

## **EVALUACION DEL AHORRO ENERGÉTICO EN ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN AULAS DE EDIFICIOS ESCOLARES EN TUCUMAN.**

S.L. Ledesma<sup>1</sup>, M.S. Cisterna<sup>2</sup>, G. Márquez Vega<sup>2</sup>, G. Quiñones<sup>2</sup>, V.M. Nota<sup>2</sup>, G.E. Gonzalo<sup>3</sup>.

Proyecto CIUNT 26/B204 CEEMA - Instituto de Acondicionamiento Ambiental - Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Universidad Nacional de Tucumán - Av. Roca 1900 - 4000 Tucumán - Argentina

Tel.+ .54.381.4364093 Email: ceema@herrera.unt.edu.ar - Web: <http://www.herrera.unt.edu.ar/fauunt/ceema/inicio.htm>

**RESUMEN:** el trabajo muestra los estudios sobre iluminación natural con diferentes propuestas de diseño de aventanamientos y el ahorro en energía eléctrica para iluminación artificial de aulas de escuelas en la Provincia de Tucumán. El estudio tuvo como objetivo proponer sistemas de aventanamiento para lograr un efectivo aprovechamiento de la iluminación natural, un adecuado control de la radiación solar así como cuantificar el consumo de energía en la situación actual de ventanas considerando los niveles de iluminación natural disponibles y modos de uso de la iluminación artificial. Se realizó similar estudio para la situación propuesta de aulas con ventanas y bandejas de luz. Del análisis de la situación actual se determinó un gasto en energía eléctrica para iluminar las aulas de \$ 2.076 anuales. Con la incorporación del sistema de aventanamiento propuesto dicho monto desciende a \$ 649 anuales, prácticamente un ahorro del 70%; dicho ahorro podría llegar al 90% si se realiza un control para el encendido de las lámparas. El trabajo permitió cuantificar el posible ahorro en energía eléctrica en caso de implementarse un diseño adecuado de ventanas que posibilite el aprovechamiento de la iluminación natural, el control del intercambio térmico en superficies transparentes y alcanzar el confort visual de los ocupantes.

**Palabras clave:** Arquitectura – escuelas – energía – iluminación.

### **INTRODUCCIÓN**

En el diseño de 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 en el interior, de manera tal de garantizar el confort visual a sus ocupantes, así como favorecer el ahorro de energía eléctrica en iluminación artificial. El confort visual tiene fundamental importancia al analizar los parámetros de confort en los ambientes. En estudios realizados sobre el rendimiento escolar, se pudo determinar que, los estudiantes que concurren a escuelas con aulas con mayor iluminación natural tienen un rendimiento superior, en el orden de un 20% (Loisos G., 1999).

Para la mayoría de los edificios escolares, las luces eléctricas representan el mayor consumo de energía, lo cual se demuestra en estudios realizados en California, en donde aproximadamente el 40% del uso energético en las escuelas se puede atribuir simplemente a la iluminación eléctrica (Daylighting and Windows, 2005). Por otra parte estudios realizados demuestran que el uso de la iluminación natural puede permitir una reducción entre un 20% y un 60% en la demanda energética pico para iluminación (Nadel 2000, Brown and Koomey 2002).

Para que los sistemas de aventanamientos sean eficientes, deben controlar el ingreso de radiación solar al interior para evitar el deslumbramiento y, en un clima cálido como el de Tucumán, el sobrecalentamiento del aire interior. Estudios realizados de los sistemas de aventanamientos empleados en las escuelas de nuestra provincia, demostraron que las ventanas sin control solar o con control solar de tipo “todo o nada” (celosías, cortinas de enrollar, etc.), son las más frecuentemente empleadas, siendo las mencionadas soluciones altamente desfavorables, ya que no responden a las premisas básicas de garantizar adecuadas condiciones lumínicas y de asoleamiento (Ledesma S.L. et al., 2003). Si bien en la actualidad se cuenta con complejas tecnologías de vidriados especiales que permiten un adecuado control del ingreso solar a la vez de favorecer la distribución de la luz natural, éstas son inaplicables en nuestro contexto, considerando la situación económica de nuestro país, por lo que es recomendable adoptar sistemas simples, preferentemente de fácil manejo.

