

PROPUESTA DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA EL MEJORAMIENTO TERMO-LUMÍNICO DE AULA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMAN

Ledesma S.L., Nota V.M., Cisterna M.S., Martínez C.F., Márquez Vega S.G., Quiñones G.I., Llabra C., Gonzalo G.E.
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 int. 7914
Email: sledesma@arnet.com.ar – vnota01@yahoo.com.ar

RESUMEN: Se presenta la propuesta de adecuación bioambiental de un aula prototípica de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Tucumán, realizado con el objeto de alcanzar mejoras en las condiciones de habitabilidad y comportamiento energético final y de construir un modelo demostrativo posible de implementar en otras aulas de la Facultad y en otros edificios similares del Campus de la UNT. La propuesta se realizó a partir del diagnóstico de la situación ambiental del aula, en el cual se verificaron deficiencias en las condiciones térmicas, de asoleamiento y lumínicas. El análisis lumínico se realizó con mediciones en maqueta a escala en el cielo celeste artificial y el análisis térmico con el uso de programas de cálculos computacionales específicos. El estudio permitió verificar que con planteos de resolución constructiva simple y económicamente viables, es posible alcanzar mejoras sustanciales en las condiciones de habitabilidad y considerables disminuciones del consumo energético

Palabras clave: Arquitectura bioclimática, espacio educativo, iluminación natural, aspectos térmicos.

INTRODUCCIÓN

El aula es uno de los espacios de los edificios de enseñanza que mayor desgaste físico y síquico genera. Existen varias razones por las cuales falla el proceso de enseñanza-aprendizaje pero tiene gran impacto en dicho proceso es la calidad ambiental del espacio áulico.

Los factores de confort que pueden afectar a los usuarios van desde los ergonómicos, como el equipamiento, hasta los físico ambientales, como la iluminación, ventilación o acústica, o los físico químicos según los materiales de construcción y terminación utilizados. De ellos, los que tienen que ver con el confort higrotérmico y lumínico son también responsables de un elevado consumo de energía, siendo las aulas los espacios de mayor requerimiento energético en un conjunto educacional (San Juan et al, 2003).

Para desarrollar una óptima función educativa, con adecuados resultados, se necesita disponer de espacios que brinden las condiciones ambientales necesarias para lograr ese objetivo. Diferentes estudios han demostrado, cualitativa y cuantitativamente, que las condiciones ambientales dentro de nuestras aulas universitarias no son las más convenientes para un ámbito de trabajo en el que se requiere de concentración, tanto de parte de alumnos como del docente (Martin y Salas, 2009).

La mala calidad ambiental de los espacios educativos puede traer consecuencias diversas, tanto físicas, como la aparición de problemas con síntomas tan simples como cansancio o irritación ocular ..., pero también mentales ya que se genera en los ocupantes de estos espacios una sensible baja en su rendimiento síquico-mental, debido al estrés físico que producen las condiciones ambientales inadecuadas, lo que en el caso de un espacio de educación se traduce en una eficiencia en la atención y comprensión y por ello en un menor rendimiento en el proceso de aprendizaje (Cantor Cutiva y Muñoz Sánchez, 2009).

El estudio que se presenta, se desarrolla como parte de las tareas del Programa de Investigación CIUNT N° 26/B405: "Habitabilidad, Energía y Ambiente en edificios y predios de la Universidad Nacional de Tucumán", que tiene como objetivo el diagnóstico de las condiciones ambientales en edificios de la Universidad Nacional de Tucumán, con el fin de establecer propuestas para la refuncionalización, remodelación y/o uso, que permitan la adecuación a las condiciones climáticas del lugar de implantación.

Se trabajó sobre un aula prototípica de la Facultad de Arquitectura, debido a que la mayoría de ellas presentan condiciones de habitabilidad desfavorables con una permanente situación de disconfort en sus ocupantes y un excesivo uso de energía eléctrica para el acondicionamiento artificial.

El objetivo de este estudio fue lograr mejoras en las condiciones de habitabilidad y comportamiento energético del aula, a la vez de proponer un modelo demostrativo posible de implementar en otras aulas similares de la Facultad y de otros edificios del predio de la UNT que responden a la misma tipología.

La localidad de San Miguel de Tucumán se ubica en la zona bioambiental IIb (clima muy cálido) con temperatura medias máximas en verano que llegan a los 31° C. La estación de invierno es fría, registrándose temperaturas medias mínimas de 6°C. Se observan 348 grados-día de enfriamiento en verano y 400 grados-día de calefacción en invierno.

DESARROLLO

El aula seleccionada para el estudio, se encuentra ubicada en el primer piso del Block de la FAU el cual consta de cuatro pisos, presenta una planta rectangular sobre un eje este-oeste y con una sola fachada hacia el exterior, sobre el frente norte. Con una superficie aproximada de 120 m², tiene una capacidad para cien estudiantes. Su uso es permanente, en un horario de 8:00 a 20:00 Hs.

Presenta todos sus aventanamientos hacia el Norte, con carpinterías de aluminio tipo balcón y parasoles móviles de lamas horizontales. Los parasoles presentan un sistema complejo de apertura y cierre, los cuales por falta de mantenimiento no pueden accionarse en su totalidad. (quedando algunos fijos en posición de apertura y otros de cierre total).

