

Aula Rápida: Iluminação Natural

Estudo realizado para salas de aula em Tucumán

Arq. Guillermo E. Gonzalo

No projeto de edifícios escolares, especificamente no que diz respeito a salas de aula, os sistemas de janelas têm fundamental importância, pois devem oferecer níveis adequados de iluminação natural no interior do ambiente, de maneira tal a garantir o conforto visual a seus ocupantes, assim como favorecer a economia de energia elétrica usada na iluminação artificial.

Na análise dos parâmetros de conforto nos ambientes, o conforto visual deve ser considerado primordialmente. Estudos realizados sobre rendimento escolar, no qual foram analisados os resultados de 21 mil estudantes, em mais de 2 mil salas de aulas, mostram que aqueles que fazem provas em escolas com salas de aulas bem iluminadas e com maior iluminação natural têm um rendimento da ordem de 20% maior em provas de matemática e de 26% maior em provas de leitura (Loisos G., 1999). Ainda sobre dados estatísticos, pesquisas realizadas na Califórnia mostram que cerca de 40% do consumo energético nas escolas pode ser atribuído simplesmente à iluminação elétrica (Daylighting and Windows, 2005). Considerando-se estes e outros estudos no campo da luminotécnica, é de grande importância, no projeto de edifícios escolares, especificamente no que diz respeito a salas de aulas, considerarmos o desenvolvimento de um sistema de janelas apropriado.

Para que os sistemas de janelas para entrada de luz sejam eficientes, o projeto deve ser criterioso, de forma a evitar a entrada de radiação solar no interior das salas, devido ao ofuscamento e superaquecimento do ambiente em locais de clima quente, como é o caso da cidade de Tucumán, onde foi desenvolvido o estudo de projeto que apresentamos neste artigo.

Os sistemas de janelas para entrada de ar e luz mais frequentemente empregados nas escolas de Tucumán têm controle solar do tipo "tudo ou nada" (persianas, cortinas de enrolar, etc) e não respondem às premissas básicas de adequadas condições lumínicas e de isolamento (Ledesma S.L. et al., 2003). Atualmente, complexas tecnologias de vidros especiais permitem um adequado controle da entrada de luz solar em vez de favorecer a distribuição da luz natural. Entretanto, soluções como estas são inaplicáveis em nosso contexto, considerando-se a situação econômica de nosso país. Portanto, é recomendável a adoção de sistemas simples, preferencialmente os de fácil manuseio ou fixos. O estudo que descrevemos a seguir apresenta as propostas de projeto dos sistemas customizados de janelas, desenvolvidos com o objetivo de se obter um efetivo aproveitamento da iluminação natural, adequado controle da radiação solar, conforto visual e economia de energia. São propostos sistemas de resolução construtiva simples e viável às condições econômicas das escolas de Tucumán.

Descrição do trabalho

Em 90% dos casos considerados na pesquisa inicial para desenvolvimento do estudo, percebe-se que não são cumpridas as condições mínimas de iluminação estabelecidas segundo as normas locais (Normas IRAM). Pode-se observar, também, que no interior das salas ocorrem problemas de ofuscamento devido à entrada de raios solares, inadequada distribuição da

iluminação, falta de uniformidade, excessivos contrastes, entre outros fatores. Esta situação gera condições de desconforto visual e, na maioria dos casos, recorre-se ao uso permanente de iluminação artificial, com os conseqüentes gastos energéticos.

Posteriormente, foram realizados estudos de soluções com para-sóis, utilizados com maior freqüência nas janelas de escolas de Tucumán, que permitiram estabelecer os níveis percentuais de obstrução da radiação solar conseguidos por este tipo de proteção, ao longo do ano. A efeito de verificação da sua influência no comportamento lumínico da sala de aula, foram determinados os níveis de iluminação natural para diferentes situações de para-sóis. Com os resultados obtidos foram definidas as soluções de projeto de proteções solares mais recomendáveis para aplicação nas janelas das salas de aula, informação de grande importância para a situação climática de Tucumán (clima quente húmido), onde se torna fundamental minimizar a troca de calor a través de superfícies de vidro.

Assim mesmo, foram analisados, do ponto de vista lumínico, locais com diferentes situações de sistemas de janelas, com "prateleiras de luz", a partir das quais se pode estabelecer melhora das condições de iluminação interior, principalmente se tais "prateleiras" se encontram orientadas para o Norte, já que a incorporação destes dispositivos permite controle da radiação solar incidente e uma melhor distribuição da iluminação interior. Pode-se quantificar, ainda, os benefícios da utilização de iluminação bilateral em relação à unilateral.

