

00164 11
2es

Universidad Nacional Autónoma de México



**Iluminación Natural y Ahorro Energético en las Edificaciones
Un Modelo Computarizado para Evaluar Soluciones Arquitectónicas**

**Tesis que para obtener el grado de Maestra en Arquitectura presenta:
Rocío Rangel Ruiz**

**Facultad de Arquitectura
División de Estudios de Posgrado
Maestría en Arquitectura-Tecnología**

272983



1999

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION

DISCONTINUA.

Universidad Nacional Autónoma de México



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

Iluminación Natural y Ahorro Energético en las Edificaciones
Un Modelo Computarizado para Evaluar Soluciones Arquitectónicas

Director de Tesis:

Dr. José Diego Morales

Sinodales Propietarios:

Mtro. Francisco Reyna Gómez
Mtra. Jeanine Da Costa Bischoff

Sinodales Suplentes:

Dr. Alvaro Sánchez González
Dr. David Morillón Galvez

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres por su paciencia y apoyo. En especial a mi mamá por andar de arriba a abajo tramitando papeles y hablando con profesores. ¡Eres lo máximo!

Special thanks to Dr. James Love for introducing me to the fascinating world of computer simulation. The research was great!

Gracias por su confianza a Fundación UNAM.

Un agradecimiento especial a la Mtra. Jeanine Da Costa, al Dr. Diego Morales, y al Mtro. Francisco Reyna por el apoyo recibido durante mi estancia en Canadá.

Gracias a Ana Elena Barrera y Raúl Huitrón por estar siempre ahí cuando los necesito.

Thanks to my Penguin for those “don’t worry” phrases.

A cada una de las personas que compartieron mi trabajo durante estos tres años, mi agradecimiento por siempre.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Hipótesis | |
| 1.2 Objetivos | |
| 1.3 Metodología | |
| | |
| 2. Importancia del Estudio | 7 |
| | |
| 3. La Iluminación Natural en el Diseño Arquitectónico | 13 |
| 3.1 Principios generales de iluminación natural | |
| 3.2 Parámetros de diseño con luz natural | |
| 3.3 Disponibilidad y control de la luz natural | |
| 3.4 El papel del arquitecto | |
| 3.5 Metodología e iluminación natural | |
| | |
| 4. Confort Humano | 34 |
| 4.1 Confort térmico | |
| 4.2 Confort visual | |
| | |
| 5. Escuela Primaria Park Ridge | 42 |
| 5.1 Características del proyecto | |
| 5.2 Climatología de la Ciudad de Melbourne | |

| | |
|--|-----------|
| 6. Simulación por Computadora | 53 |
| 6.1 Descripción del programa Lightscape | |
| 6.2 Descripción de Form Z | |
| 6.3 Descripción de ESP-r | |
| 7. Metodología de Simulación | 59 |
| 7.1 Restricciones en ESP-r | |
| 7.2 Comportamiento lumínico: Lightscape | |
| 7.3 Comportamiento térmico: ESP-r | |
| 8. Comportamiento Lumínico | 66 |
| 8.1 El diseño de la losa | |
| 8.2 Niveles de iluminancia y el uso de cortinas | |
| 8.3 El diseño del parteluz | |
| 8.4 Resumen | |
| 9. Comportamiento Térmico | 74 |
| 9.1 El diseño del parteluz | |
| 9.2 La iluminación natural y la temperatura interior | |
| 9.3 El efecto de los cambios de aire por hora sobre la temperatura interior | |
| 9.4 La radiación solar y la temperatura interior | |
| 9.5 La contribución térmica de veinte alumnos | |
| 9.6 Efecto de la envolvente sobre la temperatura interior | |
| 9.7 Resumen | |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| 10. Comparación de Resultados | 87 |
| 11. Propuestas de Diseño | 92 |
| 12. Conclusiones | 103 |
| 13. Bibliografía | 109 |
| 14. Apéndices | 113 |

1. INTRODUCCIÓN

No es extraño, conforme nos acercamos al siglo veintiuno y la escasez de recursos naturales es cada vez más evidente, encontrarse con gente interesada en la relación entre la actividad humana y el medio ambiente. Es increíble que en tan solo cien años, el hombre haya destruido lo que a la tierra le tomo 5000 años crear¹. Es indiscutible que algo tiene que hacerse para asegurar el bienestar de nuestro planeta.

La arquitectura juega un papel muy importante dentro de este problema. Con la aparición de energías baratas, el cristal y equipos de aire acondicionado y calefacción, el arquitecto comenzó a dar la espalda al medio ambiente para crear un tipo de arquitectura universal². El mismo tipo de edificios comenzó a aparecer en todas partes del mundo sin tomar en cuenta las necesidades específicas de las poblaciones, la diversidad de climas, el impacto de y sobre las construcciones circundantes, el valor histórico de los edificios, y la cultura del lugar. Esta actividad, en la actualidad, puede considerarse como una de la más contaminantes³ por lo que su estudio ha sido identificado como prioritario por varios autores⁴.

El proyecto que se presenta en esta tesis es un ejemplo de diseño integral en donde tanto arquitectos como ingenieros han reconocido la importancia del ahorro energético en la arquitectura. El arquitecto aprovechó el potencial de la iluminación natural para el ahorro de energéticos fósiles y creación de espacios arquitectónicos agradables en la Escuela Primaria Park Ridge en Melbourne, Australia. Como él, diversos autores⁵ argumentan que la cantidad de energía que se utiliza para la calefacción, aire acondicionado y electrificación en los edificios puede disminuirse notablemente a través de un diseño adecuado en donde se promueva el uso de sistemas pasivos.

¹ www.Oikos.com/seao/solar 1996/ embod, Enero 1999

² Rocky Mountain Institute, Barnett, 1995, A Primer on Sustainable Building, Green Development Services, EUA

³ Vale, 1991, Green Architecture, Design for an Energy Concious Future, Bulfinch, Inglaterra

⁴ Vale (1991), E Source (992), IES (1993)

⁵ Selkowitz, 1998, The Elusive Challenge of Daylighted Buildings: A Brief Review 25 years later, Building Technologies Department, Environmental Energy Technologies Division, EUA

Esta tesis evalúa la hipótesis de que el confort visual y térmico puede alcanzarse en salones de clases ubicados en zonas de climas cálidos a través del diseño pasivo. Para tal efecto, se analizó un salón tipo en la Escuela Primaria Park Ridge con los programas de computación Lightscape y ESP-r para el estudio lumínico y térmico respectivamente.

Se consideró importante determinar la cantidad y calidad de la luz que entra en el espacio y su efecto sobre la temperatura interior. El diseño arquitectónico se examinó mediante un proceso de eliminación en donde los diferentes factores involucrados en el problema se removieron uno por uno para evaluar su efecto sobre el confort de los ocupantes.

La investigación surge como resultado del interés personal de la autora, la preocupación del arquitecto proyectista por comprobar la eficiencia de su diseño y la accesibilidad a la información y programas de computación necesarios para el estudio.

Es importante mencionar que el acceso a información de tipo climatológica y características de materiales de construcción es indispensable para este tipo de análisis. Desafortunadamente, en México, el acceso a este tipo de información es difícil y estudios como el que se presenta a continuación de vuelven casi imposibles.

Sin embargo, esta tesis no debe ser vista como algo ajeno a los arquitectos mexicanos. A pesar de las posibles diferencias climatológicas entre Melbourne y la Ciudad de México, ambos climas pueden considerarse como cálidos y el análisis científico que se presenta comprueba que el uso de sistemas pasivos en los edificios es factible en estos lugares para lograr la eficiencia energética.

La metodología de simulación que se siguió es un ejemplo de cómo se pueden conducir análisis lumínicos y térmicos eficaces. Se espera que el trabajo sirva de motivación para otros arquitectos para introducirse al maravilloso mundo de la simulación por computadora y eficiencia energética en los edificios.

Es un placer poder compartir con los arquitectos mexicanos las experiencias y conocimientos adquiridos en estos últimos años.

1.1 Hipótesis

La hipótesis de este trabajo de investigación es la siguiente:

El uso de luz natural es compatible con el confort visual y térmico en los salones de clases de las escuelas localizadas en climas cálidos.

1. La temperatura interior estará dentro de la zona de confort térmico propuesta por Kwok (entre 20° C y 27° C).⁶
2. Con iluminación natural se puede lograr el requerimiento mínimo de 200 lux⁷, en aulas de escuelas primarias.

1.2 Objetivos

- Dar a conocer un caso real en donde el uso de la iluminación natural forma parte del diseño arquitectónico.
- Estudiar la relación entre el uso de la luz natural y el ahorro energético.
- Identificar las áreas en donde los ocupantes de una edificación y los sistemas de iluminación pasiva se ven afectados. Determinar la sensibilidad térmica y lumínica en salones de clase ubicados en climas cálidos.
- Demostrar que el uso de simuladores energéticos es de gran utilidad dentro del quehacer arquitectónico.

⁶ Rango tomado de estudios realizados por Alison G. Kwok , asistente de profesor en el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Cornell, Ithaca, N.Y.

⁷ ASHRAE Fundamentals 1993 sugiere entre 200 y 500 lux como mínimo en salones de clases.

1.3 Metodología

a.- Identificación del problema

A través de una revisión bibliográfica, se determinó que el ahorro de energéticos fósiles dentro de la industria de la construcción es indispensable.

La iluminación natural ofrece grandes posibilidades tal y como lo mencionan varios autores (Love, Selkovitz, Robbins). Se detectó la necesidad de dar a conocer ejemplos en donde se demuestre que la utilización de dicho elemento contribuye al ahorro de energéticos fósiles sin con ello poner en peligro el confort visual y térmico de los ocupantes.

b.- Planteamiento del problema

Un ejemplo real, en donde el tema principal es la introducción de iluminación natural para lograr el ahorro energético fue seleccionado en Melbourne, Australia. Los datos mostrados en esta tesis fueron tomados de estudios y planos recibidos de Taylor Oppenheim Architects Pty. Ltd.

A partir de estos datos, se preparó un modelo en tercera dimensión y archivo de datos climatológicos necesarios para el estudio.

Diversos elementos fueron seleccionados y puestos a prueba para determinar su impacto sobre los niveles de iluminancia y temperatura interior en un salón de clases tipo.

c.- Simulación energética

El programa Lightscape se utilizó para el análisis de los niveles de iluminancia sobre los escritorios en el salón de clases. El programa para el análisis térmico en los edificios, ESP-r, fue utilizado para simular temperaturas en el interior de un salón de clases.

Se estudió el efecto sobre la temperatura interior de elementos tales como el diseño arquitectónico, la radiación solar, la actividad humana, cambios de aire por hora y características de la envolvente.

En cada una de la simulaciones se reportaron los niveles de iluminancia recibidos sobre cada una de las mesas de trabajo en el salón de clases, así como la diferencia de temperaturas entre el exterior e interior. Diferentes gráficas y tablas se utilizaron a lo largo del documento para ayudar a comprender mejor la información generada por la computadora.

Los resultados se analizaron, dando a conocer en qué momentos se alcanza el confort y cuándo las condiciones propuestas en esta tesis se rebasan.

d.- Sugerencias

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó la eficiencia del diseño. Se detectaron las épocas de año en las cuales el confort de los ocupantes puede verse afectado de forma negativa. Con base en los resultados y en la idea de mantener el diseño arquitectónico intacto, se hacen una serie de sugerencias al proyecto para ser tomadas en cuenta en futuras remodelaciones.

e.- Conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones

El presente trabajo concluye con la discusión de la hipótesis y el cumplimiento de los objetivos señalados al principio de la tesis. Se discuten los parámetros para los cuales las condiciones de confort se aplican y se sugieren líneas importantes para las investigaciones futuras.

Referencias

Rocky Mountain Institute, Barnett, 1995, A Primer on Sustainable Building, Green Development Services, EUA

Vale B. Y Vale R., 1991, Green Architecture, Design for an Energy Concious Future, Bulfinch, Inglaterra

E Source, 1992, Energy- Efficient Buildings, Institutional Barriers and Opportunities, Rocky Mountain Institute, EUA

Illuminating Engineering Society of North America, 1993, IES Lighting Handbook, EUA

Selkowitz, 1998, The Elusive Challenge of Daylighted Buildings: A Brief Review 25 years later, Building Technologies Department, Environmental Energy Technologies Division, EUA

OIKOS sustainability, [www. Oikos.com/ seao/solar](http://www.Oikos.com/seao/solar) 1996/ embod, Enero 1999

2. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

México cuenta con una gran variedad de recursos energéticos, entre ellos, petróleo, gas natural, carbón y recursos hidrológicos. Es además un país rico en potencial solar y eólico. Sin embargo, desde el descubrimiento de grandes cantidades de hidrocarburos durante los años setenta —el cual cambió la posición de México de ser importador neto de hidrocarburos a ser uno de los productores con mayores reservas a nivel mundial¹ - el país depende casi en su totalidad en hidrocarburos para sus necesidades energéticas. Estos descubrimientos favorecieron drásticamente las cuentas económicas de México, pero al mismo tiempo, han tenido un impacto fuerte en la contaminación y ha servido como incentivo para desarrollar un sector energético más sustentable.

El uso irracional de energéticos fósiles ha acarreado problemas tales como el efecto invernadero, el deshielo de glaciares, el calentamiento de aguas y aire, la erosión de la corteza terrestre, etc. El problema energético y de contaminación ha llegado a un punto en donde la búsqueda de soluciones determinará la subsistencia del ser humano sobre la Tierra. Si se toma en cuenta que el 45% de las emisiones de bióxido de carbono proviene de las edificaciones², la arquitectura se convierte en un elemento clave en el combate contra dicho problema.

Por otro lado, se construyen un gran número de escuelas cada año. Por ejemplo, en México existen más de 100 mil escuelas públicas³ que representan un alto costo de energía eléctrica. Los principales problemas que reporta la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP)⁴ son la obsolescencia de la tecnología de los componentes del alumbrado, la falta de control sobre la iluminación, el mantenimiento inadecuado del equipo eléctrico y la falta de educación y cultura energética.

¹ www.energia.gob.mx, Febrero 01, 1999

² Edwards, 1998, *Green Buildings Pay*, E / FN SPON, EUA

³ www.semarnap.gob.mx, Febrero 01, 1999

⁴ www.semarnap.gob.mx, Febrero 01, 1999

El estudio que se presenta en esta tesis muestra una de las muchas alternativas que ofrece el diseño pasivo en la arquitectura. Se comprueba que el uso de la iluminación natural, a través de un diseño adecuado, es suficiente para alcanzar niveles de iluminancia adecuados para la actividad humana sin añadir cargas térmicas excesivas, eliminando así la necesidad de aire acondicionado e iluminación artificial durante el día.

Además se sugiere una metodología para el análisis térmico y lumínico en los edificios a través de la simulación por computadora. Tal y como menciona Pacific Gas and Electric Company (PG&E), el uso de dichos programas es cada vez más popular ya que ofrece la posibilidad de calcular el comportamiento energético de un edificio en cualquier etapa de diseño y crear situaciones ficticias que en la vida real serían prácticamente imposibles de analizar. El conocimiento de programas como Lightscape y ESP-r es cada vez más importante.

México, a través de varias instituciones, ha mostrado su interés por la eficiencia energética, tanto nacional como internacionalmente. Por ejemplo, a partir de Octubre de 1995 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) se constituyó como un órgano autónomo y separado de la Secretaría de Energía (SE). Particularmente, la regulación se enfoca a las relaciones entre los particulares y el Estado y más específicamente en lo que se refiere al mercado de energía eléctrica y el mercado de gas natural.

En el periodo 1995-1997, la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), realizó diversas acciones de cooperación bilateral con 44 países en torno de 429 proyectos, de los cuales 190 se han ejecutado y 239 se encuentran en proceso de negociación. Los proyectos ejecutados tienen la siguiente distribución: 78 proyectos en medio ambiente, 50 en agua, 49 en pesca y 13 en suelos. De estas acciones, 44% se llevaron a cabo con los países de América Central, 19% con los de América del Sur, 16% con los del Caribe y 15% con los de Europa⁵.

A continuación se dan a conocer algunas de las instituciones mexicanas que apoyan el ahorro de energéticos fósiles dentro de la industria de la construcción. Dichas

⁵ www.semarnap.gob.mx, Febrero 01, 1999

dependencias podrán guiar al lector hacia estudios similares a esta tesis y apoyos para la investigación relacionada con la eficiencia energética.

CONAE: La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía tiene por objeto fungir como órgano técnico de consulta en materia de ahorro y uso eficiente de energía, además de ser el organismo responsable de promover acciones en esta materia que involucren a todos los sectores de la sociedad.

El Acuerdo de creación de la CONAE establece diversas funciones:

Normalización

Asistencia Técnica

Promoción

Las funciones más importantes de la CONAE son:

- Concebir y promover estrategias y acciones sobre el ahorro y uso eficiente y racional de la energía, así como coordinar y concertar dichas acciones.
- Preparar, coordinar y evaluar los programas nacionales de ahorro de energía.
- Promover, fomentar y difundir estudios relacionados con la utilización de energía, así como la investigación, desarrollo y difusión de tecnología para el ahorro y uso racional y eficiente de la energía

INSTITUCIONES QUE INTEGRAN LA COMISION

Secretaría de Energía (SE)
Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

Secretaría de Educación Pública (SEP)
Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP)
Departamento del Distrito Federal (DDF)
Petróleos Mexicanos (PEMEX)
Comisión Federal de Electricidad (CFE)
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)

CFE: Comisión Federal de Electricidad. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha diseñado, construido y actualmente opera diversos tipos de plantas termoeléctricas de vapor, ciclo combinado, de turbogas, de combustión interna, duales y carboeléctricas; así como nucleoeeléctricas, geotermoeléctricas, hidroeléctricas y eoloeléctricas. Con 32 mil megawatts de capacidad instalada, más de 141 mil gigawatts-hora generados anualmente, medio millón de kilómetros de líneas de transmisión y más de 15 millones de usuarios atendidos en todo el país, la CFE es una de las compañías eléctricas más importantes del mundo. La CFE promueve acciones para el ahorro de energía eléctrica en colaboración con la CONAE, FIDE y PAESE.

FIDE: El Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), fue fundado en 1990 por la CFE y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLyFC) como una agencia privada que busca promover el uso eficiente de la electricidad.

Entre 1990 y 1995, se estima que los proyectos del FIDE han resultado en un ahorro de 5,400 GWH (aproximadamente 5 por ciento del consumo nacional de electricidad durante este periodo). Según el FIDE, sus programas dieron por resultado la reducción de bióxido de sulfuro, óxido de nitrógeno, y bióxido de carbono en más de 420 millones de toneladas⁶.

En lo que se refiere a las actividades programadas por el FIDE (en coordinación con el PAESE- Programa de Ahorro de energía del Sector Eléctrico) destacan las siguientes:

- Horario de verano
- Programa de incentivos.- Con el objetivo de lograr ahorros en el consumo y demanda pico de energía eléctrica, así como de impulsar la transformación del mercado hacia el uso de equipos de alta eficiencia se lleva a cabo a partir de 1996 un programa de incentivos para la compra de equipos eficientes.

⁶ www.energia.gob.mx, Febrero 01, 1999

- Proyectos demostrativos.- efecto multiplicador,
- Promoción y capacitación.- elaboración y distribución de materiales impresos dirigidos a los usuarios
- Identificación de equipos eficientes.- otorgamiento del Sello FIDE

SEMARNAP: Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Con el fin de detener los actuales ritmos de deterioro ambiental y transitar hacia un desarrollo sustentable, la SEMARNAP concede prioridad a los instrumentos de educación ambiental y capacitación.

La educación ambiental constituye un instrumento que induce transformaciones en la conciencia colectiva y permite involucrar con mayor efectividad a la población en la conservación del ambiente y el manejo sustentable de los recursos naturales.

Entre las acciones sobresalientes de la Secretaría en esta materia destaca la realización del II Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental, que permitió la difusión e intercambio de estrategias educativas para transitar al desarrollo sustentable; la impartición del primer curso sobre el Programa Globe, con el fin de fortalecer los procesos académicos y motivar la participación social en la gestión ambiental; cursos en coordinación con las universidades de Hidalgo, Coahuila, Nuevo León y Sonora y, a nivel nacional, con los bachilleratos tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública (SEP). Con la UNAM se llevaron a cabo los diplomados a distancia titulados Prospectiva de la Educación Superior, frente a los Retos del Desarrollo Sustentable y Desarrollo Regional Sustentable en el Sur-Sureste de México. También se organizaron los encuentros nacionales de Redes de Educadores Ambientales y de Centros de Recreación y Cultura Ambiental y se apoyaron reuniones regionales y estatales de educadores ambientales. En este mismo contexto, los certámenes del Premio al Mérito Ecológico y del Premio al Mérito Nacional Forestal continúan celebrándose.

En coordinación con la SEP, se ha proseguido la capacitación de profesores de diversos niveles y se elaboran recomendaciones pedagógicas y didácticas para incluir el

enfoque de la dimensión ambiental en los libros de texto. Adicionalmente, se apoya a la Universidad Pedagógica Nacional en sus programas académicos en materia de educación ambiental.

En materia de comunicación educativa se impulsará el programa editorial impreso y audiovisual sobre temas especializados y la Gaceta Informativa. En coproducción con la UNAM, se espera realizar programas de televisión sobre el consumo y el medio ambiente, la Agenda XXI y las plantaciones forestales comerciales. Con la Profeco se elaborará material radiofónico sobre consumo y medio ambiente y sobre el manejo sustentable de los recursos naturales. Con el ILCE se elaborará una serie de cápsulas televisivas sobre contingencias ambientales.

Con el sector energético, la Secretaría ha consolidado su participación en diferentes comités intersectoriales coordinados por la Comisión Nacional de Ahorro de Energía, con el objeto de fomentar el ahorro y uso eficiente de la energía. En particular, dentro del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), se elaboraron Normas Oficiales para propiciar el uso eficiente de la energía en equipos industriales y domésticos. El desarrollo de la legislación y el cumplimiento de la normatividad ambientales se inscriben dentro de uno de los principales objetivos del Programa Nacional de Desarrollo 1995-2000.

El trabajo que se presenta en esta tesis da a conocer un proyecto exitoso que puede ser utilizado como material didáctico tanto para diseñadores como para clientes. Instituciones tales como la UNAM, SEP, SEMARNAP e ILCE son esenciales para la distribución de esta información.

Referencias

- Edwards, 1998, Green Buildings Pay, E / FN SPON, EUA
Secretaría de Energía, www.energia.gob.mx, Febrero 01, 1999
SEMARNAP, www.semarnap.gob.mx, Febrero 01, 1999
CONAE, www.conae.gob.mx, Febrero 03, 1999

3. LA ILUMINACIÓN NATURAL EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

El tema principal del proyecto que se presenta en esta tesis es el uso de la iluminación natural por lo que es importante definir este concepto.

Muchos han sido los factores que han obligado al hombre a retomar el recurso de la iluminación natural. Por un lado la crisis energética actual que ha generado un aumento considerable en los costos de la electricidad, insumo que representa un alto porcentaje dentro de los gastos de operación y mantenimiento en los edificios. Por otro lado, la electricidad es un recurso cuya producción contribuye a la contaminación del ambiente, produciendo daños irreversibles en la biósfera terrestre. Finalmente, el hecho de que la tecnología moderna obligue a que el hombre se desarrolle la mayor parte del tiempo en ambientes artificiales ha generado en él respuestas negativas. Todos estos factores han provocado que la mayoría de los edificios tengan costos económicos y humanos que podrían minimizarse a través de un diseño, instalación y mantenimiento cuidadoso que reduzca el uso de los sistemas artificiales, no solo de iluminación, sino también de aire acondicionado, calefacción y ventilación.

En la actualidad se esta dando un replanteamiento en la forma de resolver las necesidades humanas, económicas y ambientales en las construcciones, y que se acopla perfectamente con el concepto de iluminación natural.

3.1 Principios generales de iluminación natural

La iluminación natural fue la primera y más importante fuente de luz para el hombre durante miles de años. No fue sino hasta mediados del siglo XX, con la aparición de energía a bajo costo e iluminación eléctrica, que el hombre empezó a darle la espalda. La electricidad permitió el acondicionamiento de edificios de varias plantas y zonas oscuras. La luz natural dejó así, de ser indispensable y el uso indiscriminado de electricidad comenzó.

Con el deterioro irreversible del ambiente y crisis energética, surge también la necesidad de encontrar nuevas opciones para acondicionar los edificios: una de estas opciones, es el uso de la iluminación natural.



Fig. 1 Westminster Abbey
Londres, Inglaterra siglo XIII

La luz natural ha sido un elemento de diseño importante a lo largo de la historia de la arquitectura. Esto se ve claramente en la volumetría y forma de los espacios interiores de las construcciones del siglo XIII al XIX.

Un buen diseño de iluminación se define como aquel que garantiza un nivel lumínico idóneo, una fuente de luz apropiada y una distribución adecuada para la actividad visual que se llevará a cabo en el lugar. Lo anterior no significa que el ser humano ve mejor por el solo hecho de tener más luz, es más, demasiada luz puede llegar a ser molesta dependiendo de la actividad. La rapidez con la que la tarea visual se lleva a cabo depende tanto de la calidad como de la cantidad de luz sobre el plano de trabajo. Se puede decir que la riqueza del recurso depende de un buen logro de contrastes entre luz y sombras.

La iluminación natural, a diferencia de la artificial ofrece numerosas ventajas. A continuación se mencionan algunas:

- La importancia de la iluminación natural como elemento cultural y de diseño. El uso de aperturas en los edificios relaciona al hombre con su medio ambiente, por lo tanto, cada proyecto será diferente de acuerdo a las condiciones específicas del lugar y actividad humana que se realiza en el interior. Es así como el diseño se convierte en un elemento cultural poderoso que distingue países, razas, pueblos, ciudades y edificios.

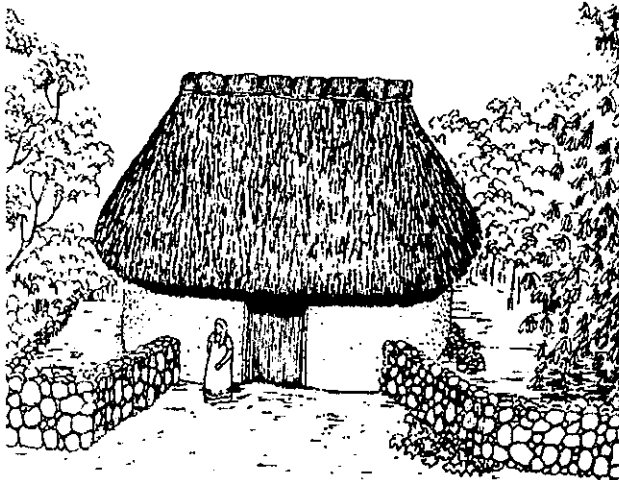


Fig. 2 Vivienda en Chiapas, México

Por ejemplo, en Chiapas, se utilizan materiales regionales de baja conductancia térmica y cerramientos pequeños para evitar ganancias térmicas excesivas. De esta manera, la arquitectura responde satisfactoriamente a las condiciones climatológicas y recursos disponibles en el lugar.

- El sol es una fuente energética gratis, no contaminante e inagotable. El buen uso de elementos tales como la orientación, obstáculos, características del terreno, y ubicación geográfica determinarán la cantidad y calidad de la luz disponible en los espacios.

- Muchos estudios han demostrado que el uso de la iluminación natural provoca en el ser humano sensaciones de bienestar y confort¹. La mayoría de la gente aprecia la variedad y cambios de intensidad de dicha fuente. Ne'man² menciona que los "parches" producidos por la entrada directa de los rayos solares en el espacio pueden ser placenteros siempre y cuando no interfieran con la actividad humana.



Fig. 3 The Body Shop, Raleigh, California

En este caso se utilizan "parches de luz" para darle vida y crear formas interesantes en el espacio. Notese que los rayos directos del sol no caen sobre zonas en donde se realizan actividades visuales importantes.

- Al relacionar el uso de la iluminación natural con la estructura del edificio, tipo de iluminación eléctrica, sensores y sistemas de aire acondicionado y calefacción, se pueden obtener diseños más eficientes.

¹ Lighting Research Institute, 1989, Lighting and Human Performance: A Review, NEMA Lighting Equipment Division, EUA, Enero

² Ne'man E., et al., 1976, Recomendations for the Admission and Control of Sunlight in Buildings, Building an Environment, 11

Por ejemplo, en la preparatoria Horton, una serie de fotosensores detectan la cantidad de iluminación natural que entra en el espacio y cuando los niveles de iluminancia necesarios para la actividad humana dejan de ser satisfactorios, mandan la señal para encender las luminarias de tipo eléctrico. El sistema contribuye satisfactoriamente a que el uso de energía sea 20% menor al señalado por la norma nacional (Canada's Model National Energy Code for Buildings) en donde se mencionan 18.6 W/m² como densidad de potencia eléctrica.

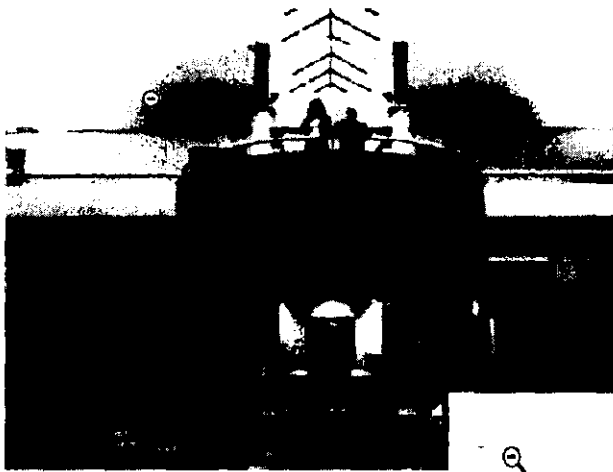


Fig.4 Preparatoria Horton
Nova Scotia, Canadá



Arriba: zona de comedor
Derecha: laboratorio

Ambos espacios utilizan iluminación natural durante el día

- Oportunidad de reducir costos de mantenimiento y operación del edificio al reducir el número y tamaño de equipos de aire acondicionado y calefacción. Un buen diseño de iluminación natural, tal y como se demuestra en el caso de estudio de esta tesis (Park Ridge Primary School), debe contribuir el ahorro de energía eléctrica sin añadir cargas térmicas significantes.

3.2 Parámetros de diseño con luz natural

Es importante comprender que la iluminación natural nunca reemplazará a la artificial en su totalidad, sin embargo, si ésta no se utiliza cuando existe suficiente luz natural³, el ahorro de energéticos fósiles será evidente. La clave para un diseño integral (la combinación de luz natural y eléctrica) radica en una estrategia de control lumínico en donde se integra el espacio arquitectónico con el medio ambiente exterior.