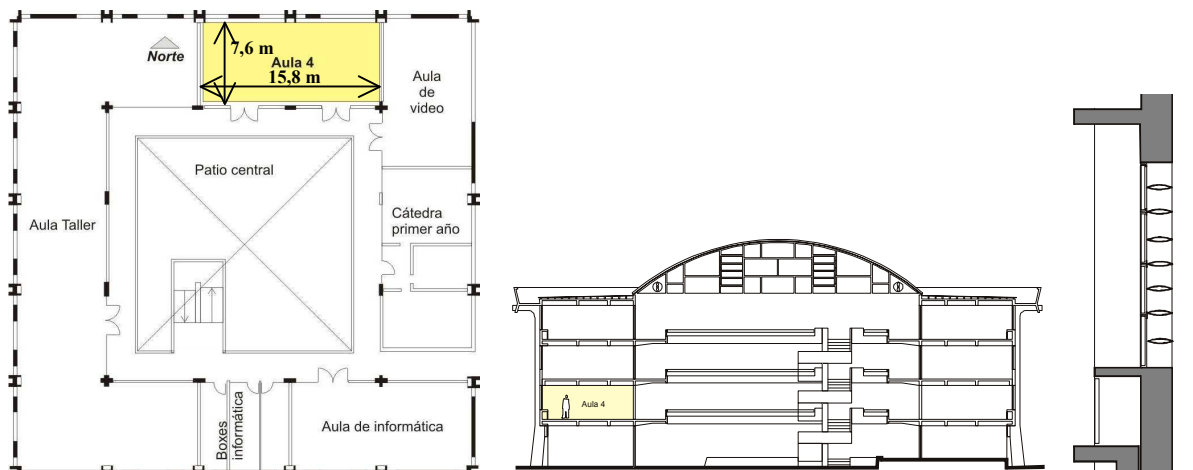


Figura 1: Planta general del primer piso FAU-UNT. Corte del block y corte del Aula 4

A partir de la evaluación de las condiciones ambientales que presenta el aula, realizada mediante el uso de instrumental específico, tales como registrador de datos HOBO Mod.H08-004, Luxímetro Tenmars DL-201, cálculos computacionales y encuestas a los usuarios, se alcanzaron las siguientes conclusiones:

- El aula presenta situación de disconfort térmico en invierno. A pesar de tener superficies vidriadas hacia el Norte, el sistema de parasoles que obstruye prácticamente el 80% de la radiación incidente en invierno, imposibilita el aporte de calor por radiación solar directa. Se suma a ello la infiltración de aire frío a través de las carpinterías. Las encuestas realizadas arrojaron que, el 90% de los estudiantes manifestaron sentir disconfort por frío en la mencionada estación.

Cabe destacar, además, que el muro exterior no verifica los valores máximos de transmisión térmica admisible según Normas IRAM (para nivel C).

Mediciones realizadas con registradores de datos HOBO permitieron corroborar la situación de disconfort térmico en invierno, ya que las temperaturas interiores oscilan entre 12° y 14° (ver figura 2), muy lejos de los niveles de confort, por lo que se recurre al calentamiento del aire por uso de acondicionadores de aire, con el consiguiente costo en energía eléctrica que trae aparejado.

- El aula presenta situación de disconfort térmico en verano, debido fundamentalmente a que las carpinterías no posibilitan aprovechar el enfriamiento natural por ventilación natural sobre los ocupantes (sobre todo a primeras horas de la mañana) y no se aprovecha el enfriamiento estructural por ventilación nocturna, que sería posible implementar dado el partido de edificio que presenta un patio interior central con aberturas en la parte superior. El 50% de los encuestados manifestaron sentir disconfort por calor y el 70% no percibir corrientes refrescantes de aire. Cabe destacar el intensivo uso de aparatos de acondicionamiento artificial del aire en este período.

- Se verifica en el aula condiciones de iluminación natural insuficiente. En ningún punto del aula se verifica los valores de Coeficiente de Iluminación Diurna (CLD) normados para tal función (2 %), presentando un promedio de 0,5% y un CLD máximo de 1,7% (a un metro de la ventana de mayores dimensiones). Motivo por el cual se utiliza en forma permanente la iluminación artificial con los consiguientes gastos energéticos.

- Se registra además en el aula disconfort visual por deslumbramiento, debido a la presencia de radiación solar directa, sobre los planos de trabajo. Si bien se dispone de parasoles horizontales móviles, los mismos no posibilitan la obstrucción de la radiación solar durante todo el año, permitiendo su ingreso en invierno entre las 10:00 y 14:00 Hs. aproximadamente. Se suma a ello la falta de mantenimiento de los parasoles y de control por parte de los usuarios, por lo cual algunos de ellos permanecen cerrados o abiertos en forma permanente afectando a las condiciones lumínicas interiores.

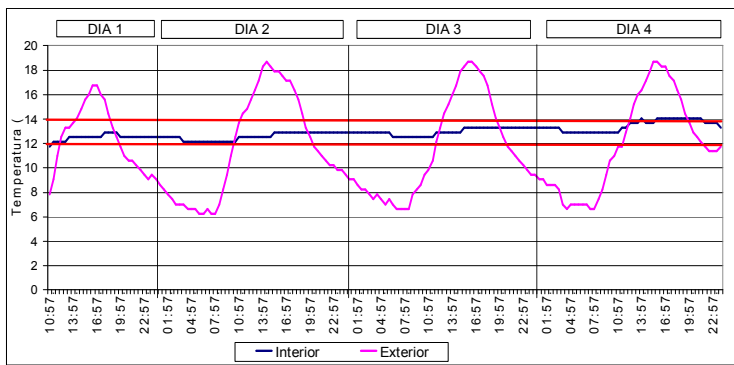


Figura 2: Registros de temperatura exterior e interior en invierno para el aula analizada.