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

A partir del relevamiento y diagnóstico de las condiciones de iluminación de aulas escolares de Tucumán, se pudo determinar que en el 90% de los casos estudiados, no se cumplen con las condiciones mínimas de iluminación establecidas según Normas IRAM para aulas de escuelas (IRAM ADDL J20-04, 1969); que en el interior de las mismas se producen problemas de deslumbramiento debido al ingreso de la mancha solar, la inadecuada distribución de la iluminación, falta de uniformidad, excesivos contrastes, etc., lo que genera condiciones de inconfort visual y en la mayoría de los casos, se debe recurrir al uso permanente de iluminación artificial con los consiguientes gastos energéticos. (Gonzalo et al. 2003).

Posteriormente se realizaron estudios de parasoles utilizados con mayor frecuencia en las ventanas de escuelas de Tucumán que permitieron establecer los niveles porcentuales de obstrucción de la radiación solar a lo largo del año. A efectos de verificar su influencia en el comportamiento lumínico del aula, se determinaron los niveles de iluminación natural para las diferentes situaciones. Con los resultados obtenidos se definieron las protecciones solares más recomendables de aplicar en las ventanas de aulas, información de gran importancia para la situación climática de Tucumán (clima cálido húmedo), en donde resulta fundamental minimizar el intercambio de calor a través de superficies vidriadas. (Ledesma et al. 2004).

<sup>1</sup>Profesora Adjunta, Directora de Proyecto de Investigación del CIUNT. <sup>2</sup>Docente de Seminarios e Investigador de Proyecto de Investigación CIUNT. <sup>3</sup>Profesor Titular, Director de los Seminarios y del Programa de Investigación CIUNT.

Asimismo, se analizaron desde el punto de vista lumínico, locales con diferentes situaciones de aventanamientos con estantes de luz, a partir de los cuales se pudo establecer el mejoramiento de las condiciones de iluminación interior, principalmente si los mismos se encuentran orientados hacia el Norte, ya que la incorporación de estos dispositivos permite el control de la radiación solar incidente y una mejor distribución de la iluminación interior. Se pudo cuantificar además, los beneficios de la iluminación bilateral en relación con la unilateral. (Ledesma et al, 2001).

Los sistemas de aventanamientos propuestos respondieron a pautas básicas, determinadas a partir de los estudios previos, como ser: evitar la ubicación de ventanas en las orientaciones Este y Oeste, distribuirlas en paredes opuestas para permitir la iluminación bilateral, utilizar protecciones solares que permitan la obstrucción total de la radiación solar incidente, incorporar estantes de luz los cuales favorecen la obstrucción de la radiación solar y benefician la distribución de la iluminación natural. Utilizar ventanas superiores para mejorar la iluminación natural interior ya que permiten: el ingreso de luz hacia la parte más profunda del local, el aporte de iluminación desde un sector más luminoso de la bóveda celeste y una menor posibilidad de obstrucción por elementos exteriores.

Los prototipos planteados fueron desarrollados respondiendo a situaciones tipológicas que se verifican con mayor frecuencia en los establecimientos escolares. Las dimensiones del aula corresponden a la superficie mínima requerida por alumno para un número máximo de treinta estudiantes, establecida en el documento “Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar”. La superficie de ventanas se determinó según lo indicado en el documento antes mencionado, que recomienda una relación máxima entre área vidriada y área de piso de un 25% en locales al Norte o Sur. El prototipo fue evaluado desde el punto de vista lumínico y de asoleamiento bajo diferentes situaciones de orientación y diseño de aventanamientos, los cuales se muestran en la figura 1.

