



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

AMBIENTE TERMOLUMINICO EN ESCUELAS PRIMARIAS DEL OESTE ARGENTINO REALIDAD ACTUAL Y OPORTUNIDADES DE MEJORAMIENTO ANALISIS DE UN CASO TIPICO

C.de Rosa, A. Pattini, A. Esteves, M. Basso, J.C. Fernandez y J. Mitchell
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)
Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA)
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT)
C.C. 131 - 5500 Mendoza ARGENTINA Tel.54 61 288797 Fax 54 61 287370

RESUMEN

El trabajo presenta los resultados de una propuesta de mejoramiento ambiental y energético, por reciclaje, de una escuela primaria típica de la ciudad de Mendoza, al centro-oeste de Argentina. Se analizan por separado las mejoras térmicas y lumínicas. Las primeras obtenidas mediante la transformación de las galerías al N, en invernaderos adosados, calculados utilizando el método relación carga-colector de LANL. Con respecto al confort lumínico las posibilidades se limitan a mejorar las reflectividades interiores y utilizar estantes de luz en la fachada N. En ambos casos se obtienen sustanciales mejoras de confort térmico y lumínico, con ahorros de energía de 88.78 % para calefacción y de 37% para iluminación.

ABSTRACT

The paper presents the results of a proposal for environmental and energy improvement, obtainable by the retrofitting, of a typical elementary school building, in the city of Mendoza in central western Argentina. Thermal and lighting improvements are analyzed separately. In the first case by transforming the north facing galleries into an attached sunspaces, calculated by the load/collector ratio method of LANL. As to lighting comfort, the possibilities are limited to upgrade interior reflectivities in classrooms and to provide light shelves on the North elevation. In either case substantial improvements in comfort are obtainable, yielding energy savings of 88.28 for space heating and 37% for lighting

PALABRAS CLAVES

Edificios escolares; reciclaje; confort termo-lumínico; eficiencia energética.

INTRODUCCION

Durante décadas la producción, operación y mantenimiento de los edificios para la educación primaria, ha estado en la Argentina a cargo de organismos estatales, nacionales o provinciales, en forma casi exclusiva.

En la provincia de Mendoza, perteneciente a la región mesotermal-árida del centro oeste del país, se ha tendido en años recientes a la sistematización de los diseños en base a "tipos" edilicios que se repiten con variantes menores según las demandas de su situación de contexto: medio urbano o rural, población escolar, necesidad de espacios, forma y dimensiones de los terrenos disponibles, etc. Si bien se ha tratado siempre de producir edificios simples, sólidos durables, higiénicos, de fácil mantenimiento y bajo costo; escasa o nula atención se ha prestado a alcanzar en los edificios escolares las condiciones ambientales, térmicas y lumínicas, óptimas para maximizar la eficiencia del proceso de aprendizaje. Las mismas se han supuesto resueltas mediante consumos ilimitados de energía convencional durante la vida útil del edificio. De esta forma, muchos "tipos" de edificios escolares se han implantado sin variantes mayores, en climas notablemente diferentes, haciendo caso omiso de la orientación y de la disponibilidad de recursos energéticos naturales. En este sentido, no solo se han ignorado las posibilidades que ofrecen los diseños y técnicas bioambientales, sino también se ha soslayado sistemáticamente la débil exigencia de las normas vigentes [DINEA,1972], [M,1990],[IRAM,1974], que prescriben taxativamente comportamientos termolumínicos mínimos en aulas. La insuficiencia y obsolescencia del parque edilicio escolar actual y el marco de referencia cambiante en cuanto a

la futura disponibilidad de energía convencional en Argentina [OLADE, 1994], han llevado a proponer estudios para mejorar por reciclaje los edificios existentes y a generar pautas y proyectos para nuevas construcciones escolares [de Rosa, 1992], [de Rosa, 1992].