Figura 3: Vista interior con presencia de mancha solar en aula

A partir del diagnóstico realizado y con el objetivo de alcanzar mejoras en las condiciones de habitabilidad y el comportamiento energético final del aula, se plantean las siguientes modificaciones:

- Modificación de los aventanamientos en Norte: Entendiendo que resulta de fundamental importancia brindar una correcta iluminación natural interior, si dejar de considerar el comportamiento de las superficies vidriadas frente a la radiación solar y aplicando resultados alcanzados en investigaciones específicas sobre la temática (Ledesma et al, 2005; Gonzalo et al, 2006), se planteó un aventanamiento superior corrido con parasoles externos que obstruyan la radiación solar estival y estantes de luz interiores que, por un lado reciban la radiación invernal, aprovechando de esta manera su aporte de calor para calefaccionar en forma pasiva el interior del aula en invierno y por otro lado, eviten la incidencia de la mancha solar sobre los planos de trabajo a la vez de reforzar la iluminación natural en las zonas alejadas a las ventanas.
- Modificar la solución constructiva del las superficies opacas del muro Norte, dado que se ha verificado su alta transmitancia térmica planteando un muro equipamiento y cámara de aire y paneles de yeso, con el objeto de aumentar su resistencia al paso del calor.
- Modificación del cielorraso del aula: se plantea la colocación de placas de yeso entre las vigas del casetonado de hormigón, generando un cielorraso claro que refuerza la reflexión de luz natural producida por los estantes mejorando las condiciones lumínicas interiores



Figura 4: Vista interior del aula con el aventanamiento actual.

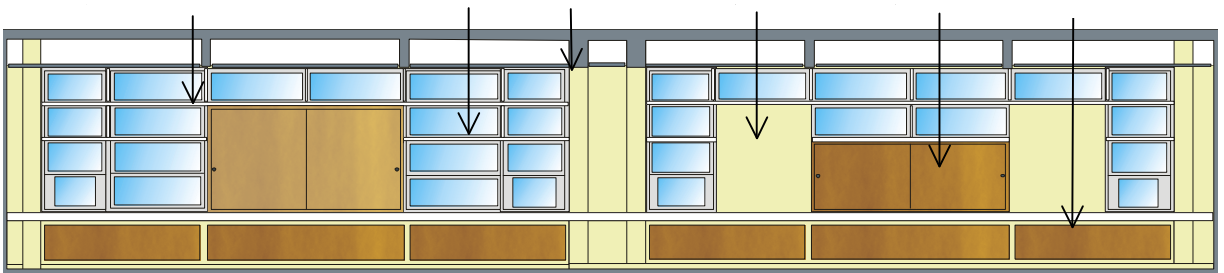


Figura 5: Vista interior de la propuesta para el muro Norte del aula

DESARROLLO:

Condiciones térmicas del aula

Para evaluar las condiciones térmicas del muro Norte, (único elemento de la envolvente que se vincula con el aire exterior), se determinaron los coeficientes de transmisión térmica (K) de cada uno de los elementos que componen el mismo, columnas y vigas de hormigón y muro de ladrillo común de 0,27 cm, con ambas caras revocadas; se determinó también su valor medio ponderado (KMP), empleándose para su cálculo el programa CEEMAKMP.xls (Gonzalo, 2003).

En la tabla 1 pueden observarse los valores obtenidos, los que reflejan que, en la situación actual, el cerramiento opaco no responde a los valores máximos de K establecidos por Normas IRAM (Nivel C).

A partir de los resultados alcanzados se propone aumentar la resistencia térmica del cerramiento a partir de incorporar una cámara de aire con cerramiento de panel de yeso en algunos sectores del muro y en otros gabinetes para guardado de material didáctico. Es posible considerar este planteo, dado que, en conjunto con los estantes de luz de las ventanas, componen un muro equipado, constructivamente viable y que no quita superficie útil al aula.

En la tabla puede observarse que la propuesta mejora considerablemente el comportamiento térmico del muro, verificándose los valores con Normas, tanto considerado el muro solo el sector de ladrillo, como el valor medio ponderado (KMP) considerando los sectores de hormigón.