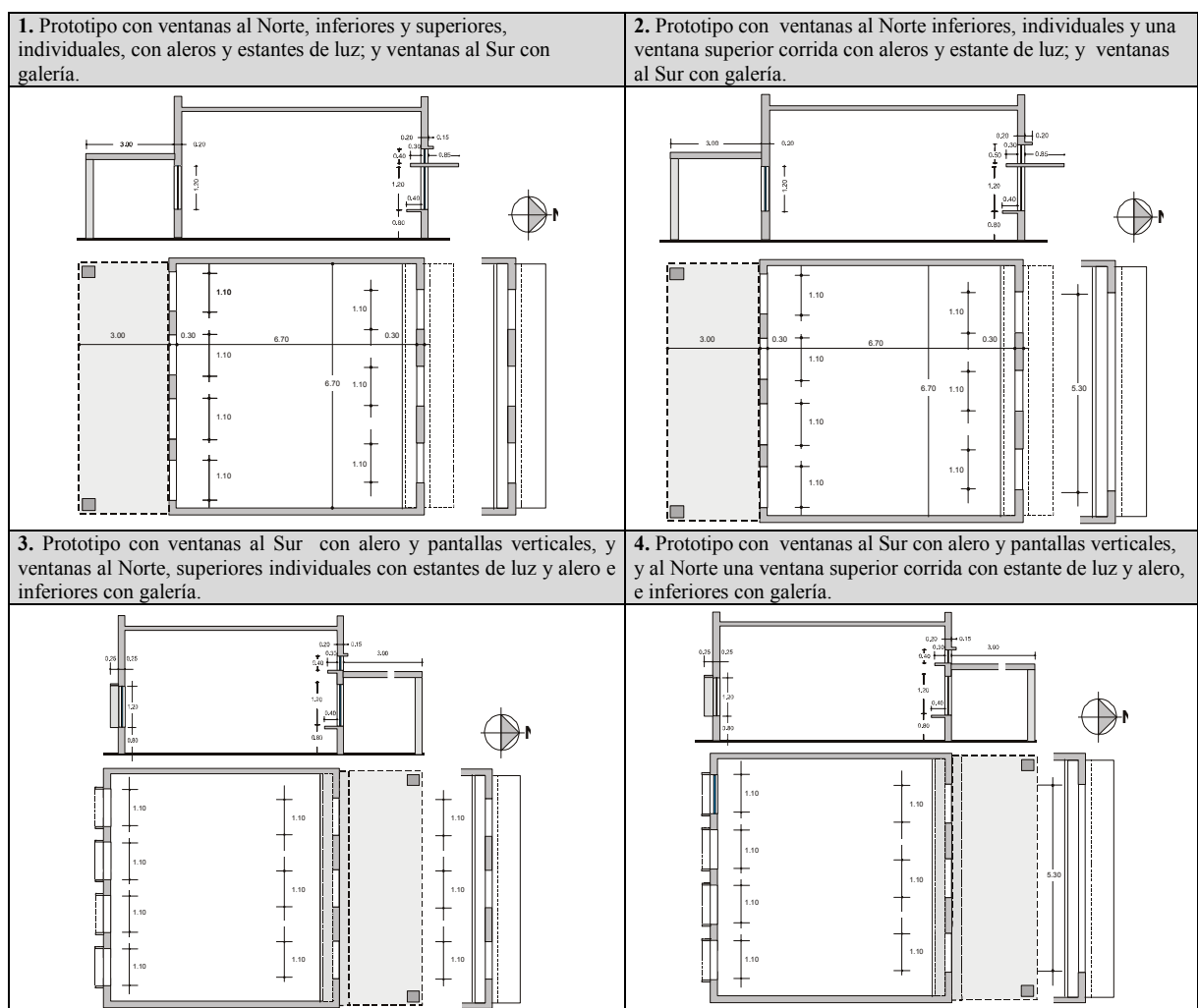


Figura 1: Situaciones de diseño analizadas para el prototipo.

Para evaluar el comportamiento lumínico de los prototipos analizados se determinaron los niveles de iluminación natural interior para lo cual se realizaron mediciones en modelos construidos en escala 1:10 en el cielo celeste artificial. Se determinaron 4 puntos de medición alineados en forma perpendicular a las paredes que contienen las ventanas. Se registraron con un luxímetro los niveles de iluminación a la altura del plano de trabajo (0,80 m). Los resultados se muestran en la tabla N° 1.



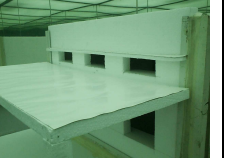
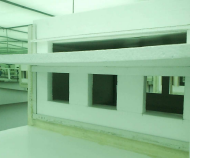


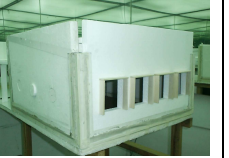

CASOS		PROTOTIPO 1	PROTOTIPO 2	PROTOTIPO 3	PROTOTIPO 4
Fotos frente norte de cada prototipo.					
Fotos frente sur de cada prototipo.					
Evaluación lumínica (%)	Punto 1	5.0	5.4	7.8	7.9
	Punto 2	3.7	4.4	3.9	4.4
	Punto 3	3.8	4.3	3.8	4.5
	Punto 4	6.1	5.6	5.4	5.4
	Promedio	4.65	4.9	5.2	5.5
	Uniform.	0.8	0.8	0.7	0.8
Obstrucción solar		100 %	100 %	100 %	100 %

Tabla N° 1: Resultados de los estudios lumínicos y de soleamiento para cada situación analizada.