Dentro de este marco, se inscribe el trabajo que se presenta y apunta a cuantificar el potencial de mejoramiento ambiental y los ahorros de energía obtenibles por el reciclaje de uno de los edificios escolares perteneciente al "tipo" más repetido en todas las localizaciones urbanas de la provincia: 48 edificios, sobre un total de 645, que alojan 528 aulas, construidos entre 1960 y 1975. La representatividad del caso seleccionado es la máxima, dentro de los "tipos" que integran el parque edilicio escolar primario de la provincia.

SITUACION DE REFERENCIA

Características del Emplazamiento

- *Localidad : Gran Mendoza (sur)
- *Coordenadas : Latitud: - 32,91; longitud: 68,87; altitud (m): 840.00
- *Datos climáticos: GD calef. (18° C): 1557; GD enfriamiento (23° C): 109; Radiación global horizontal media anual (MJ/ m2 d): 18,0; Iluminancia Global horizontal cielo claro, mes 9, hora 12 (lux): 80.407; Vientos: velocidad media (m/s): 2,25; Dirección dominante S - SE; Frecuencia (%): 25,0.

Características del Edificio

- *Tipología: lineal, 2 plantas, galerías abiertas al N (Figuras 1, 2 y 3); Superficie calefaccionada (m2) : 468,97; Volumen calefaccionado (m3): 1231,05; Nº aulas: 10; Superficie aula tipo (m2): 33,40; Superficie ventanas aula (m2) : al S 3,00, al N (galería) 5,40.

Régimen Operativo

- *Diario (h): 8.30 a 12.30 y 13.30 a 18.00; Semanal (d/s): 5; Anual (fechas): 15/03 a 8/07 y 23/07 a 15/12. Nº de usuarios por turno: 260

ASPECTOS TERMO ENERGETICOS

Metodología de Cálculo

El cálculo de los ahorros potenciales de energía para calefacción se ha realizado según los siguientes pasos:

- *Cálculo de los grados - día diurnos de calefacción (base 18°C) mediante la sumatoria de los grados-hora de los días tipo mensuales de la estación escolar : 10 h/d. El período de la mañana incluye una hora de encendido de calefactores previo al inicio de la actividad escolar. La variación de las TBS horaria fue calculada utilizando los coeficientes de Mahoney [Koenisberger, 1974].
- *Cálculo de la carga térmica anual de calefacción en la situación de referencia, mediante balance térmico convencional. No existe aporte solar.
- *Cálculo de los consumos de gas natural en la situación de referencia y comparación con los consumos reales a partir de datos disponibles de los cuatro últimos años. Se incorpora el aporte de las ganancias internas calculadas según el método del área de Du Bois [Fanger, 1970] que arroja como resultado 73 W/ persona. El aporte se calcula solo para los meses en que existe demanda de calefacción para el total de las horas de actividad escolar, de mayo a setiembre inclusive.
- *Cálculo de la carga térmica anual para el edificio mejorado, incorporando medidas adicionales de conservación y aporte solar pasivo, utilizando el método SLR del LANL [Balcomb, 1983].
- *Cálculo de los consumos de gas natural para calefacción, en la situación mejorada, considerando igualmente los aportes internos.
- *Cálculo de los ahorros potenciales anuales de gas natural, teóricos y reales, por diferencia entre los consumos de las situaciones de referencia y reales, respecto a la situación mejorada.
- *Estimación del potencial ventilación de confort según el método del FSEC [Chandra, 1983] para verano.
- *Simulación térmica en aulas utilizando el modelo QUICK [Mathews, 1990] para ambas situaciones, de referencia y mejorada, para días y días de diseño: (90 % de las peores condiciones), soleados de junio.

Resultados - Situación de Referencia

- *GD de calefacción (18 °C), diurnos (1010h/año): 574. Conductancia de componentes (W/m2°C): techos : 1,072; muros exteriores: 2,01; ventanas (1v): 5,4; fundaciones perimetrales: 0,702; infiltración + ventilación estimadas (Nº RAH): 8.
- *Coeficiente global de pérdidas (CGP) (w/°C): 4517,11; Coeficiente volumétrico de pérdidas (G) (W/°C m3): 3,67.
- *Demanda anual de calefacción diurna (Q) (KW/año): 6.227,70. Aportes internos: (260 pers x 73,0 W/pers x 9h/d x 101 d/año): (KW/año): 17.252,82; demanda anual neta de calefacción (KW/año): 44.974,88.

