

DISEÑO DE VENTANAS UNILATERALES EN AULAS ESCOLARES DE TUCUMÁN

G. E. GONZALO¹, S. L. LEDESMA², G. QUIÑONES², G. MÁRQUEZ VEGA²
Centro de Estudios Energía y medio Ambiente - Instituto de Acondicionamiento Ambiental
Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán
Av. Roca 1900 - 4000 Tucumán – Argentina - Tel.+ .54.381.4364093
Email: ggonzalo@arnet.com.ar - ceema@herrera.unt.edu.ar
Web: <http://www.herrera.unt.edu.ar/fauunt/ceema/inicio.htm>

RESUMEN: Continuando con los estudios realizados por miembros del CEEMA, de las condiciones de iluminación natural de locales áulicos de escuelas de la Provincia de Tucumán y con el objeto de plantear soluciones adecuadas de diseño de los aventanamientos de aulas, se muestra en este trabajo los resultados alcanzados en el estudio comparativo del comportamiento lumínico, térmico y de ventilación natural de diferentes tipos de aventanamientos unilaterales para las situaciones de aulas prototípicas de la Provincia de Tucumán. Los estudios se realizaron a partir de mediciones con maqueta a escala en cielo artificial y con la aplicación de software de cálculo.

PALABRAS CLAVE: Iluminación, Asoleamiento, Confort térmico, Escuelas.

INTRODUCCIÓN

En el diseño de los edificios escolares y específicamente en aulas es de fundamental importancia considerar el diseño de los aventanamientos, ya que los mismos deben brindar niveles adecuados de iluminación natural, de manera tal de garantizar el confort visual a sus ocupantes, así como de favorecer el ahorro de energía eléctrica en iluminación artificial.

Una adecuada iluminación natural significa niveles aceptables de iluminación, que responda a los mínimos establecidos por Normas IRAM, así como la obstrucción de la radiación solar directa sobre los planos de trabajo de manera tal de evitar el deslumbramiento y, en un clima cálido como el de Tucumán, el sobrecalentamiento del aire interior. El aprovechamiento de la iluminación natural permitirá ahorrar energía y reducir la demanda de electricidad. (Nacional Best Practices Manual, 2005).

Si bien es recomendable el empleo de aventanamientos bilaterales en las aulas para garantizar una adecuada iluminación, tanto en cantidad como en distribución de la luz (Gonzalo G. E. et al, 2001), estudios realizados de los sistemas de aventanamientos empleados en nuestra provincia, demostraron que la iluminación unilateral es la que se usa frecuentemente, siendo desfavorable ya que no permite una correcta iluminación y adecuadas condiciones de habitabilidad en los locales áulicos. (Ledesma et al, 2003).

Este estudio tuvo como objetivo principal analizar la iluminación natural y el comportamiento térmico de situaciones de aventanamientos unilaterales en aulas de escuelas de la Provincia de Tucumán con el objeto de definir, a partir de las mismas, soluciones adecuadas de diseño, compartiendo la premisa que “el ambiente luminoso natural es un recurso vital para el bienestar dentro de las escuelas, debiéndose diseñar de modo que, tanto estudiantes como docentes puedan realizar sus tareas visuales de la manera efectiva, en un contexto psicológico y físico adecuado.” (Pattini y Kirschbaum, 1998).

METODOLOGÍA

Se trabajó a partir del diagnóstico de las situaciones más frecuentes de aventanamientos de las escuelas en la Provincia y con el relevamiento y análisis de las condiciones de diseño de las aulas de setecientas escuelas se pudo determinar las ubicaciones más frecuentes de sus aberturas.

A partir del diagnóstico de situación y de estudios previos realizados (Ledesma et al, 2005) (Gonzalo et al, 2005), se definieron los prototipos de análisis, los que respondieron básicamente a la premisa de optimizar las condiciones de iluminación en el interior.

Dichos prototipos fueron evaluados lumínicamente a partir de mediciones en modelos a escala empleando el Cielo Artificial (Gonzalo et al, 2000), térmicamente empleando los softwares Quick II (Tranfer of Energy Mass and Momentum, 1995) y CEEMAQT y desde el punto de vista de la ventilación natural con el software CEEMAVENT (Gonzalo, 2003).