Para decidir qué fuente de luz utilizar, natural o artificial, durante el día, se deben analizar las necesidades visuales de la tarea a realizar. Se debe tomar en cuenta que tanto la luz natural como la artificial o eléctrica poseen características diferentes que las harán mejores o peores para diferentes actividades. Por ejemplo, el uso de iluminación eléctrica es necesario en sitios tales como salas de operación en donde se requiere de un control absoluto sobre los niveles de luminancia y calidad de la luz. Sería erróneo tratar de hacer uso de la iluminación natural en casos como este.

Se puede decir que la luz natural, a diferencia de la eléctrica posee las siguientes características:

- Uno de los puntos más importantes de este tipo de iluminación es su naturaleza dinámica. La posición del sol a diferentes horas del día y las condiciones del cielo (nubosidad y cantidad de contaminantes) deben estudiarse cuidadosamente. El uso de

³ Hay que recordar también que a veces se utilizaba la iluminación artificial para disminuir el contraste que produce la luz natural (exceso de luz natural en el espacio). En casos como este, el ahorro energético no se logra.

la iluminación natural se recomienda para lugares en donde no se requiere una luz consistente y control preciso.

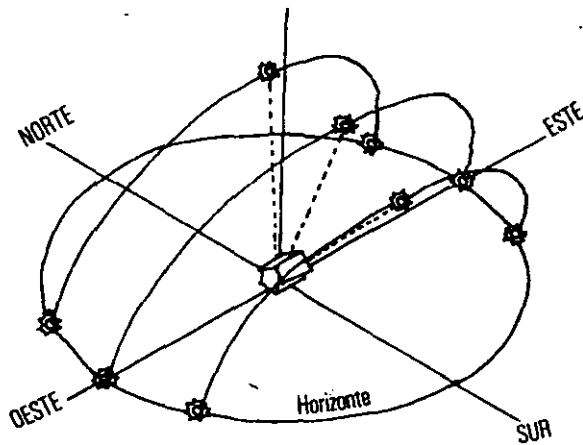


Fig. 5 Movimiento del Sol a lo largo del día

El movimiento del sol en las diferentes estaciones del año provoca que se perciban diferentes efectos a lo largo del día.

La posición del sol se puede predecir por medio de cartas y montañas solares. El conocimiento de la misma da al arquitecto armas suficientes para diseñar sistemas de iluminación natural adecuados.

A pesar de que la iluminación natural puede considerarse como una fuente caprichosa y con pocas posibilidades de control, no hay que olvidar que es un elemento muy poderoso dentro de la expresión arquitectónica.

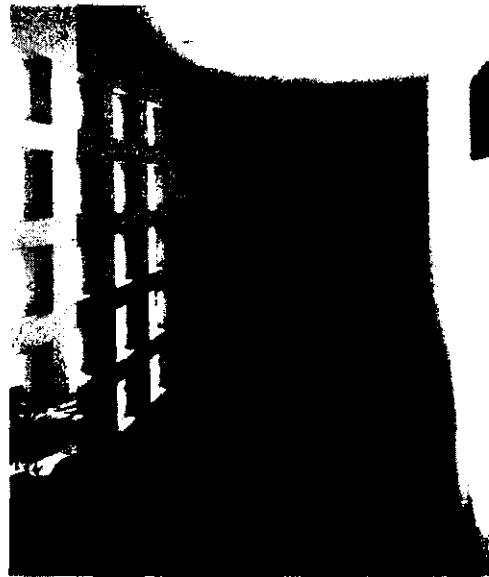


Fig. 6 Casa en la Retama, México DF

Legorreta utiliza la luz natural para resaltar formas y espacios. La fuente se convierte en un elemento poderoso dentro de la expresión arquitectónica.

- Los niveles de iluminación exterior superan, durante la mayor parte del año, los niveles de iluminación recomendados en interiores. Los niveles de iluminación disponibles en el exterior van desde 7,500 lux hasta 34,000 lux. La luz que entra en un espacio es, por lo tanto, difícil de controlar. Los deslumbramientos y ganancias térmicas no deseadas se convierten en un reto a vencer.

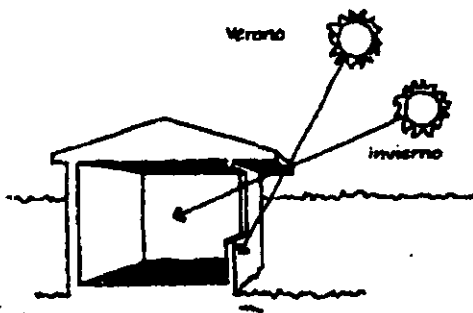


Fig. 7 Control de la luz del sol

El arquitecto tiene la posibilidad, en cada diseño de controlar el paso de los rayos directos del sol.

El diseñador debe tener en mente que una iluminación defectuosa puede ocasionar síntomas tales como fatiga y dolores de cabeza, lo que repercute directamente sobre el rendimiento y motivación de las personas en el trabajo.

- El espectro de la luz natural va desde el color rojo intenso hasta los colores violetas, lo que provoca que se perciban efectos muy particulares. Así pues, las características de la iluminación natural la hacen más adecuada para unos casos que para otros.

3.3 Disponibilidad y control de la luz natural

No es difícil darse cuenta que la iluminación natural, utilizada de manera apropiada, puede ayudar a reducir la cantidad de energéticos fósiles en los edificios. Por ejemplo, si se toma en cuenta que en edificios de tipo comercial del 30% al 50% de la energía que se utiliza se destina a la iluminación, el potencial de la iluminación natural es evidente.

Si en el diseño del edificio se crean grandes zonas oscuras, el gasto de iluminación puede ser inclusive mayor al gasto por acondicionamiento térmico, además de que en épocas de calor se presenta también un problema de sobrecalentamiento producido por la iluminación artificial.

El uso de la iluminación natural es tanto un arte como una ciencia. Como elemento de diseño, influye en la estética y aspecto cualitativo de un edificio. Como tecnología, debe ser sometida a estudios más rigurosos en donde algunos de los factores que deben tomarse en cuenta son:

- la cantidad de iluminación disponible durante el día a través de ventanas tragaluces etc.,
- la cantidad de energía radiante que se recibe en los espacios, y como consecuencia, las cargas térmicas generadas,
- el factor económico, por ejemplo: el costo de diseños arquitectónicos adecuados y la utilización de cristales especiales.
- su interacción con otros sistemas tales como iluminación eléctrica, estructura del edificio y sistemas de aire acondicionado y calefacción.

No existe una metodología determinada para el diseño con iluminación natural. Cada edificio tendrá características propias y muchas de las decisiones estarán determinadas por la ubicación geográfica. Sin embargo, se puede decir que existen una serie de "elementos esenciales" que se deben tomar en cuenta. La lista que a continuación se presenta tiene como objetivo dar al lector una idea de los puntos que se deben tomar en consideración al iniciar un proyecto con iluminación natural. La información que se presenta forma parte de las conclusiones a las cuales se llegó después de analizar diferentes libros y revistas (ver referencias).

- Estudiar la entrada de la luz solar en el interior de los espacios:

- ¿por dónde entra la luz al espacio? (ventana, tragaluz, o domo)

Las ventanas son el elemento más común para iluminar naturalmente. Su diseño y disposición influye directamente en la calidad y cantidad de luz recibida.

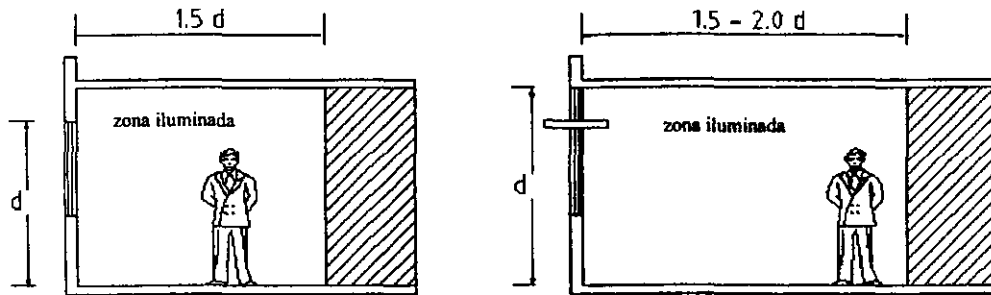
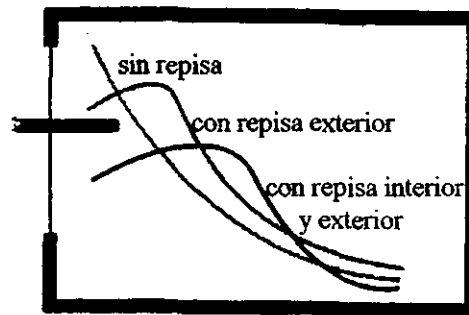


Fig. 8 Iluminación a través de ventanas

De acuerdo al IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), la cantidad de luz útil que entra por una ventana normal es aproximadamente 1.5 veces la altura desde el piso hasta la parte alta de la ventana.

El uso de repisas para la distribución apropiada de la luz ofrece un área de iluminación mayor y de menor variación lumínica (derecha y arriba).

Esto datos se refieren a ventanas con orientación Sur.



Los tragaluces o domos son también aperturas pero en la cubierta de un edificio y permiten la entrada vertical de luz.

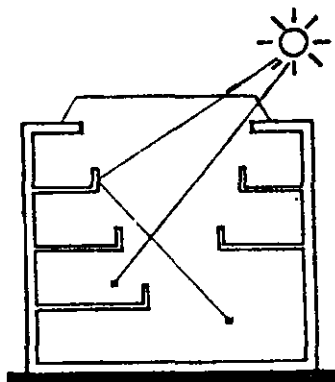


Fig. 9 Iluminación a través de domos y tragaluces

La luz entra de manera vertical por un tragaluz.

Existen diversas formas de introducir luz por medio de tragaluces y domos⁴.

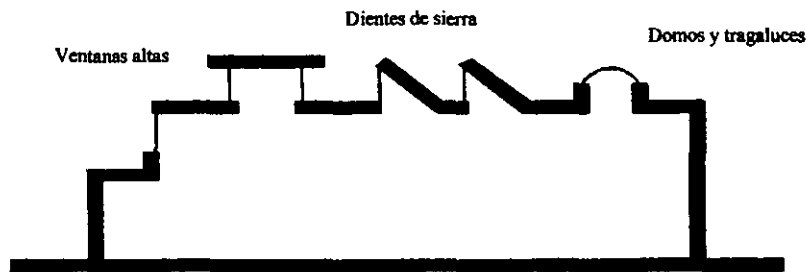


Fig. 10 Formas de introducir iluminación cenital

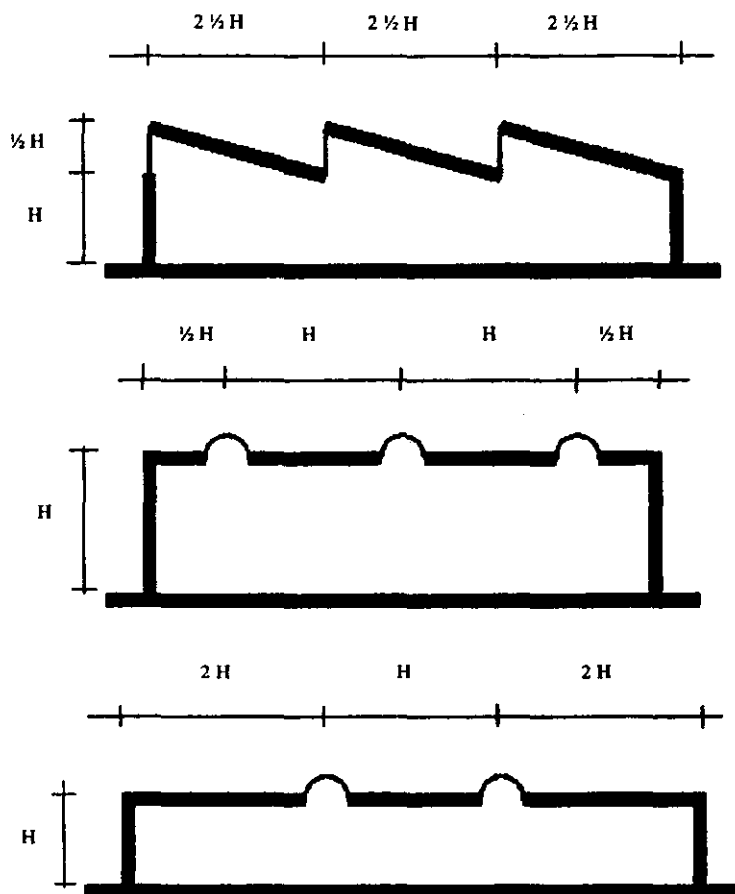


Fig. 11 Dimensiones aproximadas para obtener una iluminación cenital satisfactoria.

⁴ Illuminating Engineering Society of North America, 1998, IES Lighting Handbook, en proceso de publicación, EUA

El área de los tragaluces debe ser por lo menos el 5% del área de la planta arquitectónica para obtenerse una entrada de luz significativa⁵. Este porcentaje varía de acuerdo a la transmitancia del cristal.

- tomar en cuenta los reflejos y obstrucciones en el exterior, (árboles, condiciones del terreno y edificios circundantes) a través de estudios de asoleamiento.
- los espacios en los que la luz natural puede ser utilizada ampliamente deberán estar situados cerca de las aperturas. Por ejemplo, no deberán estar cerca de la envolvente del edificio las bodegas y estaciones de servicio a menos que se utilicen como amortiguadores contra ganancias térmicas no deseadas o penetración excesiva de rayos solares.
- color y coeficientes de transmisión de cristales

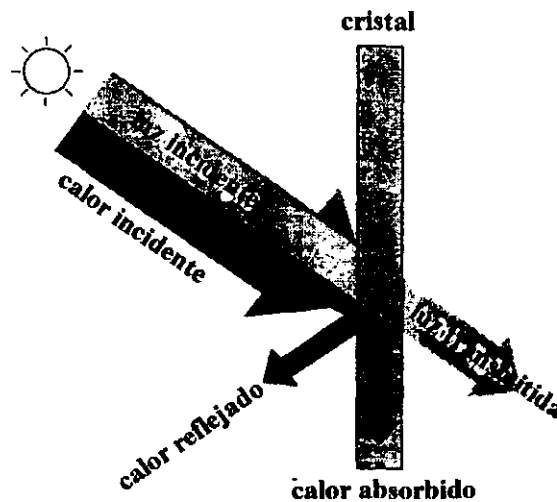


Fig. 12 Diagrama de transmisión de energía en cristales ideales

⁵ Illuminating Engineering Society of North America, 1993, IES Lighting Handbook, EUA

- estudiar las horas y días de diseño; orientación; posición del sol; dirección y distribución de la luz en el interior; espectro y color de la luz. El edificio deberá estar orientado de tal manera que se pueda utilizar al máximo la luz natural y al mismo tiempo, evitar posibles ganancias térmicas excesivas.

- asegurarse de que los niveles de iluminancia sean adecuados para la actividad humana que se llevará a cabo en el espacio.

- Minimizar la cantidad de deslumbramientos cerca de donde se lleven a cabo tareas visuales críticas:
 - tomar en cuenta los deslumbramientos producto del mobiliario, colores y materiales utilizados en techos, pisos y muros. La utilización de acabados de color claro y mate con un alto coeficiente de transmisión son altamente recomendados en techos y paredes para aumentar la reflexión de la luz, reduciendo con ello la variación lumínica y deslumbramientos no deseados

 - minimizar las ganancias térmicas producidas por los reflejos solares. El uso adecuado de materiales de construcción es importante ya que la capacidad de estos para absorber calor varía de acuerdo a sus características

 - utilizar elementos tales como volumetría, parteluces, aleros, y cortinas (movibles o fijas) para evitar la penetración directa de los rayos solares a horas poco convenientes. Por ejemplo, en la Ciudad de México es recomendable evitar la entrada del sol por las tardes en las fachadas poniente.

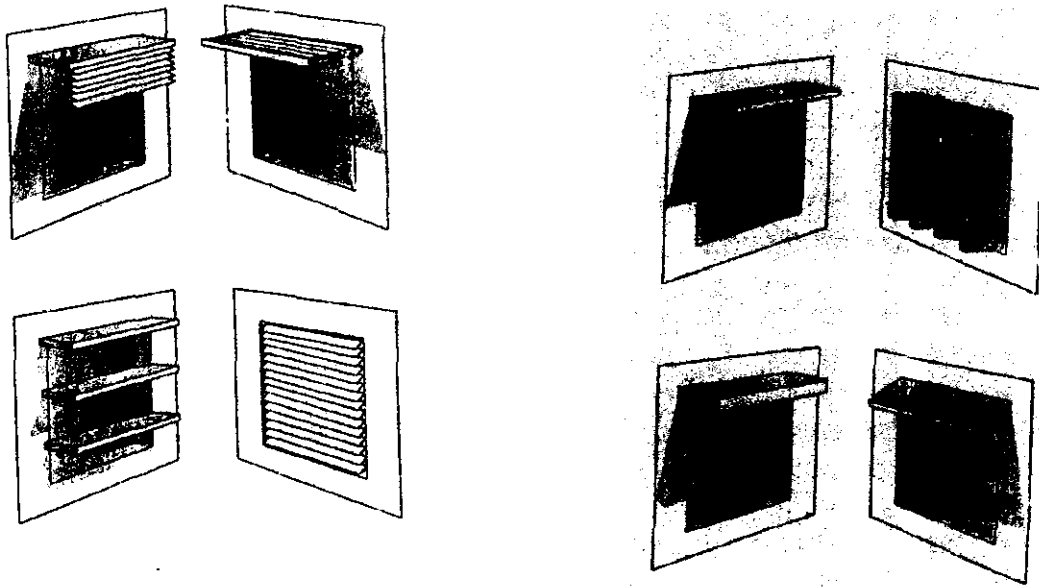


Fig. 13 Tipos de sombreado exterior para ventanas

- **Control sobre la iluminación eléctrica:**

- como complemento al diseño de iluminación natural es recomendable zonificar los circuitos eléctricos de acuerdo a los usos y necesidades lumínicas. Las luces deberán encenderse sólo en aquellas áreas en donde los niveles de iluminancia no sean adecuados para la actividad humana.

- el uso de detectores de presencia de tipo automático, manual o híbrido son de gran utilidad

- **Costo**

- la solución debe satisfacer: criterios de estética, niveles de iluminancia deseados, ahorro energético y costo

3.4 El papel del arquitecto

A pesar de que algunos diseñadores⁶ han hecho uso de la variación de la intensidad lumínica en los espacios para establecer la forma arquitectónica, arreglo espacial y composición de masas, muchos arquitectos no comprenden los diferentes factores involucrados en el diseño de dichos sistemas⁷. A través de un estudio bibliográfico se determinó que lo anterior se debe a la falta de un proceso sistemático en donde se describan los conceptos básicos de la iluminación natural en un lenguaje propio para arquitectos⁸.



Fig. 14 Arquitectura de Luis Barragán

Arriba, de izquierda a derecha:
Casa Gilardi y Casa Gálvez

Abajo: Casa Luna

Luis Barragán, arquitecto mexicano, supó hacer buen uso de la luz natural para resaltar colores y formas en la arquitectura.

⁶ Luis Barragán y Legorreta son arquitectos mexicanos que han hecho buen uso de la iluminación natural para resaltar formas y colores en sus diseños.

⁷ E Source, 1992, Energy- Efficient Buildings, Institutional Barriers and Opportunities, Rocky Mountain Institute, EUA

⁸ Robbins, 1986, Daylight, Design and Analysis, Van Nostrand Reinold Company, EUA

La falta de comunicación entre investigadores, arquitectos, ingenieros y clientes ha generado que cada miembro busque su propia conveniencia sin tomar en cuenta la manera en que los demás participantes y sus actividades se ven afectados⁹. Además, la falta de modelos que hayan comprobado su efectividad son pocos. La inseguridad, tanto de usuarios como diseñadores, es comprensible: no se puede esperar que los clientes inviertan en algo que no ha sido comprobado de manera exhaustiva o que los arquitectos quieran hacerse responsables de tecnologías poco conocidas.

Robbins menciona que el lento desarrollo del diseño con iluminación natural se debe a la falta de información sobre la integración de este elemento con sistemas tales como la iluminación eléctrica y equipos de aire acondicionado y calefacción.

Selkowitz,¹⁰ por otro lado, menciona la necesidad de investigar más a fondo el potencial y beneficios de la iluminación natural. Sugiere una serie de puntos que deberían estudiarse más a fondo:

1.- Demostrar el valor de los espacios iluminados con luz natural, con respecto a:

- a) comodidad y satisfacción
- b) confort (niveles de iluminación adecuados y vistas agradables)
- c) atractivo y mercadotecnia
- d) reducción de los costos de operación

2.- Crear una serie de herramientas que sirvan al arquitecto para tomar decisiones y facilitar así el diseño de espacios con iluminación natural:

- a) permitir la exploración de espacios virtuales, tomando en cuenta tanto la calidad como la cantidad de luz en los espacios.
- b) calcular los efectos de la luz natural tomando en cuenta las diversas condiciones del sol y cielo
- c) integrar el diseño de aperturas en los edificios e iluminación natural en los mismos con estrategias de iluminación artificial
- d) calcular el impacto de cargas térmicas, demanda máxima, desempeño total del edificio y costo de la energía

⁹ E Source, 1992, Energy- Efficient Buildings, Institutional Barriers and Opportunities, Rocky Mountain Institute, EUA

¹⁰ Selkowitz Stephen, 1998, The Elusive Challenge of Daylighted Buildings: A Brief Review 25 years later, Building Technologies Department, Environmental Energy Technologies Division, EUA

- 3.- Desarrollar y comercializar una nueva generación de tecnologías y sistemas más económicos
- a) la tecnología para regular balastras ha madurado lo suficiente y esta a punto de ser lo suficientemente económica para regular la cantidad de luz en cualquier género de edificio, sin embargo aún se requiere mejorar los sistemas de fotosensores.
 - b) sistemas de aperturas "inteligentes". Tipos de cristales con control de propiedades ópticas, (por ejemplo, intensidad y dirección), son necesarias como suplemento a los sistemas convencionales.
 - c) deberían ser implementados sistemas en donde se tome en cuenta los niveles de iluminación y las aperturas en los diferentes espacios en conjunto con los sistemas de aire acondicionado, calefacción, confort y medidores de electricidad

- 4.- Dar a la gente encargada del mantenimiento del inmueble las herramientas necesarias para mantener y manejar de manera apropiada la iluminación durante el día por medio de:
- a) designación de protocolos
 - b) herramientas para el diagnóstico y seguimiento del funcionamiento del edificio
 - c) sistemas que sean capaces de adaptarse a necesidades específicas

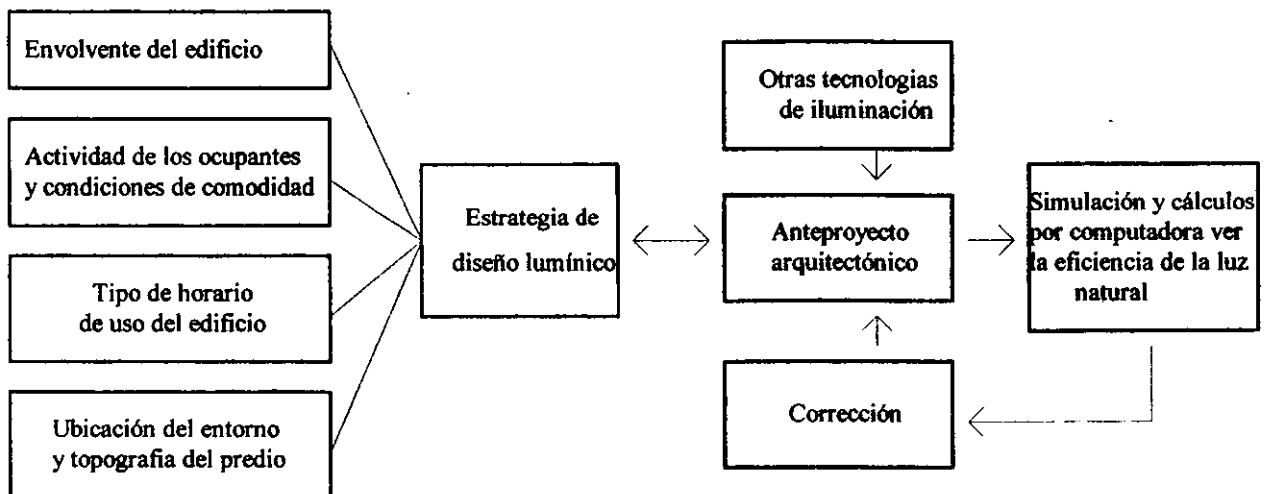
- 5.- Acelerar el mercado de la iluminación natural:
- a) educación y entrenamiento profesional
 - b) crear y modificar normas para estimular soluciones en donde se utilice la luz del día
 - b) documentar y publicar información sobre edificios en donde se haya tenido éxito
 - d) desarrollar un mercado basado en estrategias que faciliten el diseño

Hoy día el arquitecto como coordinador de proyectos debe tener una visión sobre la obra que va, desde el diseño y estructura del edificio, hasta el conocimiento de principios bioclimáticos y posibles consecuencias en el ahorro de energéticos fósiles.

3.5 Metodología e iluminación natural

A pesar de que no existe una metodología que defina la manera en la cual la iluminación natural puede ser incorporada al diseño arquitectónico, el siguiente cuadro se presenta como un ejemplo de cómo esto podría hacerse¹¹. El objetivo principal es el ahorro energético y el uso de la computadora se considera como herramienta indispensable para el control de información y precisión del diseño.

Fig. 15 Proceso de diseño de iluminación natural



El cuadro muestra un ejemplo de cómo se puede relacionar el uso de la iluminación natural con el proyecto arquitectónico.

¹¹ El cuadro ha sido modificado de *Instalaciones*, 1998, Benitez José Alberto, *Sol, Luz y Visión*, México, Enero, pp. 18

Dentro de la estrategia de diseño se deben tomar en cuenta los siguientes factores¹²:

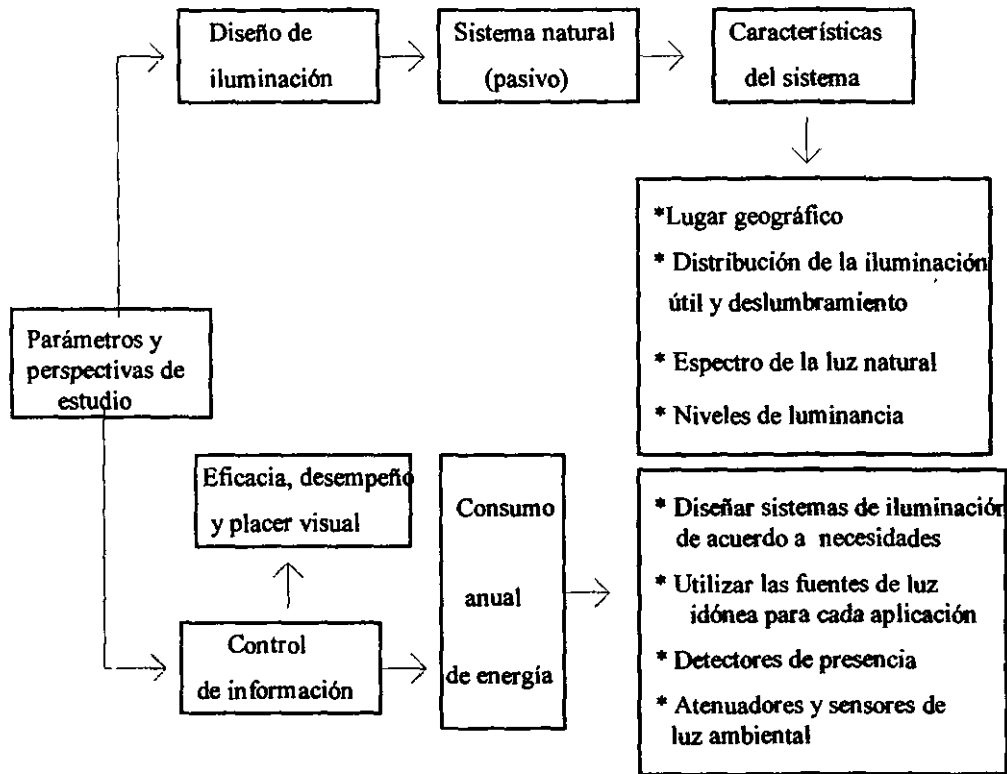


Fig. 16 Factores dentro de la estrategia de diseño

Se puede concluir que el papel del arquitecto es cada vez más complicado al aumentarse elementos tales como el ahorro de energéticos fósiles. Sin embargo, también debe tomarse en cuenta que una serie de nuevas posibilidades surgen dentro del diseño y aquellos que están preparados para el cambio, tendrán mayores oportunidades de lograr el éxito.

¹² El cuadro ha sido modificado de *Instalaciones*, 1998, Benitez José Alberto, *Sol, Luz y Visión*, México, Enero, pp. 18

Referencias

PRINCIPIOS DE ILUMINACIÓN NATURAL

Illuminating Engineering Society of North America, 1998, IES Lighting Handbook, IESNA, en proceso de publicación, EUA

Illuminating Engineering Society of North America, 1993, IES Lighting Handbook, IESNA, EUA

Lighting Research Institute, 1989, Lighting and Human Performance: A Review, NEMA Lighting Equipment Division, EUA, Enero

Ne'man E., et al., 1976, Recomendations for the Admission and Control of Sunlight in Buildings, Building an Environment, 11, pp. 91- 101

Rivero R., 1988, Arquitectura y Clima, acondicionamiento térmico natural para el hemisferio norta, UNAM, México

Robbins C., 1986, Daylight, Design and Analysis, Van Nostrand Reinold Company, EUA, PP. 3- 13

EL PAPEL DEL ARQUITECTO

E Source, 1992, Energy- Efficient Buildings, Institutional Barriers and Opportunities, Rocky Mountain Institute, EUA

Robbins C., 1986, Daylight, Design and Analysis, Van Nostrand Reinold Company, EUA, PP. 3- 13

Selkowitz Stephen, 1998, The Elusive Challenge of Daylighted Buildings: A Brief Review 25 years later, Building Technologies Department, Environmental Energy Technologies Division, EUA

METODOLOGÍA E ILUMINACIÓN NATURAL

Benitez J., 1998, Sol, Luz y Visión, Instalaciones, México, Enero, pp. 17- 19

Suárez G., 1998, El Método en la Arquitectura Bioclimática, Instalaciones, México, Enero

EJEMPLOS ARQUITECTÓNICOS

Crosbie M, 1994, Green Architecture, a guide to sustainable design, The American Institute of architects Press, EUA, pp. 72-75

Deffis C., 1994, La Casa Ecológica Autosuficiente, Árbol, Mexico, PP.56

Haro Lebrija y Funetes O., 1997, Arquitectos Mexicanos, entre la tradición y la modernidad, Attame Ediciones, México, pp. 121-128

Lloyd Jones D., 1998, Architecture and the Environment, bioclimatic building design, The Overlook Press, EUA

Street- Porter, 1989, Casa Mexicana, the architecture of Luis Barragán, Stewart, Tabon & Chang, EUA

Natural Resources Canada, [www. Nrcan.gc.ca:80/casestudies](http://www.Nrcan.gc.ca:80/casestudies), Julio 10, 1999

Lista de figuras

- fig. 1: Westminster Abbey, Londres, Inglaterra
- fig. 2: Vivienda en Chiapas, México
- fig. 3: The Body Shop, Californis, E.U.
- fig. 4: Preparatoria Horton, Nova Scotia, Canadá
- fig. 5: Movimiento del Sol a lo largo del día
- fig. 6: Casa en la Retama, México D.F.
- fig. 7: Control de la luz del Sol
- fig. 8: Iluminación a través de ventanas
- fig. 9: Iluminación a través de domos y tragaluces
- fig. 10: Formas de introducir iluminación cenital
- fig. 11: Dimensiones aproximadas para obtener una iluminación cenital satisfactoria
- fig. 12: Diagrama de transmisión de energía en cristales ideales
- fig. 13: Tipos de sombreado exterior para ventanas
- fig. 14: Arquitectura de Luis Barragán
- fig. 15: Proceso de diseño de iluminación natural
- fig. 16: Factores dentro de la estrategia de diseño

4. CONFORT HUMANO

El ahorro energético a través del uso de la iluminación natural tendría poca importancia si no se tomaran en cuenta las condiciones de confort de los ocupantes. A continuación se dan a conocer algunos principios básicos y los parámetros incluidos en el estudio de la Escuela Primaria Park Ridge.