*Consumos anuales de gas natural para calefacción (m3/a): teórico necesario: 4028,27; real media de los últimos 4 años: 2520,56, (62,57 % del teórico necesario).

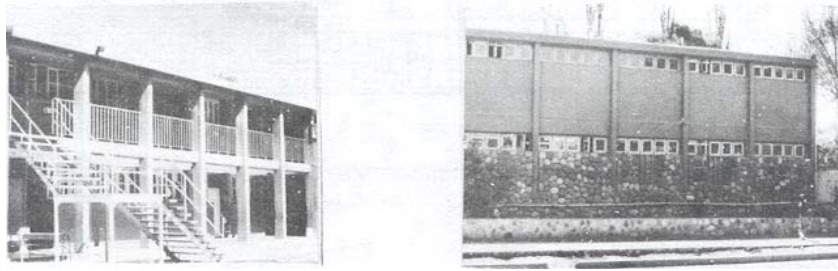


Figura 1. Situación de Referencia: Fachadas Norte y Sur.

Mejoras Propuestas - Conservación

*Techos: colocación de aislamiento térmico adicional por debajo de cielo raso existente, terminación placas de yeso (Kmej) (W/m2 ° C): 0,3621; muros exteriores y fundaciones perimetrales; por razones constructivas y económicas se opta por mejorarlos K(W/m2 °C): 2,01 y 0,702 respectivamente.

*Ventanas: al S: se colocará una segunda hoja de vidrio (K mej) (W/m2 °C): 2,8.

*Infiltración: con la colocación de burletes en hojas de abrir, reposición de vidrios faltantes y control adecuado se estima poder reducir las 8 RAH estimadas a 3, valor mínimo recomendable para mantener una calidad de aire adecuada en aulas en invierno [Serra, 1976].

Mejoras Propuestas - Aporte Solar

Cierre de las galerías al norte, en las dos plantas, mediante una carpintería metálica con dobles vidrios en partes altas de cada piso y policarbonato hueco en las partes bajas configurando un invernadero adosado, equivalente al sistema SSC 1 según la clasificación del LANL [Balcomb , 1983], con un área colectora de 197.86 m2. Figuras 3 y 4.

Un sistema de parasoles exteriores fijos de chapa pintada de blanco, ha sido diseñado para proveer pleno asoleamiento durante los tres meses centrales del invierno (06/05 al 06/08) y plena sombra durante durante los meses cálidos (06/11 al 06/02). Su diseño permite también su función como "estantes de luz" en verano, según se expone en el apartado correspondiente. Solamente el 20,98 % de las horas anuales de operación del edificio requiere enfriamiento. La estrategia de confort a utilizar en verano es la ventilación de confort, la que se aprovecha en forma óptima por el diseño y orientación actuales del edificio. Para mantenerla se proveen paños de abrir sobre la vidriera solar totalizando un 28.60 % del área colectora total, de esta forma se ha calculado un caudal de ventilación que asegura un valor de aproximadamente 25,49 RAH utilizando el método del FSEC [Chandra, 1983].