A partir de los resultados obtenidos se pudo observar que la propuesta analizada supera ampliamente las pautas establecidas y las consideraciones a tener en cuenta en la situación climática de nuestra localidad ya que:

- En todas las situaciones de análisis los valores de CLD superan a los indicados en Normas IRAM, en cada punto de medición, siendo el valor promedio en el orden de un 5% en todos los casos. Este diseño permitiría superar las condiciones de iluminación que actualmente presentan las aulas de escuelas ya que, como se pudo observar en el relevamiento y diagnóstico lumínico, en la mayoría de ellas no se cumplen con los valores normados de CLD.
- En ninguno de los prototipos se verifica el ingreso de radiación solar a través de las ventanas, lo que evita que se produzca deslumbramiento por la presencia de mancha solar sobre el plano de trabajo.
- La incorporación de bandejas de luz mejora notablemente la distribución de la iluminación natural, ya que no se producen diferencias significativas en los niveles de iluminación interior en los distintos puntos de medición, lo que indica que no se generan sectores muy iluminados y sectores poco iluminados. Esto se puede verificar a partir de los valores de uniformidad, que en la mayoría de los casos es de 0,8.
- La incorporación de bandejas ubicadas al Norte, garantiza la captación de la radiación solar y la calefacción pasiva del local en los meses fríos. La radiación directa ingresa al interior del aula a través de las ventanas superiores e incide sobre la superficie de la bandeja, que es la encargada de transmitir el calor acumulado a la vez de impedir la presencia de la mancha solar sobre los planos de trabajo.


#### DETERMINACIÓN DEL AHORRO DE ENERGÍA


Con el objetivo de cuantificar las mejoras que se alcanzarían en el consumo de energía eléctrica con la implementación del prototipo de aventanamiento propuesto, se tomó como ejemplo de estudio la escuela Capitán de los Andes de la provincia de Tucumán. El estudio consistió en la comparación entre el consumo energético empleado actualmente para la iluminación artificial y el probable consumo energético en el caso de implementar en las aulas el sistema de aventanamiento diseñado.

La mencionada escuela fue seleccionada por presentar un partido de diseño tipológicamente frecuente en la provincia, con organización de aulas en hileras de una sola fila, con galería hacia uno de los lados e iluminación bilateral (ver figura 2). La misma, a pesar de contar con aventanamiento bilateral y ventanas superiores en uno de sus lados, presenta niveles de iluminación natural muy por debajo de los establecidos por Normas IRAM y registra un CLD promedio de 0,6% (S. Ledesma et al. 2003) por lo que el uso de iluminación artificial es prácticamente permanente durante todo el año. La incorporación de las ventanas diseñadas modifica notablemente las condiciones de iluminación natural, calculándose para la situación propuesta un CLD promedio 5%. A partir de los mencionados niveles de iluminación natural en el interior durante los meses y horas del año lectivo (ver tablas N°2 y 3), se determinó la cantidad de luz artificial necesaria de aportar en ambas situaciones, para alcanzar la condición de iluminación de trescientos luxes, considerado el nivel adecuado (ver tabla N°4 y 5).

NIVELES DE ILUMINACIÓN NATURAL EN EL AULA EN LUX (0,6 CLD)											
	7 hs	8 hs	9 hs	10 hs	11 hs	12 hs	13 hs	14 hs	15 hs	16 hs	17 hs
marzo	54,5	152,2	238,2	314,3	373,4	228,0	373,4	314,3	238,2	152,2	54,5
abril	24,1	94,4	173,3	262,4	313,5	348,1	313,5	262,4	173,3	94,4	24,1
mayo	10,8	64,4	127,9	220,8	264,0	298,1	264,0	220,8	127,9	64,4	10,8
junio	6,5	44,6	112,3	198,2	243,3	269,5	243,3	198,2	112,3	44,6	6,5
julio	19,2	71,3	134,2	227,5	269,3	303,2	269,3	227,5	134,2	71,3	19,2
agosto	44,3	104,9	181,4	268,2	316,8	351,0	316,8	268,2	181,4	104,9	44,3
septiembre	80,6	161,8	243,8	318,1	375,6	409,2	375,6	318,1	243,8	161,8	80,6
octubre	116,3	208,4	290,9	362,5	414,5	437,4	414,5	362,5	290,9	208,4	116,3
noviembre	149,9	242,7	325,8	392,0	435,6	449,4	435,6	392,0	325,8	242,7	149,9
diciembre	169,2	264,6	348,6	413,4	454,8	468,6	454,8	413,4	348,6	264,6	169,2

Iluminación Natural

 Situación 1: Entre 150 y 500 lux.