4.1 Confort térmico

Cualquier tipo de iluminación, natural o eléctrica, añade cargas térmicas al interior del edificio. Por ejemplo, en el caso de la iluminación de tipo incandescente, sólo el 10 por ciento¹ de la energía que se consume es emitida en forma de luz, el resto se convierte en calor. En el caso de la iluminación fluorescente, del 20 al 35 por ciento² de la energía se percibe en forma de luz. Este fenómeno se da porque la mayoría de los sistemas eléctricos son ineficientes: para producir luz también deben producir calor.

El mismo fenómeno se observa en la iluminación natural en donde sólo un 55 por ciento³ de la radiación solar se encuentra dentro del espectro visible al ojo humano. El resto se convierte en algún tipo de calor.

Cuando la energía radiante proveniente del sol incide sobre un cuerpo ésta es absorbida, reflejada o transmitida. Cuando se habla de energía transmitida, ésta atraviesa al cuerpo por transparencia, como ocurre en el caso del aire o vidrio. La energía radiante que es absorbida se transforma en calor, mientras que la radiación reflejada o transmitida no sufre modificaciones, es decir, se mantienen los mismos tipos de longitudes de onda.

Los materiales se comportan selectivamente con respecto a la radiación incidente, esto significa que la cantidad de energía que absorben, reflejan y transmiten es diferente para cada longitud de onda. Por ejemplo: una superficie blanca es muy reflejante con

¹ Robbins, 1986, Daylighting, Design and Analysis, Van Nostrand Reinhold Company, EUA,

² Idem

³ Idem

respecto a las ondas visibles o cortas, pero muy absorbente de las radiaciones de onda larga o calor⁴.

La capacidad de los materiales para resistir la transferencia de calor se define por medio del coeficiente de conductancia térmica U. Conforme el valor U de los materiales se incrementa, su resistencia al paso del calor disminuye. Así pues, el valor U del cristal es 6.0 W/m² °C mientras que el del tabique recocado es de 0.4 W/m² °C dependiendo de la calidad del mismo.

Se puede concluir que los problemas térmicos originados por los cerramientos transparentes son mayores. El cristal deja pasar tanto ondas cortas como largas del exterior sin mayor problema, sin embargo, el calor queda atrapado en el interior produciéndose el efecto invernadero. Los problemas aumentan en la medida que el exterior se aparta de las exigencias del confort. Se puede decir que las zonas acristaladas son las áreas más débiles en el edificio por lo que es importante estudiar cuidadosamente su impacto térmico en relación a la cantidad de iluminación que se obtiene.

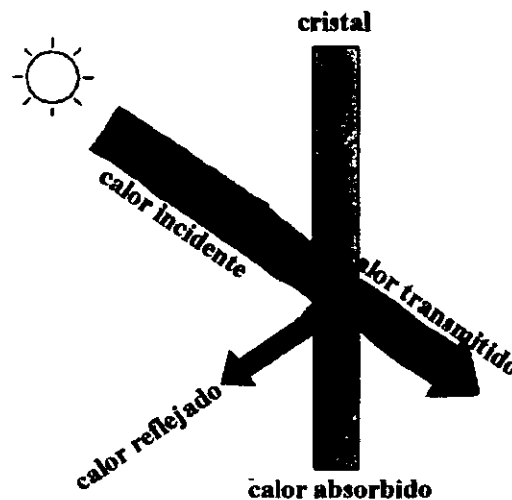


Fig. 1 Diagrama de transmisión de calor en un cristal normal
En un cristal normal, más del 50% del calor se transmite al interior.

⁴ Rivero Roberto, 1988, Arquitectura y Clima, UNAM, México

Si se toma en cuenta que las condiciones térmicas tienen gran influencia en la salud y rendimiento de las personas⁵, la importancia de un diseño lumínico apropiado es indiscutible.

El confort térmico en los edificios depende del conocimiento y preocupación del arquitecto por lograr un comportamiento adecuado. El arquitecto tiene la posibilidad, en cada diseño, de intervenir a través de la forma y orientación de volúmenes en relación con la radiación solar, materiales, procedimientos de construcción, elección de equipos y ventilación, sobre el medio para mejorar la habitabilidad térmica en los espacios.

El criterio de confort según ANSI/ASHRAE standard 55-1992 define un ambiente térmico aceptable como aquel que satisface por lo menos a un 80% de los ocupantes. Las principales variables que se toman en cuenta al designar zonas de confort térmico son la velocidad del viento, la actividad humana y la humedad relativa. En el diagrama de Olygay que se presenta a continuación se suponen las siguientes condiciones para determinar el área de confort:

- la temperatura media radiante y la del aire son iguales,
- la velocidad del aire es igual o menor a 0.2 m/s,
- el vestido tiene una resistencia que en la escala convencional adoptada es de 0.8, (vestido ligero, o pantalones con camisa de manga larga)
- el nivel de actividad humana es moderado (sentado y escribiendo)
- la humedad relativa está comprendida entre 30% y 69%:

⁵ Lighting Research Institute, 1989, Lighting and Human Performance: A Review, NEMA Lighting Equipment Division, EUA, Enero

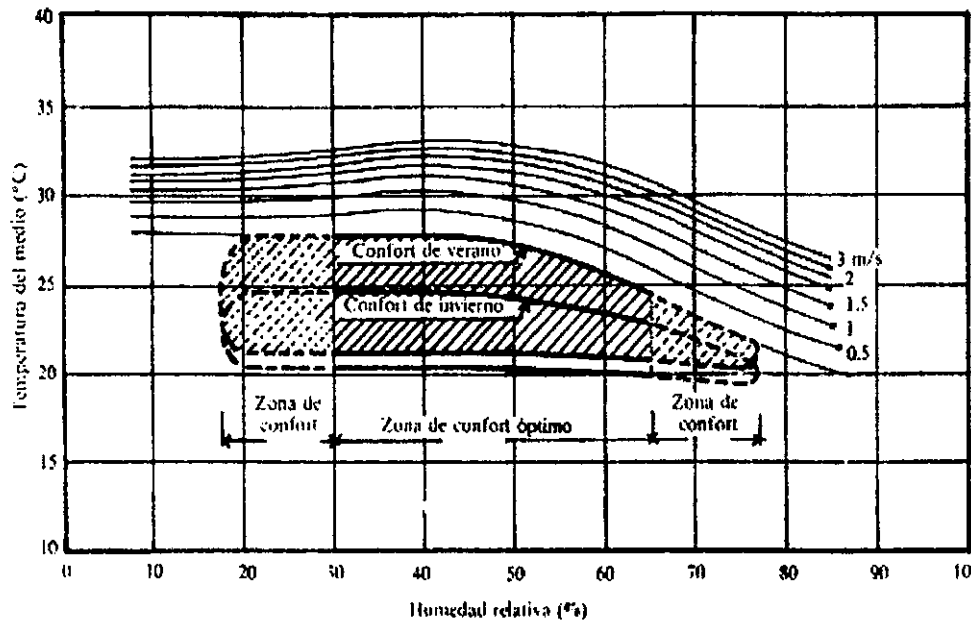


Fig. 2 Gráfica de Olygay
Área de confort térmico

En este trabajo se propone un rango de confort que va de 20° C a 27° C, basado en investigaciones realizadas por Alison G. Kwok⁶, en donde propone la revisión del Standard 55 para climas cálidos. Después de realizar varios estudios en escuelas primarias (tipo de edificio que se estudia en esta tesis), en Hawai concluye que en edificios en donde se utiliza ventilación natural, la temperatura máxima, humedad relativa así como la velocidad del viento en los interiores propuesta por ASHRAE pueden incrementarse sin por ello dejar de satisfacer al 80% de la población.

FIDE (Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía) establece la zona de confort de 20°C a 27.8°C y 18 a 77 por ciento de humedad relativa en áreas sombreadas (FIDE 1997). Este rango no se tomó en cuenta ya que se carece de

⁶ Kwok, 1998, ASHRAE Transactions, Thermal Comfort in tropical Classrooms, ASHRAE Vol 104 (Pt. EUA

información sobre las restricciones y condiciones en las cuales se puede aplicar. Sin embargo, es interesante observar el parecido con los resultados obtenidos por Kwok.

4.2 Confort visual

La energía luminosa es un elemento cotidiano que interviene en casi todas las actividades humanas y por lo tanto los arquitectos la debemos tomar más en cuenta, no solo porque representa una oportunidad para el ahorro energético, sino también por el conjunto de emociones que genera y su influencia sobre las actividades del hombre.

No importa cuál sea la forma en que se introduzca la luz del sol al interior, el objetivo principal al diseñar cualquier tipo de cerramiento transparente es el de proveer una vista agradable con la mayor cantidad de iluminación natural posible, ofreciendo control sobre el deslumbramiento no deseado.

A pesar de que los contrastes entre luz y sombra son necesarios en la comunicación visual, el contraste excesivo entre el primer plano y su entorno puede causar dificultades para distinguir objetos y sus detalles. La rapidez con la que se puede realizar una tarea visual depende de la capacidad del ojo humano para adaptarse a situaciones determinadas. Una iluminación con intensidad constante será, por lo tanto, mejor. Una iluminación poco estudiada o defectuosa puede causar síntomas de cansancio y dolores de cabeza, repercutiendo esto, sin duda, en el desempeño laboral.

CAUSAS DEL CANSANCIO
VISUAL

ALUMBRADO DEFICIENTE

- * luz demasiado brillante
- * luz débil
- * luz directa en el campo visual
- * luz en dirección inadecuada
- * luz parpadeante
- * luz inestable

En el diseño de edificios con iluminación natural la cantidad de luz proveniente del sol y cielo⁷ deberá ser analizada cuidadosamente antes de dibujar la primera raya. La cantidad de energía solar que llega a la superficie varía dependiendo de los siguientes factores⁸.

- la transparencia de la atmósfera (nubes y polvo)
- posición del sol
- turbiedad del ambiente
- el entorno del lugar

La luz solar que incide sobre una superficie, ya sea interior o exterior, determina cómo se percibe la misma. La luz es un arma muy poderosa para resaltar texturas y colores en los espacios. La luz natural que llega al interior de un espacio puede entrar de las siguientes maneras:

- luz directa del sol (a)
- luz proveniente del cielo (a)
- luz reflejada del exterior por el piso, edificios u objetos del entorno (b)
- luz reflejada en el interior por muros, plafón o cualquier otra superficie (c)

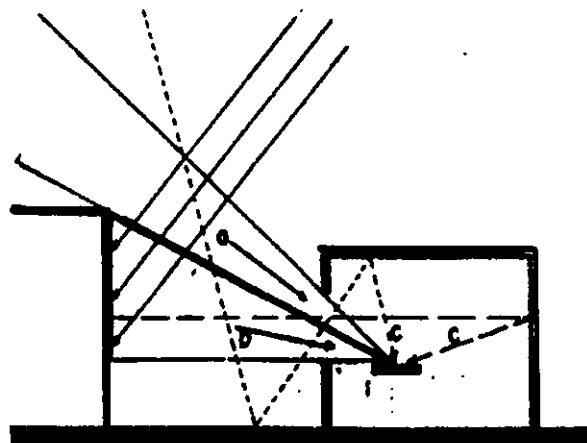


Fig. 3 Formas en que la luz natural entra en un espacio

⁷ La luz proveniente del cielo se refiere a aquellos rayos del sol que son reflejados por las nubes antes de llegar a la tierra.

⁸ Benitez Jose Alberto, 1998, Instalaciones, Sol, Luz y Visión, México, Enero, pp. 18

Los niveles de iluminancia mínimos recomendados por el Illuminating Engineering Society of North America son los siguientes:

| Actividad | Lux |
|------------------------------|------------------|
| elevadores | 100- 150- 200 |
| salas de juntas | 200- 300- 500 |
| salones de clase | 200- 300- 500 |
| trabajos manuales, arte | 500- 750- 1000 |
| hospitales, salas de cirugía | 1000- 1500- 2000 |

Tabla 1 Niveles de iluminancia mínimos según el IESNA

Los datos proporcionados por el IESNA se aplican tanto a la iluminación natural como artificial y fueron tomados como base para el análisis de lumínico en la Escuela Primaria Park Ridge.

Cabe mencionar que la Secretaría de Salud y Pemex han realizado diversos estudios en donde se concluye que los niveles de iluminancia mínimos pueden llegar a ser de hasta 100 lux. Sin embargo, se decidió basar los estudios en datos aceptados internacionalmente con el fin de obtener resultados con validez en Australia, Canadá y México.

Referencias

Benítez Jose Alberto, 1998, Instalaciones, Sol, Luz y Visión, México, Enero, pp. 18

Kwok, 1998, ASHRAE Transactions, Thermal Comfort in tropical Classrooms, ASHRAE Vol 104 (Pt. EUA

Lighting Research Institute, 1989, Lighting and Human Performance: A Review, NEMA Lighting Equipment Division, EUA, Enero

Rivero Roberto, 1988, Arquitectura y Clima, UNAM, México, pp. 35- 37, 68- 78

Robbins, 1986, Daylighting, Design and Analysis, Van Nostrand Reinhold Company, EUA, pp 7- 13

Lista de figuras y tablas

Fig. 1: Diagrama de transmisión de calor en un cristal normal

Fig. 2: Gráfica de Olygay

Fig. 3: Formas en que la luz natural entra en un espacio

Tabla 1: Niveles de iluminancia mínimos según el IESNA

5. ESCUELA PRIMARIA PARK RIDGE

Park Ridge Primary School

Diversos estudios¹ han demostrado que las ganancias térmicas en espacios en donde se utiliza la luz natural pueden ser mayores si se les compara con espacios en donde no se utilizan ventanas y tragaluces. Es de conocimiento general que las áreas acristaladas tienen un coeficiente de transmisión térmica U elevado, por lo que pueden considerarse como zonas débiles dentro de la envolvente. Por ejemplo, una pared de tabique recocido tendrá un coeficiente U de 0.4^2 mientras que el valor U de una ventana sencilla será de 6.0 . Esto significa que una mayor cantidad de calor será transmitido por la ventana y el tamaño de la misma tendrá gran influencia sobre la temperatura interior.

El estudio que a continuación se presenta tiene como objetivo demostrar que las ganancias y pérdidas de calor en los espacios pueden controlarse a través del diseño arquitectónico. Un diseño adecuado puede contrarrestar los efectos adversos de las áreas cuyos coeficientes de transmisión térmica son elevados.

La Escuela Primaria Park Ridge no solo ofreció la oportunidad de comprobar que el confort térmico se puede lograr haciendo uso de iluminación natural sino también analizar su posible contribución a la conservación de energético fósiles y confort visual.

Los datos proporcionados por Taylor Oppenheim Pty. Ltd. y el investigador Mark Luther contribuyeron de manera importante a que el estudio y comparación de resultados que se presenta en los próximos capítulos, fuera posible.

¹ Landsberg, et al, 1987, Decision Strategies for Energy Efficient Atriums Spaces, ASHRAE, Vol 2996 (RP- 315), EUA

² El coeficiente puede cambiar de acuerdo a la calidad del material

5.1 Características del Proyecto

La construcción de los 200 m² de la Escuela Primaria Park Ridge comenzó en 1990 en la ciudad de Melbourne, Australia.

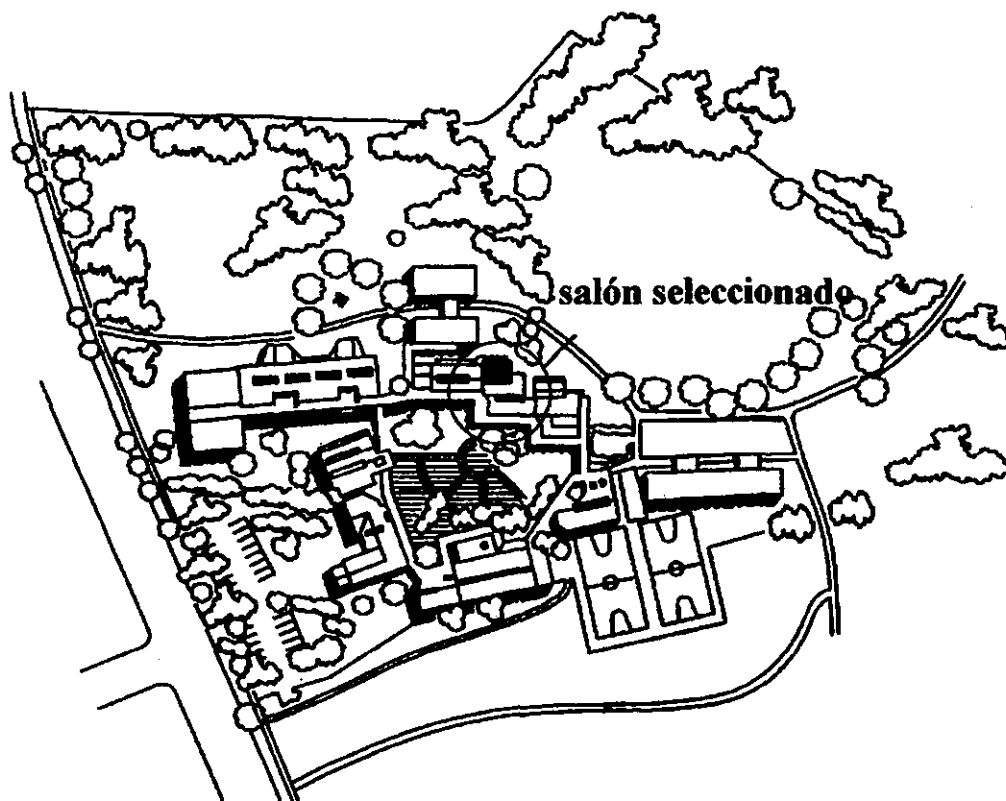


Fig. 1 Plano de Conjunto de la escuela Primaria Park Ridge Park

En 1991, alrededor de 700 estudiantes ocuparon esta escuela de 23 salones de clases. Otros servicios tales como cafetería, dirección y biblioteca forman, de igual manera, parte del programa arquitectónico.

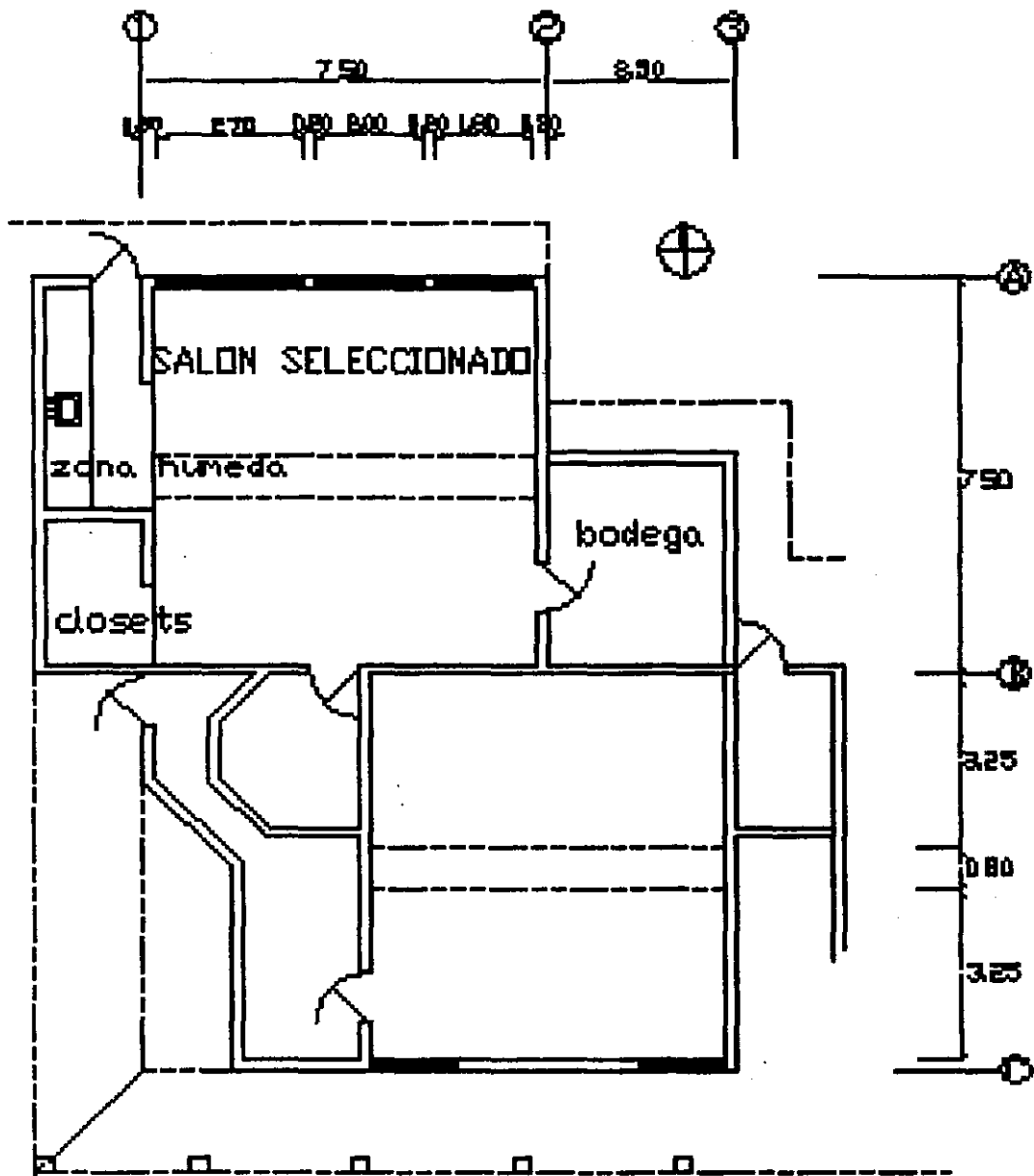


Fig. 2 Planta arquitectónica del salón seleccionado para el estudio (metros)

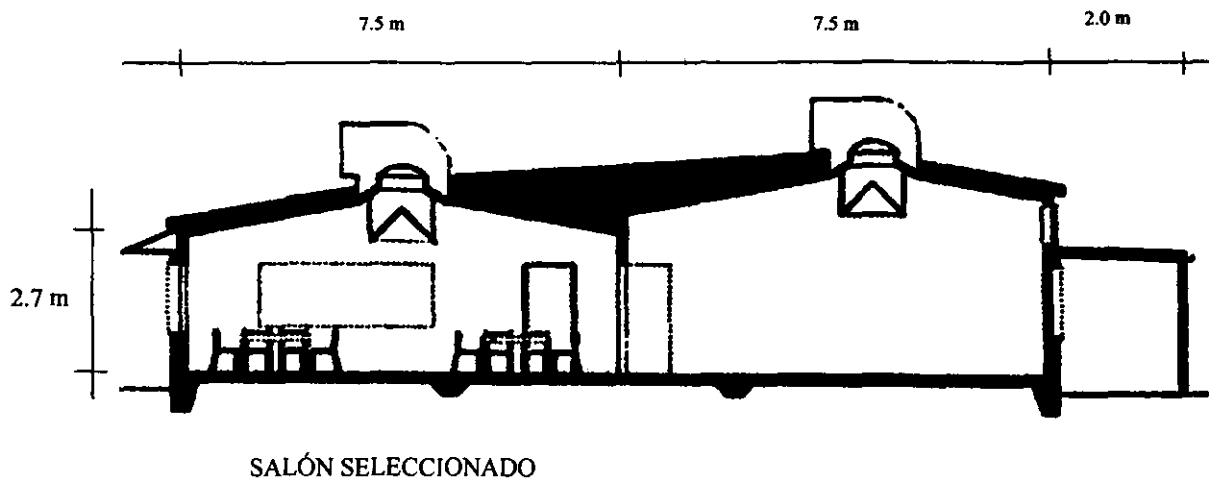


Fig. 3 Sección del salón de clases



Fig. 4 Perspectiva del salón de clases

La escuela es un ejemplo de integración en donde el uso de iluminación natural contribuye a minimizar el consumo de energéticos fósiles, promueve al confort humano y forma parte de la expresión arquitectónica de la construcción.

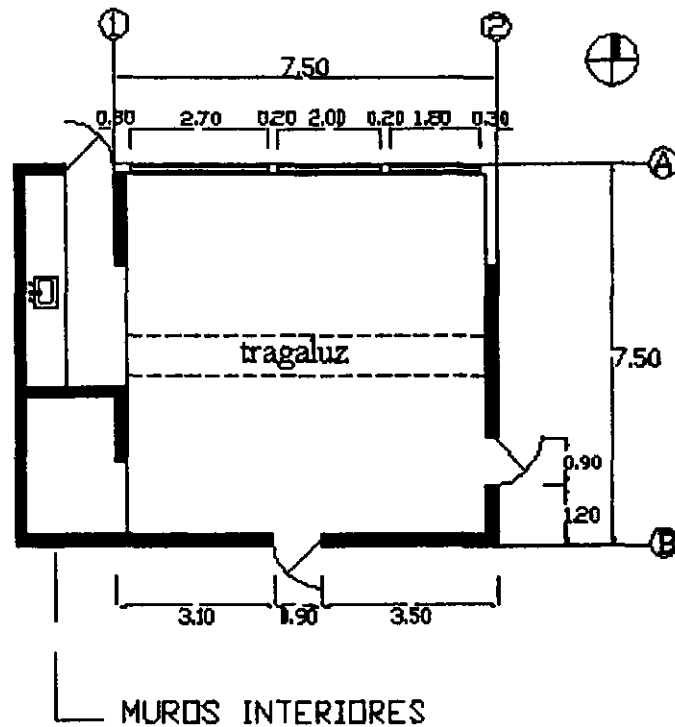


Fig. 7 Detalle del salón de clases (metros)

Los tragaluces de 0.80m. de ancho están diseñados para evitar la entrada directa de los rayos solares durante los diez meses más calurosos del año, previniendo con ello, el sobrecalentamiento del lugar. El diseño, sin embargo, promueve la entrada de suficiente luz para la actividad humana.

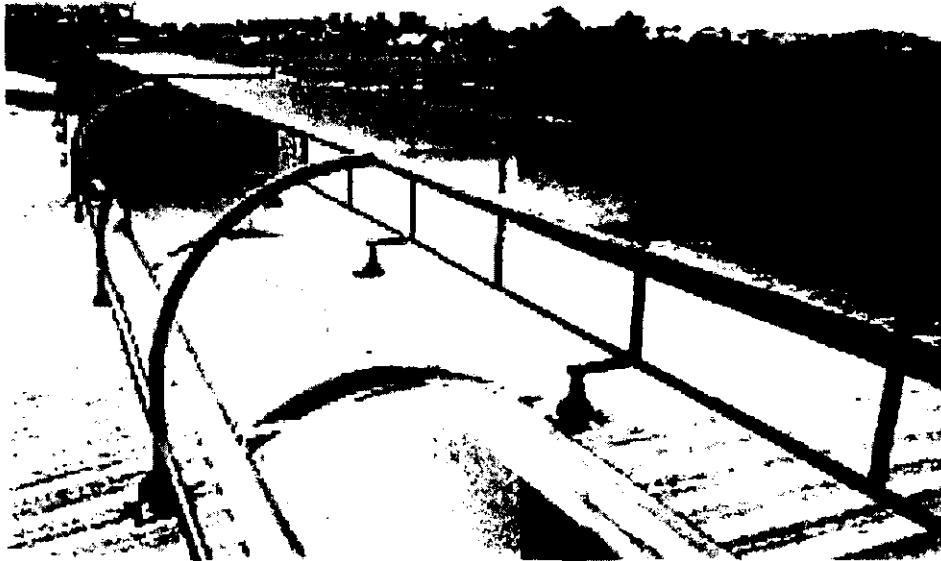


Fig. 8 Vista exterior de la techumbre del salón de clases

Se tomó como ejemplo un salón de clases tipo (ver fig. 7), mismo que Luther monitoreó en 1997, para el estudio térmico y lumínico y comprobación de resultados en esta tesis.

| Tabla 1: Características del espacio | |
|--------------------------------------|--|
| Área: 56 m ² | Altura de piso a techo (min/ max): 2.7 m./ 3.1 m. |
| Largo: 7.5 m. | Ancho: 7.5 m. |
| Num. de mesas: 4 | Num. de ocupantes: 20 |

La iluminación artificial está compuesta por luminarias conectadas a un sistema que permite el control individual para cada salón. El sistema incluye controles muy simples para prender y apagar las luces de acuerdo a horarios específicos. Por ejemplo, durante la hora del almuerzo, y al final del día de trabajo. Sin este mecanismo, muchas de las luces quedarían prendidas, desperdiciándose el potencial del sistema pasivo de iluminación.

Cabe mencionar que la escuela se construyó y opera con el mismo presupuesto que cualquier otra institución pública. Lo anterior hace suponer que el uso de sistemas pasivos dentro de la arquitectura no necesariamente añade costos extra a la construcción y mantenimiento de los edificios.



Fig. 10 Vista exterior

5.2 Climatología de la Ciudad de Melbourne

Melbourne se encuentra en latitud 38° Sur y longitud 45°Este. El clima está catalogado como templado. La época calurosa (verano) se experimenta entre los meses de Noviembre y Marzo, mientras que la temporada fría (invierno) ocurre entre los meses de Junio y Agosto. Cabe hacer énfasis que lo anterior sucede porque Australia se localiza en el hemisferio Sur.