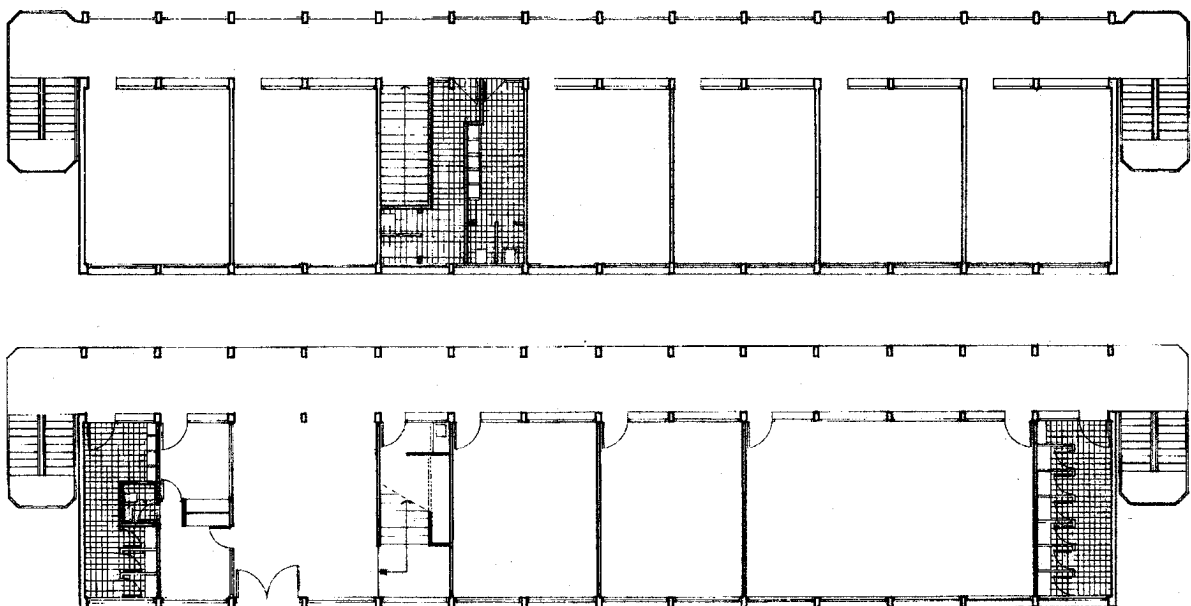


Figura 2. Situación de Referencia: Plantas Alta y Baja.

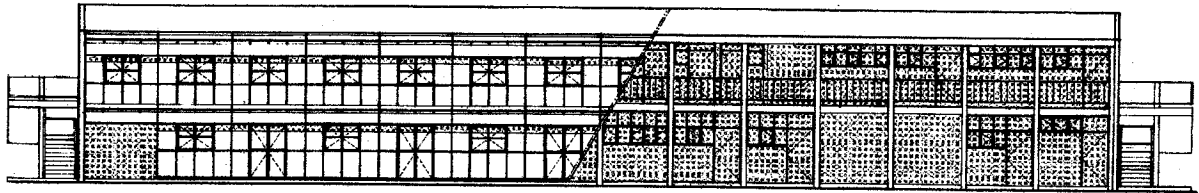


Figura 3. Fachada Norte: Situación Mejorada. Situación de Referencia

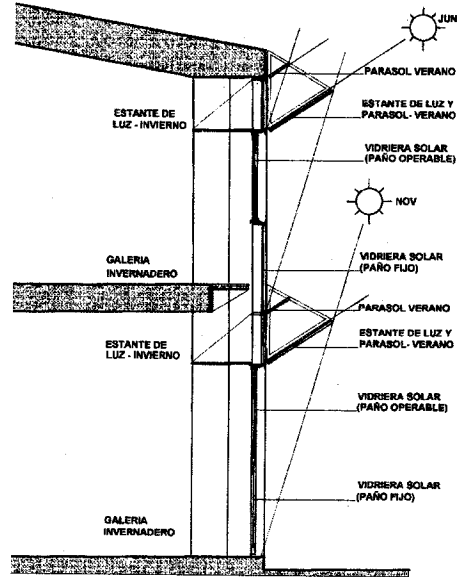
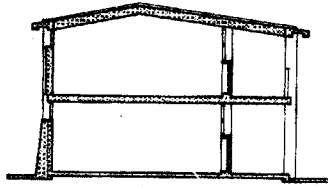


Figura 4. Situación de Referencia: Corte Típico.
Situación Mejorada: Corte Fachada Norte.

Resultados - Situación Mejorada

- *Coeficiente Neto de Pérdidas (CNP), no incluye pérdidas por la vidriera solar ; (W/°C): 2485,84.
- *Area colectora invernadero adosado (Ac) (m2): 197,86; Relación Carga / Colector (RCC) (W/°C m2): 12,56. Fracción de Ahorro solar (FAS) (%): 32,95.
- *Ganancias internas (Q int) (KW/ año): 17,252; calor auxiliar neto necesario (Q aux.net) (KW/año): 5794,96.
- *Consumo anual teórico necesario de gas natural (m3/año): 510,98; ahorros anuales respecto al total real consumido (m3): 2009, 38, (%): 79,72.