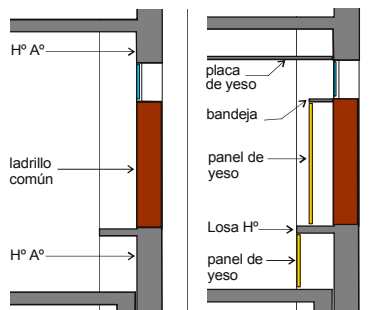


Figura 6: cerramiento exterior actual

Figura 7: cerramiento exterior mejorado

| Descripción | | Transmitancia térmica W/m ² °C | | Verif. K max.adm. (Nivel C) | | |
|---------------------|----------------------------------|---|------|-----------------------------|---------------|----------------|
| | | | | Verano 1.80 | Invierno 1.85 | Ver.color 2.16 |
| Situación actual | Muro ladrillo común | K | 1,85 | | | |
| | Muro ladrillo – columnas - vigas | KMP | 2,21 | NO | NO | NO |
| Situación propuesta | Muro ladrillo común | K | 1,36 | | | |
| | Muro ladrillo – columnas - vigas | KMP | 1,63 | SI | SI | SI |

Tabla 1: Valores de transmitancia térmica (K y KMP) determinados por cálculo para la situación actual y propuesta de cerramiento exterior del aula

Posteriormente, se determinaron las cargas térmicas requeridas para mantener en forma artificial la situación de confort interior para la situación actual y la situación propuesta con planillas de cálculo diseñadas a tal fin. En el cálculo se desestimaron los aportes de los otros elementos de la envolvente, dado que se vinculan con el interior y no presentan variables de cambio. Las variables consideradas y los resultados alcanzados pueden observarse en la tabla 1.

Al analizar comparativamente los resultados alcanzados puede concluirse que, la propuesta de diseño plantea una notable mejora del comportamiento térmico del muro tanto para verano como para invierno. Si bien el sistema propuesto presenta una mayor superficie vidriada (lo que podría traducirse en una mayor ganancia de calor en verano y mayores pérdidas en invierno) la posibilidad de ingreso de radiación solar sobre los estantes interiores en invierno posibilita importantes ganancias de calor y por la presencia de parasoles y mayor resistencia térmica de las superficies opacas no se incrementan las ganancias en verano.

En la figura 8 puede observarse que el prototipo original presenta para la situación de invierno pérdidas de calor a través de las ventanas, (- 1250 W día) en cambio la situación propuesta plantea notables ganancias de calor por los aventanamientos (24.087 W día), lo que permitiría alcanzar una calefacción solar pasiva durante el horario de uso del local. La propuesta plantea una importante mejora del balance térmico global para invierno (de una pérdida de calor de 6.036 W día se modificaría a una ganancia de 21.629 W día) con los consecuentes beneficios de mejoras en las condiciones de confort y la menor necesidad de aporte de calor por medios mecánicos.

Para la situación de verano se puede observar que el sistema propuesto, aún con una mayor superficie vidriada, presenta una menor ganancia de calor, lo que se debe principalmente a la reducción de la transmitancia térmica del muro.

| | Situación original | | Situación propuesta | |
|------------------------------|--------------------|---------|---------------------|---------|
| | Muro | Ventana | Muro | Ventana |
| Superficie (m ²) | 50,9 | 14,5 | 48,1 | 17,3 |
| K (W/m ² °C) | 2,2 | 5,8 | 1,6 | 5,8 |
| Retardo (hs) | 7 | 0 | 7 | 0 |
| Amortig. | 0,2 | 1 | 0,2 | 1 |
| Coef. Absorc. | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,1 |
| % en sombra | 0 | 90 | 0 | 50 |

Tabla 2: Datos para el cálculo de la carga térmica

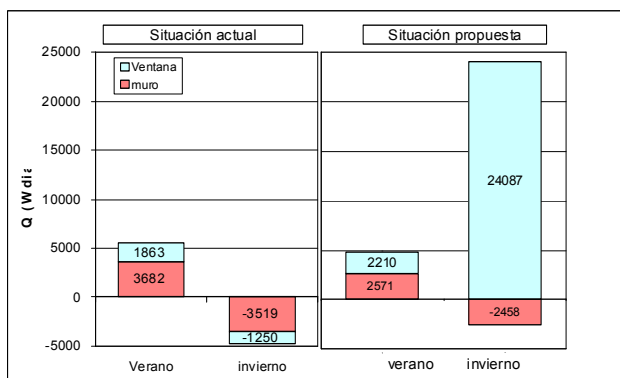


Figura 8: Carga térmica de la situación actual y propuesta

Condiciones de asoleamiento del aula

Al analizar las condiciones de asoleamiento del local, podemos apreciar que ante la inexistencia de obstrucciones exteriores cercanas, como árboles u otros edificios, que arrojen sombra, toda la fachada recibe la incidencia de la radiación solar directa, condición que, si bien es favorable para el período invernal, resulta desfavorable en la situación estival, dadas las características cálidas del clima de San Miguel de Tucumán, con temperatura media promedio en verano de 24,8°C, una media máxima de 30,7°C y una máxima absoluta 40,7°C y con altos niveles de radiación solar sobre plano norte, 4449 W/m²día. Razón por la cual se ha incrementado la resistencia al paso del calor de las superficies opacas de la envolvente.

En el caso de las superficies transparentes, si bien es necesario el ingreso de sol para garantizar las condiciones higiénicas y para la calefacción natural de los espacios interiores, en el caso del aula analizada, debe tenerse en cuenta que la presencia de la mancha solar sobre el plano de trabajo debe ser evitada dada las molestias que ocasiona en la visión.

Analizando las condiciones de asoleamiento de los aventanamientos del aula bajo estas pautas, podemos decir que, si bien se encuentran orientadas al Norte, no tienen aporte significativo de calor en invierno. Esto se debe a que el sistema de parasoles de lamas horizontales móviles producen una obstrucción total de la radiación solar incidente durante la mayor parte del año, solamente en el mes de junio en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde se observa un ingreso de radiación solar directa, pero ésta incide sobre el plano de trabajo produciendo desconfort visual por deslumbramiento. En algunas ventanas, debido a la falta de mantenimiento que imposibilita el accionamiento del parasol, las lamas permanecen cerradas o abiertas en forma permanente afectando a las condiciones térmicas y lumínicas interiores.