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | año |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| temp promedio °C | 20.7 | 20.6 | 18.8 | 16.1 | 12.6 | 10.8 | 8.9 | 10.9 | 12.6 | 14.9 | 16.6 | 13.7 | 15.2 |
| temp max °C | 35.1 | 33.7 | 30.5 | 25.7 | 19.6 | 16.7 | 15.7 | 17.6 | 21.1 | 25.6 | 28.5 | 32.2 | 25.2 |
| temp min °C | 11.8 | 12.2 | 10.3 | 8.1 | 5.6 | 3.6 | 3.2 | 4.2 | 5.2 | 7.0 | 8.3 | 10.4 | 7.5 |
| precipitación media mm | 48 | 50 | 53 | 59 | 57 | 50 | 49 | 49 | 59 | 67 | 59 | 58 | 55 |
| velocidad prom viento m/s | 2.7 | 2.6 | 2.3 | 2.3 | 2.7 | 2.4 | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.8 |

Tabla 2 Datos climatológicos

Los datos climatológicos utilizados en este documento para las diferentes simulaciones se tomaron de un año tipo, es decir, el promedio de condiciones climatológicas de diez años. El día más frío se detectó el 18 de Agosto cuando la temperatura exterior alcanzó 2°C. El 20 de Enero fue el día más caluroso, con una temperatura máxima de 35°C. La humedad relativa como se puede observar en la siguiente gráfica, es mayor durante la época fría.

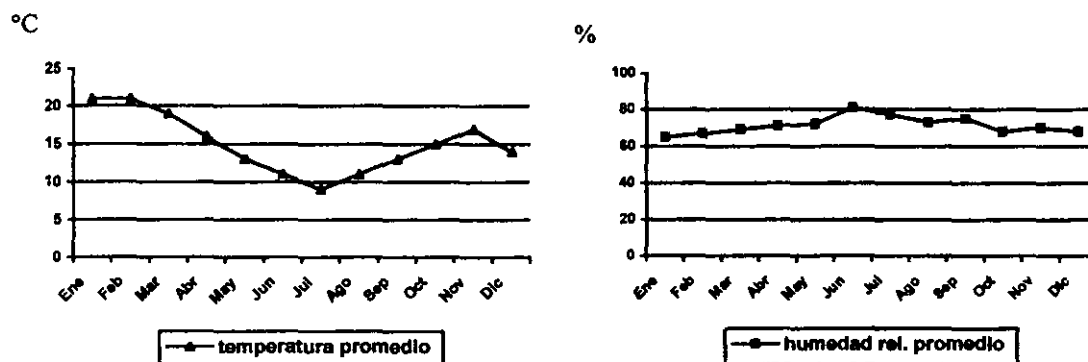


Fig. 11 Datos climatológicos

Referencias

Los datos del proyecto fueron proporcionados por Taylor Oppenheim Pty. Ltd.

Lista de figuras y tablas

- fig. 1 Plano de Conjunto de la escuela Primaria Park Ridge Park
- fig. 2 Planta arquitectónica del salón seleccionado para el estudio (metros)
- fig. 3 Sección del salón de clases
- fig. 4 Perspectiva del salón de clases
- fig. 5 Vista exterior de la Escuela Primaria Park Ridge
- fig. 6 Detalle del tragaluz (metros)
- fig. 7 Detalle del salón de clases (metros)
- fig. 8 Vista exterior de la techumbre del salón de clases
- fig. 9 Estudio de asoleamiento
- fig. 10 Vista exterior
- fig. 11 Datos climatológicos
- tabla 1 Características del espacio
- tabla 2 Datos climatológicos

6. SIMULACIÓN POR COMPUTADORA

La simulación de edificios ofrece grandes ventajas al reducir el tiempo requerido para realizar análisis térmicos, lumínicos, energéticos y de costos. Landsberg¹ et.al., por ejemplo, condujeron varios estudios en cuatro edificios con diferentes niveles de ocupación, horarios y configuración de espacios en diferentes tipos de clima para analizar el comportamiento térmico en varios atrios. Se monitorearon diversos inmuebles durante tres años para luego comparar los datos con los resultados obtenidos con programas de computación. Observaron que al incorporar estrategias de diseño con intenciones específicas en donde los grandes acristalamientos forman parte del aspecto arquitectónico y ahorro energético, se pueden lograr resultados muy favorables. El estudio, sirvió para comprobar la factibilidad de la iluminación natural y veracidad de los programas de computación utilizados.

Lo que le tomó a los investigadores monitorear tres años, le tomó a la computadora calcular en un par de horas. La precisión y rapidez de los simuladores de energía ofrecen ventajas nunca antes vistas. Este estudio como muchos otros han comprobado la eficiencia y veracidad en los resultados.

A pesar de las ventajas que se ofrecen con diversos programas de computación, (precisión, orden en la información, rapidez en el trabajo, visualización del problema, predicción de costos, etc.), no es difícil encontrar arquitectos que aún no han adoptado esta nueva tecnología.

La introducción de nuevas tecnologías, tal y como señala CMA², acarrea nuevos problemas y cuestionamientos sobre la inferioridad de lo antiguo y capacidad de asimilar lo nuevo. Un ejemplo muy claro se dió durante los años ochentas cuando diversos

¹Landsberg,, et. al., 1987, Design Strategies for Energy- Efficient atrium Spaces, ASHRAE, Vol. 2996 (RP-315),EUA

² CMA, 1993, Management Accounting Guideline 37, Implementing Corporate Environmental Strategies, Institute of Management Accountants, Canadá

despachos rechazaban la idea de incorporar el programa AutoCad en su trabajo. Hoy día es prácticamente imposible encontrar un arquitecto que no haga uso del mismo.

Cabe mencionar que antes de hacer uso de cualquier tipo de programa de computación se debe tener una idea clara de los objetivos y resultados que se esperan. El diseñador debe tener una visión general del problema y comprender la relación que guardan los diferentes factores entre ellos mismos y con el edificio. La capacidad del arquitecto para manipular las diferentes variables dependerá de su conocimiento sobre el proyecto, el programa de computación y la manera en la cual los datos son clasificados e introducidos. Hay que recordar que si a la computadora se le alimenta con basura, se obtendrá basura como resultado.

Al hacerse más evidente el deterioro del medio ambiente, la aparición de nuevas normas³ y programas de tipo voluntario⁴ para reducir la cantidad de CO2 en la atmósfera, el uso de la computadora como herramienta para comprobar la efectividad del diseño arquitectónico es cada vez más común. Los arquitectos mexicanos debemos estar preparados para este cambio.

³ La norma sobre la eficiencia energética "Title 24" en California, Estado Unidos, es un ejemplo.

⁴ Por ejemplo, el programa R2000 para el sector residencial y Green Building Challenge en Canadá para edificios de tipo comercial y oficinas.

6.1 Descripción del programa LIGHTSCAPE

The Lightscape TM Visualization System

Lightscape es uno de los primeros programas de computación que integra el diseño gráfico en tercera dimensión con el cálculo lumínico⁵. La precisión con la que el programa trabaja a través de "Radiosity"⁶ ofrece al arquitecto la posibilidad de explorar diseños con iluminación artificial o natural en pocas horas.

Lightscape es capaz de calcular tanto el efecto de la iluminación difusa como directa en espacios interiores y exteriores a diferentes horas del día y fechas. La distribución de luz solar y del cielo se determina por la ubicación geográfica del edificio, orientación, fecha y nubosidad del cielo. El cálculo fotométrico de la iluminación eléctrica se basa en el tipo de luminaria (incandescente, fluorescente, halógeno, etc.), color, tamaño e intensidad.

El diseñador tiene la posibilidad de crear imágenes muy cercanas a la realidad utilizando gran variedad de materiales en el menú del programa. Lightscape cuenta con una gran selección de materiales en donde se toman en cuenta elementos tales como la textura, reflectancia, transparencia y color.

El programa requiere importar una imagen en tercera dimensión. Programas tales como AutoCad, ArchiCad, Form Z y 3D Studio pueden ser utilizados como complemento a Lightscape. En este caso Form Z se eligió por la facilidad que ofrece en la creación de sólidos en tercera dimensión.

⁵ Superlite y Radiance son ejemplos de programas para el cálculo de niveles de iluminancia. Lo que hace a Lightscape diferente es su facilidad de uso.

⁶ término utilizado para designar el proceso para crear imágenes de gran resolución.

6.2 Descripción de Form Z

auto.des.sys. Inc

Form Z es un programa para el dibujo en tercera dimensión. El programa posee una herramienta llamada RenderZone para la creación de dibujos cercanos a la realidad. Form Z es capaz de crear, no solo superficies en tercera dimensión, sino además darles características de sólidos con diferentes propiedades físicas. La elección de materiales y texturas permite infinidad de opciones a través del dibujo fotorealístico.

La razón por la cual se seleccionó este programa es la facilidad que se tiene para dibujar formas complicadas en tercera dimensión.

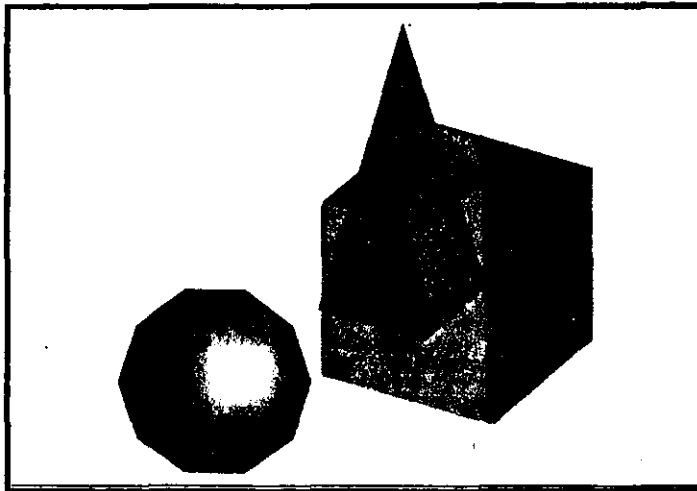


Fig. 1 Dibujo en Form Z

Con Form Z, el dibujo en tercera dimensión se facilita. Además, el programa puede manejar diferentes materiales, colores y texturas.

6.3 Descripción de ESP-r

University of Strathclyde

ESP-r es un simulador de energía térmica capaz de modelar diversos elementos en el edificio tales como las características de la envolvente, corrientes de aire y forma de la planta arquitectónica. Dentro de los datos que se manejan en el programa se encuentran: materiales de construcción, geometría del espacio, tipo y horarios de equipos de aire acondicionado y calefacción, tipo de luminarias, penetración solar, número de ocupantes y actividad, e influencia de edificios circundantes.

El simulador puede tratar los diferentes factores relacionados con el edificio de forma separada (transferencia de calor, corrientes de aire, geometría) o de manera interrelacionada.

La base de datos en el programa puede emplear información definida por el usuario o preexistente dentro del paquete en donde se toman en cuenta elementos tan primitivos como tipos de concreto y acristalamiento hasta propiedades ópticas, clima, (intensidad solar, temperatura de bulbo seco, radiación directa normal, velocidad del viento y humedad relativa), distribución de presiones y componentes de la planta tipo. También se toman en cuenta factores temporales tales como el número de ocupantes y su nivel de actividad, iluminación y equipos que operan en el edificio con horarios específicos.

Los resultados disponibles al final incluyen visualizaciones en perspectiva, análisis estadísticos y gráficas sobre el comportamiento térmico del edificio.

El programa se seleccionó debido a la precisión que ofrece en el cálculo de temperaturas interiores y su capacidad para modelar masas de aire en intervalos de hasta un minuto.

Referencias

Hensen JLM, 1991, On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System Dissertation, University of Strathclyde, Inglaterra

University of Strathclyde, ESP-r: Frequently asked Questions,
<http://www.strath.ac.uk/departments/ESRU/ESP-r.Htm>

Form Z , <http://www.Formz.com>

Lightscape, <http://www.lightscape.com>

Lista de figuras

fig 1 Dibujo en Form Z

7. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

7.1 Restricciones en ESP-r

Como en cualquier otro programa de simulación existen ciertas restricciones en cuanto al potencial del programa.

- La geometría de los espacios generalmente debe ser simplificada ya que el programa ESP-r no posee herramientas de dibujo avanzadas. Las formas deben ser simples con superficies planas. El proyecto presentaba ciertos problemas al especificar el diseño de la losa por lo que se tomó la decisión de simplificarla. El nivel de simplificación se estudió cuidadosamente. El análisis se muestra más adelante en esta tesis.

El programa Lightscape se utilizó para analizar los niveles de iluminancia en el interior del salón de clases y como herramienta de soporte para las simulaciones realizadas en ESP-r.

A continuación se presenta la metodología que se siguió en cada caso.

7.2 Comportamiento lumínico: Lightscape

Objetivo:

- analizar el impacto que tiene el diseño detallado del tragaluz y losa sobre la penetración de luz solar
- analizar los niveles de iluminancia en el interior.
- determinar si éstos son adecuados para la actividad humana que ahí se realiza, (200 lux como mínimo),

- estudiar el papel que juega el diseño del parteluz en la reducción de los niveles de iluminancia,
- determinar en qué momentos es indispensable el uso de cortinas,

Metodología:

1.- La geometría de los espacios es en ocasiones difícil de crear en ESP-r puesto que el programa carece de herramientas de dibujo avanzadas. Como se mencionó con anterioridad, generalmente es necesario minimizar el problema a su máxima expresión, pero siempre tomando en cuenta las consecuencias que esto pueda causar.

Para determinar el grado de abstracción que se puede utilizar, sin con ello llegar a crear modelos ficticios, se crearon dos dibujos a escala en tercera dimensión utilizando el programa de computación "FormZ"¹. El objetivo fue importar dichos archivos al programa Lightscape para estudiar el efecto que tiene el diseño de la losa sobre la entrada de radiación solar en el salón de clase. El primer modelo se hizo a detalle mientras que el segundo, se simplificó.

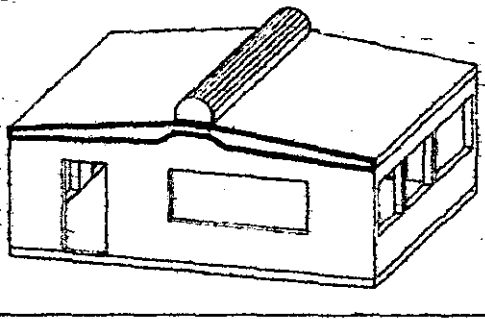


Fig. 1 Losa detallada

¹ Programa de computación para el dibujo en tercera dimensión. Autodesk Inc, www@formz.com

Fig. 2 Losa simplificada

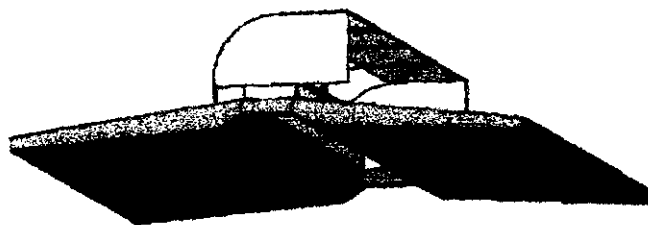
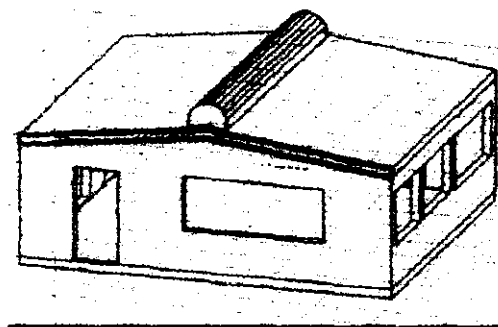


Fig. 3 detalle de la losa real

Las simulaciones se corrieron durante los solsticios y equinoccio² para dar una idea general del problema. Los resultados indicaron que la simplificación del diseño de la losa era factible. Los niveles de iluminancia así como su distribución en el espacio son prácticamente iguales en los dos casos, (ver sección 8.1).

2.- Se seleccionaron los días más cálidos y fríos del año para analizar los niveles de iluminancia recibidos sobre los escritorios de los alumnos y se determinó si éstos son adecuados.

² Se tomó en cuenta el impacto tanto en días claros como nublados

3.- Utilizando los mismos días del punto anterior, se observó el comportamiento lumínico con la presencia de cortinas con una transparencia del 0% sobre todas las ventanas. De acuerdo a los usuarios, el uso de las mismas es en ocasiones necesario.

7.3 Comportamiento térmico: ESP-r

Objetivo:

- analizar el comportamiento térmico en el interior,
- observar la efectividad del diseño del parteluz,
- determinar la contribución térmica de cada uno de los factores participantes en el problema,
- analizar en qué momentos se rebasa la zona de confort térmico (20° C- 27° C).

Metodología:

1.- Crear un archivo con los datos climatológicos necesarios en el programa ESP-r: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar difusa y perpendicular al plano, velocidad y dirección del viento. Se utilizaron diferentes ecuaciones para obtener esta información, (ver apéndice 1). La información debe ser horaria y debe tenerse como dato un año completo.

2.- Las especificaciones sobre los materiales de construcción utilizados en el edificio se hicieron de acuerdo a los valores U definidos en la documentación disponible. Se seleccionaron los materiales más adecuados de acuerdo a la información escrita y fotografías proporcionadas. Los materiales y sus características se mencionan a continuación para dar una idea al lector del significado de los diferentes coeficientes de transmitancia térmica. Cabe mencionar que el programa realiza los cálculos de acuerdo al valor U sin importar el tipo de material.

| | Esesor (m) | U (W/m ² °C) |
|---|----------------------------------|-------------------------|
| Ventanas cristal | 0.003 | 5.58 |
| Losa aluminio espacio de aire fibra de vidrio aluminio | 0.003 0.025 0.100 0.003 | 0.35 |
| Paredes tabique recocido lana espacio de aire tabique recocido | 0.100 0.050 0.050 0.100 | 0.51 |

tabla 1 Características de los materiales de construcción

- Los muros interiores (ver capítulo5) se consideraron como adiabáticos, es decir, que no existe transmisión térmica en ellos. El propósito en este punto fue analizar el efecto del tragaluz sobre la temperatura interior. La transmisión de calor en estas paredes, además de ser insignificante, no tiene influencia alguna sobre el estudio que aquí se presenta.

3.- Se observó el comportamiento térmico general en el salón durante el año y se observó si la zona de confort se rebasa. Se tomó en cuenta la carga térmica de 20 alumnos, cada uno produciendo 110W de los cuales 30% es calor latente y 70% calor sensible. Esto nos da como resultado 1540W, calor sensible.

- Para analizar la eficacia del diseño se seleccionaron los solsticios y equinoccios así como los días más calurosos y fríos. Se simularon dos modelos; uno con parteluz y otro sin él.
- Una serie de simulaciones cuyo objetivo fue analizar el efecto de la infiltración de aire en es espacio de realizaron. Se variaron los cambios de aire por hora: 0.40, 1.00, 1.50 y 2.00. De acuerdo con ASHRAE, 0.40 cambios por hora es el mínimo permitido para este salón de clases.

Un modelo, representación del edificio real, en donde se permitió la ventilación libre se creó para ser comparado con los casos anteriores. La corriente se consideró de norte a sur, penetrando por una de las ventanas, llegando al exterior por medio de una de las puertas.

- Se corrieron simulaciones sin tomar en cuenta la carga térmicas de los alumnos para determinar su influencia sobre la temperatura interior.
- Se determinó el efecto de la radiación solar sobre el confort térmico.
- De igual manera, se analizó el efecto de la envolvente sobre la temperatura interior.

Referencias

Hensen JLM, 1991, On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System Dissertation, University of Strathclyde, Inglaterra

University of Strathclyde, ESP-r: Frequently asked Questions,
<http://www.strath.ac.uk/departments/ESRU/ESP-r.Htm>

Form Z, <http://www.Formz.com>

Lightscape, <http://www.lightscape.com>

Lista de figuras

fig 1 Características de los materiales de construcción

8. COMPORTAMIENTO LUMÍNICO

Reporte y Análisis de Resultados

8.1 El diseño de la losa

Para determinar el nivel de abstracción que podría utilizarse, el programa Lightscape fue utilizado como complemento al programa ESP-r. Se simuló el efecto de la losa para el día 21 de Junio durante días nublados y despejados. Cabe mencionar que para este estudio no se tomó en cuenta el diseño del tragaluz, simplemente se consideró la apertura en la losa.

Tabla 1 Niveles de iluminancia promedio sobre el plano de trabajo

| | Losas Detallada | Losas Simplificada |
|----------------------|-----------------|--------------------|
| Día Despejado | | |
| 10:00 | 1200 lux | 1000 lux |
| 14:00 | 1500 lux | 1500 lux |
| 16:00 | 700 lux | 1000 lux |
| Día Nublado | | |
| 10:00 | 25 lux | 20 lux |
| 14:00 | 75 lux | 100 lux |
| 16:00 | 50lux | 55 luz |

El estudio demostró que la diferencia en niveles de iluminancia en el interior del salón de clase es muy pequeña por lo que la simplificación se consideró como una opción totalmente viable.

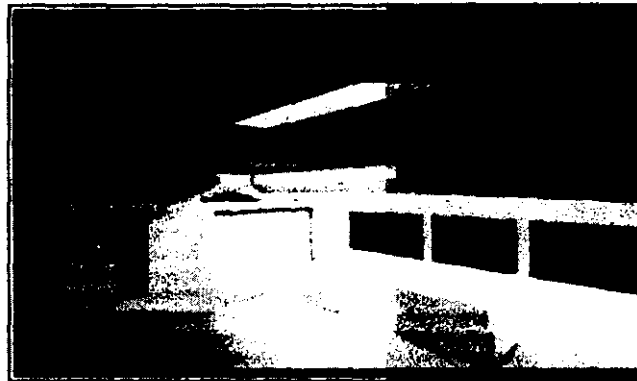


Fig. 1 Interior del salón de clases en Lightscape

8.2 Niveles de iluminancia y el uso de cortinas

El programa Lightscape se utilizó para analizar los niveles de iluminancia sobre las cuatro mesas en el salón de clases. Las simulaciones se realizaron durante los solsticios y equinoccios (días 21 de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre), para ver el efecto de la altura solar sobre la penetración de los rayos solares.

Se consideró que las ventanas permanecen abiertas a la radiación solar durante todo el día, es decir, no hay persianas ni cortinas sobre ellas.

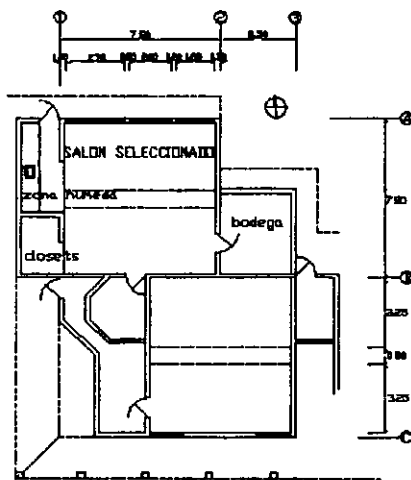


Fig. 2 Planta arquitectónica

Como se puede apreciar en la figura 3, las mesas se numeraron y refirieron en la siguiente tabla en donde se analiza la cantidad de luz que llega a cada una de ellas.

Los niveles de iluminancia sobre las mesas no deberán ser menores a aquellos recomendados por Illuminating Engineering Society of North America (IESNA): 200 lux.

Es importante mencionar que los niveles de iluminancia en las mesas cercanas a las ventanas, estarán determinados básicamente por este cerramiento norte, mientras que aquellas mesas localizadas en la parte posterior, estarán iluminadas básicamente por el tragaluz.

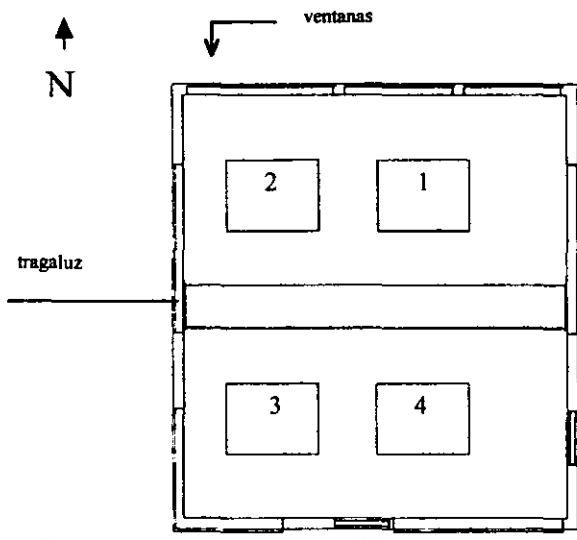


Fig. 3 Planta arquitectónica del salón de clases en donde se muestra la numeración de las mesas de trabajo.

Uso de cortinas:

Los usuarios del inmueble manifestaron, en una encuesta realizada por Mark Luther el año pasado, que el uso de cortinas es necesario cuando la altura solar disminuye en las tardes.

La siguiente tabla muestra que efectivamente, existen zonas de demasiada brillantez sobre los escritorios 1 y 2 por la tarde. El uso de cortinas es deseable durante los días calurosos y despejados. Cabe mencionar que esto puede no representar un problema importante después de las 15:00 cuando los alumnos se han retirado de la escuela.

| | DIA DESPEJADO | | | | DIA NUBLADO | | | |
|--------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Niveles de Iluminancia en LUX | | | | | | | |
| | escritorio 1 | escritorio 2 | escritorio 3 | escritorio 4 | escritorio 1 | escritorio 2 | escritorio 3 | escritorio 4 |
| MARZO | | | | | | | | |
| SEPT | | | | | | | | |
| 10:00 | 500 | 360 | 400 | 500 | 70 | 65 | 80 | 80 |
| 14:00 | 560 | 830 | 1150 | 1000 | 100 | 100 | 120 | 130 |
| 16:00 | 390 | 500 | 700 | 600 | 80 | 60 | 95 | 100 |
| JUNIO | | | | | | | | |
| 10:00 | 900 | 1500 | 1200 | 1000 | 20 | 20 | 20 | 30 |
| 14:00 | 2000 | 2000 | 700 | 650 | 60 | 65 | 80 | 80 |
| 16:00 | 10000 | 9000 | 500 | 600 | 45 | 45 | 55 | 55 |
| DIC | | | | | | | | |
| 10:00 | 660 | 630 | 840 | 740 | 120 | 120 | 140 | 140 |
| 14:00 | 370 | 500 | 730 | 600 | 120 | 120 | 150 | 160 |
| 16:00 | 480 | 600 | 700 | 600 | 150 | 150 | 180 | 180 |

Tabla 2 Niveles de iluminancia

Los resultados indican que los escritorios 1 y 2 experimentan la presencia de reflejos especialmente durante el mes de Junio (invierno) cuando el sol está más bajo en el horizonte. Un estudio de asoleamiento a través de montañas solares comprobó lo anterior (ver figura 4).

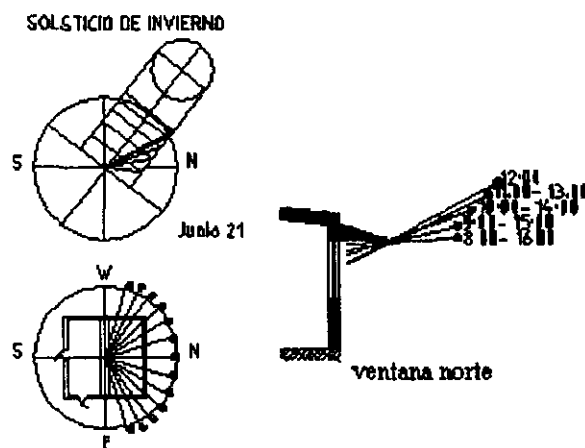
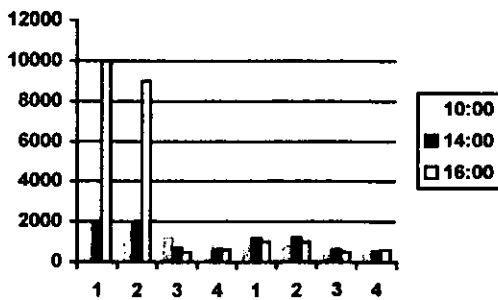


Fig. 4 Montea solar: Junio 21

Una simulación en donde se tomaron en cuenta las cortinas con una transparencia de 0% se realizó para ver si el uso de las mismas resuelve el problema.

Efecto de la cortina sobre la iluminación interior

**Niveles de iluminancia sobre los escritorios (lux)
Junio 21**



| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------|-------|------|------|------|
| sin cortinas | | | | |
| 10:00 | 900 | 1500 | 1200 | 1000 |
| 14:00 | 2000 | 2000 | 700 | 650 |
| 16:00 | 10000 | 9000 | 500 | 600 |
| con cortinas | | | | |
| 10:00 | 850 | 800 | 300 | 400 |
| 14:00 | 1200 | 1200 | 630 | 550 |
| 16:00 | 1000 | 1000 | 500 | 600 |

Tabla 3 Efecto de las cortinas sobre los niveles de iluminancia interiores

Las cortinas ayudan de manera importante al control de la entrada de luz sobre los escritorios cercanos a las mismas, sin embargo, se siguieron observando “zonas de demasiada brillantez” generadas por la entrada directa de los rayos a través del parteluz.

Cabe mencionar que los “parches de luz” sobre los escritorios son pequeños y que la mayor parte de los rayos solares directos caen sobre el muro Sur, lo que podría no ser molesto. Ne’eman¹ menciona que los “parches” producidos por la entrada directa de los rayos solares pueden ser placenteros siempre y cuando no interfieran con la actividad humana. El análisis de este punto requeriría de estudios a base de cuestionarios y monitoreo en sitio.

¹ Ne’man E., et al.,1976, Recommendations for the Admission and Control of Sunlight in Buildings, Building an Environment, 11,pp. 91- 101

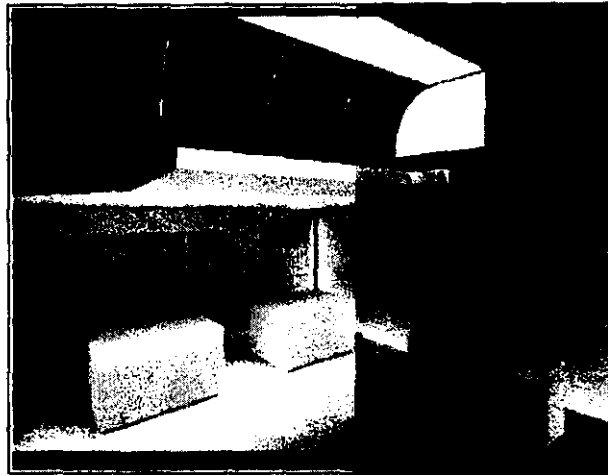


Fig. 5 "Parches de luz" sobre los escritorios

Lightscape, Marzo 21, 11:00 am

A pesar del uso de cortinas, se pueden distinguir zonas en donde los rayos directos del sol inciden sobre los escritorios

En la siguiente fotografía se muestra cómo las maestras cuelgan los trabajos de los alumnos sobre el techo. Al respecto, se pueden formular varias hipótesis. La primera: las maestras lo hace para protegerse de los reflejos producidos por la entrada directa del sol durante las mañanas y tardes. La segunda, es un acción arbitraria que afecta la correcta distribución de la luz.