Simulación: Los resultados de la simulación térmica se presentan en la Figura 5., mostrando comparativamente la variación de la temperatura en un aula típica, en las situaciones de referencia y mejorada, para un día tipo de junio de cielo claro, sin aporte de calefacción y un día de diseño de invierno (90%) de cielo claro con aporte de calefacción.

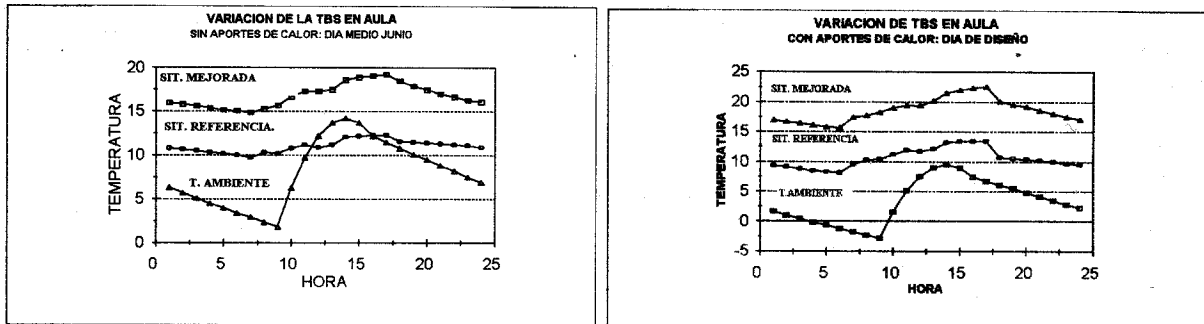


Figura 5. Simulación. Variación de la temperatura en aula típica en Situación de Referencia y Mejorada

ASPECTOS LUMINICO ENERGETICOS

Metodologías de Cálculos

Los cálculos de iluminación exterior, así como el cálculo de ahorros potenciales de energía para iluminación se han realizado con las siguientes técnicas:

- *Iluminación exterior : los valores fueron obtenidos con el programa ILUM [Pattini, 1994] y comprobados con una medición en la escuela analizada.
 - *Iluminación interior : el cálculo de la iluminación diurna (I) y del factor de luz diurna se realizaron con el modelo SUPERLITE [LBL - UCD, 1985] para ambas situaciones de referencia y mejorada para el día 21 de los meses de marzo, junio y noviembre respectivamente, sobre una grilla de 35 puntos que representa el plano de trabajo.
- Las simulaciones se corroboraron con una medición en un aula de la escuela.
- *Para el posterior análisis de los datos medidos y simulados se trazaron curvas de isolux en el interior del aula a la altura del plano de trabajo.
 - *Ahorros energéticos: la predicción de los potenciales ahorros de energía se obtuvieron con el método DUF [Robbins, 1986]

Resultados - Situación de Referencia

- *Iluminación exterior: marzo 12hs. Global 86.740 lux Difusa 12.670 lux; junio 12 hs. Global 55.600 lux Difusa 9.890 lux; noviembre 12hs. Global 105.220 lux Difusa 17.210 lux.
- *Iluminación interior promedio sobre plano de trabajo: marzo 269 lux ; junio 241 lux.
- *Valor requerido por la norma [IRAM, 1974] para aulas valor mínimo sobre plano de trabajo 500 lux.
- *Ahorros energéticos: Consumo de energía para iluminación : 687.3 KW/h x aula.
Horas de funcionamiento: 1790 horas anuales.
Potencia instalada para iluminación eléctrica : 9,57 W/m2.
Superficie del área analizada: 17,85 m2
- *Sistemas de iluminación en aulas: 2 pasos: todo apagado - todo encendido

Mejoras Propuestas:

- *Reflectancias interiores: aumento de la componente reflejada del interior en muros y techos con reflectancias de 0.68 y 0.80 respectivamente.
- *Estantes de luz y aleros. Se utiliza un estante " interior " horizontal (invernadero) para reflejar sobre el tema la iluminancia directa de los meses de invierno y un elemento exterior que cumple simultáneamente con las funciones de alero y estante de luz reflejando la iluminación directa de los meses de verano.