A partir dos estudos mencionados foram projetados sistemas janelas para as salas de aulas de escolas da província de Tucumán, com o objetivo de garantir uma adequada iluminação natural no interior, contemplando os aspectos relacionados com a quantidade e qualidade lumínica, a fim de obter um conforto visual e reduzir o consumo de energia em iluminação artificial e respondendo de maneira eficiente aos aspectos térmicos, permitindo o controle da radiação solar.

Os sistemas de janelas propostos responderam às seguintes pautas básicas, determinadas a partir dos estudos prévios:

- Evitar a colocação de janelas nas direções Leste e Oeste.
- Distribuir as janelas em paredes opostas para permitir a iluminação bilateral.
- Utilizar proteções solares nas janelas que permitam a obstrução total da radiação solar incidente.
- Incorporar estantes de luz, as quais favorecem a obstrução da radiação solar e beneficiam a distribuição da iluminação natural.
- Utilizar janelas superiores para melhorar a iluminação natural interior, pois permitem o ingresso de luz em direção à parte mais profunda da sala, o aporte de iluminação de um setor mais luminoso da abobada celeste e uma menor possibilidade de obstrução por elementos exteriores.
- Cumprir com os valores de superfície envidraçada recomendados pelo documento "Critérios e Normativa Básica de Arquitetura Escolar".

Os sistemas implantados foram desenvolvidos para serem aplicados em salas de aula organizadas em forma linear, com janelas em paredes opostas e com uma galeria de circulação em direção a um lado das mesmas, já que é a situação que se verifica com maior freqüência nos estabelecimentos escolares. As dimensões da sala de aula correspondem à superfície mínima requerida por aluno para um número máximo de trinta estudantes, estabelecida no

documento "Critérios e Normativa Básica de Arquitetura Escolar". As superfícies de janelas foram determinadas segundo o indicado no documento antes mencionado, que recomenda uma relação máxima entre área envidraçada e área de piso de 25% em locais com orientação Norte ou Sul. O sistema de janelas proposto para a orientação Norte se encontra setorizado em duas partes: a parte inferior - que consiste em três janelas de dimensões básicas de 1.10m de largura por 1.20m de altura, as quais possibilitam visualização exterior - e a parte superior - composta de janelas horizontais (setorizadas e corridas), que permitem reforçar a iluminação interior em direção à parte mais profunda da sala e que contam com um beiral de proteção solar. Entre ambos setores, coloca-se uma "prateleira de luz" até o interior, que permite reforçar a iluminação por reflexão até o teto. No casos em que as janelas inferiores não estão protegidas pela galeria, a "prateleira de luz" se prolonga até o exterior, de forma de beiral, para impedir o ingresso de radiação solar no verão.

Na orientação Sul são colocadas quatro janelas que possuem proteções solares com telas verticais em ambos os lados, e beiral, quando as mesmas não se encontram protegidas pela galeria.