El análisis hecho en esta tesis, indica que efectivamente, dichos elementos afectan la correcta distribución de la luz, pero también obstruyen la entrada directa de luz.



Fig. 6 Disposición del mobiliario en el interior del salón

En la fotografía se aprecia cómo las maestras cuelgan los trabajos de los alumnos, tal vez, tratando de evitar la entrada directa de luz.

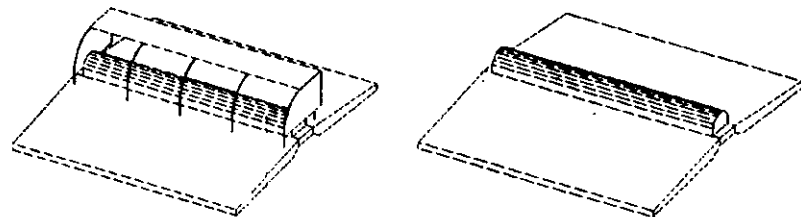
8.3 El diseño del parteluz

El análisis del diseño del parteluz se hizo simulando un modelo con parteluz y otro sin él. Se tomaron en cuenta, como en el caso anterior, el efecto producido durante días nublados y despejados. En este caso se seleccionaron los días 21 de Junio y Septiembre, fechas en las que se puede observar un cambio importante en la altura solar.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Niveles de iluminancia promedio sobre el plano de trabajo

Tabla 4 Eficacia del diseño del parteluz



Diseño con Parteluz

Diseño sin Parteluz

| JUNIO 21 | | |
|-----------------------------|----------|----------|
| Día Despejado | | |
| 10:00 | 1200 lux | 3230 lux |
| 14:00 | 1500 lux | 3270 lux |
| 16:00 | 700 lux | 4910 lux |
| Día Nublado | | |
| 10:00 | 25 lux | 200 lux |
| 14:00 | 75 lux | 300 lux |
| 16:00 | 50 lux | 365 lux |
| MARZO/ SEPTIEMBRE 21 | | |
| Día Despejado | | |
| 10:00 | 450 lux | 3340 lux |
| 14:00 | 850 lux | 7280 lux |
| 18:30 | 550 lux | 3020 lux |
| Día Nublado | | |
| 10:00 | 75 lux | 400 lux |
| 14:00 | 100 lux | 340 lux |
| 18:30 | 85 lux | 400 lux |

El diseño del parteluz sobre el tragaluz ofrece grandes ventajas sobre el control. El análisis indica que el diseño del mismo es óptimo y su efectividad indiscutible.

8.4 Resumen

A partir de los estudios realizados se determinó que:

1. Los niveles de iluminancia en el interior son suficientes en prácticamente cualquier estación del año. Sin embargo, cabe mencionar que cuando los rayos solares penetran de manera directa, estos niveles son rebasados.
2. El objetivo principal de las ventanas Norte es conectar al usuario con el exterior y proveer una vista agradable. Desgraciadamente cuando la altura solar no es mucha, los niveles de iluminancia rebasan la zona de confort y el uso de cortinas se hace necesario.

Referencias

Ne'man E., et al., 1976, Recommendations for the Admission and Control of Sunlight in Buildings, Building an Environment, 11, pp. 91- 101

Form Z, [http://www. Formz.com](http://www.Formz.com)

Lightscape, [http://www. lightscape. com](http://www.lightscape.com)

Lista de figuras y tablas

- fig. 1 Interior del salón de clases en Lightscape
- fig. 2 Planta arquitectónica
- fig. 3 Planta arquitectónica del salón de clases
- fig. 4 Montea solar: Junio 21
- fig. 5 "Parches de luz" sobre los escritorios
- fig. 6 Disposición del mobiliario en el interior del salón
- tabla 1 Niveles de iluminancia promedio sobre el plano de trabajo
- tabla 2 Niveles de iluminancia
- tabla 3 Efecto de las cortinas sobre los niveles de iluminancia interiores
- tabla 4 Eficacia del diseño del parteluz

9. COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Reporte y Análisis de Resultados

9.1 El diseño del parteluz

Simulaciones con y sin parteluz, 0.40 cambios de aire por hora (mínimo requerido por ASHRAE) y carga térmica de 20 alumnos (1500W) se llevaron a cabo para determinar la efectividad del diseño del parteluz. Se simularon los solsticio y equinoccios ya que ofrecen una variación importante en la altura solar¹ y por consiguiente, en la temperatura interior.

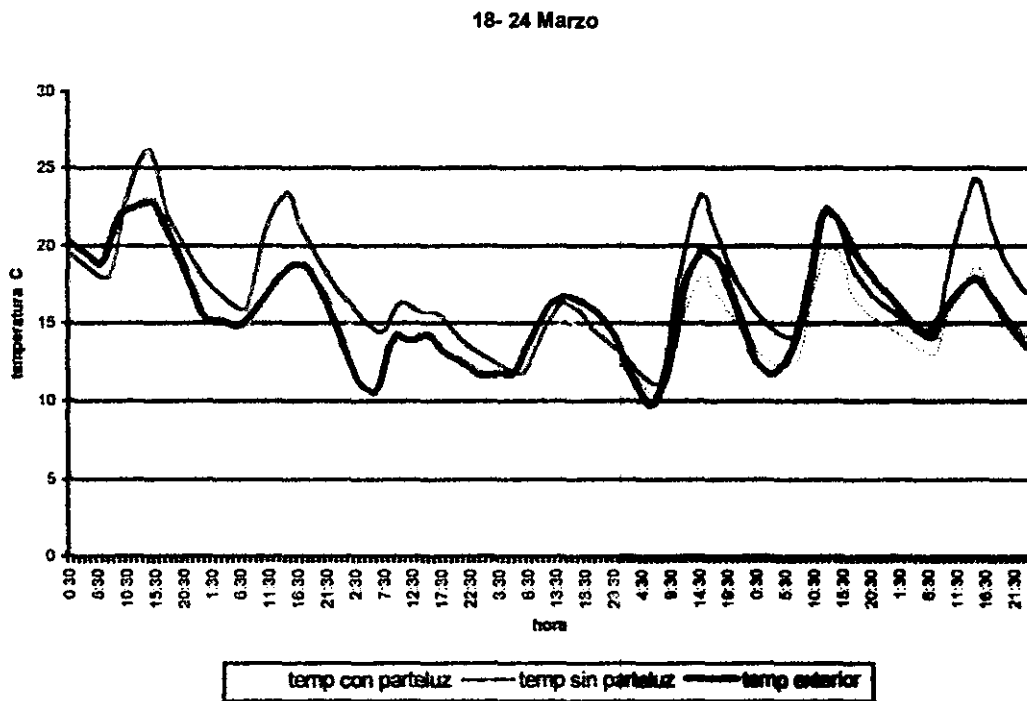


fig. 1 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Marzo
Diferencia máxima entre los dos modelos: 6°C

¹ Información más detallada puede ser consultada en el apéndice

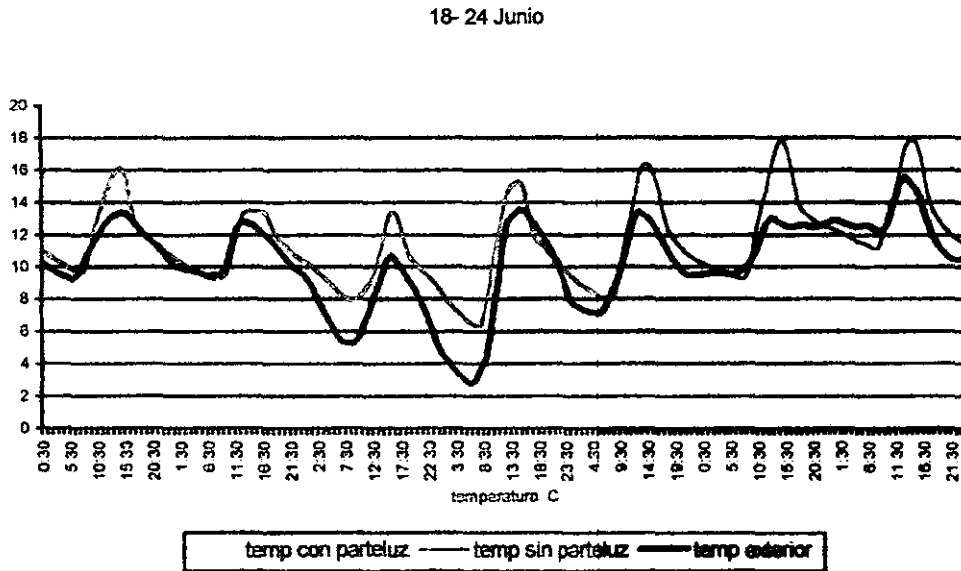


Fig. 2 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Junio
 Diferencia máxima entre los dos modelos: 0.02°C

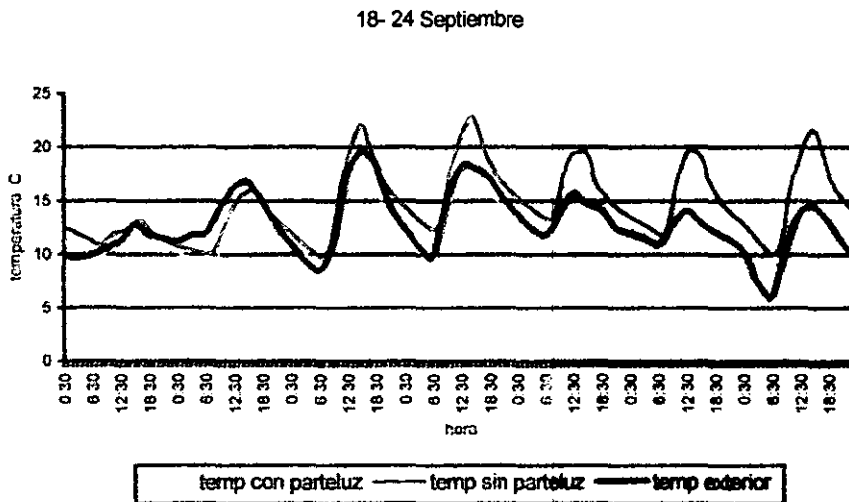


Fig. 3 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Septiembre
 Diferencia máxima entre los dos modelos: 5°C

Los resultados indican que el parteluz localizado sobre el domo es de gran utilidad. El parteluz cumple una doble función: desviar los rayos directos del sol, sin con ello evitar que la luz proveniente del mismo llegue al interior, y evitar el sobrecalentamiento del espacio.

La eficiencia del parteluz aumenta en relación al aumento en la temperatura exterior, lo que indica que la ubicación y diseño del mismo son adecuados. La eficiencia máxima se puede observar el día 22 de Diciembre, cuando la temperatura exterior llega hasta los 33° C. Sin embargo, es importante mencionar que la temperatura interior rebasa el área de confort térmico (20°C- 27°C) en 1°C cuando la temperatura ambiente es mayor a 30°C.

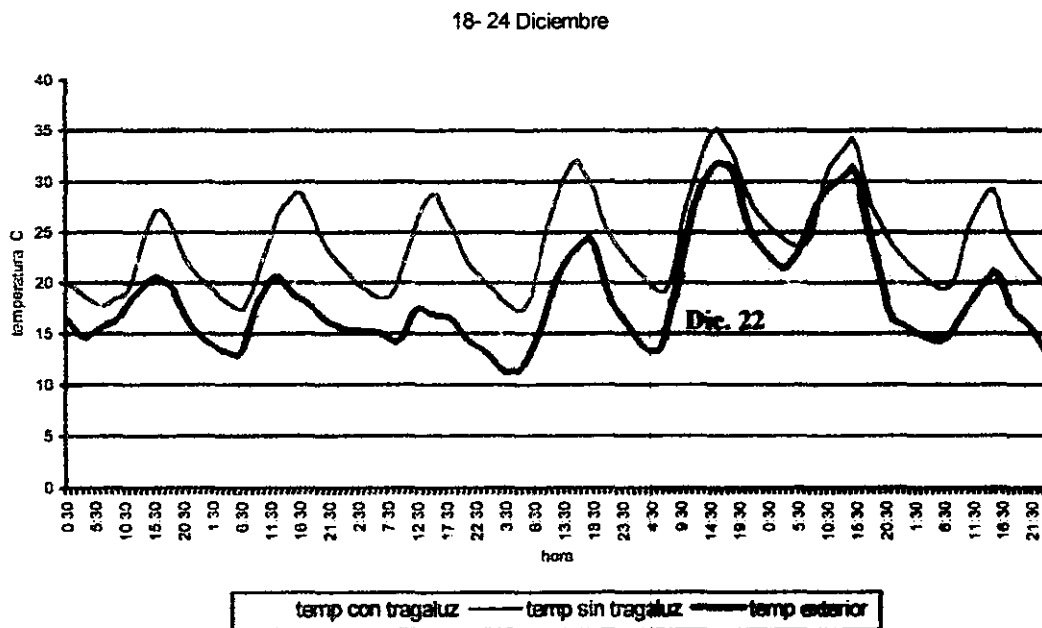


Fig. 4 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Diciembre
Diferencia máxima entre los dos modelos: 9°C

9.2 Efecto de los cambios de aire por hora sobre la temperatura interior

En el siguiente ejemplo, se tomó en cuenta el efecto de la ventilación natural sobre la temperatura interior. El flujo de aire se tomó de norte a sur, es decir, del exterior al interior. La ventana por la cual el aire circula es de 0.50m de ancho y 1.00m de altura. En esta primera simulación, no existe control alguno sobre la entrada y salida del aire.

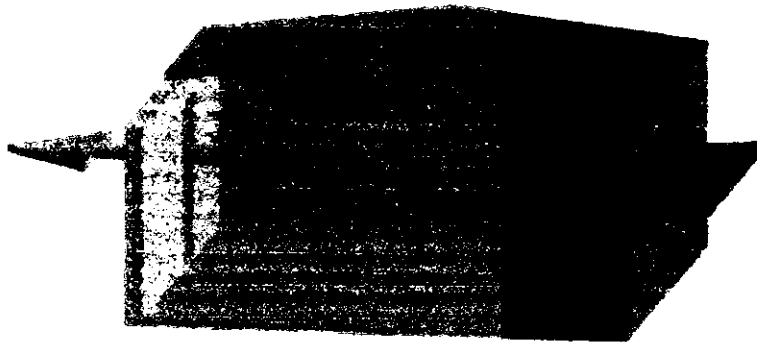


Fig. 5 Movimiento de aire en el interior del salón

La temperatura interior es menor que la exterior cuando se deja que el aire circule libremente en el espacio. Sin embargo, cabe mencionar que en este caso, la temperatura interior sobrepasa por 1°C los límites de confort especificados por Kwok².

Como consecuencia se decidió simular el problema modificando el número de cambios de aire por hora y analizar su impacto sobre la temperatura.

² Kwok, 1998, ASHRAE Transactions, Thermal Comfort in tropical Classrooms, ASHRAE Vol 104 (Pt. 1B), EUA

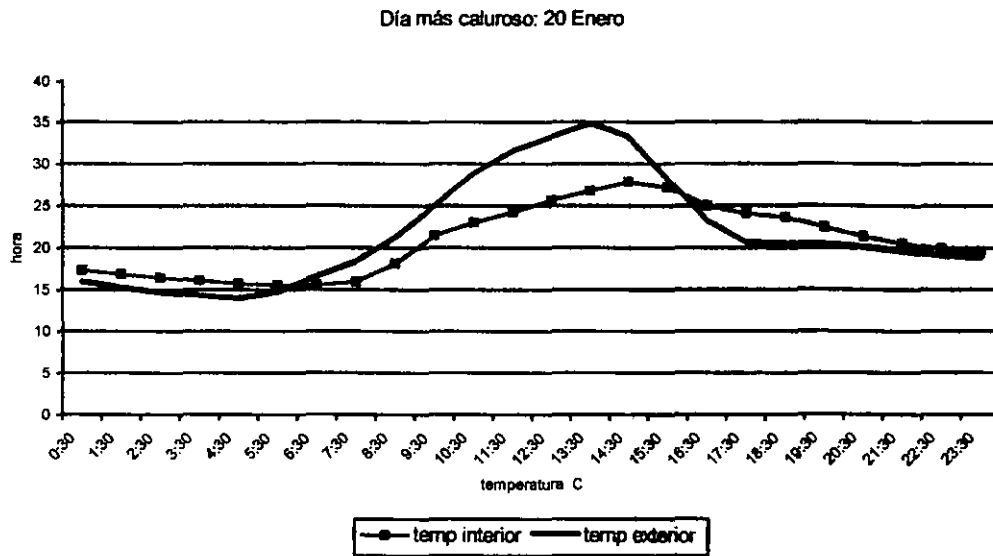


fig. 6 Modelo original: ventilación no controlada

De acuerdo a ASHRAE (1993 Fundamentals), el número de cambios de aire mínimo en un salón de clases con este tipo de características es de 0.40.

Se simuló el problema tomando en cuenta los cambios de aire por hora de 0.00 hasta 2.0 para analizar su efecto sobre la temperatura interior .

El día más cálido (Enero 20) y más frío del año (Agosto 18) fueron utilizados como puntos de referencia para el estudio.

Los estudios indicaron que la temperatura interior se incrementa con el aumento en los cambios de aire por hora (ver figura 7).

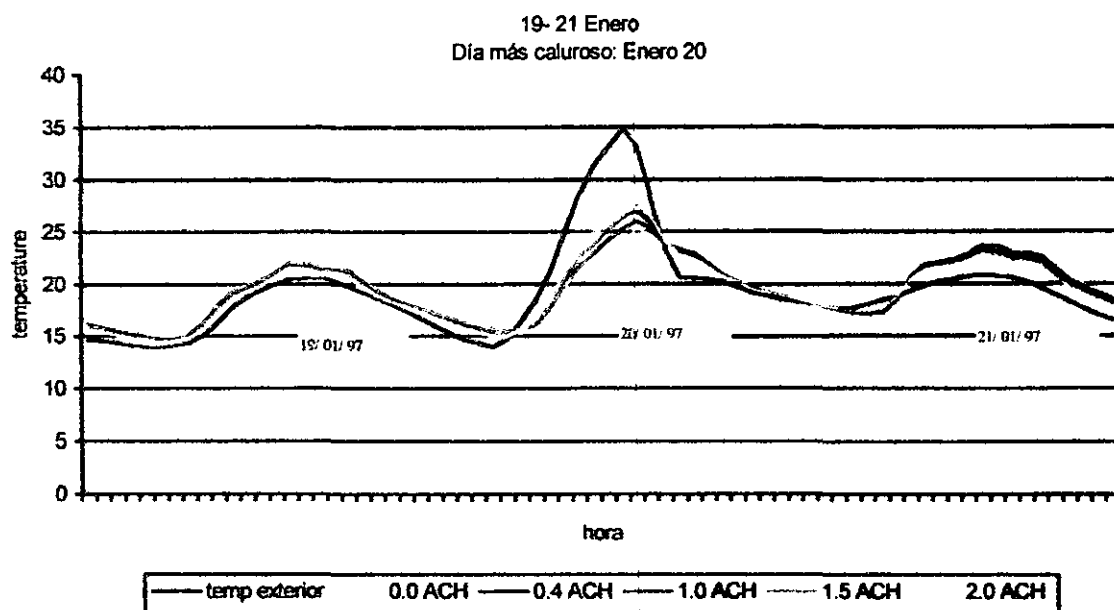


fig. 7 Cambios de aire por hora y su efecto sobre la temperatura interior: 19- 21 Enero

Es claro que la temperatura interior rebasa los 27°C señalados como máximo en la hipótesis de esta tesis, cuando los cambios de aire por hora son mayores que dos. Sin embargo, hay que recordar que el movimiento del aire crea condiciones muy particulares. La gente puede sentirse cómoda con una temperatura ambiente elevada si existe una corriente de aire adecuada.

El análisis de las condiciones climatológicas mostradas en el año indican que los 30°C se rebasan en 23 días durante dos horas en promedio. Si se toma en cuenta que la escuela se ocupa cinco de siete días, esto se convierte en un problema durante 16 días durante dos horas, menos del 3% del tiempo que los alumnos pasan en la escuela. El análisis de esta condiciones requeriría de un monitoreo en sitio y entrevistas con los usuarios.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

El efecto de los cambios de aire por hora se observó también durante el día más frío del año: 18 de Agosto. Los resultados mostraron, en los diferentes casos, que se está más cerca del la zona de confort al tener control sobre la entrada de aire. Las mejores condiciones se observaron con 0.4 cambios de aire por hora.

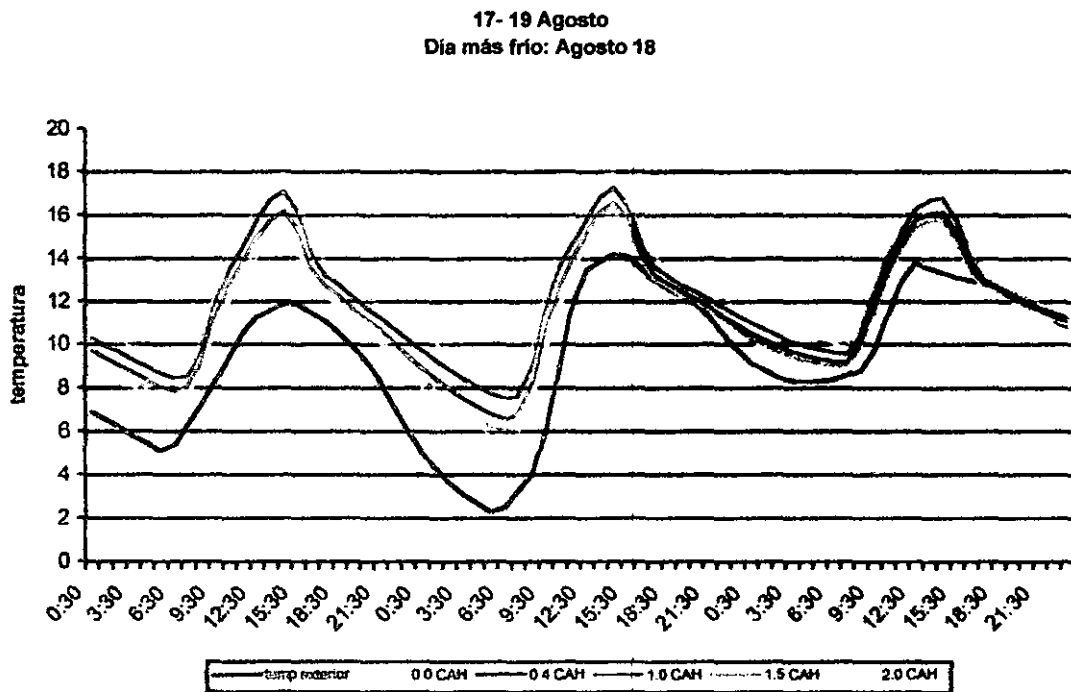


fig. 8 Cambios de aire por hora y su efecto sobre la temperatura interior: 17- 19 Agosto

9.3 La iluminación natural y la temperatura interior

El estudio señaló que las cargas térmicas mayores en el interior del salón de clases no se deben al uso de iluminación natural. Una reducción del 15% se experimentó cuando el tragaluz fue totalmente removido.

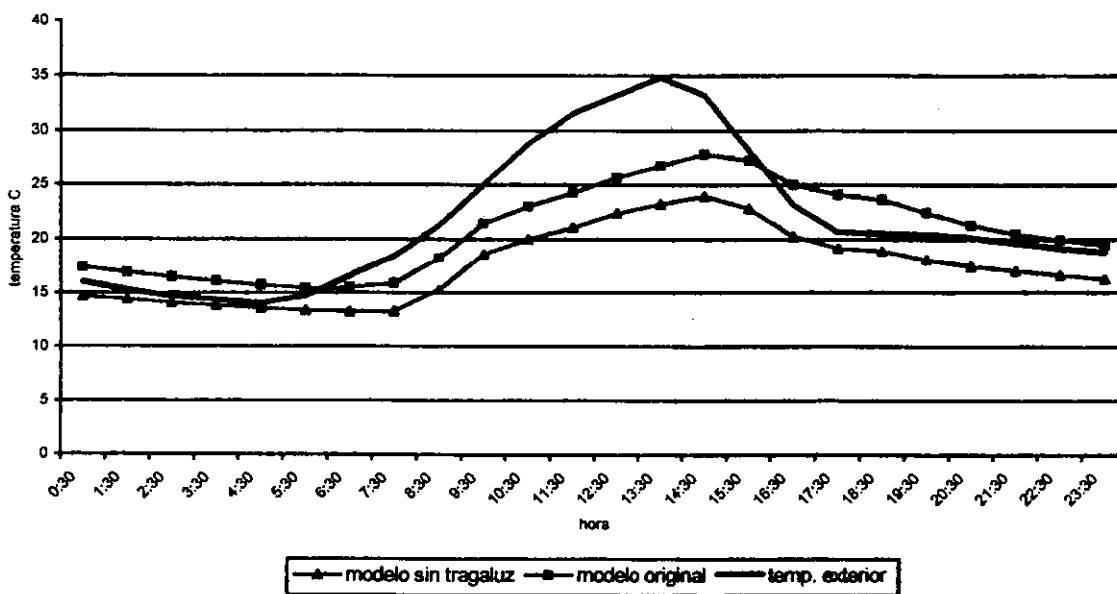


fig. 9 Efecto del uso de iluminación natural sobre la temperatura interior

9.4 La radiación solar y la temperatura interior

En la simulación que a continuación se presenta se creó un modelo con un sistema de sombreado ficticio para evitar que la radiación solar directa tocara al edificio. De esta forma se observó su efecto sobre la temperatura interior. Se tomaron como puntos de referencia 0.40 CAH y 2.0 CAH en el día más caluroso del año: 20 de Enero.

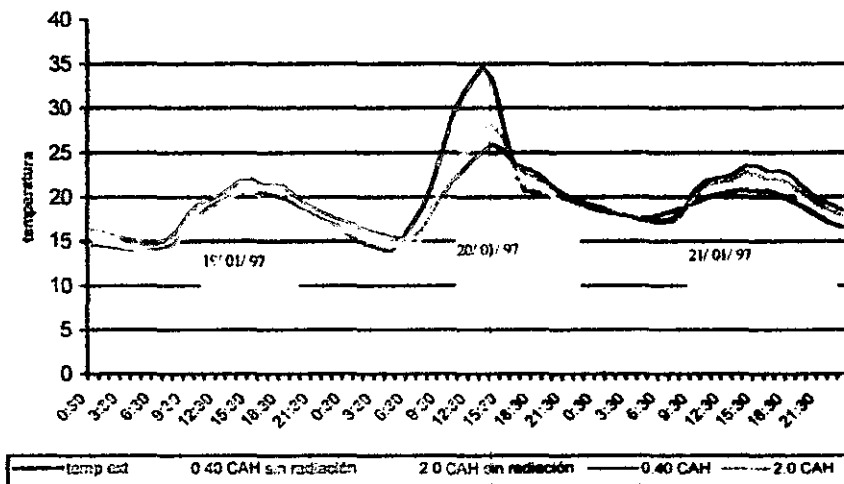


fig. 10 Efecto de la radiación solar directa sobre la temperatura interior

Del estudio se puede concluir que la radiación solar directa tiene poca influencia sobre la temperatura interior. La reducción promedio en la temperatura entre los diferentes modelos y aquel en donde la radiación directa fue excluida es de 1°C. Aún en los días más calurosos, la temperatura interior está determinada por otros factores.

9.5 Contribución térmica de veinte alumnos

A continuación, la contribución térmica de veinte alumnos se analizó. Se sugiere que cada alumno produce 110 watts (movimiento moderado en niños) de los cuales 30% es calor latente y un 70%, calor sensible.

Los resultados que a continuación se presentan muestran que la carga térmica de los alumnos no influye de manera importante sobre el comportamiento térmico en el interior del salón de clases.

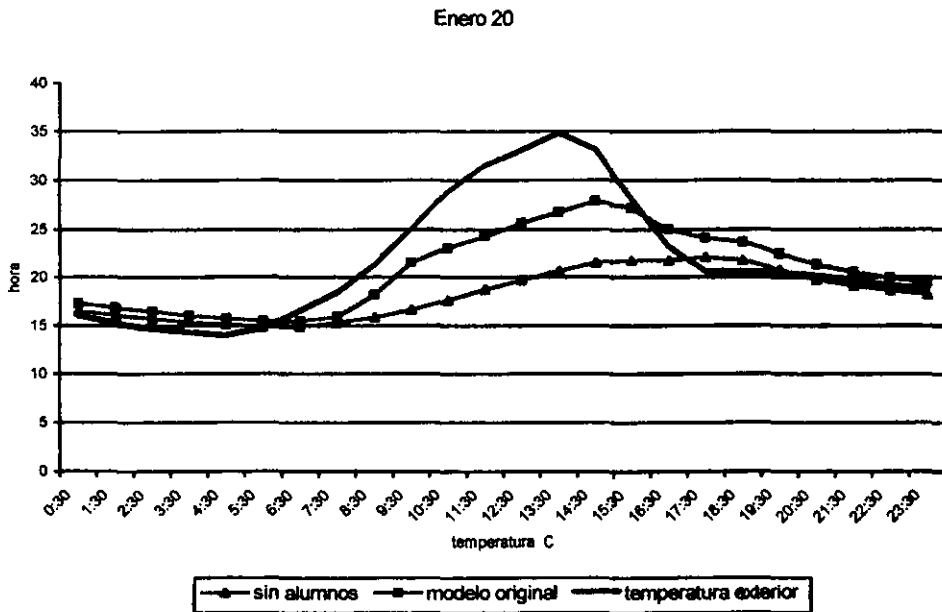


fig. 11 Contribución térmica de veinte alumnos

La diferencia entre el modelo original o real (con ventilación libre cruzada) y aquel en donde se removió la carga térmica de los alumnos es de 0.6°C a 6°C cuando la temperatura exterior llega a su máximo.

9.6 Efecto de la envolvente sobre la temperatura interior

Un último elemento fue puesto bajo el microscopio: el efecto de la envolvente. El modelo representante del edificio real fue comparado con uno en donde la envolvente se consideró como adiabática.

Se puede concluir que la temperatura interior está determinada casi en su totalidad por las características de la envolvente. Una reducción del 70% sobre la temperatura interior puede observarse cuando se considera que no existe transmisión térmica a través del los muros y techo del salón de clases.