Resultados de Situación Mejorada

- *Iluminación natural interior sobre plano de trabajo: marzo 12 hs. 564 lux; junio 12 hs. 524 lux.; noviembre 12hs. 465 lux.
- *Ahorros potenciales de energía debido a uso de luz natural.
- *Consumos de energía para iluminación anual durante el período lectivo: 687 KW/h.
- *Consumos de energía para iluminación anual con utilización de luz natural : 432KW/h x aula.
- *Ahorros de energía debidos a iluminación natural : 255 KW/h x aula .

Simulación: Los resultados de la simulación lumínica se representan gráficamente en las Figuras 6 y 7 , comparando los niveles (en corte y planta) alcanzados en aulas los tres meses estudiados , para el día tipo de cada mes, para cielo claro, sin aporte de iluminación artificial, en las situaciones de referencia y mejorada.

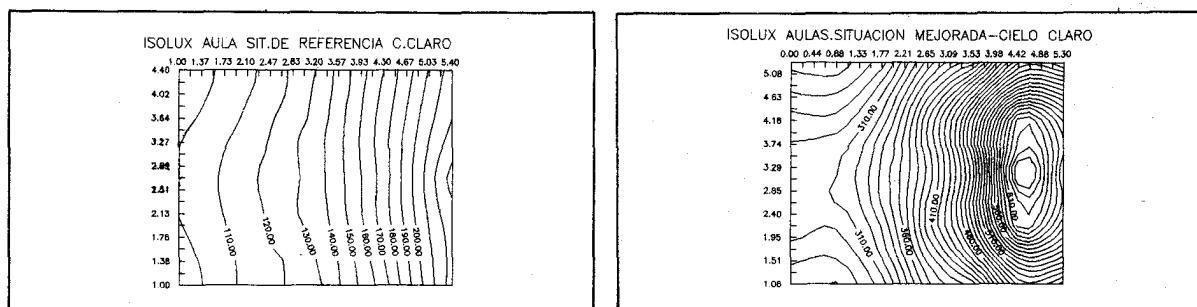


Figura 6. Curvas de Isolux en aulas. Situación de Referencia y Situación Mejorada.

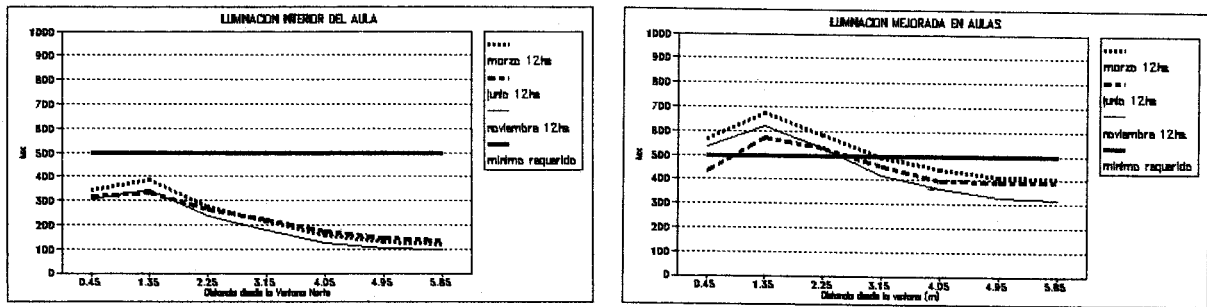


Figura 7. Distribución de iluminación sobre plano de trabajo en aulas. Situación de Referencia y Mejorada.