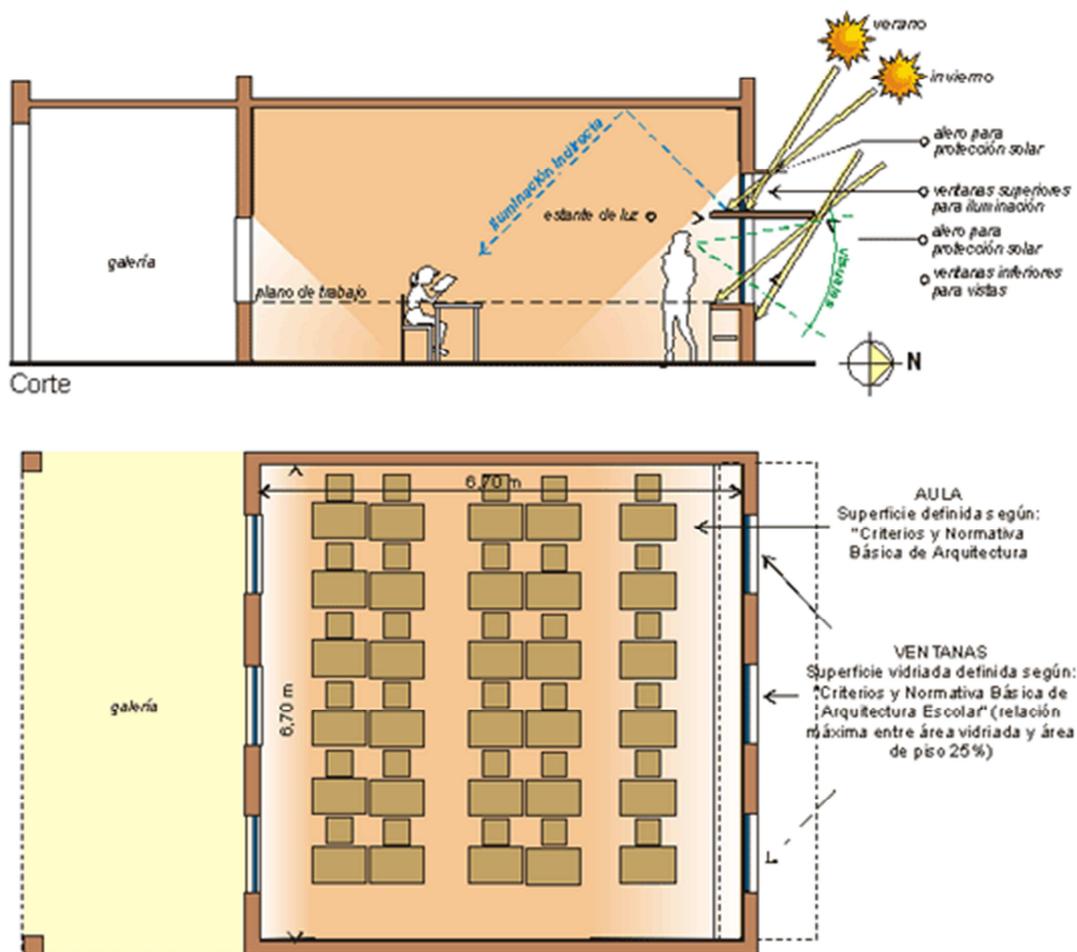
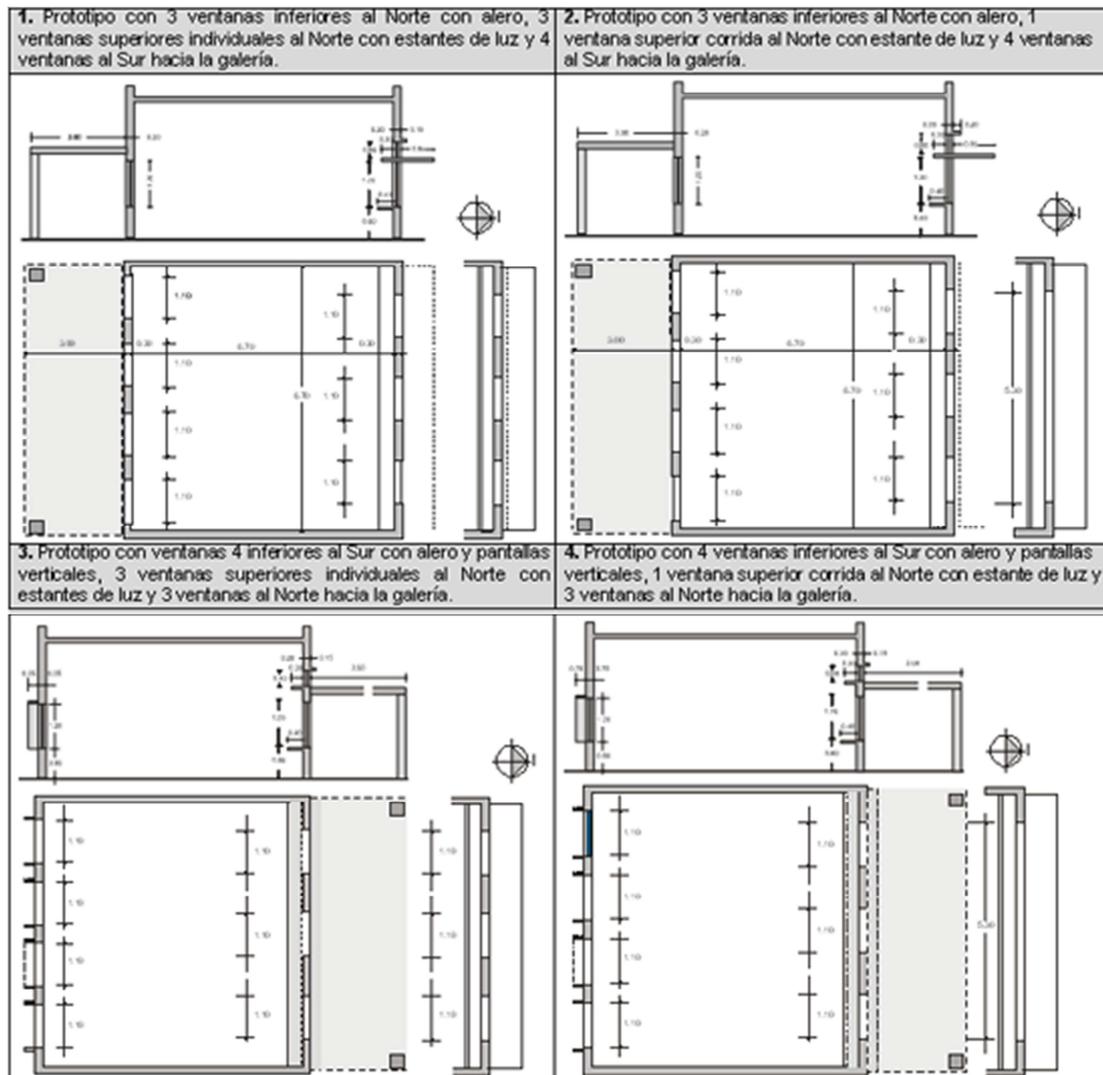