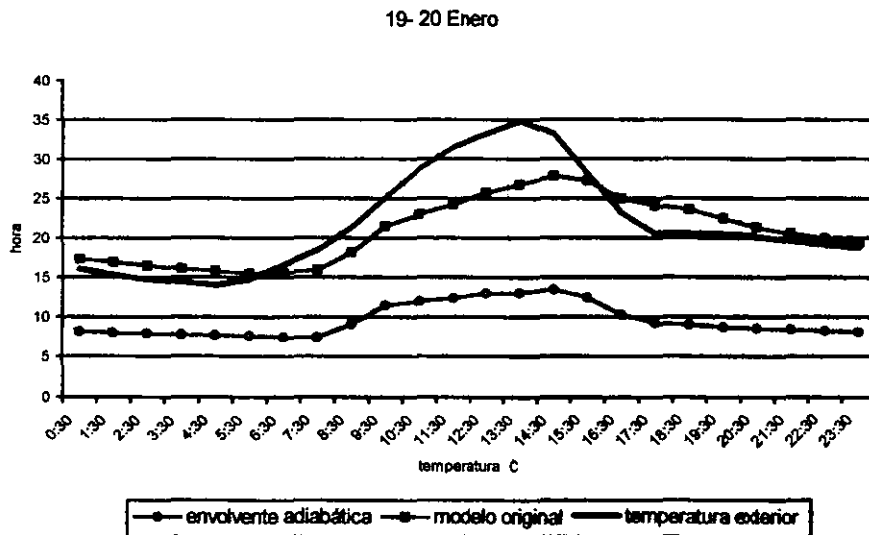


fig. 12 Efecto de la envolvente sobre la temperatura interior

9.7 Resumen

A partir de los estudios realizados se determinó que:

1. El diseño del parteluz juega un papel importante dentro del control de radiación solar directa y comportamiento térmico interior. Se puede concluir que el diseño del mismo es eficiente.

2. Se estudiaron los diferentes factores que participan en el problema: número de personas y actividad, cambios de aire por hora, radiación solar y características de la envolvente. Se concluyó que las ganancias térmicas mayores se deben a la transmisión térmica por conducción a través de la envolvente y no al uso de iluminación natural, lo que comprueba la hipótesis de este trabajo: el uso de luz natural es compatible con el confort visual y térmico en los salones de clases de las escuelas localizadas en climas cálidos.

Referencias

Hensen JLM, 1991, On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System Dissertation, University of Strathclyde, Inglaterra

University of Strathclyde, ESP-r: Frequently asked Questions,
<http://www.strath.ac.uk/departments/ESRU/ESP-r.Htm>

Lista de figuras y tablas

- fig. 1 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Marzo
- fig. 2 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Junio
- fig. 3 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Septiembre
- fig. 4 Eficacia del diseño del parteluz: 18- 24 Diciembre
- fig. 5 Movimiento de aire en el interior del salón
- fig. 6 Modelo original: ventilación no controlada
- fig. 7 Cambios de aire por hora y su efecto sobre la temperatura interior: 19- 21 Enero
- fig. 8 Cambios de aire por hora y su efecto sobre la temperatura interior: 17- 19 Agosto
- fig. 9 Efecto del uso de iluminación natural sobre la temperatura interior
- fig. 10 Efecto de la radiación solar directa sobre la temperatura interior
- fig. 11 Contribución térmica de veinte alumnos
- fig. 12 Efecto de la envolvente sobre la temperatura interior

10. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La comparación de resultados entre el monitoreo efectuado en el lugar y la simulación por computadora, es una manera de comprobar la precisión de los programas ESP-r y Lightscape en la predicción del comportamiento térmico y lumínico respectivamente.

Durante 1997 y parte de 1998, el Dr. Mark Luther de la Universidad de Deakin en Victoria, Australia, realizó una serie de estudios en donde monitoreó la temperatura interior y niveles de iluminancia en el interior del salón de clases analizado en esta tesis.

Durante un día parcialmente nublado, el monitoreo indica que los niveles de iluminancia observados varían de 50 lux durante la mañana, 850 lux al medio día y hasta 1100 lux por la tarde. Al comparar estos datos con los arrojados por la computadora, podemos afirmar que los niveles proporcionados se acercan de manera satisfactoria a la realidad y que los datos obtenidos en las diferentes simulaciones son correctos.

La siguiente tabla muestra los niveles de iluminancia observados en Lightscape sobre el plano de trabajo durante un día nublado.

Tabla 1:

Niveles de iluminancia observados en Lightscape en días con 50% de nubosidad:

| 21 MARZO | iluminancia (lux) | 21 SEPTIEMBRE | iluminancia (lux) |
|-----------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| 10:00 | 260 | 10:00 | 200 |
| 14:00 | 500 | 14:00 | 560 |
| 16:00 | 320 | 16:00 | 800 |
| 21 JUNIO | | 21 DICIEMBRE | |
| 10:00 | 600 | 10:00 | 420 |
| 14:00 | 700 | 14:00 | 350 |
| 16:00 | 1000 | 16:00 | 400 |

Los datos sobre la temperatura interior observada durante el monitoreo en sitio pertenecen a los años 1997 y 1998. En las simulaciones hechas en ESP-r se utilizaron datos de un año tipo, es decir, la información proviene del promedio de diez años.

Para realizar la comparación de datos se seleccionaron días muy similares en fechas cercanas. Aunque las temperaturas exteriores no coinciden en su totalidad, el comportamiento general en el salón pudo ser observado de manera satisfactoria.

Los datos proporcionados por el Dr. Luther son los siguientes:

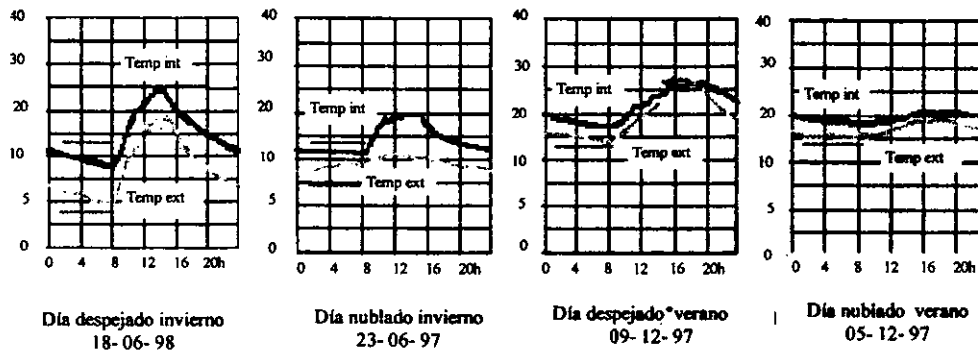


fig. 1 Monitoreo en sitio

El estudio realizado por Luther durante el invierno (Junio) señaló que conforme la temperatura ambiente exterior se incrementan, la temperatura interior aumenta de manera proporcional. La temperatura interior en estos días es mayor a la exterior, pero se mantiene dentro de la zona de confort térmico.

Durante el verano (Diciembre) se observó que el sistema de sombreado trabaja eficientemente ya que hasta en los días despejados, la temperatura interior se mantiene por debajo de la temperatura exterior.

Estos mismos resultados fueron observados en las simulaciones hechas por computadora. La similitud que se puede observar en los resultados obtenidos en esta tesis, comprueban que el programa ESP-r es eficiente en el cálculo del comportamiento térmico. En los ejemplos que a continuación se presentan, se tomaron en cuenta 0.40 cambios de aire por hora y la carga térmica de veinte alumnos.

Dicho análisis ofreció bases sólidas y confianza suficiente para continuar con la metodología de simulación descrita en el capítulo 6.0 de este documento.

Invierno:

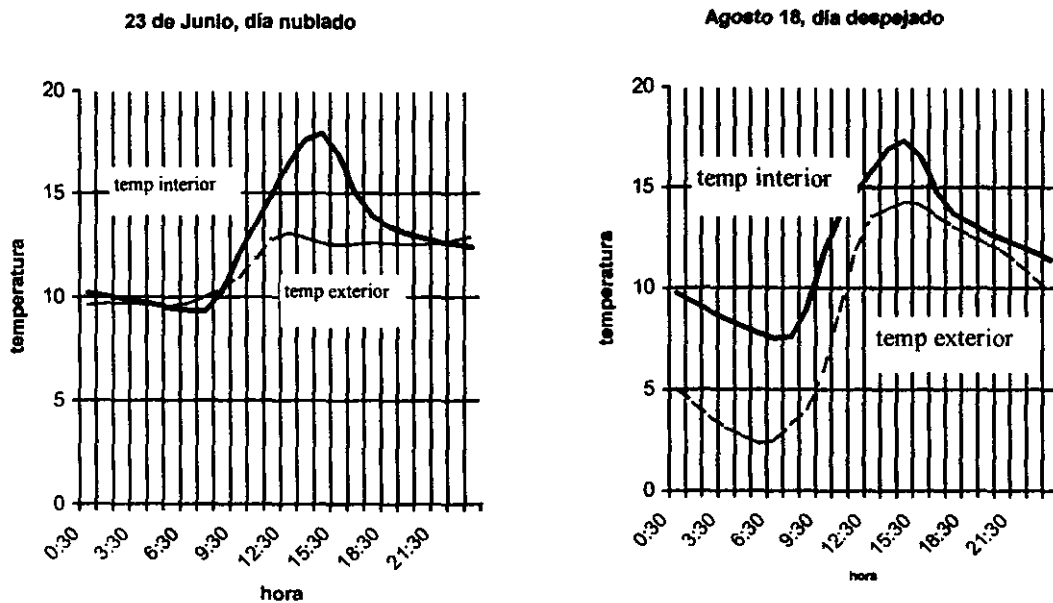


fig. 2 Resultados obtenidos en ESP-r: Invierno

Verano:

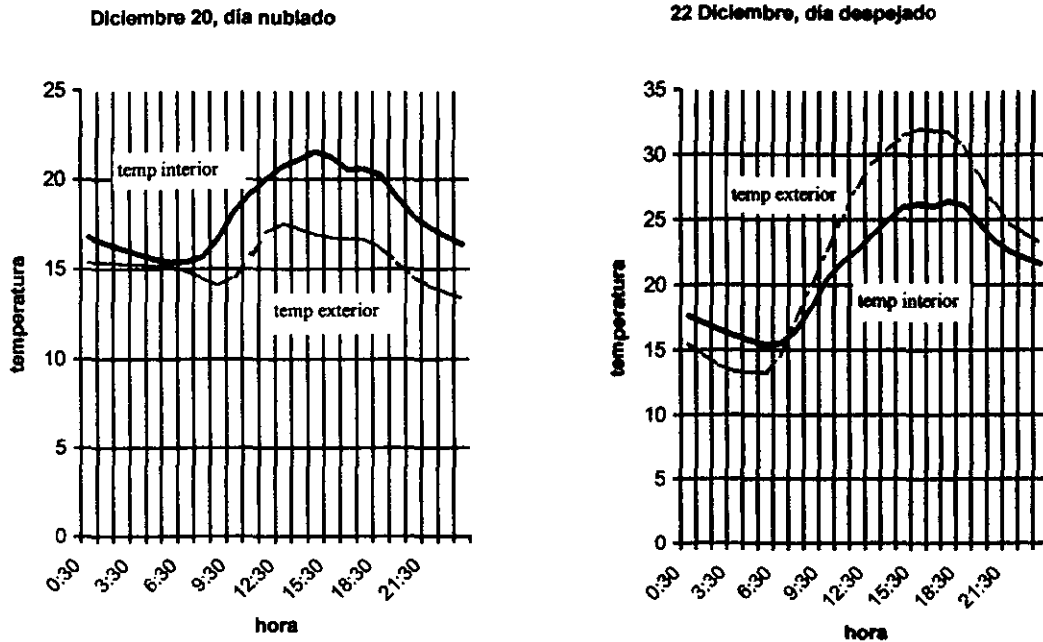


fig. 3 Resultados obtenidos en ESP-r: Verano

Se puede concluir que los estudios realizados con el programa ESP-r y Lightscape son válidos y con ello se demuestra que los programas de simulación ofrecen grandes ventajas a los arquitectos, ingenieros y diseñadores en general.

Referencias

datos sobre el monitoreo en sitio proporcionados por mark Luther, Deakin University, Victoria, Australia

Lista de figuras y tablas

fig.1 Monitoreo en sitio

fig. 2 Resultados obtenidos en ESP-r: Invierno

fig. 3 Resultados obtenidos en ESP-r: Verano

tabla 1 Niveles de iluminancia observados en Lightscape en días con 50% de nubosidad

11. PROPUESTAS DE DISEÑO

Los resultados mostrados en esta tesis indican que el diseño de iluminación en la Escuela Primaria Park Ridge fue exitoso. Se ha demostrado que el uso de la luz natural es compatible con el confort térmico y que los efectos adversos pueden evitarse a través de un diseño adecuado a las condiciones climatológicas del lugar.

Las diferentes simulaciones también mostraron, sin embargo, una serie de detalles que podrían perfeccionarse. El objetivo de este capítulo es analizar estas posibilidades.

Las sugerencias que a continuación se presentan tienen como objetivo acercarse lo más posible a la realidad y así poder ser tomadas en cuenta en posibles remodelaciones futuras. El diseño arquitectónico, orientaciones y disposición de espacios se consideraron como elementos inalterables.

Sugerencias

1.

Las diferentes simulaciones en **Lightscape** indicaron que se generan zonas de demasiada brillantez durante las mañanas y tardes al disminuir la altura solar en invierno y que el uso de cortinas se hace indispensable en estos casos.

Las encuestas realizadas por el Dr. Luther en 1997 indican que las cortinas se utilizan por las mañanas, lo cual según el Dr. Love¹ puede afectar el potencial de la iluminación natural.

¹ Love, 1998, Manual Switching Patterns in Private Office, *Lighting Research and Technology*, Vol 30, Canadá

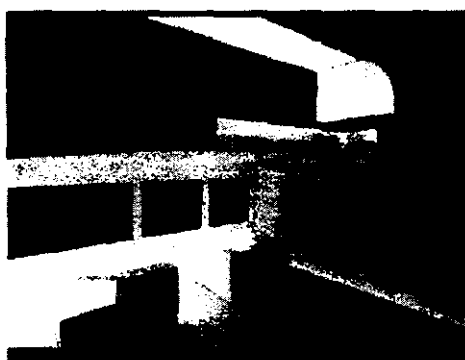
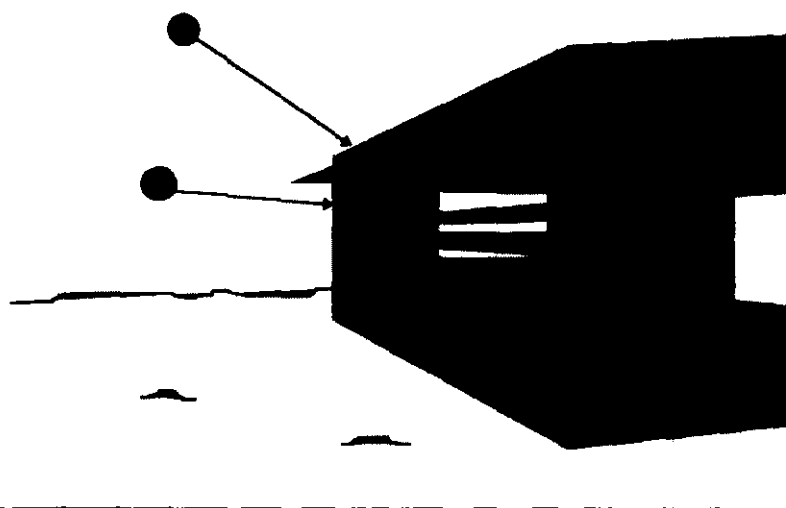


Fig. 1 Interior del salón de clases: 21 de Junio, 9:00 am
Interior del salón en donde se muestran los reflejos excesivos causados por la penetración directa de los rayos solares por las ventanas.

Las personas tienden a ajustar sus cortinas de acuerdo a la situación más adversa y hacer uso de la iluminación eléctrica durante la mayor parte del día. Por ejemplo, una persona que llega a su oficina durante la mañana, ajustará sus cortinas para obstruir la entrada de luz si ésta es muy brillante, y las dejara así durante todo el día a pesar de que la situación mejore.

Se recomienda el uso de persianas sobre la parte inferior de las ventanas para disminuir la entrada de los rayos solares directos durante las mañanas y tardes. La parte alta podrá permanecer abierta a la entrada de luz.



El dibujo muestra cómo son obstruidos los rayos directos del sol por medio del alero sobre la ventana y media persiana.

fig. 2 Detalle del alero y media persiana sobre la ventana

El alero sobre las ventanas norte intercepta los rayos del sol cuando éste se encuentra a una altura considerable. Cuando la altura solar disminuye, el uso persianas sobre la parte inferior de la ventana puede contribuir a la eliminación de las zonas de demasiada brillantez sobre los escritorios cercanos a la misma.

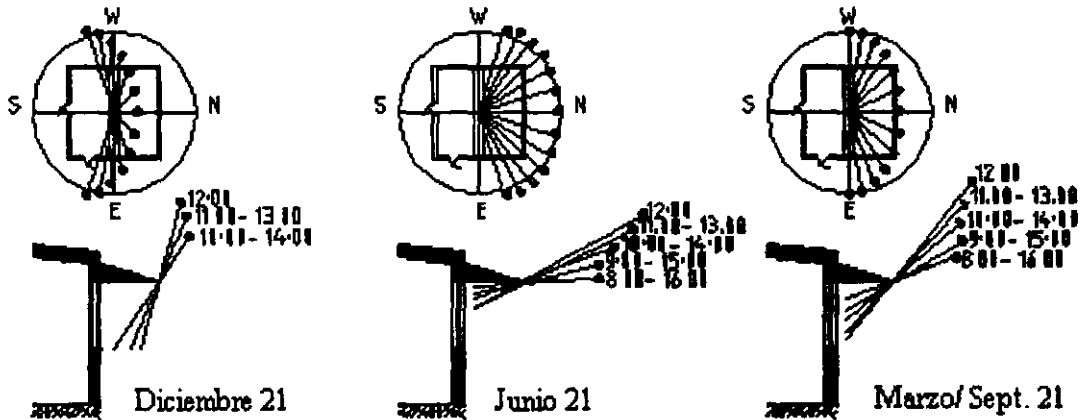


fig. 3 Azimuth y altura solar en relación al proyecto

La altura de la ventana es de 1.10 metros. Se propone que 0.70m se designen a la cortina inferior. La altura desde el piso hasta la parte superior de la persiana sería de 1.70m, suficiente para evitar reflejos molestos sin restringir la entrada de luz útil.

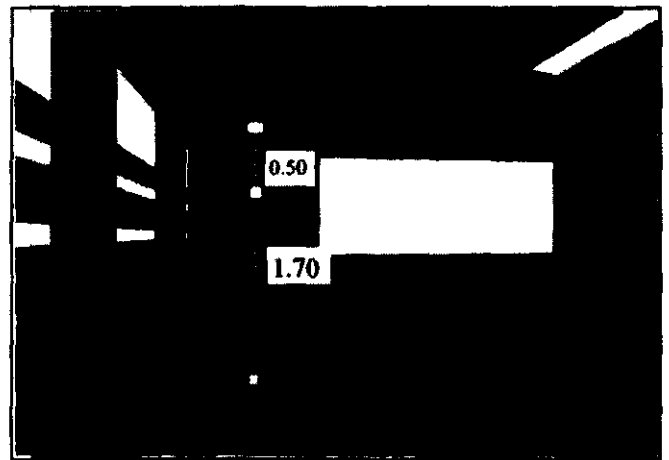
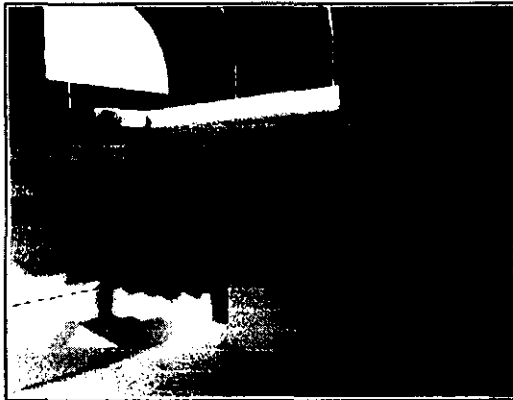


Fig. 4 Detalle de la media cortina

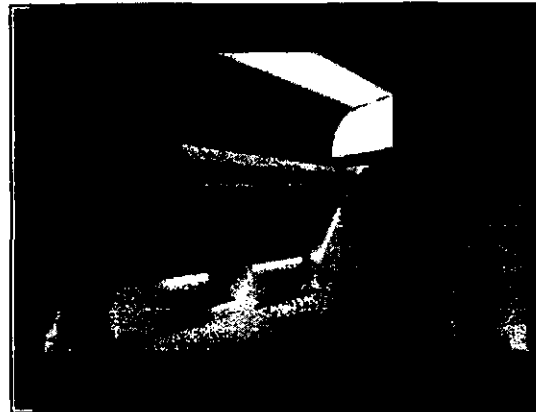
2.

Las simulaciones mostraron que los rayos directos del sol también entra al espacio por medio del tragaluz. En las siguientes imágenes se aprecia la formación de zonas de demasiada brillantez en el salón de clases.



21 Junio

11:00



21 Septiembre

15:00

fig. 5 Interiores del salón de clases en lightscape

No se puede decir que los niveles de iluminancia en el interior del salón de clases no sean satisfactorios (ver niveles de iluminancia reportados en el capítulo 8). Sin embargo, una mejor distribución de la luz podría ser benéfica.

Tal y como se muestra en las imágenes, se generan reflejos molestos sobre las paredes Sur y Oriente en horas de trabajo. Cabe mencionar que los alumnos dejan la escuela a las tres de la tarde por lo que los problemas generados después de esta hora podrían considerarse poco importantes.

En un principio, el arquitecto Oppenheim había propuesto un elemento translúcido bajo el tragaluz para una mejor distribución de la luz. Este no se colocó ya que se pensó (cabe mencionar que correctamente), que el diseño del mismo no afectaría de manera significativa los niveles de iluminancia y que su limpieza sería problemática.

El elemento triangular se puso a prueba como parte del proceso de investigación en esta tesis. Se corrió una simulación para el día 21 de Junio y se analizó el efecto del mismo

Tabla 1 Efecto del elemento triangular sobre los niveles de iluminancia en los escritorios
día: 21 de Junio

| día despejado | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|-------|------|------|------|
| 10:00 | 700 | 2000 | 1000 | 1000 |
| 14:00 | 2000 | 1600 | 1000 | 700 |
| 16:00 | 10000 | 9500 | 600 | 600 |

Tabla 2 Niveles de iluminancia sobre los escritorios en el modelo original
Día: 21 de Junio

| día despejado | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|-------|------|------|------|
| 10:00 | 900 | 1500 | 1200 | 1000 |
| 14:00 | 2000 | 2000 | 700 | 650 |
| 16:00 | 10000 | 9000 | 500 | 600 |

La comparación de datos indica que los niveles de iluminancia en el interior del salón de clases no se ven afectados por la presencia del elemento translúcido. La precisión del programa es tal, que se puede afirmar que los niveles de iluminancia en los dos casos son iguales.

Detalles del elemento translúcido propuesto en un principio como parte del diseño original.

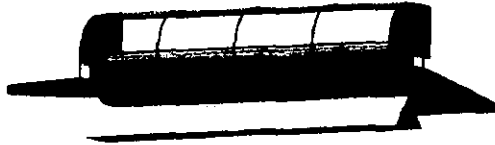
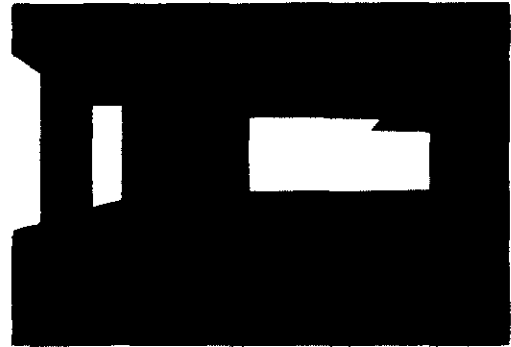


Fig. 6 Detalles del elemento translúcido localizado bajo el parteluz.



El uso del elemento triangular se descartó como solución al problema. A raíz de este análisis se estudió la posibilidad de colocar un elemento translúcido frente a la zona por donde los rayos directos del sol entran. Las siguientes imágenes muestran su diseño.

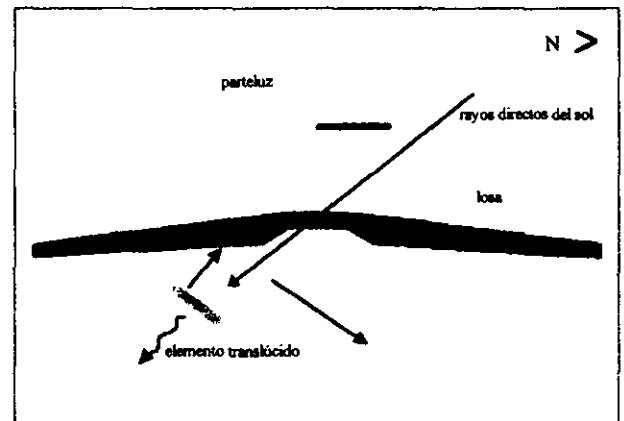
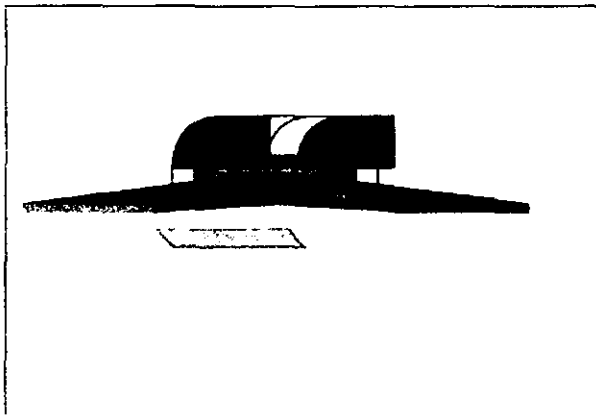


Fig. 7 Detalle del elemento translúcido propuesto
Al penetrar los rayos directos del sol, son dirigidos hacia el techo y después al interior del salón de clases.

Gran porcentaje de los rayos solares que llegan al elemento translúcido serán dirigidos hacia el techo, produciéndose un rebote antes de llegar al interior del salón. Otra parte será transmitida directamente hacia el interior, no sin antes haberse modificado su longitud de onda gracias al material utilizado.

Con el fin de comprobar la eficacia de dicho elemento, se corrió una simulación para el día 21 de Junio y se comparó con los resultados del modelo original.

En este caso, se considero sólo la iluminación procedente del parteluz, es decir, la entrada de luz por las ventanas norte, se consideró como nula.

Tabla 3 Niveles de iluminancia promedio sobre los muros Sur y Oriente

| | Propuesta de diseño | Modelo Real |
|-------|---------------------|-------------|
| 9:00 | 40 | 50 |
| 10:00 | 200 | 200 |
| 11:00 | 300 | 4000 |
| 12:00 | 600 | 6000 |



Fig. 8 Propuesta de diseño, Junio 21, 12:00 pm.
Imagen en donde se muestra la reducción de reflejos intensos al colocar el elemento translúcido.

La comparación indica que la propuesta de diseño hecha en este documento es viable. Se observa que las zonas de demasiada brillantez o reflejos molestos desaparecen y la distribución de luz en el lugar es más uniforme.

4.

Se propone como complemento al diseño de iluminación natural que la iluminación eléctrica en el salón esté dividida en dos circuitos. De esta forma podrá hacerse uso de las luminarias de acuerdo a los niveles de iluminancia observados en las diferentes zonas. Por ejemplo, si la iluminación proporcionada por las ventanas es suficiente para los escritorios localizados cercanos a las mismas, pero no lo es así para aquellos escritorios en la parte posterior del salón, podrán encenderse solamente aquellas luminarias localizadas en la zona afectada.

Por otro lado, si la entrada de luz es demasiada en algunas zonas, la iluminación eléctrica podrá ser utilizada para contrarrestar el efecto de brillantez excesiva causada por los rayos solares.

La instalación de detectores de presencia para el control de la iluminación artificial podría ser tomada como una posibilidad siempre y cuando se le proporcione suficiente mantenimiento. La carencia del mismo conduce no solo al fracaso del sistema como ahorrador energético sino, en ocasiones, al abandono del programa y a un consumo eléctrico mayor.

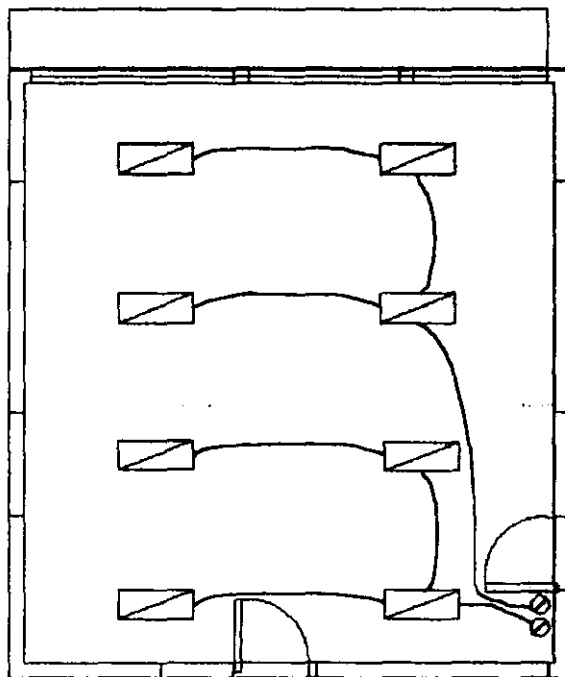


Fig. 9 Instalación eléctrica

Se propone que como complemento al diseño de iluminación natural, la instalación eléctrica esté dividida en dos circuitos. El primero correspondería a la zona cercana a las ventanas mientras el segundo a la zona posterior.

Con respecto al comportamiento térmico, los resultados indicaron que la Escuela Primaria Park Ridge es un edificio dominado por la envolvente, es decir, el comportamiento térmico en el interior esta influido en un 70% (ver capítulo 9) por las características de los materiales utilizados en muros y techo.

5.