En la figura 11 puede apreciarse el comportamiento del parasol existente, analizado con el método del diagrama de Visión de Bóveda y del Diagrama de Trayectoria Solar en Proyección Cilíndrica Desarrollada de la localidad de Tucumán. Se pudo verificar que se impide el ingreso de la radiación solar al interior del local en los meses invernales (por lo cual no se posibilita calefaccionar en forma pasiva, (estrategia de diseño básica para esta localidad) y existe presencia de mancha solar sobre los planos de trabajo en el mes de junio.

Se propone mantener algunas lamas de los parasoles existentes, las cuales permanecerían fijas y cumplirían el objetivo de obstruir la incidencia del sol sobre el vidrio en el periodo estival y dimensionar los estantes de luz de cada ventana considerando, la necesidad de obstruir el 100 % de la radiación solar directa sobre los planos de trabajo y de recibir la radiación invernal sobre dichos estantes de modo tal de aprovechar el aporte de calor para calefaccionar en forma pasiva el interior del aula.

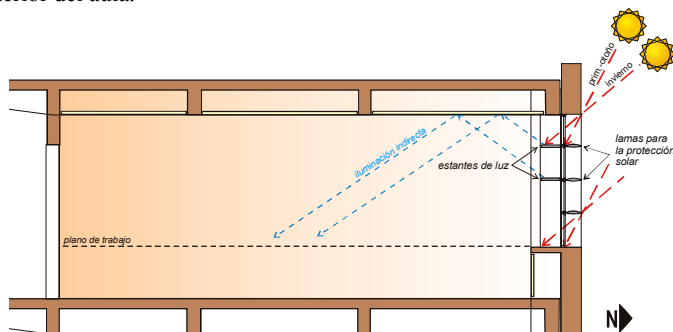
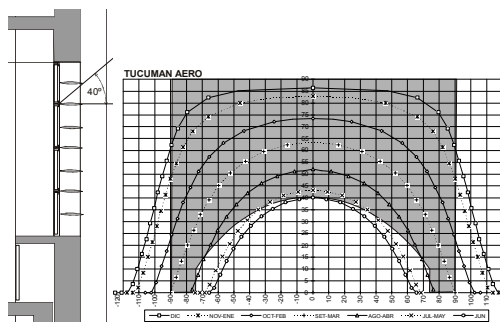


Figura 9: propuesta de modificación del aventanamiento existente



Figura 10: Vista exterior de la verificación de asoleamiento en maqueta del aula

SITUACIÓN ACTUAL



SITUACIÓN PROPUESTA

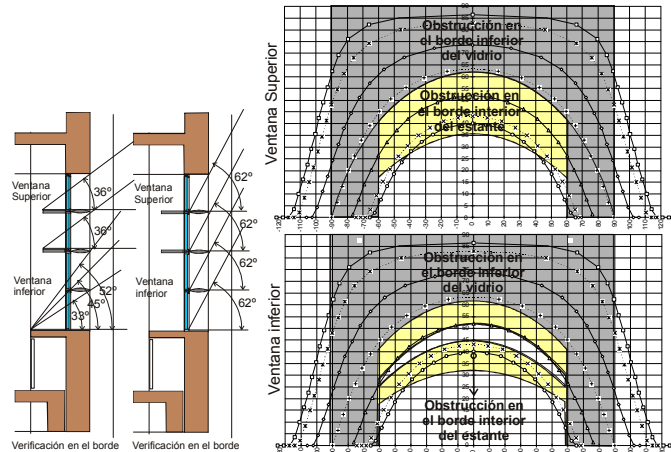


Figura 11: Verificación en el diagrama de trayectoria solar de los ángulos de obstrucción solar de la situación actual de parasoles horizontales móviles y la propuesta con estante de luz.

La evaluación de la propuesta puede observarse en los diagramas de la figura 11, en los cuales se puede verificar que el planteo posibilita que la radiación solar del periodo invernal atraviese el vidrio e incida sobre los estantes sin llegar a los planos de trabajo, y que la radiación del periodo calido es obstruida por los parasoles fijos externos.



Figura 12: Vista interior del aula: se observa ingreso de radiación solar (21 junio - 10:00 hs.)



Figura 13: Vista interior del modelo: se verifica obstrucción total de la radiación solar (21 junio - 10:00 hs.)

Condiciones lumínicas del aula

La situación de insuficiente niveles de iluminación natural interior sumado al inconfort visual por deslumbramiento debido al ingreso de la radiación solar directa sobre pupitres, la falta de uniformidad, los excesivos contrastes entre sectores y el uso permanente de iluminación artificial con los consiguientes gastos energéticos, condujo como fue descrito anteriormente a plantear un aventanamiento corrido superior, con estantes de luz (ver figuras 9 y 10).

Los niveles de iluminación natural que presenta en la actualidad el aula se determinaron a partir de mediciones in situ con luxímetro Tenmars DL-201. Los registros se realizaron en 15 puntos distribuidos como se indica en la figura 14, partiendo a un metro de distancia de las paredes laterales y a 0.80 m. sobre el nivel del piso, altura representativa del plano de trabajo.