¹ Profesor Titular, Director de los Seminarios y del Programa de Investigación CIUNT-PICTO, Socio ASADES-ISES.

² Docentes de los Seminarios e Investigadores del Proyecto de Investigación del CIUNT-PICTO, Socios ASADES.

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN

Mediante el análisis planimétrico de las escuelas de la provincia de Tucumán, las que suman un total de setecientos cuarenta y nueve y se distribuyen en diecisiete departamentos, se pudo determinar cuál es la situación más frecuente de iluminación natural en las aulas, según la ubicación de sus aventanamientos: unilateral, bilateral o mixto.

A partir de los resultados obtenidos puede concluirse que, en la totalidad de la Provincia, el 78% de las escuelas tienen iluminación unilateral o mixta, que resulta ser la condición menos recomendable, mientras que el 22% tiene iluminación bilateral. En San Miguel de Tucumán, donde las escuelas son de carácter urbano, el número de casos de iluminación unilateral y mixta es de 75% y el 25% tiene iluminación bilateral.

En el caso de las escuelas en los departamentos del interior de la provincia, donde la mayoría de ellas son de tipo rural y que por su condición disponen de terrenos amplios, por lo que se podría plantear iluminación bilateral, paradójicamente se observa que predomina la situación de iluminación unilateral, con valores promedios de 57 % y sólo el 21% de las escuelas posee iluminación bilateral.

A partir del relevamiento de las escuelas recientemente construidas y de entrevistas realizadas a funcionarios de los organismos encargados de la construcción de dichos edificios, pudo determinarse que la mayoría de las escuelas nuevas y las que se encuentran en construcción o en la etapa de proyecto, (aproximadamente 68 escuelas) plantean iluminación unilateral.

El diagnóstico realizado permitió verificar la hipótesis que, si bien la situación óptima y recomendable desde el punto de vista lumínico es la de iluminación bilateral, resulta de suma importancia, dado el alto porcentaje de escuelas con situación de iluminación unilateral, definir pautas y soluciones de diseño para la construcción y/o remodelación de aulas en las mencionadas condiciones de aventanamientos, con el objeto de mejorar sus situación lumínica.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Con el objeto de poder establecer soluciones de diseño de ventanas recomendables y apropiadas, teniendo como pautas, a la vez de garantizar adecuados niveles de iluminación, asegurar un adecuado comportamiento frente a la radiación solar, se definieron los modelos para su análisis.

El aula prototípica adoptada, de 6,70 m por 6,70 m, se definió a partir de considerar la superficie mínima requerida por alumno para un número máximo de treinta estudiantes establecidas en el Documento “Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar” (Ministerio de Cultura y Educación, 1997) y para la definición de las superficies vidriadas del prototipo se consideraron las superficies recomendadas en el mismo documento, que establece una relación máxima entre área vidriada y área de piso, en un 25 % para el Norte y Sur.

Manteniendo las dimensiones del local y planteando modificaciones en la superficie vidriada y sus protecciones, se definieron tres modelos de análisis que se orientaron hacia el Norte y Sur, teniendo en cuenta que fundamentalmente debe evitarse orientar las aulas hacia el Este y Oeste, por las conocidas dificultades que presentan las mismas para el control de la radiación solar. (ver figura 1).

MODELO 1: Se adoptó el tipo de ventana empleado en la actualidad en las nuevas construcciones de escuelas, la cual es de 1.40 m de altura y de 1.40 m de ancho, se plantearon cuatro ventanas, con el objeto de aproximar la superficie vidriada a los valores recomendados por las normativas vigentes, definiéndose de esta manera un total de 7.84 m² y un porcentaje de área vidriada sobre área piso de 17.46 %. Como obstrucción de la radiación solar, para la orientación Norte se planteó un alero horizontal corrido de 0,60 m de ancho, el cual evita el ingreso del sol en el período estival. Para la orientación Sur se ubicó la ventana en el borde interior de un marco cajón de 0.55 m de profundidad.