Diversos materiales con una conductancia térmica menor en los muros y ventanas fueron utilizados en la siguiente simulación por computadora para analizar su efecto sobre la temperatura interior . El uso de materiales con una resistencia térmica mayor puede contribuir a la disminución de ganancias térmicas excesivas. Los valores U propuestos y los resultados de la simulación se muestran a continuación:

Muros:

| Material | Espesor (m) | U (W/m ² ° C) |
|------------------|-------------|--------------------------|
| tabique recocido | 0.1 | 0.39 |
| lana | 0.075 | |
| espacio de aire | 0.05 | |
| tabique recocido | 0.10 | |

Ventanas:

| Material | Espesor (m) | U (W/m ² ° C) |
|-----------------|-------------|--------------------------|
| vidrio | 0.006 | 2.75 |
| espacio de aire | 0.012 | |
| vidrio | 0.006 | |



Tabla 4 Características de los materiales de construcción propuestos

Fig. 10 Se propone el uso de ventanas dobles

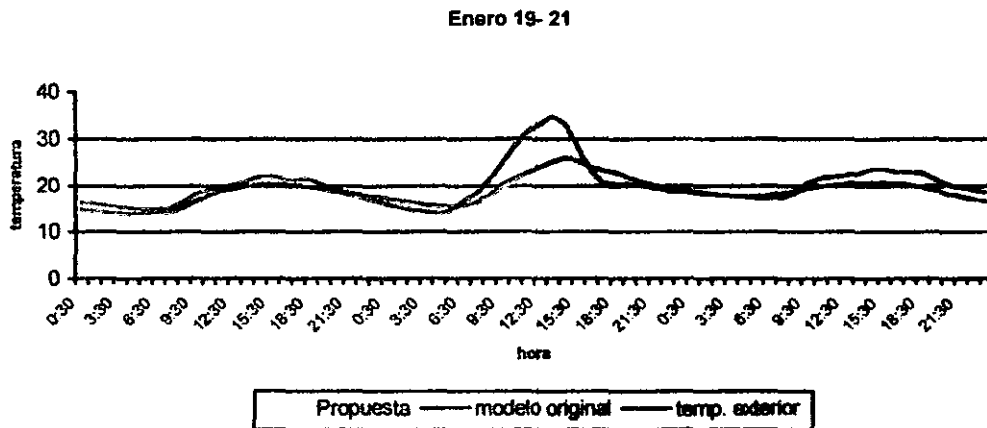


Fig. 11 Efecto de los materiales propuestos sobre la temperatura interior

Los resultados de la simulación indican que la reducción del coeficiente de transmitancia térmica tiene efectos positivos, sin embargo, éstos no pueden considerarse de importancia. Se observa una reducción máxima en la temperatura interior de 1.49°C al disminuir el valor U de los muros de 0.50 a 0.39 y el de las ventana de 5.58 a 2.75. Es importante hacer notar que la utilización de materiales con una resistencia a la transmisión de calor mayor, mejoraría las condiciones de confort en el interior, sin embargo, en esta tesis no se estudiaron dichos materiales ya que el espesor de los muros y techos, al igual que las fachadas se verían severamente afectadas.

Se sugiere que antes de cualquier remodelación se haga un estudio de costos y estética para determinar de forma más detallada, las ventajas de dicha propuesta.

Se puede concluir que la resistencia térmica de los materiales utilizados en la Escuela Park Ridge es satisfactoria y que todo cambio en los mismos deberá ser sometido a un análisis con perspectivas a largo plazo.

Referencias

Hensen JLM, 1991, On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System Dissertation, University of Strathclyde, Inglaterra

University of Strathclyde, ESP-r: Frequently asked Questions,
<http://www.strath.ac.uk/departments/ESRU/ESP-r.Htm>

Form Z , <http://www.Formz.com>

Lightscape, <http://www.lightscape.com>

Lista de figuras y tablas

fig. 1 Interior del salón de clases: 21 de Junio, 9:00 am

fig. 2 Detalle del alero y media persiana sobre la ventana

fig. 3 Azimuth y altura solar en relación al proyecto

fig. 4 Detalle de la media cortina

fig. 5 Interiores del salón de clases en lightscape

fig. 6 Detalles del elemento translúcido localizado bajo el parteluz.

fig. 7 Detalle del elemento translúcido propuesto

fig. 8 Propuesta de diseño, Junio 21, 12:00 pm.

fig. 9 Instalación eléctrica

fig. 10 Se propone el uso de ventanas dobles

Fig. 11 Efecto de los materiales propuestos sobre la temperatura interior

tabla 1 Tabla 1 Efecto del elemento triangular sobre los niveles de iluminancia en los escritorios

tabla 2 Niveles de iluminancia sobre los escritorios en el modelo original

tabla 3 Niveles de iluminancia promedio sobre los muros Sur y Oriente

tabla 4 Características de los materiales de construcción propuestos

12. CONCLUSIONES

Al acercarse el siglo veintiuno y la escasez de recursos naturales y contaminación es cada vez más evidente, surge la necesidad de analizar el impacto de las diferentes actividades humanas sobre el bienestar del planeta.

Tanto Stein¹ como Froessler², reconocidos investigadores, han identificado a la arquitectura como un elemento clave dentro del problema. La industria de la construcción, una de las actividades más contaminantes del hombre³, debe estudiarse más a fondo. El potencial que ofrece para el ahorro de energéticos fósiles debe explotarse a través de la implementación de sistemas pasivos para la ventilación y calefacción de espacios.

El análisis que se presenta en este documento evalúa la hipótesis sobre el confort visual y térmico en relación al uso de la iluminación natural a través del estudio de uno de los salones en la Escuela Primaria Park Ridge en Melbourne, Australia. La cantidad y calidad de la luz que llega al espacio y su efecto sobre la temperatura interior se evaluó por medio de los programas de computación Lightscape y ESP-r para simular el comportamiento lumínico y térmico respectivamente bajo diferentes condiciones.

Con respecto a los objetivos señalados al inicio de la investigación, se concluyó lo siguiente:

¹ Stein, Reynolds, 1992, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, John Wley & Sons, EUA

² Lynn Froeschle, 1997, San Diego Earth Times, Creating an Environmentally Friendly Home or Office, EUA, Enero

³ Brenda & Robert Vale, 1991, Green Architecture, Design for an Energy Conscious Future, Bulfinch, Inglaterra

Objetivo 1: Dar a conocer un caso real en donde el uso de la iluminación natural forma parte del diseño arquitectónico.

Mucho se ha dicho sobre la iluminación natural y el ahorro de energéticos fósiles⁴, sin embargo, la arquitectura de hoy parece no reflejar esta evolución del conocimiento. Hillier et al⁵. mencionan que esto se debe a la falta de modelos que los arquitectos puedan seguir: los resultados de investigación, pocas veces se traducen a un lenguaje adecuado para diseñadores. Por otro lado, la falta de ejemplos en donde se haya comprobado la eficiencia de dichos sistemas ha provocado que tanto arquitectos como clientes duden sobre su potencial y aplicación.

El trabajo que se presenta en esta tesis tiene como objetivo dar a conocer no solo la manera en que el diseño arquitectónico afecta el confort humano, sino además ofrecer pruebas, a través de una metodología fácil de seguir, sobre el potencial de la iluminación natural en salones de clases localizados en climas cálidos.

La escuela Primary Park Ridge es un caso totalmente real y se espera que el lector encuentre la información útil en estudios y diseños arquitectónicos futuros.

Objetivo 2: Identificar las áreas en donde los ocupantes de una edificación y los sistemas de iluminación natural de ven afectados. Determinar la sensibilidad térmica y lumínica en salones de clases ubicados en climas cálidos.

El estudio energético se llevó a cabo mediante un proceso de eliminación en donde los diferentes factores del problema se removieron uno por uno para evaluar su impacto sobre el confort humano.

⁴ Vale B. y Vale R., 1991, Green Architecture, design for an energy conscious future, Bulfinch, Inglaterra; Lighting Research Institute, 1989, Lighting and Human Performance: A Review, NEMA Lighting Equipment Division, EUA, Enero

⁵ Cross Nigel, 1984, Developments in Design Methodology, Chichester, Inglaterra

Se determinó que una vez resuelto el problema de reflejos a través de las ventanas por medio del uso de cortinas, los niveles de iluminancia sobre los escritorios de los alumnos cumplen con las normas establecidas por el Illuminating Engineering Society of North America (200 lux como mínimo).

El siguiente paso fue comprobar que el uso de la iluminación natural es compatible con el confort térmico. Las condiciones de confort se definieron entre los 20°C y 27°C de acuerdo a estudios realizados por Kwok⁶ en donde establece que es rango de confort establecido por ASHRAE Standard 55 para climas cálidos puede incrementarse cuando se utilizan sistemas de ventilación pasiva.

Se determinó que las ganancias térmicas mayores son producidas por elementos diferentes al uso de iluminación natural y que el uso de sistemas de iluminación natural es compatible con el confort humano, comprobándose así la hipótesis formulada al comienzo de esta tesis.

| Tabla 1: Temperatura interior bajo diversas condiciones 20 de Enero, 14:00 Temperatura exterior: 35°C | | |
|--|-----------------------|------------------------|
| modelo original | modelo sin tragaluz | modelo sin estudiantes |
| 28 | 23 | 21 |
| modelo sin radiación solar | envolvente adiabática | |
| 25 | 13 | |

⁶ Kwok, 1998, ASHRAE Transactions, Thermal Comfort in tropical Classrooms, ASHRAE Vol 104, Pt. 1B, EUA, pp 1031- 1047

El estudio mostró que las ganancias térmicas mayores se deben a la transmisión de calor por conducción a través de la envolvente.

Se encontró que el rango de confort se rebasa sólo cuando la temperatura exterior es mayor a 30°C y los cambios de aire por hora son mayores a 2.0. La temperatura interior, sin embargo, se eleva muy lentamente. Cuando se alcanzan 35°C en el exterior (temperatura alcanzada el día más caluroso de año a las 14:00), la temperatura interior es de 28°C. Se sugiere a realización de un monitoreo en sitio para evaluar estas condiciones, ya que a pesar de que la temperatura propuesta para este estudio ha sido rebasada, el aumento en la velocidad del aire puede provocar sensaciones de confort.

Se puede concluir que el edificio se comporta satisfactoriamente tanto lumínica como térmicamente.

Objetivo 3: Estudiar la relación entre el uso de la iluminación natural y el ahorro energético.

El uso de iluminación natural, tal y como sugiere el estudio, no contribuye a cargas térmicas excesivas y provee a los espacios con una luz adecuada para la actividad humana en salones de clases. Esto quiere decir que no se requerirá hacer uso de iluminación eléctrica durante el día, evitándose así las cargas térmicas producidas por las luminarias y ofreciendo la oportunidad de reducir tanto el costo capital como de operación del edificio.

El tamaño de los equipos de aire acondicionado y calefacción, por consiguiente, será menor. Es más, en ocasiones, tal y como sucede en la Escuela Primaria Park Ridge, la simple ventilación cruzada fue suficiente para lograr condiciones de confort durante la mayor parte del tiempo.

Objetivo 4: Demostrar que el uso de simuladores energéticos es de gran utilidad dentro del quehacer arquitectónico.

A pesar de que el ejemplo que se muestra en esta tesis se refiere a una construcción totalmente terminada, se puede ver claramente que el análisis energético puede llevarse a cabo desde la primera etapa de diseño.

La computadora permite al arquitecto crear situaciones ficticias que de otra manera serían muy costosas y hasta imposibles en la vida real. Por ejemplo, la creación de un modelo totalmente sombreado se utilizó para determinar el efecto de la radiación solar directa sobre la temperatura interior en el salón de clases.

El tipo de información proporcionada por los diferentes programas de computación (ESP- r y Lightscape) puede contribuir de manera importante a la toma temperana de decisiones sobre el diseño arquitectónico y ahorro energético.

Los programas pueden ayudar al arquitecto de varias maneras:

1. durante el proceso de diseño los programas permiten poner a prueba diversas opciones y escoger aquella que mejor se adapte a las necesidades del proyecto, del cliente y del arquitecto.
2. una vez que el edificio ha sido ocupado, el análisis energético es útil para comprobar su funcionamiento. Es una manera de recompensar al diseñador por su trabajo, o en su defecto, proponer remodelaciones y cambios para mejorar el proyecto original.
3. como herramienta de investigación, el uso de los simuladores energéticos es útil para estudiar proyectos arquitectónicos de manera conjunta o aislada (por ejemplo, tipos de cristal o materiales). La comparación de resultados provenientes de diferentes programas se considera importante para llegar a conclusiones sobre la utilidad y precisión de los mismos.

Se propone, en estudios posteriores, continuar con un monitoreo en sitio más a fondo para determinar si se alcanzan condiciones de confort aceptables cuando la temperatura en el interior excede los 27°C propuestos en este estudio.

Por otro lado, se propone que el papel de las instituciones educativas como la SEP y UNAM se estudie para fomentar estudios como el que aquí se presenta.

Referencias

Brenda & Robert Vale, 1991, Green Architecture, Design for an Energy Conscious Future, Bulfinch, Inglaterra

Cross Nigel, 1984, Developments in Design Methodology, Chichester, Inglaterra

Kwok, 1998, ASHRAE Transactions, Thermal Comfort in tropical Classrooms, ASHRAE Vol 104, Pt. 1B, EUA, pp 1031- 1047

Lighting Research Institute, 1989, Lighting and Human Performance: A Review, NEMA Lighting Equipment Division, EUA, Enero

Lynn Froeschle, 1997, San Diego Earth Times, Creating an Environmentally Friendly Home or Office, EUA, Enero

Lista de tablas

Tabla 1: Temperatura interior bajo diversas condiciones

13. BIBLIOGRAFIA

ASHRAE, 1993, ASHRAE Handbook, Fundamentals, ASHRAE, EUA

Benitez J. A., 1998, Instalaciones, Sol, Luz y Vision, México, Enero, pp. 18

Vale B. y Vale R., 1991, Green Architecture, design for an energy conscious future,
Bulfinch, Inglaterra

CMA, 1993, Management Accounting Guideline 37, Implementing Corporate
Environmental Strategies, Institute of Management Accountants, Canadá

Cross Nigel, 1984, Developments in Design Methodology, Chichester, Inglaterra

Deffis Caso, 1994, La Casa Ecológica Autosuficiente, Árbol, Mexico

E Source, 1992, Energy- Efficient Buildings, Institutional Barriers and Opportunities, Rocky
Mountain Institute, EUA

Gmelch, Miskin, 1984, Productivity Teams, John Wiley & Sons, Inc, EUA

Hart, 1997, Harvard Business Review, Beyond Greening: Strategies for a Sustainable
World, Enero- Febrero

Illuminating Engineering Society of North America, 1993, IES Lighting Handbook, EUA

Julie Eisele, 1997, Energy Efficiency in the New Millennium, Past Success, Future Victory,
Buildings and the U.S. Environmental, Noviembre

KeenRose Joint Venture, 1997, Recreation in the Green, Building Symposium, Pembina Institute, Canadá

Kwok, 1998, ASHRAE Transactions, Thermal Comfort in tropical Classrooms, ASHRAE Vol 104 (Pt. 1B), EUA

Landsberg, et. al., 1987, ASHRAE Transactions, Design Strategies for Energy- Efficient atrium Spaces, ASHRAE Vol 2996 (RP-315), EUA

Lighting Research Institute, 1989, Lighting and Human Performance: A Review, NEMA Lighting Equipment Division, EUA, Enero

Love, 1998, Manual Switching Patterns in Private Office, Lighting Research and Technology, Vol 30, Canadá

Lynn, Froëssçhle, 1997, San Diego Earth Times, Creating an Environmentally Friendly home or office, EUA, Enero

Ne´man E., et al., 1976, Recomendations for the Admission and Control of Sunlight in Buildings, Building an Environment, 11, pp. 91- 101

Quintero López Enrique, 1991, Obras, Iluminación Natural, No. 227, México, Noviembre, pp 115-119

Rivero Roberto, 1988, Arquitectura y Clima, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Robbins Claude, 1986, Daylighting, Design and Analysis, Van Nostrand Reinhold Company, EUA

Rocky Mountain Institute, Barnett, 1995, A Primer on Sustainable Building, Green Development Services, EUA

Selkowitz Stephen, 1998, The Elusive Challenge of Daylighted Buildings: A Brief Review 25 years later, Building Technologies Department, Environmental Energy Technologies Division, EUA

Stein, Reynolds, 1992, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, John Wley & Sons, EUA

Suárez Gómez Gustavo, 1998, Instalaciones, El Método en la Arquitectura Bioclimática, México, Enero

Páginas Electrónicas

Dreaming Creek, Energy efficiency, www.dreamingcreek.com/energy.html, Diciembre 6, 1998

Light- Link, Ocosta Case Study, www.light-link.co...case_studies/ocosta.html

Lawrence Berkeley, Introduction to daylighting, www.gotwh/general/lbl-daylight/html/perform.html, Junio 1997

Oikos, Embodied Energy, www.Oikos.com/seao/solar1996/embod, Enero 23, 1999

Guy Bertrand, Director Capital underwriters Corporation, Options in financing energy efficiency,. guybert@planet.eon.net.

Green Development RMI Homepage, www.mi.org/a-reports/gds.html, April 6, 1998

University of Strathclyde, ESP-r: Frequently asked Questions,

<http://www.strath.ac.uk/departments/ESRU/ESP-r.Htm>

Solstice, <http://solstice.crest.or...ff/ceg/sunangle/eot.html>, 28 Agosto- 98

Secretaria de Energía, www.energia.gob.mx, Febrero 01, 1999

Semarnap, www.semarnap.gob.mx, Febrero 01, 1999

CONAE, www.conae.gob.mx, Febrero 03, 1999

APÉNDICE I

LAS VARIABLES DEL CLIMA Y SU CÁLCULO

VARIABLES DEL CLIMA Y SU CÁLCULO

1. Temperatura: propiedad intensiva de los cuerpos que representa una magnitud escalar de su actividad a nivel molecular. La temperatura es uno de los factores de mayor importancia dentro del diseño bioclimático.

$$\text{grado centígrado} = 5 * (^{\circ}\text{F} - 32) / 9$$

$$\text{grado fahrenheit} = (9^{\circ}\text{C} / 5) + 32$$

A cero grados centígrados (32° F), el agua pasa de un estado líquido a sólido. A los cien grados centígrados (212° F), el agua pasa de un estado líquido a gaseoso.

2. Precipitación pluvial y humedad: existe una relación inversamente proporcional entre la humedad y la temperatura.

3. Dirección y velocidad de vientos dominantes

4. Radiación solar

5. Nubosidad

6. Visibilidad

Factores que alteran el clima

- Latitud
- Altitud
- Relieve
- Relación entre macizos de tierra y masas de agua
- Corrientes marina

El programa Esp-r requiere de los siguientes datos para calcular el consumo energético en los edificios:

- Temperatura exterior bulbo seco (grados centígrados)
- Humedad relativa (%)
- Radiación solar difusa (watts/ metro cuadrado)
- Radiación solar directa (watts/ metro cuadrado)
- Velocidad y dirección del viento (metro/ segundo)
- Latitud y longitud del lugar

A continuación se describen estos y algunos otros conceptos útiles cuando no se tienen exactamente los datos requeridos. Cabe mencionar que las fórmulas aquí mencionadas fueron utilizadas en repetidas ocasiones para llegar a la información necesaria para correr el programa.

Ubicación

La ubicación del lugar donde el edificio se encuentra se especifica por medio de la Latitud (l) y la Longitud (L). Las latitudes y longitudes de diversos lugares pueden ser localizadas en cualquier atlas.

| País/ ciudad¹ | Latitud(°) | Longitud(°) | Altitud (MSNM) |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| México Ciudad de México | 19 | 99 | 2310 |
| Australia Melbourne | -38 | 145 | 35 |
| Canadá Calgary | 51 | 114 | 1079 |

¹ ASHRAE, 1993, ASHRAE Handbook, Fundamentals, ASHRAE, EUA

Por convención, la latitud se expresa de la siguiente manera:

positiva= hemisferio norte

negativa= hemisferio sur

En el caso de la longitud:

positiva: al oeste del meridiano de Greenwich (Inglaterra)

negativa: al este del meridiano de Greenwich

Hora Solar

Un reloj de 24 horas es utilizado para expresar el tiempo. La hora solar puede ser determinada en relación a la hora standard, al tomar en cuenta 1) la longitud del lugar dentro de una zona de tiempo determinada, y 2) la ecuación de tiempo. El resultado de la ecuación de tiempo es la diferencia entre la hora solar y la hora en nuestros relojes debido a dos factores:

la órbita elíptica de la tierra

la declinación solar

El valor de la ecuación de tiempo puede ser determinada de la siguiente forma²:

$$ET = 0.17 \operatorname{sen} \left[\frac{4\pi (N - 80)}{373} \right] - 0.129 \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi (N - 8)}{355} \right]$$

² Engineering Society of North America, 1993, IES Lighting Handbook, EUA, pp. 359- 381

donde

ET= ecuación de tiempo en horas decimales (por ejemplo, 1:30 pm= 13.5),

N= día natural, un numero entre 1 y 365.

Gráficamente la ecuación de tiempo se ve así:

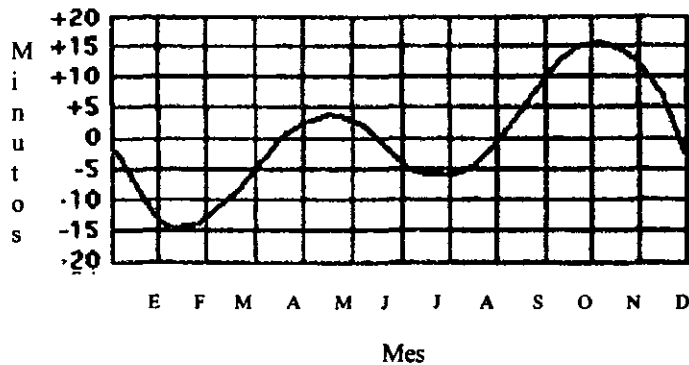


Fig. ³

La hora solar local tiene el propósito de compensar los errores que tiene la hora normal en los relojes comunes al tomar en cuenta; 1) las zonas de tiempo, 2) el movimiento irregular de la tierra alderredor del sol (se corrige al utilizar la ecuación de tiempo mencionada con anterioridad), y 3) horarios de verano e invierno.

La hora solar local (LSoT) se calcula de la siguiente manera:⁴

$$\text{LSoT} = \text{LST} + 4 \text{ minutos} * (\text{LL} - \text{LSTM}) + \text{ET}$$

³ <http://solstice.crest.or...ff/ceg/sunangle/eot.html>, 28 Agosto, 1998

⁴ ASHRAE, 1993, ASHRAE Handbook, Fundamentals, ASHRAE, EUA

donde

LST= hora standard local . Hora del reloj ajustada de acuerdo a horarios de verano e invierno

LL = longitud del lugar ; positiva= este, y negativa= oeste

ET= ecuación de tiempo en minutos

LSTM= hora standard local de acuerdo al meridiano de Greenwich, en grados. Esta puede ser calculada al multiplicar la diferencia de horas desde Greenwich por 15 grados.

Positivo= este, y negativo= oeste.

Por ejemplo:

Melbourne, Australia: +10

$$(+10) * 15^{\circ} = 150^{\circ}$$

Durante el horario de verano la diferencia es de +11 horas, por lo tanto en esta época el dato cambiará de 150° a 165°.

D.F., México: - 6

$$(-6) * 15^{\circ} = -90^{\circ} \text{ y durante el verano, } -75^{\circ}$$

Los cuatro minutos mencionados en la ecuación son producto de cociente de 60 minutos y 15 grados. Es decir, la tierra rota un grado cada cuatro minutos.

Posición del Sol

La posición del Sol se define por la altura solar y azimuth, y es una función de la latitud, la hora solar y la declinación. La declinación solar se puede aproximar⁵:

$$d = 0.4093 \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi (N - 81)}{368} \right]$$

donde

d= declinación solar en radianes

N= número de día natural

Declinación

La declinación es la distancia angular del sol norte o sur del ecuador de la tierra. La inclinación de la Tierra es de 23.45 grados con respecto al plano de la órbita terrestre, es decir, que durante el año, conforme la tierra gira alderredor del sol, la declinación varia desde 23.45 grados norte hasta 23.45 grados sur.

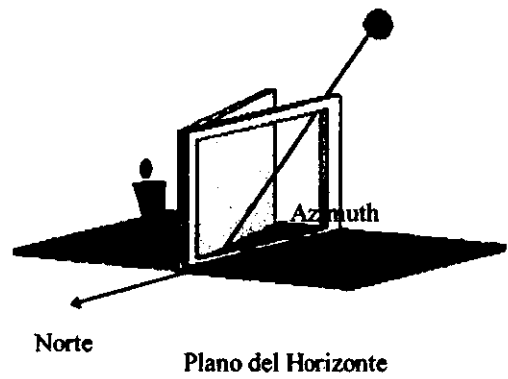
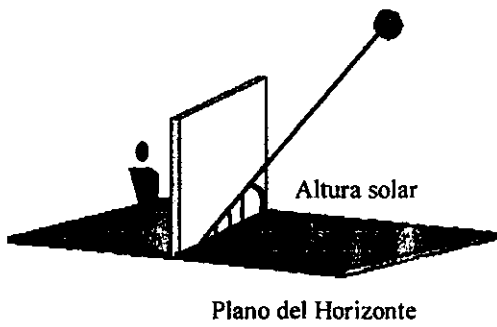
Altura solar

Es el ángulo diedro formado por el rayo solar (dirigido al observador o centro de la bóveda celeste) y el plano del horizonte.

⁵ Engineering Society of North America, IES Lighting Handbook, EUA, 8a edición, 1993, pp. 359- 381

Azimuth

Es el ángulo formado por la proyección del rayo solar en el plano del horizonte con respecto a los ejes geográficos de orientación.



La posición del sol está determinada por la siguiente fórmula⁶:

$$\alpha = \arcsen (\text{sen} l \text{sen} d - \text{cos} l \text{cos} d \cos (\pi t/12))$$

en donde

α = altura solar en radianes

d = declinación en radianes

l = latitud en radianes

t = hora solar en horas decimales

L altura solar está dentro de un rango de 0 a $\pi/2$. Si el sol se encuentra debajo del horizonte, entonces la ecuación dará un número negativo.

El azimuth está dado por⁷:

$$\phi = \arctan \left[\frac{-(\text{cos} d \text{sen} (\pi t/12))}{-(\text{cos} l \text{sen} \alpha + \text{sen} l \text{cos} d \cos (\pi t/12))} \right]$$

donde

ϕ = azimuth en radianes

l = latitud en radianes

d = declinación en radianes

t = hora solar en horas decimales

⁶ Engineering Society of North America, IES Lighting Handbook, EUA, 8a edición, 1993, pp. 359- 381

⁷ Idem

Un ángulo azimutal positivo indica una dirección al oeste del sur., mientras que un ángulo negativo indicará una dirección de este a sur.

Radiación solar

Del total de la energía solar recibida en la superficie terrestre, 40% es radiación visible. El resto, invisible al ojo humano está conformado por longitudes de ondas cortas (ultravioleta) y largas (infrarrojo). Cuando la radiación es absorbida, se puede decir que es casi totalmente convertida en calor. La cantidad de radiación visible que se puede utilizar varía dependiendo de las condiciones atmosféricas.

Existen varias formas en las cuales recibimos la luz proveniente del sol: 1) del sol directamente (radiación directa), 2) del cielo (radiación difusa), y 3) del suelo.

El sol como fuente de luz

Los rayos solares llegan hasta la atmósfera donde, al incidir con los gases y moléculas que la conforman, sufren procesos de absorción, reflexión y difusión. Estos fenómenos modifican la cantidad de radiación directa del rayo solar que llega a la superficie terrestre. Esta modificación va a depender del espesor de la capa atmosférica que se debe atravesar. Por esta razón, la altura solar sobre el horizonte es una de las variables principales que determinan la cantidad de energía directa recibida por un plano.

El cielo como fuente de luz

Cuando un rayo solar cualquiera choca con las moléculas en la atmósfera, se dispersa en todas direcciones. Es por esto que la luz se percibe desde todos los puntos de la atmósfera. Esta energía difusa tiene la particularidad de que proviene desde todas las regiones del espacio, por lo que la cantidad que incide sobre un plano varía de acuerdo

con la posición del sol y la nubosidad. Los cielos se dividen para su estudio en : 1) claros, 2) parcialmente nublados, y 3) nublados.

“Los cielos muy claros emiten poca energía difusa; ésta aumenta con la cantidad de nubes, aunque a partir de cierto límite comienza a disminuir hasta llegar a valores muy bajos cuando el cielo se presenta plumizo”⁸.

El suelo como fuente de luz

La luz reflejada por el suelo puede llegar a ser importante dentro del diseño bioclimático. En fachadas asoleadas la luz reflejada por el suelo generalmente representa un 10 a un 15% del total de la luz natural recibida por una ventana. Este porcentaje se incrementa cuando los suelos tienen colores claros como la arena o la nieve. En fachadas a la sombra, la luz reflejada por el suelo puede llegar a sobrepasar aquella proveniente del sol o el cielo dependiendo de la nubosidad y diseño del edificio.

La cantidad de iluminación natural disponible depende de la cantidad de luz solar y condiciones del cielo de un lugar específico en una fecha determinada.

Para propósitos de esta tesis, se tomarán en cuenta sólo la radiación directa, y la difusa.

$$\text{rad global} = \text{rad difusa} + \cos \alpha \text{ rad directa}$$

⁸ Rivero Robert, Arquitectura y Clima, UNAM, México, 1988, pp 86

Humedad Relativa

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua existente en un momento dado y la que se requiere para llegar a la saturación. Existen varias formas de calcular este valor porcentual. A continuación se presenta como hacerlo a partir de los siguientes datos:

Temperatura de bulbo seco: la temperatura del aire

Temperatura de bulbo húmedo: La temperatura más baja posible se puede obtener al evaporar el agua a una presión constante. El nombre proviene de la técnica utilizada para calcular la temperatura de bulbo húmedo. Se coloca un trapo húmedo sobre el bulbo de mercurio en el termómetro y después se sopla aire sobre el mismo hasta que el agua se evapora. Puesto que la evaporación requiere de calor, el termómetro alcanzará una temperatura menor que un termómetro de bulbo seco en el mismo lugar y hora. La temperatura de bulbo húmedo puede ser utilizada con la temperatura de bulbo seco para calcular la humedad relativa y punto de rocío.

Mezcla existente en el aire: la masa de vapor de agua en un lugar determinado dividida entre la masa de aire seco.