La propuesta fue evaluada en una maqueta a escala, las mediciones se realizaron en cielo celeste artificial, se registraron con un luxímetro los niveles de iluminación a la altura del plano de trabajo (0,80 m). Los resultados de la situación actual y propuesta, se observan en la figura 14.

Del estudio se pudo observar que no se cumplen con las condiciones mínimas de iluminación establecidas según Normas IRAM (2%) para aulas en ninguno de los puntos medidos, como se muestra en la figura 14.

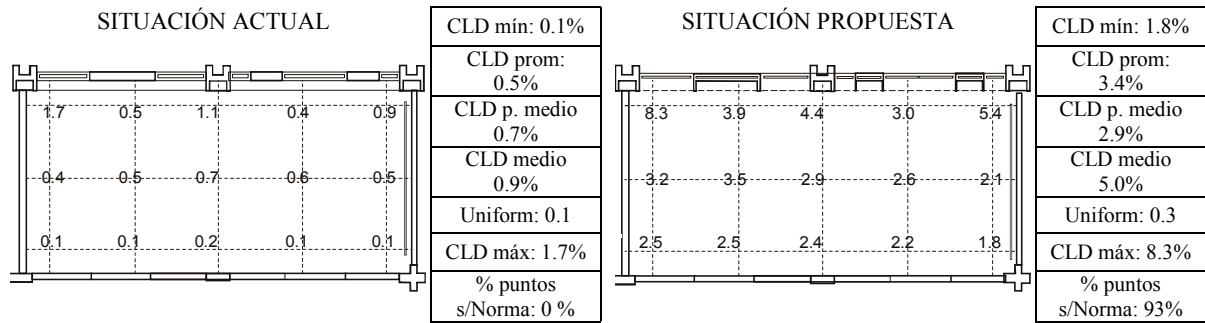


Figura 14: Medición de los niveles de CLD en la situación actual y propuesta.

Frente a la situación actual de inadecuadas condiciones de iluminación natural del aula, en el que en ningún punto se verifica el valor normado de CLD de 2%; en donde el CLD promedio es de 0.5%; el CLD mínimo de 0.1%; el CLD máximo de 1.7% y la uniformidad de: 0.1; se observa que la propuesta es ampliamente superadora, ya que presenta el 95% de los puntos de análisis los valores de CLD superan a los indicados en Normas IRAM, el valor promedio de CLD es de 3.4%, el CLD mínimo de 1.8%; el máximo de 8.3% y la uniformidad de 0.3.



Figura 15: Vista exterior del modelo a escala en cielo celeste artificial.

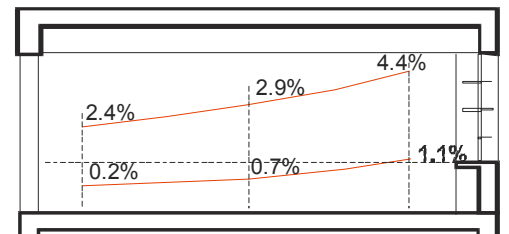


Figura 16: Curvas de valores de CLD para la situación actual y propuesta

Se verifica que 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 iluminadas. Esto se puede verificar a partir de los valores de uniformidad (E_{min}/E_{medio}), que en nuestro caso es de 0,3.



Figura 17: Situación actual y propuesta del aula en donde puede observarse la uniformidad en la distribución de la luz.

Determinación del ahorro de energía.

Situación actual: Para cuantificar el ahorro de energía eléctrica en iluminación artificial alcanzado con el aventamiento propuesto se consideró las horas anuales de clases del aula y la necesidad de complementar la iluminación natural con artificial para alcanzar niveles aceptables. Dicho análisis se realizó para la situación actual y propuesta.

Los valores de luz natural registrados actualmente en el aula son inferiores a los mínimos recomendados por Normas IRAM, siendo el CLD promedio de 0,5%. El consumo actual de energía en iluminación se determinó considerando el uso de la totalidad de las lámparas encendidas durante todo el día en un año. Los valores obtenidos en Kwh y gasto en Pesos se comparó con los calculados para la situación del aula con el aventamiento propuesto, es decir, se determinó el ahorro energético anual, pudiendo verificar que se mejora notablemente la iluminación natural con un CLD promedio de 3.4%.

A través del método de cavidades zonales adaptado (AAII FAU-UNT 2009), se determinó que el nivel de iluminación artificial actual del aula, con el total de luces encendidas, es de 262 lux- aproximadamente el 50% del nivel necesario para la función, por lo que se utiliza iluminación artificial complementaria durante todo el día.

Para estimar el funcionamiento de las lámparas en horas por año, se consideró el encendido de 7 a 19 hs, 20 días al mes, de marzo a mediados de diciembre, excluyendo el receso invernal; resultando 2340 horas al año. Las luminarias se encuentran en la losa, entre vigas de casetonado, a una altura de 3.19 m, el piso es rojo oscuro (R=0.15), cielorraso y paredes claras (R=0.70). Además se consideró el uso de lámparas fluorescentes Standard, de 36W 2850 lm, L: 1200 mm; dos lámparas por artefacto, en total 18 luminarias de 2 lámparas cada una, en total 36 lámparas, para una superficie a iluminar de 122 m². Para el cálculo de consumo se consideró el uso de la iluminación artificial sin control, ya que en edificios públicos es frecuente el encendido de todas las luces al inicio de la jornada y el apagado al concluir el día. El método de cálculo se basó en considerar costo de energía, de reposición de lámparas y de mantenimiento de la instalación (Assaf. 1997).