MODELO 2: Teniendo en cuenta la conveniencia de reforzar la iluminación natural con iluminación superior y bandejas de luz, se planteó el análisis de otro modelo en el cual se mantuvo la ventana de 1.40 por 1.40 m y se le sumaron cuatro aventanamientos superiores de 0,40 m de altura por 1,40 m de ancho. Se obtiene un total de superficie vidriada de 10.08 m², con un porcentaje de área vidriada sobre área piso de 22.45 %. Como obstrucción de la radiación solar, para la orientación Norte se planteó un alero horizontal corrido de 0,60 m de ancho y estantes interiores que refuerzan la iluminación natural en los sectores alejados a las ventanas a la vez de recibir la radiación solar en invierno.

Para la orientación Sur se ubicó la ventana en el borde interior de un marco cajón de 0.55 m de profundidad, tanto en ventanas inferiores como en las superiores, con lo que se obstruye el ingreso de la radiación solar en el verano.

MODELO 3: Para definir un modelo económico se diseñó el modelo 3, en el cual se mantuvo la ventana de 1.40 por 1.40 m, la que se dividió en dos partes, ventana inferior de 1,40 m de ancho por 1.00 m de altura y ventana superior de 1.40 m de ancho por 0.40 m de altura, ambos aventanamientos, se encuentran separados por un alero horizontal corrido de 0.45 m de ancho, que actúa como obstrucción a la radiación solar estival y se prolonga hacia el interior en un estante que actúa como bandeja de luz. Ambos forman una unidad con la ventana tipo, lo cual facilitaría su construcción y colocación. Se definió una superficie vidriada total de 7.56 m² y un porcentaje de área vidriada sobre área piso de 16.84 %.