Figura 1: Situação de sistemas de janelas proposto para as salas de aula

O protótipo projetado foi avaliado do ponto de vista lumínico e de isolamento

em diferentes situações de orientação e projeto, as quais são mostradas na **figura 2**.



Para avaliar o comportamento lumínico dos protótipos analisados foram determinados os níveis de iluminação natural no interior para o qual se realizaram medições em modelos construídos em escala 1:10 dentro do céu celeste artificial. Foram determinados quatro pontos de medição alinhados de forma perpendicular às paredes que contém as janelas. Com uso de um luxímetro foram registrados os níveis de iluminação da altura do plano de trabalho (0,80m).

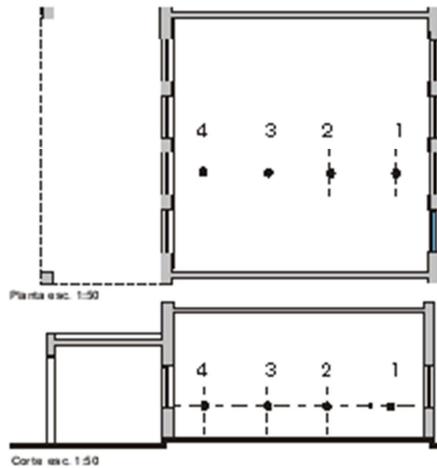


Figura 3: Localização dos pontos de análise **Figura 4: Localização de um luxímetro. no local.**

Para a avaliação de isolamento foram determinados os ângulos necessários para 100% de radiação solar em cada situação analisada. Para isso, definiu-se, no Diagrama de Trajetória Solar e Projeção Cilíndrica Desenvolvida da localidade de Tucumán, o período a obstruir, durante o ano. Superpondo com diagrama de Visão da Abóboda, logo foram determinados os ângulos que obstruem o período previamente definido. Com os ângulos obtidos, foram dimensionados as "prateleiras de luz" e os beirais superiores.