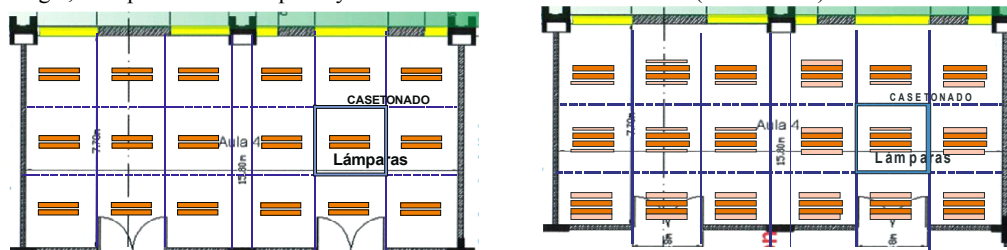


Figura 18: Situación de iluminación artificial actual y propuesta en el aula estudiada

Situación propuesta: Para el aula con el aventamiento propuesto, que verificó un CLD promedio de 3,4 % (tabla N°3), se determinó el aporte de iluminación artificial para alcanzar el nivel de 500 luxes. Para ello se aumentó el número de lámparas de 36 a 68 (figura 18) con el objetivo de cubrir horas en las cuales los niveles de iluminación natural son muy bajos. Se pudo observar que las necesidades de iluminación artificial se reducen debido al notable incremento de los niveles de iluminación natural.

| Aula 4 FAU con bandejas - Iluminación natural interior en Luxes | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mes/hs | 7 hs | 8 hs | 9 hs | 10 hs | 11 hs | 12 hs | 13 hs | 14 hs | 15 hs | 16 hs | 17 hs |
| marzo | 309 | 862 | 1350 | 1781 | 2116 | 1292 | 2116 | 1781 | 1350 | 862 | 309 |
| abril | 137 | 535 | 982 | 1487 | 1777 | 1973 | 1777 | 1487 | 982 | 535 | 136 |
| mayo | 61 | 365 | 725 | 1251 | 1496 | 1689 | 1496 | 1251 | 725 | 365 | 61 |
| junio | 37 | 253 | 636 | 1123 | 1379 | 1527 | 1379 | 1123 | 636 | 253 | 37 |
| julio | 109 | 404 | 760 | 1289 | 1526 | 1718 | 1526 | 1289 | 760 | 404 | 109 |
| agosto | 251 | 594 | 1028 | 1520 | 1795 | 1989 | 1795 | 1520 | 1028 | 594 | 251 |
| septiembre | 456 | 917 | 1381 | 1802 | 2129 | 2319 | 2129 | 1802 | 1381 | 917 | 456 |
| octubre | 659 | 1181 | 1648 | 2054 | 2349 | 2479 | 2349 | 2054 | 1648 | 1181 | 659 |
| noviembre | 849 | 1375 | 1846 | 2222 | 2468 | 2547 | 2468 | 2222 | 1846 | 1375 | 849 |
| diciembre | 959 | 1499 | 1975 | 2343 | 2577 | 2655 | 2577 | 2343 | 1975 | 1499 | 959 |

Tabla N° 3: Niveles de Iluminación Natural (CLD promedio 3.4%)

- Niveles de Iluminación Natural
- Situación 0:** Superiores a 500lux.
- Situación 1:** Entre 500 y 250 lux.
- Situación 2:** Entre 250 y 100 lux
- Situación 3:** Inferiores a 100 lux

Para el cálculo de consumo de energía eléctrica en iluminación de la propuesta, se consideraron dos situaciones: 1- Sin control de uso: plantea el encendido de las luces necesarias en las primeras horas del día, al inicio de la jornada, las cuales permanecen encendidas todo el día. 2- Con control de uso: plantea la regulación del encendido en función de la disponibilidad de iluminación natural. Se pudo establecer la cantidad de horas de encendido de las lámparas en 4 situaciones según la cantidad de lámparas necesarias y cuantificar la incidencia del uso racional de las luces (ver tablas N° 4 y 5).

| Aula 4 FAU con bandejas - Situaciones de iluminación natural interior | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mes/hs | 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 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| abril | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 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 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| agosto | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| septiembre | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| octubre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| noviembre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| diciembre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

| Aula 4 FAU con bandejas - Situaciones de iluminación natural interior | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mes/hs | 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 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| abril | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| mayo | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 |
| junio | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 |
| julio | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 |
| agosto | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| septiembre | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| octubre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| noviembre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| diciembre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabla N° 4: Rangos iluminación interior, sin control de luces. Tabla N° 5: Rangos iluminación interior, con control de luces.