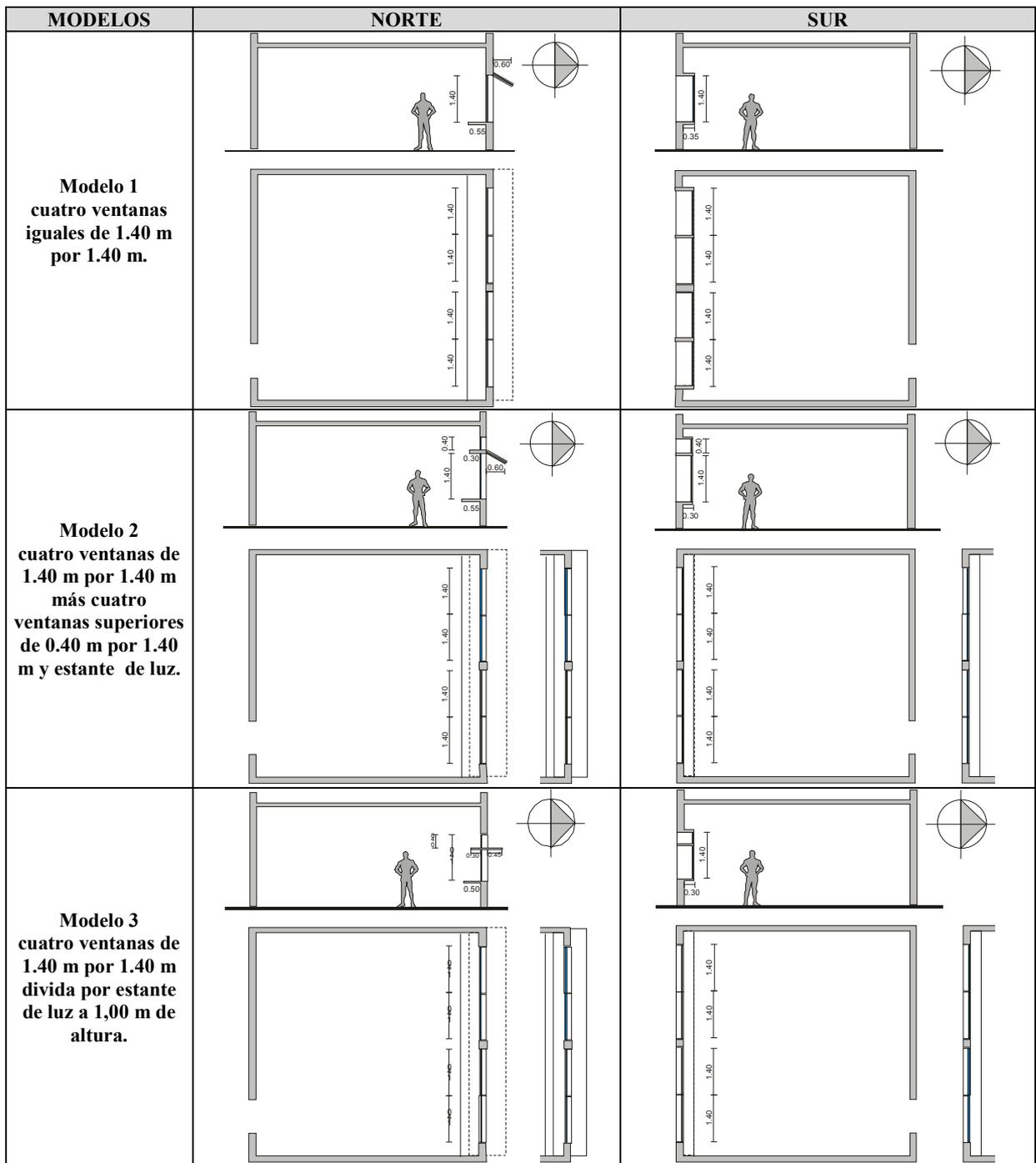


Figura 1: Situaciones de diseño analizadas para cada prototipo.

ESTUDIOS DE ASOLEAMIENTO

Entendiendo que resulta de fundamental importancia al verificar la eficiencia lumínica de una ventana considerar su comportamiento frente a la radiación solar, se trabajó con la premisa de obstruir con aleros externos la radiación estival y recibir en bandejas internas la radiación invernal, las cuales cumplen con triple función, evitar la incidencia de la mancha solar sobre los planos de trabajo, recibir la radiación solar en los meses de invierno y reforzar la iluminación natural en las zonas alejadas a las ventanas por reflexión de la luz. Las obstrucciones de los modelos se dimensionaron con el método de trayectoria solar en proyección cilíndrica desarrollada. (Figura 2).

A partir de los estudios, puede concluirse que sólo en los aventanamientos con orientación Norte es posible cumplir con la premisa de permitir el ingreso de la radiación solar al interior de las aulas en el período invernal.

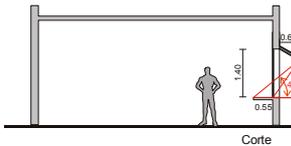
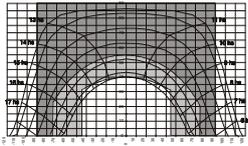
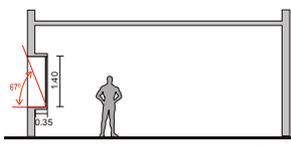
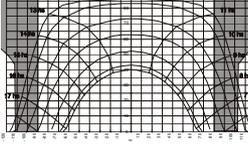
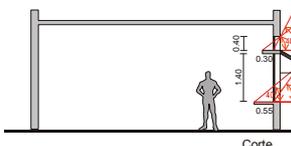
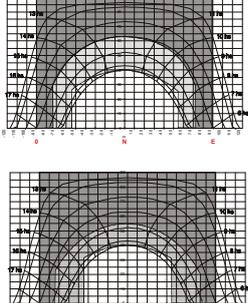
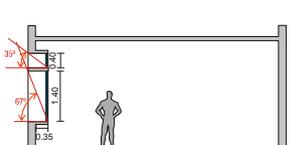
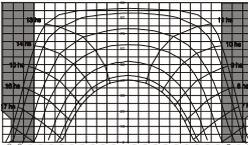
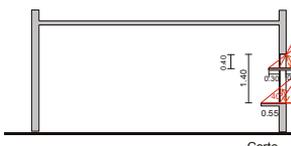
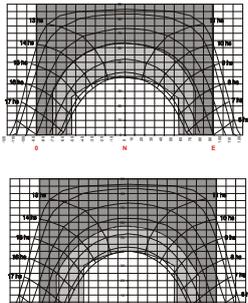
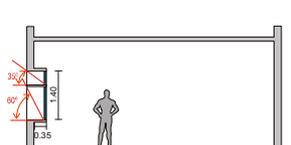
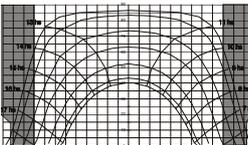
Modelo	Foto	Corte	Obstrucción solar	Observaciones
Modelo 1 Ventana de 1,40 x 1,40 Orientación Norte				Obstrucción solar total en interior de aula. Ingreso de radiación en invierno, sobre estante.
Modelo 1 Ventana de 1,40 x 1,40 Orientación Sur				Obstrucción solar total en interior de aula.
Modelo 2 Ventana de 1,40 x 1,40 ventana superior 1,40 x 0,40 m Orientación Norte				Obstrucción solar total en interior de aula. Ingreso de radiación en invierno, sobre estantes superior e inferior.
Modelo 2 Ventana de 1,40 x 1,40 ventana superior 1,40 x 0,40 m Orientación Sur				Obstrucción solar total en interior de aula.
Modelo 3 Ventana de 1,40 x 1,40 , con estante divisorio interior Orientación Norte				Obstrucción solar total en interior de aula. Ingreso de radiación en invierno, sobre estantes superior e inferior.
Modelo 3 Ventana de 1,40 x 1,40 , con estante divisorio interior Orientación Sur				Obstrucción solar total en interior de aula.