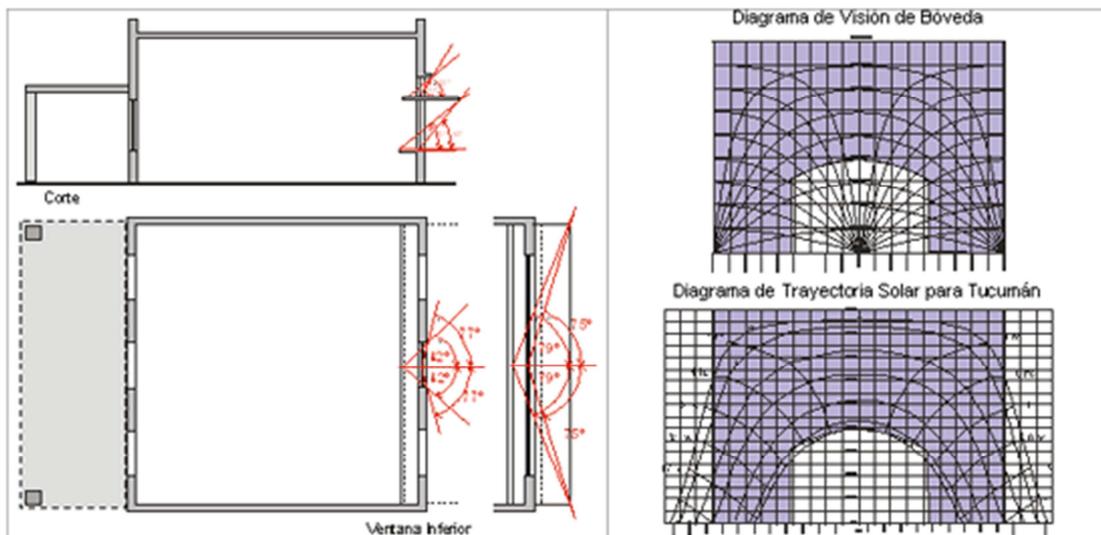


Figura 5: Ângulos de obstrução solar das prateleiras de luz sobre as janelas ao Norte.

Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela No 1.

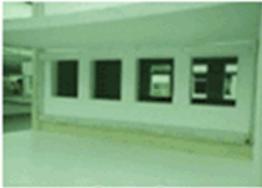
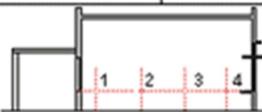
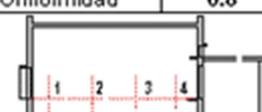
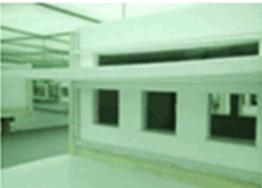
| Casos analizados | Características | Evaluación lumínica (CLD %) | Obstrucción solar | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|-------------------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|----------|-------------|-------------|------------|-------|
| <p>1</p> <p>Prototipo con 3 ventanas inferiores al Norte con alero, 3 ventanas superiores individuales al Norte con estantes de luz y 4 ventanas al Sur hacia la galería.</p> |   <p>Frente Norte</p> <p>Frente Sur</p> |  <table border="1"> <tr><td>Punto 1</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>Punto 2</td><td>3.7</td></tr> <tr><td>Punto 3</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>Punto 4</td><td>6.1</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>4.65</td></tr> <tr><td>Uniformidad</td><td>0.8</td></tr> </table> | Punto 1 | 5.0 | Punto 2 | 3.7 | Punto 3 | 3.8 | Punto 4 | 6.1 | Promedio | 4.65 | Uniformidad | 0.8 | 100 % |
| Punto 1 | 5.0 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 2 | 3.7 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 3 | 3.8 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 4 | 6.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Promedio | 4.65 | | | | | | | | | | | | | | |
| Uniformidad | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>2</p> <p>Prototipo con 3 ventanas inferiores al Norte con alero, 1 ventana superior corrida al Norte con estante de luz y 4 ventanas al Sur hacia la galería.</p> |   <p>Frente Norte</p> <p>Frente Sur</p> |  <table border="1"> <tr><td>Punto 1</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>Punto 2</td><td>4.4</td></tr> <tr><td>Punto 3</td><td>4.3</td></tr> <tr><td>Punto 4</td><td>5.6</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>4.9</td></tr> <tr><td>Uniformidad</td><td>0.8</td></tr> </table> | Punto 1 | 5.4 | Punto 2 | 4.4 | Punto 3 | 4.3 | Punto 4 | 5.6 | Promedio | 4.9 | Uniformidad | 0.8 | 100 % |
| Punto 1 | 5.4 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 2 | 4.4 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 3 | 4.3 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 4 | 5.6 | | | | | | | | | | | | | | |
| Promedio | 4.9 | | | | | | | | | | | | | | |
| Uniformidad | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>3</p> <p>Prototipo con ventanas 4 inferiores al Sur con alero y pantallas verticales, 3 ventanas superiores individuales al Norte con estantes de luz y 3 ventanas al Norte hacia la galería.</p> |   <p>Frente Norte</p> <p>Frente Sur</p> |  <table border="1"> <tr><td>Punto 1</td><td>7.8</td></tr> <tr><td>Punto 2</td><td>3.9</td></tr> <tr><td>Punto 3</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>Punto 4</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>Uniformidad</td><td>0.7</td></tr> </table> | Punto 1 | 7.8 | Punto 2 | 3.9 | Punto 3 | 3.8 | Punto 4 | 5.4 | Promedio | 5.2 | Uniformidad | 0.7 | 100 % |
| Punto 1 | 7.8 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 2 | 3.9 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 3 | 3.8 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 4 | 5.4 | | | | | | | | | | | | | | |
| Promedio | 5.2 | | | | | | | | | | | | | | |
| Uniformidad | 0.7 | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>4</p> <p>Prototipo con 4 ventanas inferiores al Sur con alero y pantallas verticales, 1 ventana superior corrida al Norte con estante de luz y 3 ventanas al Norte hacia la galería.</p> |   <p>Frente Norte</p> <p>Frente Sur</p> |  <table border="1"> <tr><td>Punto 1</td><td>7.9</td></tr> <tr><td>Punto 2</td><td>4.4</td></tr> <tr><td>Punto 3</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>Punto 4</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>Uniformidad</td><td>0.8</td></tr> </table> | Punto 1 | 7.9 | Punto 2 | 4.4 | Punto 3 | 4.5 | Punto 4 | 5.4 | Promedio | 5.5 | Uniformidad | 0.8 | 100 % |
| Punto 1 | 7.9 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 2 | 4.4 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 3 | 4.5 | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto 4 | 5.4 | | | | | | | | | | | | | | |
| Promedio | 5.5 | | | | | | | | | | | | | | |
| Uniformidad | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | |

Tabela Nº 1: Resultados dos estudos lumínicos e de isolamento para cada situação analisada.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar que a proposta analisada supera amplamente as pautas estabelecidas, ao levar-se em conta na situação climática de nossa localidade, já que:

- Em todas as situações de análises, os valores de CLD superam os indicados nas Normas IRAM, em cada ponto de medição, sendo o valor médio da ordem de 5% em todos os casos. Este projeto permitiria superar as condições de iluminação que atualmente apresentam as salas de aula de escolas, uma vez que, como se pode observar no levantamento e diagnóstico lumínico, na maioria delas os valores normatizados pela CLD não são cumpridos.
- Em nenhum dos protótipos se verifica o ingresso de radiação solar através das janelas, o que evita que se produza ofuscamento pela presença de mancha solar sobre o plano de trabalho.
- A incorporação de bandejas de luz malhora notavelmente a distribuição da iluminação natural, já que não se produzem diferenças significativas nos níveis de iluminação interior nos distintos pontos de medição, o que indica que não se

geram setores muito iluminados e setores pouco iluminados. Isso se pode verificar a partir dos valores de uniformidade que, na maioria dos casos, é de 0,8.

- A incorporação de bandejas colocadas ao Norte, garante a captação da radiação solar e a calefação passiva do local nos meses frios. A radiação direta entra no interior da sala de aula a través das janelas superiores e incide sobre a superfície da bandeja, que é a encarregada de transmitir o calor acumulado em vez de impedir a presença da mancha solar sobre os planos de trabalho.

Determinação de consumo energético

Com o objetivo de quantificar as melhoras que se alcançariam no consumo de energia elétrica com a implementação do protótipo sistemas de janelas proposto, foi tomado como exemplo de estudo a escola Capitán e los Andes, da província de Tucumán. O estudo consistiu na comparação entre o consumo energético empregado atualmente para a iluminação artificial e o provável consumo energético no caso de ser implementado nas salas de aula o sistema de janelas projetado.

A mencionada escola foi selecionada por apresentar um partido de projeto tipologicamente freqüente na província, com organização de salas aulas em fila, com galeria em um dos lados e iluminação bilateral (ver figura 6). A mesma, apesar de contar com aberturas para entrada de luz e ar bilateralmente e com janelas superiores em um dos seus lados, apresenta níveis de iluminação natural muito abaixo dos estabelecidos por Normas IRAM e registra um CLD médio de 0,6% (S. Ledesma et al, 2003), de forma que o uso de iluminação artificial é praticamente permanente durante todo o ano. A incorporação das janelas projetadas modifica notavelmente as condições de iluminação natural, calculando-se para a situação proposta um CLD médio de 5%. A partir dos mencionados níveis de iluminação natural no interior durante os meses e horas do ano letivo (ver tabelas 2 e 3), se determinou a quantidade de luz artificial necessária em ambas situações, para alcançar a condição de iluminação de trezentos lux, considerado o nível adequado (**ver tabelas 4 e 5**).

| NIVELES DE ILUMINACION 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 | |

Niveles de Iluminación Natural

Situación 1:
Entre 150 y 500 lux.