 Situación 2: Entre 75 y 150 lux.


 Situación 3: Inferiores a 75 lux

Tabla N° 2: Niveles de Iluminación natural (Lux) en aula estudiada.

**Situación 1:** 6 lámparas en uso para complementar la iluminación natural cuando ésta se encuentra entre 150 y 500 lux.

**Situación 2:** 9 lámparas en uso para complementar la iluminación natural cuando ésta se encuentra entre 75 y 150 lux.

**Situación 3:** 12 lámparas en uso para complementar la iluminación natural cuando ésta se encuentra en niveles inferiores a 75 lux. Se determinaron tres situaciones de iluminación del local, en función de los niveles de iluminación exterior:

A través del método de cavidades zonales adaptado (AA II FAU-UNT 2005), se calculó el número de luminarias necesarias para las tres situaciones de iluminación determinadas. Las luminarias se definieron considerando que las mismas se encuentran embudidas en el cielorraso y que el aula cuenta con piso oscuro, cielorraso y paredes claras. Además se consideró el uso de lámparas fluorescentes Standard, de 2850 lm, L: 121mm.

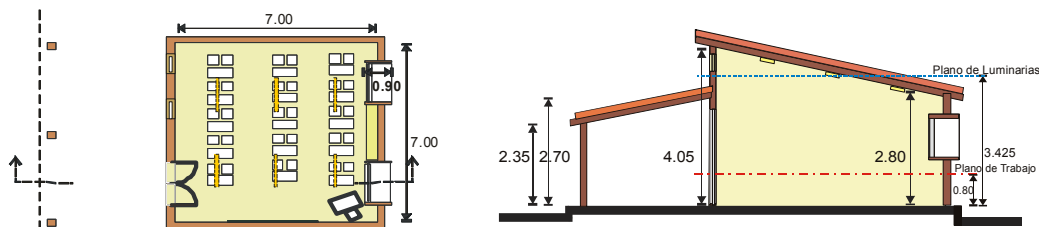


Figura 2: Planta y Corte de aulas analizadas

A partir de las necesidades de iluminación artificial determinadas, se realizó la evaluación del consumo energético de la situación actual. Para el mencionado estudio de consumo energético se consideró la instalación de 12 lámparas Fluorescentes de 36W cada una para una superficie a iluminar de 49 m<sup>2</sup> y los niveles de iluminación artificial aportados son de 150, 225 y 300 lux correspondientes a las situaciones 1, 2 y 3 respectivamente. El método de cálculo se basó en considerar costo de energía, costo de reposición de lámparas y costo de mantenimiento de la instalación. (Assaf. 1997).

Se determinó el tiempo de funcionamiento de las luminarias en horas por año, considerando que el aula se utiliza de 7,00 a 19,00 h durante 20 días al mes, en el periodo lectivo, desde marzo hasta mediados de diciembre, excluyendo la mitad del mes de julio por el receso invernal. El tiempo total de funcionamiento de las luminarias es de 2340 horas al año.

Con el objeto de cuantificar la incidencia que tendría el uso racional de la iluminación artificial, se consideraron dos situaciones de uso diferentes: 1- Sin control de uso: ésta situación, que es la más frecuente en el uso de edificios públicos, plantea el encendido de la totalidad de las luces al inicio de la jornada y el apagado de las mismas al concluir el día. 2- Con control de uso: esta situación plantea la regulación del encendido de las luces en función de la disponibilidad de iluminación natural interior. A partir de ello se estableció la cantidad de horas de encendido de las lámparas según las tres situaciones antes descriptas. (ver tablas N°6 y 7).

Situaciones de iluminación natural en el aula.													
Mes / Horas	7 hs	8 hs	9 hs	10 hs	11 hs	12 hs	13 hs	14 hs	15 hs	16 hs	17 hs	18 hs	19 hs
marzo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
abril	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
mayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
junio	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
julio	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
agosto	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
septiembre	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
octubre	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
noviembre	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
diciembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tiempo de utilización de lámparas:  
 1- 6 lámparas: 130 hs.  
 2- 9 lámparas: 780 hs.  
 3- 12 lámparas: 1430 hs.

