actividades diarias en condiciones similares y los alumnos además concurren al establecimiento con varias prendas que mantienen hasta media mañana. Sí, plantean como una 'situación de incomodidad' la diferencia térmica entre el área solarizada al Norte (aulas con ganancia directa) y el área no climatizada (pasillo, sin ganancia directa). En el invierno aún en períodos muy rigurosos y ya con los calefactores a gas instalados hubo un ahorro muy importante de energía (casi el 90%). Esta conducta se mantiene desde la inauguración del edificio (año 1995). Con amplitudes térmicas en el exterior de 24°C y con temperaturas mínimas que casi alcanzaron los -10°C sólo pocos días recurrieron al calor auxiliar durante el período invernal (estufas de kerosene y ocasionalmente estufas de cuarzo). Nunca se superaron los 21°C. En la segunda campaña de medición (el edificio ya tiene calefactores a gas natural) la temperatura promedio del edificio no supera los 17°C.

En la última campaña y para condiciones reales de uso la temperatura promedio interior es de 16°C con un consumo de gas natural de sólo 0.009 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de superficie construida. Estos resultados muestran una conducta permanente y clara respecto al uso racional de la energía por parte de la comunidad educativa. Aún con la posibilidad de poner en funcionamiento los calefactores estos permanecen apagados.

**ABSTRACT** The work shows the results of the hygrothermal and energy behavior of a solar school located in the NW of La Pampa (36°26 ' , 67°09 ' and 320m of latitude., longitude and height, above sea level, respectively). The results of an energy and -environmental survey are analyzed. The indoor average temperature for real conditions of use reaches around 16°C with 0.009 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> natural gas consumption for heating. The record corresponds to heating energy saving of 90% as compared to a school of conventional design in the region. The results show a permanent rational use of energy. Users work under good thermal conditions according with the results of the survey.

**KEY WORDS:** Solar architecture - Energy efficiency - Energy saving -Energy sustainability - Thermal comfort

## REFERENCIAS

- Filippín, C., Esteves, A., Pattini, A. y De Rosa, C. (1993) Primera Experiencia de una Escuela Solar en un Ecosistema Arido de la Provincia de La Pampa. Actas de la XVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. La Plata, Argentina. 1: 189 - 197.
- Filippín, C. y De La Mata, M. (1995). Primera Experiencia de una Escuela Solar en un Ecosistema Arido de la Provincia de La Pampa. Primeros Resultados. Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar. San Luis, Argentina. 1: 02.61-02.67.
- Filippín, C. y De Rosa, C. (1997). Análisis Morfológico, Tecnológico y Energético del Parque Educativo del Nivel Inicial y Primario de la Ciudad de Santa Rosa. Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Vol.1 N°2, 93-96
- Filippín; C., (1999), Tipologías edilicias escolares en distintas localizaciones geográficas de La Pampa. Un análisis estadístico del consumo energético, Avances en energías renovables y medio ambiente. Vol.3 N°1, 07.17-0.7.020
- San Juan, G., Hoses, S., Rojas, D. y Moreno, J., (1999), Integración de la opinión de los usuarios en la evaluación ambiental de aulas escolares. Avances en energías renovables y medio ambiente, ISSN 0329-5184, 2: 08.173-0.8.176.