Figura N° 2 : Estudios de asoleamiento.

ESTUDIOS DE ILUMINACIÓN NATURAL

Los modelos fueron evaluados lumínicamente con mediciones en modelo a escala en el Cielo Celeste Artificial. Las mediciones se realizaron con un Luxímetro Lutron LX-101, en cuatro puntos ubicados perpendiculares a las paredes que contienen las ventanas analizadas y a 0.80 m sobre nivel de piso, altura representativa del plano de trabajo, figura N° 3. Las

superficies reflectantes del aula analizadas se definieron de colores claros (blanco) para muros y cielorraso, y oscuras (terracota) para el piso. Los resultados obtenidos en CLD (%) y en lux, considerando la iluminación exterior del mes de septiembre a las 8 y 16 hs se muestran en la figura N° 4. Finalmente fueron comparados con los valores mínimos establecidos por normas IRAM (Normas IRAM, 1969), y se destacaron los puntos que no verifican la misma.

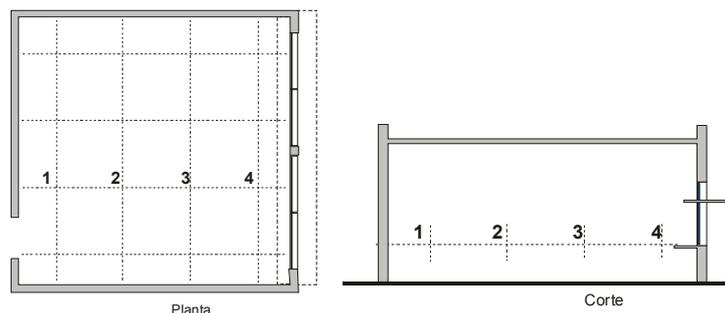


Figura N° 2: Grilla para mediciones en Cielo Celeste Artificial.

En el modelo 1, se observa que la orientación Norte presenta los valores bajos de iluminación natural, no obstante en el modelo 3, con una superficie vidriada idéntica al modelo 1, por la presencia de estantes de luz, se produce una mejora notable en los registros de CLD para la mencionada orientación, superando los registros del mismo modelo con orientación sur. En el modelo 2, con una superficie vidriada superior a los otros dos modelos, se observa claramente la manera en que el aventanamiento superior mejora considerablemente la iluminación natural en las zonas más alejadas de la ventana, presentando ambas orientaciones un comportamiento similar.

Si bien los modelos propuestos y analizados son ampliamente superadores a los existentes, sobre todo en relación a la superficie vidriada planteada en todos los casos, se observa que la situación más desfavorable, la presenta el modelo básico (modelo 1) y sobre todo el de orientación norte, que si bien respeta valores de superficie vidriada aconsejable, no garantiza una correcta iluminación interior.

EVALUACIÓN LUMÍNICA	MODELO 1				MODELO 2				MODELO 3			
	NORTE		SUR		NORTE		SUR		NORTE		SUR	
	(%)	lux	(%)	lux	(%)	lux	(%)	lux	(%)	lux	(%)	lux
Punto 1	7.0	1887	11.5	3100	10.7	2885	11.5	3100	8.2	2210	7.1	1914
Punto 2	3.2	862	4.8	1294	5.0	1348	5.2	1401	4.3	1159	3.5	943
Punto 3	1.9	512	2.7	728	3.3	890	3.4	917	2.7	728	2.2	593
Punto 4	1.6	431	2.1	566	2.7	728	2.9	782	1.9	512	1.9	512
C. Uniformidad	0.46		0.39		0.49		0.50		0.44		0.55	

Figura 4: Resultados de los estudios lumínicos para cada situación analizada.

COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y VENTILANTE

Los cálculos se realizaron para la situación de verano e invierno, tomando como modelo los sistemas constructivos utilizados habitualmente para la construcción de escuelas, pero adoptando como pauta para la transmitancia térmica el cumplimiento de los valores recomendados por normas IRAM para la zona bioclimática II b. Esto no siempre se cumple en las escuelas relevadas en esta zona, pero es cada vez extendida su utilización, sobre todo luego de las sugerencias establecidas por nuestro grupo en el libro Habitabilidad en edificios: propuestas de normas para Tucumán (Gonzalo G. E. et al., 2000). Las diferencias encontradas no son significativas (menores al 4,5%) y se aclara que para los cálculos no se tomaron en cuenta las cargas internas, que para esta función es la importante.

Para determinar los valores de ventilación natural se utilizó el software indicado anteriormente, basado en las fórmulas y metodología indicados en el libro Passive Cooling of Buildings (Santamouris M. y D. Asimakopoulos, 1996). Como lo expresan estos autores, la ventilación para el caso de ventanas unilaterales por efectos de vientos no es significativa, hecho que se agrava en el caso de Tucumán donde las velocidades de vientos son mínimas. A diferencia de los valores térmicos que son casi similares, para el caso de la ventilación obtenida únicamente por “efecto chimenea”, ya que se considera la puerta cerrada por la necesidad de contar con aislamiento acústico, encontramos una significativa diferencia entre el modelo 2, donde no solamente las ventanas son de mayor superficie, sino que la altura entre ambas ventanas es mayor.

Es así que tomando como base el software CEEMAVENT encontramos que para el modelo 2 un promedio para los meses de noviembre y diciembre de 61,23 m³/h frente a 42,04 m³/h del modelo 3 y 39,40 m³/h del modelo 1. Con estos valores podemos establecer que para la situación de verano tendremos una posibilidad de enfriamiento estructural mayor en un 35% para el modelo 2 en comparación al modelo 1 y del 32% entre el modelo 2 y el 3.

CONCLUSIONES

A partir de los estudios realizados se puede concluir que, con un correcto diseño de las superficies vidriadas y sus protecciones solares, es posible alcanzar adecuados niveles de iluminación natural para situaciones de aventanamientos unilaterales.

Se recomienda: evitar las orientaciones este y oeste, por la dificultad que presentan para obstruir el sol; disponer de ventanas superiores con estantes de luz, que dirijan por sucesivas reflexiones la radiación luminosa hacia los sectores alejados de las aulas; obstruir selectivamente la radiación solar directa, no permitiendo su incidencia sobre los planos de trabajo, pero permitiendo su ingreso a los locales en el período frío, para lograr una calefacción solar pasiva, para ello preferenciar la orientación norte, por ser la orientación óptima desde el punto de vista del asoleamiento;

Desde el punto de vista térmico no tiene mayor importancia la tipología de aventanamiento que se utilice, siendo relativamente sencillo controlar el ingreso de la radiación solar directa por plantearse las ventanas en la orientación norte o sur. Se aconseja de todos modos adoptar los valores de transmitancia térmica denominados “recomendados” por las Normas IRAM, ya que no tienen gran incidencia en los costos pero sí en el confort térmico de las aulas y en el ahorro energético. En cuanto a la ventilación, los valores obtenidos reflejan que es conveniente el modelo con mayor superficie de ventanas, ya que permite un buen intercambio de aire que puede llegar a disminuir la carga térmica aportada por las fuentes internas de calor, que en el caso de aulas escolares son las significativas.