Tabla N°6: Rangos de iluminación interior para el aula actual, sin control de luces.

Mes / Horas	7 hs	8 hs	9 hs	10 hs	11 hs	12 hs	13 hs	14 hs	15 hs	16 hs	17 hs	18 hs	19 hs
marzo	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3
abril	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3
mayo	3	3	2	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3
junio	3	3	2	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3
julio	3	3	2	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3
agosto	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3
septiembre	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3
octubre	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3
noviembre	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3
diciembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3

Tiempo de utilización de lámparas:  
 1- 6 lámparas: 1360 h  
 2- 9 lámparas: 300 h  
 3- 12 lámparas: 680 h

Tabla N° 7: Rangos de iluminación interior para el aula actual, con control de luces.

Similar estudio se realizó considerando la incorporación del sistema de aventanamiento propuesto en el aula de análisis. Se determinaron, en primera instancia, los niveles de iluminación interior que se alcanzarían con los nuevos aventanamientos, estableciéndose un CLD promedio de 5%, por lo cual los niveles de iluminación interior varían considerablemente, como puede observarse en la tabla N° 8, y las necesidades de aporte de iluminación artificial se reducen notablemente, determinándose para este caso cuatro situaciones diferentes de requerimiento de aporte de iluminación artificial:

**Situación 0:** ninguna lámpara en niveles de iluminación natural mayores a 300 lux.


**Situación 1:** 6 lámparas en uso para complementar la iluminación natural cuando ésta se encuentra entre 150 y 300 lux.


**Situación 2:** 9 lámparas en uso para complementar la iluminación natural cuando ésta se encuentra entre 75 y 150 lux.


**Situación 3:** 12 lámparas en uso para complementar la iluminación natural con niveles inferiores a 75 lux.

NIVELES DE ILUMINACION NATURAL EN EL AULA EN LUX (CON BANDEJAS)											
	7 hs	8 hs	9 hs	10 hs	11hs	12 hs	13 hs	14 hs	15 hs	16 hs	17 hs
marzo	480,98	1344,1	2104	2776	3298	2014	3298	2776,1	2104	1344	481
abril	213,06	833,69	1530	2318	2770	3075	2770	2318	1530	833,7	213,1
mayo	95,4	568,43	1130	1951	2332	2633	2332	1950,7	1130	568,4	95,4
junio	57,24	394,32	992	1751	2149	2380	2149	1751,1	992,2	394,3	57,24
julio	169,6	629,64	1185	2009	2379	2679	2379	2009,2	1185	629,6	169,6
agosto	391,14	926,71	1602	2369	2799	3101	2799	2369,3	1602	926,7	391,1
septiembre	711,53	1428,9	2153	2810	3318	3615	3318	2809,5	2153	1429	711,5
octubre	1027,1	1841,2	2570	3202	3662	3864	3662	3202,3	2570	1841	1027
noviembre	1324,2	2143,8	2877	3463	3848	3970	3848	3463	2877	2144	1324
diciembre	1494,6	2337,3	3079	3652	4017	4139	4017	3651,7	3079	2337	1495

Niveles de Iluminación Natural

 **Situación 0:** Superiores a 300 lux.

 **Situación 1:** Entre 150 y 300 lux.

 **Situación 2:** Entre 75 y 150 lux


 **Situación 3:** Inferiores a 75 lux

Tabla N° 8: Niveles de Iluminación Natural en el aula propuesta, con CLD promedio de 5.3%

Con el mismo criterio adoptado en el estudio de la situación actual, se analizaron dos criterios de uso diferentes, sin control y con control de uso, estableciéndose la cantidad de horas de encendido de las lámparas según las cuatro situaciones antes descriptas (ver tablas N° 9 y 10).

Situaciones de Iluminación Natural en aula con bandejas.													
Mes/Hora	7 hs	8 hs	9 hs	10 hs	11hs	12 hs	13 hs	14 hs	15 hs	16 hs	17 hs	18 hs	19 hs
marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abril	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
mayo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
junio	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
julio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
septiembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
octubre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
noviembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tiempo de utilización de lámparas:  
 0 lámparas: 1430 h  
 6 lámparas: 390 h  
 9 lámparas: 260 h  
 12 lámparas: 260 h

Tabla N° 9: Rangos de iluminación interior para el aula propuesta, sin control de luces.