Situación 2:
Entre 75 y 150 lux.

Situación 3:
Inferiores a 75 lux

Tabela 2: Níveis de iluminação natural na sala de aula.

| 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 | 490,98 | 1344,1 | 2104 | 2776 | 3298 | 2014 | 3298 | 2776,1 | 2104 | 1344 | 491 | |
| 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 | 2390 | 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: E
Entre 75 y 150 lux

Situación 3:
Inferiores a 75 lux

Tabela 3: Níveis de iluminação natural na sala de aula proposta, com CLD médio de 5.3%.

Considerando-se a variabilidade da iluminação natural no interior da sala, foram estabelecidas diferentes situações de iluminação, segundo a quantidade de lâmpadas a serem empregadas, para se alcançar o valor mínimo de 300 lux estabelecidos por "Critérios e Normativas Básicas de Arquitetura Escolar, 1998".

- Situação 0: nenhuma lâmpada em níveis de iluminação natural maiores que 300 lux.
- Situação 1: 6 lâmpadas em uso para complementar a iluminação natural quando esta se encontra entre 150 e 500 lux.
- Situação 2: 9 lâmpadas em uso para complementar a iluminação natural quando esta se encontra entre 75 e 150 lux.
- Situação 3: 12 lâmpadas em uso para complementar a iluminação natural quando esta se encontra com níveis inferiores a 75 lux.

Através do método de cavidades zonais adaptado (AA II. FAU-UNT 2005), calculou-se o número de luminárias necessárias para as três situações de iluminação determinadas. As luminárias foram definidas, considerando-se que as mesmas se encontram embutidas no teto e que a sala de aula conta com piso escuro, teto e paredes claras. Além disso, considerou-se o uso de lâmpadas fluorescentes Standard, de 2850 lm, L: 121mm.

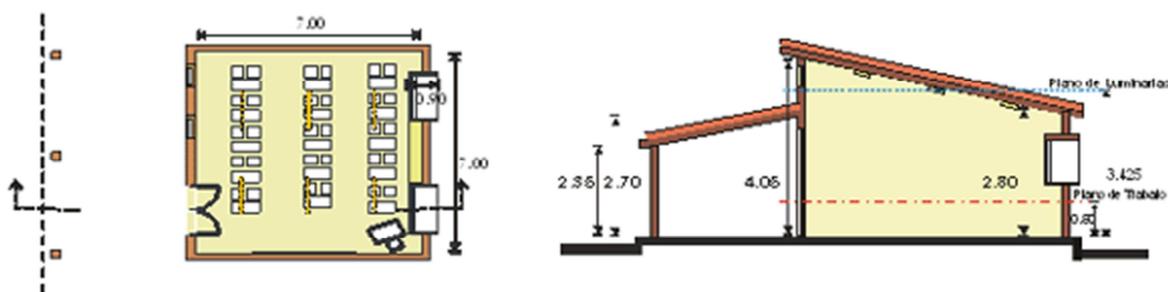


Figura 6: Planta e corte das salas de aula analisadas.

Com o objeto de quantificar a incidência que teria o uso racional da iluminação artificial, foram consideradas duas situações de uso diferentes:

1. Sem controle de uso: esta situação, que é a mais freqüente no uso de edifícios públicos, estabelece o acendimento da totalidade das luzes ao início da jornada e o apagar das mesmas ao final do dia.
2. Com controle de uso: esta situação estabelece o ajuste do acendimento das luzes em função da disponibilidade de iluminação natural interior.

A partir dele estabeleceu-se a quantidade de horas em que as lâmpadas ficariam acesas, segundo as três situações antes descritas. Com base no tempo de utilização das lâmpadas, calculou-se o custo da energia necessária para a iluminação artificial de cada caso mencionado, considerando-se os gastos em energia elétrica, manutenção e reposição da instalação (Assaf 1997). Os resultados alcançados se mostram nas **tabelas 4 e 5**.

| 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 | \$ 72,66 | 300hs. | \$ 20,40 | \$ 7,50 | \$ 28,00 |
| 12 lámp. | 1430hs. | \$ 129,70 | \$ 166,70 | 680hs. | \$ 61,65 | \$ 5,80 | \$ 67,45 |
| | | | \$ 281,00 | | | | \$ 193,00 |

Tabela 4: Resumo dos custos da situação atual para uma sala de 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 | \$ 33,10 | 120hs. | \$ 5,60 | \$ 12,65 | \$ 18,25 |
| 9 lámp. | 260hs. | \$ 17,70 | \$ 33,10 | 80hs. | \$ 5,60 | \$ 12,65 | \$ 18,25 |
| 12 lámp. | 260hs. | \$ 23,60 | \$ 40,40 | 80hs. | \$ 7,20 | \$ 13,10 | \$ 20,30 |
| | | | \$ 106,60 | | | | \$ 56,80 |

Tabela 5: Resumo de custos da situação proposta para uma sala de aula.