Humedad relativa a partir de temperaturas de bulbo seco y húmedo⁹

Cálculo del Mezcla existente en el aire:

$$(1) W = \frac{(T_c - T_{wb})(C_p) - L_v(E_{swb}/P)}{[-(T_c - T_{wb})(C_{pv}) - L_v]}$$

⁹ www.usatoday.com/weather/whumcalc.htm, 07 octubre, 98

donde

W= mezcla existente en el aire

C_p= calor específico del aire seco a presión constante (J/g)~1.005 J/g

C_pv= calor específico del vapor de agua a presión constante (J/g)~4.186 J/g

L_v= calor latente de vaporización (J/g)~2500 J/g

T_c= temperatura del aire en grados centígrados

T_{wb}= temperatura de bulbo húmedo en grados centígrados

E_{swb}= saturación de la presión de vapor de acuerdo con la temperatura de bulbo húmedo (mb)

P= presión atmosférica sobre la superficie~1013 mb a nivel del mar

Una vez obtenida la presión existente del vapor, se puede utilizar la siguiente formula para calcular el punto de saturación en la mezcla del aire.

$$(2) W_s = E_s / P$$

donde

W_s= mezcla existente en el aire

E_s= presión del vapor de agua

$$(3) E_s = 6.11 \cdot 10.0^{(7.5 \cdot T_c / (237.7 + T_c))}$$

$$(4) \text{ Humedad Relativa (HR) en porcentaje} = (W / W_s) \cdot 100$$

APÉNDICE II

**SIMULACIÓN DE DIVERSOS FACTORES EN ESP-r Y
SU EFECTO SOBRE LA TEMPERATURA INTERIOR**

CAMBIOS DE AIRE POR HORA Y SU EFECTO EN LA TEMPERATURA INTERIOR

simulación con diferentes cambios de aire por hora

Periodo: 17 Agosto @00h30 a: 19 Agosto @23h30 AÑO:1999

| hora | temp ext | 0.0 CAH | 0.4 CAH | 1.0 CAH | 1.5 CAH | 2.0 CAH |
|-------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0:30 | 6.9 | 10.86 | 10.32 | 9.74 | 9.37 | 9.09 |
| 1:30 | 6.55 | 10.52 | 9.97 | 9.39 | 9.02 | 8.74 |
| 2:30 | 6.2 | 10.2 | 9.65 | 9.06 | 8.69 | 8.4 |
| 3:30 | 5.8 | 9.89 | 9.32 | 8.71 | 8.33 | 8.04 |
| 4:30 | 5.45 | 9.58 | 9 | 8.38 | 7.99 | 7.69 |
| 5:30 | 5.1 | 9.28 | 8.69 | 8.06 | 7.67 | 7.36 |
| 6:30 | 5.4 | 9.03 | 8.47 | 7.88 | 7.53 | 7.25 |
| 7:30 | 6.35 | 9.07 | 8.58 | 8.09 | 7.81 | 7.6 |
| 8:30 | 7.3 | 10.4 | 9.9 | 9.39 | 9.09 | 8.87 |
| 9:30 | 8.35 | 12.74 | 12.12 | 11.46 | 11.07 | 10.76 |
| 10:30 | 9.45 | 14.22 | 13.54 | 12.82 | 12.39 | 12.05 |
| 11:30 | 10.55 | 15.22 | 14.55 | 13.82 | 13.38 | 13.04 |
| 12:30 | 11.25 | 16.55 | 15.81 | 14.97 | 14.47 | 14.08 |
| 13:30 | 11.6 | 17.59 | 16.75 | 15.8 | 15.23 | 14.77 |
| 14:30 | 11.95 | 17.97 | 17.13 | 16.2 | 15.61 | 15.14 |
| 15:30 | 11.9 | 16.98 | 16.2 | 15.35 | 14.81 | 14.37 |
| 16:30 | 11.5 | 14.99 | 14.3 | 13.61 | 13.23 | 12.9 |
| 17:30 | 11.1 | 13.85 | 13.25 | 12.71 | 12.45 | 12.26 |
| 18:30 | 10.55 | 13.35 | 12.8 | 12.27 | 11.99 | 11.79 |
| 19:30 | 9.9 | 12.75 | 12.22 | 11.66 | 11.35 | 11.13 |
| 20:30 | 9.25 | 12.27 | 11.74 | 11.19 | 10.88 | 10.66 |
| 21:30 | 8.3 | 11.83 | 11.28 | 10.69 | 10.34 | 10.08 |
| 22:30 | 7.15 | 11.38 | 10.76 | 10.09 | 9.68 | 9.38 |
| 23:30 | 6 | 10.94 | 10.24 | 9.49 | 9.03 | 8.68 |
| 0:30 | 5.05 | 10.5 | 9.75 | 8.94 | 8.43 | 8.05 |
| 1:30 | 4.35 | 10.07 | 9.3 | 8.45 | 7.93 | 7.53 |
| 2:30 | 3.65 | 9.68 | 8.87 | 7.99 | 7.44 | 7.05 |
| 3:30 | 3.1 | 9.3 | 8.46 | 7.55 | 7 | 6.6 |
| 4:30 | 2.7 | 8.95 | 8.1 | 7.17 | 6.63 | 6.23 |
| 5:30 | 2.3 | 8.6 | 7.75 | 6.81 | 6.27 | 5.86 |
| 6:30 | 2.5 | 8.35 | 7.51 | 6.59 | 6.08 | 5.69 |
| 7:30 | 3.25 | 8.39 | 7.61 | 6.76 | 6.29 | 5.94 |
| 8:30 | 4 | 9.84 | 8.99 | 8.1 | 7.57 | 7.19 |
| 9:30 | 5.9 | 12.6 | 11.65 | 10.64 | 9.99 | 9.48 |
| 10:30 | 8.9 | 14.52 | 13.62 | 12.7 | 12.1 | 11.61 |
| 11:30 | 11.9 | 15.4 | 14.69 | 13.97 | 13.56 | 13.28 |
| 12:30 | 13.55 | 16.47 | 15.85 | 15.21 | 14.87 | 14.65 |
| 13:30 | 13.9 | 17.57 | 16.87 | 16.18 | 15.78 | 15.51 |
| 14:30 | 14.25 | 18.01 | 17.29 | 16.58 | 16.17 | 15.89 |
| 15:30 | 14.15 | 17.14 | 16.5 | 15.88 | 15.52 | 15.28 |
| 16:30 | 13.6 | 15.32 | 14.78 | 14.29 | 14.05 | 13.91 |
| 17:30 | 13.05 | 14.13 | 13.69 | 13.31 | 13.15 | 13.07 |
| 18:30 | 12.6 | 13.65 | 13.24 | 12.9 | 12.74 | 12.66 |
| 19:30 | 12.25 | 13.19 | 12.8 | 12.47 | 12.33 | 12.24 |

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20:30 | 11.9 | 12.83 | 12.47 | 12.15 | 12.01 | 11.94 |
| 21:30 | 11.3 | 12.5 | 12.14 | 11.79 | 11.64 | 11.54 |
| 22:30 | 10.55 | 12.16 | 11.77 | 11.37 | 11.18 | 11.06 |
| 23:30 | 9.8 | 11.84 | 11.4 | 10.96 | 10.74 | 10.58 |
| 0:30 | 9.2 | 11.52 | 11.05 | 10.58 | 10.33 | 10.16 |
| 1:30 | 8.85 | 11.22 | 10.73 | 10.26 | 10.01 | 9.83 |
| 2:30 | 8.5 | 10.93 | 10.43 | 9.96 | 9.71 | 9.53 |
| 3:30 | 8.3 | 10.65 | 10.16 | 9.69 | 9.45 | 9.27 |
| 4:30 | 8.3 | 10.42 | 9.95 | 9.51 | 9.29 | 9.13 |
| 5:30 | 8.3 | 10.23 | 9.79 | 9.37 | 9.16 | 9.02 |
| 6:30 | 8.4 | 10.05 | 9.65 | 9.26 | 9.06 | 8.93 |
| 7:30 | 8.6 | 9.93 | 9.56 | 9.22 | 9.04 | 8.94 |
| 8:30 | 8.8 | 10.8 | 10.4 | 10.01 | 9.79 | 9.66 |
| 9:30 | 9.75 | 12.83 | 12.33 | 11.82 | 11.52 | 11.31 |
| 10:30 | 11.4 | 14.53 | 14.02 | 13.48 | 13.16 | 12.93 |
| 11:30 | 13.05 | 15.79 | 15.3 | 14.81 | 14.53 | 14.31 |
| 12:30 | 13.8 | 16.83 | 16.3 | 15.78 | 15.49 | 15.25 |
| 13:30 | 13.6 | 17.32 | 16.72 | 16.12 | 15.78 | 15.5 |
| 14:30 | 13.4 | 17.46 | 16.82 | 16.18 | 15.8 | 15.5 |
| 15:30 | 13.2 | 16.41 | 15.84 | 15.25 | 14.92 | 14.67 |
| 16:30 | 13.05 | 14.44 | 14.01 | 13.62 | 13.43 | 13.3 |
| 17:30 | 12.9 | 13.39 | 13.08 | 12.84 | 12.76 | 12.72 |
| 18:30 | 12.6 | 13.02 | 12.75 | 12.55 | 12.48 | 12.44 |
| 19:30 | 12.25 | 12.6 | 12.35 | 12.15 | 12.08 | 12.04 |
| 20:30 | 11.9 | 12.28 | 12.04 | 11.84 | 11.77 | 11.73 |
| 21:30 | 11.5 | 11.99 | 11.75 | 11.55 | 11.47 | 11.42 |
| 22:30 | 11.15 | 11.73 | 11.48 | 11.29 | 11.2 | 11.15 |
| 23:30 | 10.8 | 11.51 | 11.25 | 11.05 | 10.94 | 10.89 |

EFFECTO DE LA RADIACION SOLAR SOBRE LA TEMPERATURA INTERIOR

Periodo: 19 Enero @00h30 a: 21 Enero @23h30 AÑO:1999

SIMULACION SIN RADIACION

SIMULACION CON MODELO REAL

| hora | temp ext | 0.4 CAH | 2.0 CAH |
|-------|----------|---------|---------|
| 0:30 | 14.75 | 15.3 | 15.03 |
| 1:30 | 14.6 | 15.04 | 14.8 |
| 2:30 | 14.4 | 14.76 | 14.55 |
| 3:30 | 14.2 | 14.48 | 14.3 |
| 4:30 | 14 | 14.22 | 14.06 |
| 5:30 | 14 | 13.99 | 13.89 |
| 6:30 | 14.2 | 13.88 | 13.87 |
| 7:30 | 14.4 | 13.87 | 13.94 |
| 8:30 | 15.15 | 14.84 | 14.89 |
| 9:30 | 16.5 | 16.7 | 16.61 |
| 10:30 | 17.85 | 17.79 | 17.71 |
| 11:30 | 18.8 | 18.38 | 18.43 |
| 12:30 | 19.45 | 19.14 | 19.18 |
| 13:30 | 20.1 | 19.94 | 19.92 |
| 14:30 | 20.45 | 20.68 | 20.58 |
| 15:30 | 20.5 | 20.48 | 20.41 |
| 16:30 | 20.55 | 19.66 | 19.84 |
| 17:30 | 20.35 | 19.57 | 19.82 |
| 18:30 | 19.8 | 19.46 | 19.53 |
| 19:30 | 19.25 | 18.68 | 18.8 |
| 20:30 | 18.7 | 17.93 | 18.16 |
| 21:30 | 18.1 | 17.4 | 17.62 |
| 22:30 | 17.5 | 16.97 | 17.14 |
| 23:30 | 16.8 | 16.51 | 16.62 |
| 0:30 | 16.05 | 16.07 | 16.08 |
| 1:30 | 15.3 | 15.66 | 15.56 |
| 2:30 | 14.7 | 15.27 | 15.1 |
| 3:30 | 14.35 | 14.95 | 14.77 |
| 4:30 | 14 | 14.66 | 14.46 |
| 5:30 | 14.75 | 14.53 | 14.5 |
| 6:30 | 16.6 | 14.7 | 15.15 |
| 7:30 | 18.45 | 15.08 | 16.05 |
| 8:30 | 21.3 | 16.72 | 17.91 |
| 9:30 | 25.05 | 19.11 | 20.47 |
| 10:30 | 28.8 | 20.42 | 22.46 |
| 11:30 | 31.55 | 21.66 | 24.21 |
| 12:30 | 33.2 | 23.03 | 25.72 |
| 13:30 | 34.85 | 24.12 | 27.09 |
| 14:30 | 33.2 | 24.79 | 27.5 |
| 15:30 | 28.2 | 23.82 | 25.63 |
| 16:30 | 23.2 | 22.08 | 22.96 |
| 17:30 | 20.65 | 21.33 | 21.55 |
| 18:30 | 20.55 | 21.01 | 21.14 |

| 0.40 CAH | 2.0 CAH |
|----------|---------|
| 16.28 | 15.63 |
| 15.96 | 15.37 |
| 15.65 | 15.09 |
| 15.36 | 14.82 |
| 15.06 | 14.55 |
| 14.82 | 14.37 |
| 14.89 | 14.5 |
| 15.22 | 14.8 |
| 16.25 | 15.75 |
| 18.04 | 17.43 |
| 19.19 | 18.6 |
| 19.71 | 19.24 |
| 20.28 | 19.86 |
| 21.06 | 20.61 |
| 21.99 | 21.4 |
| 22.02 | 21.36 |
| 21.47 | 20.97 |
| 21.56 | 21.06 |
| 21.3 | 20.67 |
| 20.21 | 19.7 |
| 19.24 | 18.91 |
| 18.6 | 18.29 |
| 18.1 | 17.77 |
| 17.62 | 17.24 |
| 17.15 | 16.7 |
| 16.69 | 16.16 |
| 16.26 | 15.67 |
| 15.91 | 15.3 |
| 15.58 | 14.97 |
| 15.42 | 14.99 |
| 15.64 | 15.67 |
| 16.22 | 16.7 |
| 17.98 | 18.75 |
| 20.35 | 21.39 |
| 21.76 | 23.32 |
| 22.95 | 25.02 |
| 24.17 | 26.45 |
| 25.23 | 27.76 |
| 26.03 | 28.28 |
| 25.31 | 26.58 |
| 23.86 | 24.07 |
| 23.25 | 22.72 |
| 22.84 | 22.24 |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 19:30 | 20.45 | 20.34 | 20.67 |
| 20:30 | 20.15 | 19.58 | 20.04 |
| 21:30 | 19.65 | 19.01 | 19.49 |
| 22:30 | 19.15 | 18.58 | 19.01 |
| 23:30 | 18.8 | 18.17 | 18.59 |
| 0:30 | 18.55 | 17.82 | 18.27 |
| 1:30 | 18.3 | 17.49 | 17.96 |
| 2:30 | 18.1 | 17.2 | 17.68 |
| 3:30 | 17.9 | 16.93 | 17.42 |
| 4:30 | 17.7 | 16.66 | 17.17 |
| 5:30 | 17.75 | 16.42 | 17.01 |
| 6:30 | 18.1 | 16.31 | 17.03 |
| 7:30 | 18.45 | 16.45 | 17.26 |
| 8:30 | 18.85 | 17.8 | 18.42 |
| 9:30 | 19.35 | 19.97 | 20.12 |
| 10:30 | 19.85 | 20.99 | 20.89 |
| 11:30 | 20.25 | 21.15 | 21.08 |
| 12:30 | 20.5 | 21.45 | 21.36 |
| 13:30 | 20.75 | 21.95 | 21.77 |
| 14:30 | 20.85 | 22.51 | 22.19 |
| 15:30 | 20.75 | 22.2 | 21.86 |
| 16:30 | 20.65 | 21.23 | 21.11 |
| 17:30 | 20.3 | 21.03 | 20.94 |
| 18:30 | 19.65 | 20.91 | 20.6 |
| 19:30 | 19 | 20.11 | 19.77 |
| 20:30 | 18.35 | 19.2 | 18.99 |
| 21:30 | 17.7 | 18.51 | 18.32 |
| 22:30 | 17.05 | 18.02 | 17.79 |
| 23:30 | 16.6 | 17.56 | 17.33 |

| | |
|-------|-------|
| 21.88 | 21.54 |
| 20.88 | 20.73 |
| 20.2 | 20.13 |
| 19.69 | 19.61 |
| 19.25 | 19.18 |
| 18.88 | 18.84 |
| 18.52 | 18.51 |
| 18.17 | 18.2 |
| 17.85 | 17.92 |
| 17.54 | 17.64 |
| 17.28 | 17.46 |
| 17.15 | 17.47 |
| 17.29 | 17.7 |
| 18.59 | 18.79 |
| 20.73 | 20.48 |
| 21.86 | 21.37 |
| 22.09 | 21.6 |
| 22.31 | 21.8 |
| 22.84 | 22.23 |
| 23.62 | 22.81 |
| 23.56 | 22.63 |
| 22.94 | 22.08 |
| 22.98 | 22.08 |
| 22.64 | 21.65 |
| 21.45 | 20.59 |
| 20.36 | 19.67 |
| 19.62 | 18.96 |
| 19.07 | 18.39 |
| 18.55 | 17.9 |

EFFECTO DE LA ENVOLVENTE SOBRE LA TEMPERATURA INTERIOR

simulacion con alumnos, 0.40 CAH, con envolvente adiabatica y normal

Periodo: 19 Enero @00h30 a: 21 Enero @23h30 AÑO:1999

| hora | temp ext | envolvente adiab | modelo real |
|-------|----------|------------------|-------------|
| 0:30 | 14.75 | 6.08 | 16.28 |
| 1:30 | 14.6 | 5.97 | 15.96 |
| 2:30 | 14.4 | 5.87 | 15.65 |
| 3:30 | 14.2 | 5.77 | 15.36 |
| 4:30 | 14 | 5.68 | 15.06 |
| 5:30 | 14 | 5.59 | 14.82 |
| 6:30 | 14.2 | 5.5 | 14.89 |
| 7:30 | 14.4 | 5.41 | 15.22 |
| 8:30 | 15.15 | 6.34 | 16.25 |
| 9:30 | 16.5 | 7.78 | 18.04 |
| 10:30 | 17.85 | 8.11 | 19.19 |
| 11:30 | 18.8 | 8.32 | 19.71 |
| 12:30 | 19.45 | 8.72 | 20.28 |
| 13:30 | 20.1 | 8.83 | 21.06 |
| 14:30 | 20.45 | 9.02 | 21.99 |
| 15:30 | 20.5 | 8.46 | 22.02 |
| 16:30 | 20.55 | 7.16 | 21.47 |
| 17:30 | 20.35 | 6.44 | 21.56 |
| 18:30 | 19.8 | 6.24 | 21.3 |
| 19:30 | 19.25 | 6 | 20.21 |
| 20:30 | 18.7 | 5.83 | 19.24 |
| 21:30 | 18.1 | 5.7 | 18.6 |
| 22:30 | 17.5 | 5.58 | 18.1 |
| 23:30 | 16.8 | 5.46 | 17.62 |
| 0:30 | 16.05 | 5.36 | 17.15 |
| 1:30 | 15.3 | 5.26 | 16.69 |
| 2:30 | 14.7 | 5.17 | 16.26 |
| 3:30 | 14.35 | 5.08 | 15.91 |
| 4:30 | 14 | 5 | 15.58 |
| 5:30 | 14.75 | 4.91 | 15.42 |
| 6:30 | 16.6 | 4.83 | 15.64 |
| 7:30 | 18.45 | 4.75 | 16.22 |
| 8:30 | 21.3 | 5.7 | 17.96 |
| 9:30 | 25.05 | 7.16 | 20.35 |
| 10:30 | 28.8 | 7.47 | 21.76 |
| 11:30 | 31.55 | 7.69 | 22.95 |
| 12:30 | 33.2 | 8.1 | 24.17 |
| 13:30 | 34.85 | 8.22 | 25.23 |
| 14:30 | 33.2 | 8.42 | 26.03 |
| 15:30 | 28.2 | 7.88 | 25.31 |
| 16:30 | 23.2 | 6.58 | 23.86 |
| 17:30 | 20.65 | 5.87 | 23.25 |
| 18:30 | 20.55 | 5.69 | 22.84 |
| 19:30 | 20.45 | 5.45 | 21.88 |
| 20:30 | 20.15 | 5.29 | 20.88 |
| 21:30 | 19.65 | 5.17 | 20.2 |

| | | | |
|--------------------|-------|------|-------|
| 22:30 | 19.15 | 5.06 | 19.69 |
| 23:30 | 18.8 | 4.95 | 19.25 |
| 0:30 [†] | 18.55 | 4.85 | 18.88 |
| 1:30 | 18.3 | 4.76 | 18.52 |
| 2:30 | 18.1 | 4.68 | 18.17 |
| 3:30 | 17.9 | 4.6 | 17.85 |
| 4:30 | 17.7 | 4.52 | 17.54 |
| 5:30 | 17.75 | 4.44 | 17.28 |
| 6:30 [†] | 18.1 | 4.37 | 17.15 |
| 7:30 | 18.45 | 4.3 | 17.29 |
| 8:30 | 18.85 | 5.27 | 18.59 |
| 9:30 | 19.35 | 6.74 | 20.73 |
| 10:30 | 19.85 | 7.06 | 21.86 |
| 11:30 | 20.25 | 7.28 | 22.09 |
| 12:30 [†] | 20.5 | 7.7 | 22.31 |
| 13:30 | 20.75 | 7.82 | 22.84 |
| 14:30 | 20.85 | 8.02 | 23.62 |
| 15:30 | 20.75 | 7.49 | 23.56 |
| 16:30 | 20.65 | 6.19 | 22.94 |
| 17:30 | 20.3 | 5.49 | 22.98 |
| 18:30 [†] | 19.65 | 5.31 | 22.64 |
| 19:30 | 19 | 5.09 | 21.45 |
| 20:30 | 18.35 | 4.93 | 20.36 |
| 21:30 | 17.7 | 4.81 | 19.62 |
| 22:30 | 17.05 | 4.7 | 19.07 |
| 23:30 [†] | 16.6 | 4.6 | 18.55 |

APÉNDICE III

ESP- r

ARCHIVOS DE CONFIGURACIÓN Y GEOMETRÍA

**Archivo de propiedades constructivas
ESP-r**

thermophysical properties of clroom defined in clroom.con

no of {air |surface(from geo)} multilayer construction

layers|gaps| no. name | database name

2, 0 # 1 Surf-1 intern_wall
 2, 0 # 2 Surf-2 intern_wall
 4, 1 # 3 Surf-3 ext
 2, 0 # 4 Surf-4 intern_wall
 4, 1 # 5 slop2 slop
 4, 0 # 6 Surf-6 carpet
 1, 0 # 7 skylight glass
 4, 1 # 8 slop1 slop
 4, 1 # 9 surf2b ext
 4, 1 # 10 surf4b ext
 1, 0 # 11 win1 glass
 1, 0 # 12 win2 glass
 1, 0 # 13 win3 glass

air gap position & resistance for surface 3

3, 0.170,

air gap position & resistance for surface 5

2, 0.170,

air gap position & resistance for surface 8

2, 0.170,

air gap position & resistance for surface 9

3, 0.170,

air gap position & resistance for surface 10

3, 0.170,

conduc- | density | specific | thick- | dpnd| ref. | temp. | moisture| surf | lyr
 # tivity | | heat | ness(m)|type | temp | factor | factor | |

| | | | | | | | |
|----------|--------|-------|--------|---|------|---------|------------|
| 0.4400 | 1500.0 | 650.0 | 0.1500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#11 |
| 0.1800 | 800.0 | 837.0 | 0.0120 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 0.4400 | 1500.0 | 650.0 | 0.1500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#21 |
| 0.1800 | 800.0 | 837.0 | 0.0120 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 0.9600 | 2000.0 | 650.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#31 |
| 0.0400 | 250.0 | 840.0 | 0.0500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 0.0000 | 0.0 | 0.0 | 0.0500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#3 |
| 0.4400 | 1500.0 | 650.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#4 |
| 0.4400 | 1500.0 | 650.0 | 0.1500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#41 |
| 0.1800 | 800.0 | 837.0 | 0.0120 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 210.0000 | 2700.0 | 880.0 | 0.0030 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#51 |
| 0.0000 | 0.0 | 0.0 | 0.0250 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 0.0400 | 12.0 | 840.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#3 |

| | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|---|------|---------|-------------|
| 210.0000 | 2700.0 | 880.0 | 0.0030 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#4 |
| 1.2800 | 1460.0 | 879.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#61 |
| 0.0400 | 160.0 | 1360.0 | 0.0200 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 1.4000 | 2100.0 | 653.0 | 0.0500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#3 |
| 0.0600 | 160.0 | 2500.0 | 0.0100 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#4 |
| 0.7600 | 2710.0 | 837.0 | 0.0010 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#71 |
| | | | | | | | |
| 210.0000 | 2700.0 | 880.0 | 0.0030 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#81 |
| 0.0000 | 0.0 | 0.0 | 0.0250 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 0.0400 | 12.0 | 840.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#3 |
| 210.0000 | 2700.0 | 880.0 | 0.0030 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#4 |
| 0.9600 | 2000.0 | 650.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#91 |
| 0.0400 | 250.0 | 840.0 | 0.0500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 0.0000 | 0.0 | 0.0 | 0.0500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#3 |
| 0.4400 | 1500.0 | 650.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#4 |
| 0.9600 | 2000.0 | 650.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#101 |
| 0.0400 | 250.0 | 840.0 | 0.0500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#2 |
| 0.0000 | 0.0 | 0.0 | 0.0500 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#3 |
| 0.4400 | 1500.0 | 650.0 | 0.1000 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#4 |
| 0.7600 | 2710.0 | 837.0 | 0.0010 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#111 |
| 0.7600 | 2710.0 | 837.0 | 0.0010 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#121 |
| 0.7600 | 2710.0 | 837.0 | 0.0010 | 0 | 0.00 | 0.00000 | 0.00000#131 |

for each surface: inside face emissivity

0.91 0.91 0.90 0.91 0.22 0.90 0.83 0.22 0.90 0.90 0.83 0.83 0.83

for each surface: outside face emissivity

0.90 0.90 0.90 0.90 0.22 0.90 0.83 0.22 0.90 0.90 0.83 0.83 0.83

for each surface: inside face solar absorptivity

0.60 0.60 0.65 0.60 0.20 0.65 0.05 0.20 0.65 0.65 0.05 0.05 0.05

for each surface: outside face solar absorptivity

0.65 0.65 0.93 0.65 0.20 0.85 0.05 0.20 0.93 0.93 0.05 0.05 0.05

inside and exterior glazing maintenance factors

1.00 1.00

Archivo de Configuración

```
* CONFIGURATION3.0
# ESRU system configuration defined by file
# oppl.cfg
*date Mon Jan 4 13:44:07 1999 # latest file modification
*root oppl
*zonpth ./ # path to zones
*netpth ./ # path to networks
*ctlpth ./ # path to controls
*radpth ./ # path to radiance files
*imgpth ./ # path to project images
*indx 1 # Building only
-38.000 0.000 # Latitude & Longitude (diff from meridian)
1 0.200 # Site exposure & ground reflectivity
* DATABASES
*prm /usr/esru/esp-r/databases/constr.db1
*mlc multicon.db1
*opt /usr/esru/esp-r/databases/optics.db1
*prs /usr/esru/esp-r/databases/pressc.db1
*evn /usr/esru/esp-r/databases/profiles.db1
*clm melbin
*pdb /usr/esru/esp-r/databases/plantc.db1
*year 1999 # assessment year
* PROJ LOG
oppl.log
* Building
Park Ridge Primary School
1 # no of zones
*zon 1 # reference for clroom
*opr clroom.opr # schedules
*geo clroom.geo # geometry
*con clroom.con # construction
*obs clroom.obs # obstructions
*tmc clroom.tmc # transparent constr
*isi clroom.shd # shading db
*zend
*cnn oppl.cnn # connections
0 # no fluid flow network
```


Geometria del salon de clases

```

# geometry of clroom defined in: clroom.geo
GEN clroom # type zone name
    32      13  0.000 # vertices, surfaces, rotation angle
# X co-ord, Y co-ord, Z co-ord
    0.00000  0.00000  0.00000 # vert  1
    7.50000  0.00000  0.00000 # vert  2
    7.50000  7.50000  0.00000 # vert  3
    0.00000  7.50000  0.00000 # vert  4
    0.00000  0.00000  2.70000 # vert  5
    7.50000  0.00000  2.70000 # vert  6
    7.50000  7.50000  2.70000 # vert  7
    0.00000  7.50000  2.70000 # vert  8
    0.00000  3.35000  3.10000 # vert  9
    7.50000  3.35000  3.10000 # vert 10
    7.50000  4.15000  3.10000 # vert 11
    0.00000  4.15000  3.10000 # vert 12
    7.50000  4.15000  0.00000 # vert 13
    7.50000  7.50000  0.00000 # vert 14
    7.50000  7.50000  2.70000 # vert 15
    7.50000  4.15000  3.10000 # vert 16
    0.00000  7.50000  0.00000 # vert 17
    0.00000  5.50000  0.00000 # vert 18
    0.00000  5.50000  2.95000 # vert 19
    0.00000  7.50000  2.70000 # vert 20
    7.20000  7.50000  1.10000 # vert 21
    5.40000  7.50000  1.10000 # vert 22
    5.40000  7.50000  2.10000 # vert 23
    7.20000  7.50000  2.10000 # vert 24
    5.20000  7.50000  1.10000 # vert 25
    3.20000  7.50000  1.10000 # vert 26
    3.20000  7.50000  2.10000 # vert 27
    5.20000  7.50000  2.10000 # vert 28
    3.00000  7.50000  1.10000 # vert 29
    0.30000  7.50000  1.10000 # vert 30
    0.30000  7.50000  2.10000 # vert 31
    3.00000  7.50000  2.10000 # vert 32
# no of vertices followed by list of associated vert
    4,  1,  2,  6,  5,
   12,  2,  3,  7, 11, 10,  6,  2, 13, 16, 15, 14, 13,
   22,  3,  4, 25, 28, 27, 26, 25,  4, 30, 29, 32, 31, 30,  4,  8,  7,  3, 21,
   24, 23, 22, 21,
   12,  4,  1,  5,  9, 12,  8,  4, 17, 20, 19, 18, 17,
    4,  5,  6, 10,  9,
    4,  1,  4,  3,  2,
    4,  9, 10, 11, 12,
    4, 12, 11,  7,  8,
    4, 13, 14, 15, 16,
    4, 17, 18, 19, 20,
    4, 21, 22, 23, 24,
    4, 25, 26, 27, 28,
    4, 29, 30, 31, 32,

```

```

# number of default windows within each surface
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
# surfaces indentation (m)
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
  3 0 0 0 # default insolation distribution
# surface attributes follow:
# id surface      geom loc/  mlc db      environment
# no name        type posn  name        other side
  1, Surf-1      OPAQ VERT  intern_wall ADIABATIC
  2, Surf-2      OPAQ VERT  intern_wall ADIABATIC
  3, Surf-3      OPAQ VERT  ext         EXTERIOR
  4, Surf-4      OPAQ VERT  intern_wall ADIABATIC
  5, slop2       OPAQ SLOP  slop        EXTERIOR
  6, Surf-6      OPAQ FLOR  carpet      GROUND
  7, skylight    TRAN CEIL  glass       EXTERIOR
  8, slop1       OPAQ SLOP  slop        EXTERIOR
  9, surf2b      OPAQ VERT  ext         EXTERIOR
 10, surf4b     OPAQ VERT  ext         EXTERIOR
 11, win1       TRAN VERT  glass       EXTERIOR
 12, win2       TRAN VERT  glass       EXTERIOR
 13, win3       TRAN VERT  glass       EXTERIOR
# base
  6 0 0 0 56.25

```