Situaciones de Iluminación Natural en aula con bandejas.													
Mes/Hora	7 hs	8 hs	9 hs	10 hs	11hs	12 hs	13 hs	14 hs	15 hs	16 hs	17 hs	18 hs	19 hs
marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abril	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
mayo	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
junio	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3
julio	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
septiembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
octubre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
noviembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tiempo de utilización de lámparas:  
 0 lámparas: 2.060 hs.  
 6 lámparas: 120 hs.  
 9 lámparas: 80 hs.  
 12 lámparas: 80 hs.

Tabla N° 10: Rangos de iluminación interior para el aula propuesta, con control de luces.

Sobre la base del tiempo de utilización de lámparas, se calculó el costo de la energía necesaria para la iluminación artificial de cada caso mencionado, considerando los gastos en energía eléctrica, mantenimiento y reposición de la instalación. Los resultados alcanzados se muestran en tablas N° 11 y 12.

Situación actual de aulas							
Sin control de Luces				Con control de Luces			
Situación analizada	Energía	Reposición + Mantenimiento	Total	Situación analizada	Energía	Reposición + Mantenimiento	Total
6 lámp.	130hs.	\$ 5,90	\$ 35,80	1360hs.	\$ 61,65	\$ 35,90	\$97,55
9 lámp.	780hs.	\$ 53,16	\$ 19,50	300hs.	\$ 20,40	\$ 7,50	\$ 28,00
12 lámp.	1430hs.	\$129,70	\$ 37,00	680hs.	\$61,65	\$ 5,80	\$ 67,45
			<b>\$281.00</b>				<b>\$193.00</b>

Tabla N° 11: resumen de costos de la situación actual para un aula.

Situación propuesta de aulas							
Sin control de Luces				Con control de Luces			
Situación analizada	Energía	Reposición + Mantenimiento	Total	Situación analizada	Energía	Reposición + Mantenimiento	Total
6 lámp.	390hs.	\$ 17,70	\$ 15,40	120hs.	\$ 5,60	\$ 12,65	\$18,25
9 lámp.	260hs.	\$ 17,70	\$ 15,40	80hs.	\$ 5,60	\$ 12,65	\$18,25
12 lámp.	260hs.	\$23,60	\$ 16,90	80hs.	\$7,20	\$ 13,10	\$20,30
			<b>\$ 106.60</b>				<b>\$56.80</b>

Tabla N° 12: Resumen de costos de la situación propuesta para un aula.

Finalmente se compararon las situaciones estudiadas considerando el consumo de once aulas, que conforman el sector aulas de la escuela Capitán de los Andes. Los resultados se muestran en tabla N° 13.

Situaciones analizadas		Situación Actual		Situación Propuesta	
		Sin control de Luces	Con control de Luces	Sin control de Luces	Con control de Luces
Gasto en energía eléctrica anual por el sector aulas.	Costo	\$ 2.076	\$ 1.580	\$ 649	\$ 202
	Ahorro	0 %	23.9 %	68.8 %	90.3 %
Gasto anual en energía, reposición y mantenimiento, del sector aulas.	Costo	\$ 3.091	2.123	\$ 1.172	\$ 624
	Ahorro	0 %	31.3 %	62.1 %	79.8 %

Tabla N° 13: Resumen de ahorros en energía eléctrica de las situaciones estudiadas.

## CONCLUSIONES

Los estudios realizados permitieron establecer la importancia del ahorro energético logrado con la implementación de la propuesta planteada.

Si se analiza la propuesta considerando que las luces funcionan sin ser controladas, el gasto energético final por año disminuye el 68.8%, lo que significa un ahorro anual en la iluminación artificial de las aulas de \$ 1.919, empleado en la energía para la iluminación artificial del sector aulas de la escuela. Si además se racionaliza el uso de la iluminación artificial, mediante la concientización de los usuarios con el fin de lograr que las luces funcionen controladamente, el gasto energético final por año disminuye el 90.3%, lo que significa un ahorro anual de \$1.800; aproximadamente. Estos valores de ahorro disminuyen al 62,1% y 79,8% respectivamente si consideramos el gasto total en energía, mantenimiento y reposición de lámparas. Considerando una vida útil del edificio de cuarenta años el ahorro sería \$ 98.648, suma importante que podría ser destinada a fines tales como mejoras edilicias, renovación de mobiliario, compra de materiales, becas para alumnos, etc.