Finalmente, as situações foram comparadas e estudadas, considerando-se o consumo de onze salas de aula, configuração de um setor da escola Capitán

de los Andes.

| 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 |
| | % de 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 |

Tabela 6: Resumo de economia de energia elétrica das situações estudadas.

Os estudos realizados permitiram estabelecer-se a importância do consumo energético obtido com a implementação da proposta estabelecida.

Ao se analisar a proposta, considerando-se que as luzes funcionam sem serem controladas, o gasto energético final por ano diminui 68.8%, o que significa um consumo de energia, empregada para a iluminação artificial do setor de salas de aula da escola, de \$1.919.

Considerando-se o uso racional da iluminação artificial, mediante a conscientização dos usuários, conseguindo-se que as luzes funcionem de forma controlada, o gasto energético final por ano diminuiria o valor de 90.3%, o que significa um consumo de aproximadamente \$1.800.

Os valores de consumo energético diminuiriam 62,1% e 79,8%, respectivamente, ao se considerar o gasto total de energia, manutenção e reposição de lâmpadas. Tendo em conta que a vida útil do edifício é de quarenta anos, o consumo total alcançaria o valor de \$ 98.648.

Conclusões

O estudo descrito, que abrangeu as instâncias de diagnóstico da situação das condições de iluminação natural das escolas e que incluiu um completo estudo sobre o comportamento lumínico e de isolamento de diferentes soluções de janelas e suas proteções, permitiu levantar-se uma proposta de projeto de sistemas de janelas de fácil aplicabilidade nos estabelecimentos escolares construídos ou a construir em nossa província.

O estudo pormenorizado do comportamento lumínico e de isolamento dos sistemas propostos permitiu verificar que é possível o estabelecimento de soluções de sistemas de janelas que respondam às condições lumínicas, térmicas e de isolamento, que apresenta nossa situação climática.

O estudo do comportamento do consumo energético do sistema proposto possibilitou demonstrar os grandes benefícios energéticos possíveis de serem alcançados, aspecto fundamental a ser levado em conta, por um lado devido à crise energética atual e o possível esgotamento dos recursos naturais, e por outro lado, devido à economia de consumo proporcionada por um projeto que contemple o correto aproveitamento da iluminação natural.

É necessário se destacar que um projeto adequado oferece benefícios econômicos, bem como melhor qualidade de vida e menor deterioração do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- National Best Practices Manual. "Daylighting and Windows". Page 67. En www.rebuild.org, acceso : 11-05-2005.
- 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, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington D.C.
- S.L. Ledesma, V.M. Nota, M.S. Cisterna, S.G. Márquez Vega, G.I. Quiñones, G.E. Gonzalo. (2003). "Estudios ambientales en aulas de escuelas públicas en San Miguel de Tucumán". Revista AVERMA, Vol. 7.
- Reppel J. y Edmonds I.R. (1998). Angular-selective glazing for radiant heat control in buildings: Theory, Solar Energy Vol. 62, pp 245-253.
- Stack A., J. Goulding y J. Owen Lewis (2001). "Shading Systems. Solar shading for the European climates", Energy Research Group, University College Dublin, Dublin.
- Criterios y Normativas Básicas de Arquitectura Escolar. 1998.
- Normas IRAM AADL J20-04 (1969). Iluminación Natural en Escuelas.
- Gonzalo G., Tortonese A., Ramos M., Boldrini P. (2000). "Diseño y construcción de un cielo artificial para el Instituto de Acondicionamiento Ambiental". XXIII Congreso de ASADES.
- 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.
- S.L. Ledesma, G.E. Gonzalo, M.S. Cisterna, S.G. Márquez Vega, G.I. Quiñones, V.M. Nota. (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.
- CD Acondicionamiento Ambiental II, Instalaciones y Acondicionamientos - FAU - UNT. Edición 2005 - Versión 4.0
- Seminario Ing. L. Assaf, Postgrado Auditoria Energética, 1997 - FAU - UNT.