N° de Horas de utilización de lámparas: (0) 0 lámp: 600 hs - (1) 36 lámp: 830 hs (2) 54 lámp: 390hs - (3) 68 lámp: 520 hs

N° de Horas de utilización de lámparas: 0 lámp: 1670 hs - (1)36 lámp: 390 hs (2) 54 lámp: 120 hs - (3) 68 lámp: 160 hs

Se pudo estimar el costo de la energía necesaria para la iluminación artificial en cada caso, considerando el tiempo de utilización de lámparas, gastos en mantenimiento y reposición de la instalación. Se compararon los casos según el consumo anual, en un lapso de 40 años, de 5 aulas similares del sector de aulas de la FAU. Los resultados se muestran en la tabla N° 6.

| Gasto en energía eléctrica p/iluminación artificial | Situación Actual | Situación Propuesta | |
|---|------------------|----------------------|----------------------|
| | | Sin control de Luces | Con control de Luces |
| Anual (1 aula) | \$ 2351 | \$ 1360 | \$ 497 |
| Anual (5 aulas) | \$ 11755 | \$ 6800 | \$ 2485 |
| 40 años (5 aulas) | \$ 470.200 | \$ 272.000 | \$ 99.400 |
| % de Ahorro | 0 % | 42 % | 79 % |
| Anual, reposición y mantenim. (5 aulas) | \$ 13258 | \$ 6874 | \$ 3074 |
| % de Ahorro | 0 % | 48% | 80% |

Tabla N° 6: resumen de gasto anual en energía eléctrica y porcentajes de ahorro, para situación actual y para la propuesta

Se observa que el diseño propuesto implica un ahorro del 40% al 80% aproximadamente en el consumo de energía eléctrica para iluminación. Al considerar que las luces funcionan sin ser controladas, el gasto energético por año disminuye un 42%, lo que significa un ahorro anual de \$4.955 Cuando se considera el uso racional de la iluminación artificial con funcionamiento controlado de las luces, el gasto energético final por año disminuye un 79%, lo que significa un ahorro anual de \$9.270 aproximadamente. Al considerar los gastos en reposición y mantenimiento, los porcentajes de ahorro disminuyen un 6% a un 1% Si se considera una vida útil del edificio de 40 años, el ahorro es de \$370.800.

CONCLUSIONES

El estudio descripto, que abarcó el diagnóstico de las condiciones de ambientales del aula y el estudio del comportamiento térmico, de asoleamiento y lumínico, permitió arribar a una propuesta de diseño del cerramiento exterior factible de incorporar en ésta y otras aulas de la tipología edilicia de block, la cual se repite en forma similar para las distintas facultades ubicadas en el predio de la UNT. Desde el punto de vista térmico la propuesta plantea una importante mejora para la situación de invierno ya que se logran ganancias de calor de hasta 21.629 Wdía, beneficiando las condiciones de confort y reduciendo el aporte de calor por medios mecánicos. Desde el aspecto lumínico el sistema propuesto, permitió verificar valores de CLD que superan a los indicados en Normas IRAM en el 95% de los puntos analizados y una notable mejora en la distribución de la iluminación natural, con valores de uniformidad de 0,3. En relación a la iluminación artificial se logran ahorros en el consumo de energía eléctrica del orden del 40% al 80%. Este estudio demostró que es posible el planteo de soluciones de aventanamientos que respondan a las condicionantes lumínicas, térmicas y de asoleamiento que presenta nuestra situación climática, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de docentes y alumnos en el interior de los edificios universitarios y a disminuir el uso de energías no renovables, aspecto fundamental a tener en cuenta al considerar la crisis energética actual y el posible agotamiento de los recursos naturales.

REFERENCIAS

- Cantor Cutiva L. y Muñoz Sánchez A. (2009). Condiciones acústicas de las aulas universitarias en una Universidad pública en Bogotá. Med.Segur.Trab.-(Intenet);55 (216), pp. 26-34. <http://scielo.isciii.es/> Acceso agosto (2010).
- G. E. Gonzalo, S. L. Ledesma, G. Quiñones, G. Márquez Vega. (2006) Diseño De Ventanas Unilaterales En Aulas Escolares De Tucumán, Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10 N° 2. ISSN 0329-5184. Ed. Milor.
- Gonzalo G (2003). Manual de Arquitectura Bioclimática, 2da. Edición. pp. 222. ISBN 950-43-9028-5.
- Ledesma S.L. et al. (2005) Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en S. M. de Tucumán. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9 N° 2. ISSN 0329-5184. .
- Martin M. y Salas G. (2009). El medio ambiente físico en las aulas de la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional de Mar del Plata. III Jornada Nacional sobre salud y seguridad en el trabajo en los ámbitos de la educación superior, pp. 1-19. http://www.cin.edu.ar/Medio_Ambiente_Fisico_en_las_Aulas_UNMP.pdf Acceso agosto 2010.
- San Juan G., Viegas G., Melchiori M. (2003). Auditoría ambiental en aulas de grandes dimensiones estudio de caso. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, N° 1, pp. 05.07-12. ISSN 0329-5184.

ABSTRACT: It shows the proposal to the bioclimatic adaptation of a prototype classroom in the building of the School of Architecture, National University of Tucumán, with the main goal to reach better habitability conditions and to generate a demonstrative intervention as a possible model to follow for other classroom in the same faculty, as well as, in another similar buildings in the university campus. The evaluation of the environmental conditions shows same deficiency in the thermal conditions, as well as in lighting and solar incidence. The modifications proposals were evaluated through model scale and computational programs which facilitated to verify that with same simple and economic constructive solutions is possible to reach better environmental conditions and important reduce in the energetic consumption.

Keywords: Bioclimatic architecture, energy, interior habitability, energy, teaching spaces.