CONCLUSIONES

El caso estudiado pone en evidencia las limitaciones y posibilidades de un diseño típico de escuela primaria, que ha sido construido repetidamente en la provincia de Mendoza durante un período en que las condiciones de eficiencia energética para proporcionar confort termo-luminico no constitúan una preocupación mayor en los organismos estatales que las produjeron:

- *La tipología lineal con galerías abiertas, correctamente orientadas, posibilita el reciclaje de los edificios con sustanciales mejoras ambientales y energéticas, con modificaciones económicamente viables.
- *En los aspectos térmicos se detecta un importante déficit de confort que en lo operativo no se resuelve, ya que solamente el 62.5% de la demanda teórica, aún considerando las importantes ganancias internas en este tipo de edificios.
- *En el aspecto lumínico, la doble orientación de las ventanas de las aulas favorece la distribución del flujo luminoso aunque, debido al reducido tamaño de las aberturas al S, no se obtienen valores aceptables de intensidad ni homogeneidad. Esta falencia ha originado el hábito de mantener las luminarias de las aulas (8 tubos fluorescentes de 40 W en c/u) encendida durante todas las horas de uso de las mismas. En esta situación, los valores de iluminancia media medidos sobre el plano de trabajo el 21 de marzo al medio día solar, superaban el umbral mínimo exigido de 500 lux sobre el plano de trabajo.
- *Las mejoras propuestas se han limitado siempre "agregar" elementos: cielorrasos, vidriera, etc; sin desmontar ni reformar sustancialmente la construcción existente.
- *El estudio de la rentabilidad de las inversiones, está pendiente, como también una consistente campaña de mediciones térmicas y lumínicas durante una estación escolar completa, que permita corroborar los resultados de la simulación para la situación de referencia.

De lo expuesto surge como conclusión global que las mejoras sustanciales por la implementación de la propuesta, se producirán en los aspectos ambientales que llevarán los niveles medios de temperatura e iluminancia a los aceptados por las normas vigentes. En cuanto a los ahorros energéticos si bien puede hablarse de cifras importantes, su valor se relativiza, dado que el consumo real de calefacción es sólo el 62,57% del teórico necesario y contrariamente existe un notorio malgasto de energía para iluminación.

REFERENCIAS

1. BALCOMB, J.D. ET AL. *Passive Solar Design Handbook. Volume 3*, ASES Press, U.S.A 1982.
2. CANTON, A.; DE ROSA, C.; ESTEVES, A.; PATTINI, A. Y BASSO, M. *A sunspace Prototype Elementary Rural School for the Sub-Andean Region in Argentina* Proceedings - 2WREC Reading, 1992 pp 2156-2160.
3. CHANDRA, S. *A Design Procedure to Size Windows for Naturally Ventilated Rooms*. Proceedings - ASES 8th Passive Solar Conference, Glorieta, N.M. 1983. pp 105-110.
4. DIRECCION NACIONAL DE ARQUITECTURA EDUCACIONAL (DINAE) *Código Rector de Arquitectura Escolar*, Buenos Aires, 1972
5. FANGER, P.O. *Thermal Comfort*, Copenhagen, 1970.
6. INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES (IRAM) *Normas 11603, 11604 y 11605*. Buenos Aires, 1990.
7. INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES (IRAM) *Norma AADL J20-04*. Buenos Aires, 1974.
8. KOENISBERGER, O.H. ET AL. *Manual of tropical Housing and Building Climatic Design*. Longman Group Ltd. Londres. 1974.
9. LAWRENCE BERKELEY LABORATORY - UCB *Superlite 1.0*. Berkeley; 1985.
10. MATHEWS, EH ET AL. *Quick 3.0 A Thermal Design Tool and Load Calculation Program*. Pretoria. 1990
11. ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA (OLADE). *Energía en Cifras N° 6*, Quito 1994
12. PATTINI, A.; MERMET, A.; y DE ROSA, C. *A Predictive Exterior Illuminance Model for Clear Sky*. Proceedings del WREC 1994 p. 220-2203.
13. ROBBINS, CL. *The Daylight Utilization Fraction. Chapter 14. Daylighting - Design and Analysis*. New York, 1986.
14. SERRA, R. ET AL. *Instalaciones en Escuelas* Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares. Barcelona. 1976.