AGRADECIMIENTOS

Los estudios se realizaron con el aporte parcial de fondos para la investigación por parte de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán, dentro de los proyectos: 1- “Tecnologías apropiadas y pautas de diseño para mejorar las condiciones de habitabilidad en viviendas y escuelas de Tucumán” y del proyecto BID 1728/OC-AR (2005-2008), ejecutando en conjunto con la Facultad de Ciencias Exactas, bajo la coordinación del Dr. Ing. Carlos Kirschbaum; 2- “Uso Racional y Nuevas Fuentes de Energía para edificios comerciales del sector terciario en Tucumán”, del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán CIUNT 26/B206 (2001 - 2005).

ABSTRACT

DESIGN OF UNILATERAL WINDOWS IN SCHOOL CLASSROOMS OF TUCUMÁN

Completing some studies developed by members of the CEEMA, of the conditions of daylighting in classrooms of schools of the County of Tucumán, and in order to outlining appropriate solutions of design of the windows of classrooms, it is shown in this work the results reached in the comparative study of the light, thermal behavior and natural ventilation of different types of unilateral windows for the situations of prototypical classrooms of Tucumán. The studies were carried out starting from mensurations with scale models in artificial sky and with the application of calculation software.

KEYWORDS: Daylighting, Solar protection, Thermal comfort, Schools.

REFERENCIAS

- Nacional Best Practices Manual “*Daylighting and Windows*”. Page 67. En www.rebuild.org. Acceso: 11-05- 2005.
- Gonzalo G. E., Ledesma S.L., Nota V., Márquez G. (2001) “*Evaluación comparativa del comportamiento lumínico y térmico de diferentes soluciones de aventanamientos para escuelas y oficinas de la provincia de Tucumán*”. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen: 5, páginas 05.13-05.18, 2001.
- S. Ledesma, G. Gonzalo, V. Nota, S. Cisterna, S. G. Márquez Vega, G. Quiñones (2003) “*Estudios ambientales en aulas de escuelas públicas en San Miguel de Tucumán*”. Revista AVERMA Vol. 7, N° 1, ISSN 0329-5184, pp. 05.19-05.24, octubre de 2003, Formosa.
- Pattini A. y Kirschbaum C. (1998) “*Evaluación subjetiva de aulas iluminadas con luz natural*”. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, pp. 03.63.
- S. L. Ledesma, G. E. Gonzalo M. S. Cisterna, G. Márquez Vega, G. Quiñones, V. M. Nota. (2005) “*Evaluación del ahorro energético en iluminación artificial en aulas de edificios escolares en Tucumán*” Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9, p.p. 05.19 a 05.24, ISSN 0329-5184.
- G. E. Gonzalo, S.L. Ledesma, V. M. Nota, M. S. Cisterna, G. Márquez Vega, G. Quiñones (2005) “*Aprovechamiento de la iluminación natural en edificios escolares en Tucumán*”. Arquitectura y Construcción N° 250, p.p. 28 a 32. Tucumán.
- Gonzalo G. E., Tortonese A., Ramos M. y Boldrini P. (2000). “*Diseño y construcción de un cielo artificial para el Instituto de Acondicionamiento Ambiental*”. AVERMA. Pág. 05.17-18, Código ISBN/ISSN: 0329-5184.
- QUICK II: *A passive thermal design tool and load calculation computer program*”, Tranfer of Energy Mass and Momentum, Sudáfrica, 1997.
- Gonzalo G. E. (colaboración V. M. Nota), (2003) “*Manual de Arquitectura Bioclimática*”, CP67, Buenos Aires. Ministerio de Cultura y Educación. (1997). *Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar*.
- Normas IRAM AADL J20-04 (1969). *Iluminación Natural en escuelas*.
- Gonzalo G. E., Ledesma S.L., V. M. Nota, C. F. Martinez, S. Cisterna, G. I. Quiñones y G. Márquez Vega. (2000) “*Habitabilidad en edificios*”, Santamarina, Tucumán, 2000. ISBN N° 987-43-2618-2.
- Santamouris M. y D. Asimakopoulos. (1996) “*Passive cooling of buildings*”. James & James Science Publishers. London.
- BID 1728/OC-AR (2005-2008). *Tecnologías para el hábitat, el aprovechamiento energético y el desarrollo productivo en áreas rurales*. PICTO UNT-ANPCYT 2004 N° 870. Directores: Dr. Ing. C. Kirschbaum, Dr. Arq. G. E. Gonzalo, Arqs. J. R. Negrete y R. Mellace e Ing. E. Galíndez.