El estudio pormenorizado del comportamiento lumínico y de asoleamiento de los sistemas propuestos, permitió verificar que es posible el planteo de soluciones de aventanamientos que respondan a las condicionantes lumínicas, térmicas y de asoleamiento en nuestra situación climática. Además, el análisis del comportamiento del consumo energético del sistema propuesto, permitió demostrar los grandes beneficios energéticos posibles de alcanzar, aspecto fundamental a tener en cuenta, por un lado al considerar la crisis energética actual y el posible agotamiento de los recursos naturales y por otro al considerar el ahorro económico que trae aparejado un diseño que contemple el correcto aprovechamiento de la iluminación natural. Es necesario destacar que el adecuado diseño de las superficies vidriadas no solo brindará beneficios económicos, sino también una mejor calidad de vida y menor deterioro del medio ambiente.

**ABSTRACT:** the work shows the studies of daylighting with different proposals of design of windows and the saving in electric power for artificial illumination of classrooms of schools in the County of Tucumán. The study had as objective to propose systems of windows to achieve an effective use of the natural illumination, an appropriate control of the solar radiation, as well as to quantify the energy consumption in the current situation of windows whereas clause the available levels of natural illumination and the ways of use of the artificial illumination. They were carried out similar studies for the proposed situation of classrooms with windows and with light shelves. Of the current analysis of the situation an expense was determined in electric power to illuminate the classrooms of \$2.076 annual. With the incorporation of the system of windows proposed this amount descends to \$649 annual, practically a saving of 70%; this saving could arrive to 90% if is carried out a control for the ignition of the lamps. The comparison of the consumption of both situations allowed to quantify the possible saving in electric power in the event of to be implemented an appropriate design of windows that facilitates the use of daylighting, the control of the thermal exchange in transparent surfaces and to reach the visual comfort of the occupants. **Password:** Architecture - schools - energy - illumination.

## REFERENCIAS

- Assaf L. Seminario sobre Ahorros energéticos en iluminación artificial, Postgrado Auditoria Energética, 1997-FAU-UNT. Criterios y Normativas Básicas de Arquitectura Escolar. 1998.
- CD Acondicionamiento Ambiental II, Instalaciones y Acondicionamientos – FAU – UNT. Edición 2005 - Versión 4.0
- Daylight 4.1 (1991) Copyright Anglia Polytechnic.
- Gonzalo G., Ledesma S.L., Nota V.M., Márquez G. (2002). “Daylighting and thermal evaluation of windows for schools and offices of the county of Tucumán” The World Renewable Energy Congress VII, Cologne, Germany.
- Gonzalo G., Ledesma S.L., Nota V.M., Márquez G. (2001). “Evaluación comparativa del comportamiento lumínico y térmico de diferentes soluciones de aventanamientos para escuelas y oficinas de la provincia de Tucumán”. AVERMA Vol.5. 2001. pp 05.13 - 05.17.
- Gonzalo G., Tortones A., Ramos M., Boldrini P. (2000). “Diseño y construcción de un cielo artificial para el Instituto de Acondicionamiento Ambiental”. XXIII Congreso de ASADES. Comunicación. pp 05.17 – 05.18
- Ledesma S.L., Gonzalo G.E, Cisterna M.S, Márquez Vega S.G, Quiñones G.I., Nota V.M. (2004) “Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán”. Revista AVERMA, Vol. 8. pp 05.55 - 05.60
- Ledesma S.L., Nota V.M., Cisterna M.S., Márquez Vega S.G., Quiñones G.I., Gonzalo G.E.. (2003). “Estudios ambientales en aulas de escuelas públicas en San Miguel de Tucumán”. Revista AVERMA, Vol. 7. pp 05.19 - 05.24
- Nadel, S., F. Gordon, and C. Neme. (2000). “Using Targeted Energy Efficiency Programs to Reduce Peak Electrical Demand and Address Electric System Reliability Problems,” ACEEE Report No. U008, November, A.C.E.E.E., Washington D.C. National Best Practices Manual. “Daylighting and Windows”. Page 67. En www.rebuild.org, acceso : 11-05-2005.
- Normas IRAM AADL J20-04 (1969). Iluminación Natural en Escuelas.
- Reppel J. y Edmonds I.R. (1998). Angular-selective glazing for radiant heat control in buildings: Theory, Solar Energy Vol. 62, pp 245-253.