

SISTEMAS LUMÍNICOS DE LUZ NATURAL DE ALTA EFICIENCIA APLICADOS EN LA ARQUITECTURA

High efficiency luminous systems of daylight
applied in architecture

JOSÉ ROBERTO GARCÍA CHÁVEZ

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México
jgc@correo.azc.uam.mx

ALEJANDRO DÍAZ BÁEZ

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México.
arqdiazbaz@hotmail.com

Fecha de recibido: 1 / Abril / 2011

Fecha de aceptado: 25 / Agosto / 2011

pp: 83-96

Legado
de Arquitectura y Diseño

FAD | UAEMéx | Año 6, No 10
Julio - Diciembre 2011

RESUMEN

Desde las primeras respuestas históricas de diseño del Hábitat del Hombre, el manejo de la luz ha sido una premisa fundamental. Las componentes lumínicas de la radiación solar, tanto la directa como la difusa, forman parte de unas de las variables externas del clima, que interactúan en las edificaciones y es necesario conocer su potencial para aprovecharlo al máximo y lograr condiciones de confort lumínico y ahorro de energía. En este trabajo, se presentan los conceptos básicos de sistemas lumínicos innovadores de alta eficiencia, por medio del aprovechamiento de la luz natural y se plantean las bases para su integración en edificios para obtener condiciones de confort lumínico y térmico para los ocupantes, con el máximo ahorro de energía eléctrica. Además, con la aplicación de estas acciones, también se puede reducir la carga térmica en las edificaciones, y en consecuencia, disminuir la emisión de contaminantes al medio ambiente y mejorar la calidad de vida del hombre. Este trabajo concluye con la presentación de un caso de estudio en donde se aplicó un sistema lumínico de alta eficiencia y los resultados obtenidos indican un considerable incremento en los niveles de iluminancia y una mejor distribución lumínica en los espacios del proyecto. Con la difusión y aplicación de estas estrategias lumínicas de alta eficiencia, se propone lograr el confort lumínico de los ocupantes, ahorro de energía, mejoramiento del medio ambiente y promover un favorable efecto multiplicador, así como contribuir a la promoción de acciones sustentables en la arquitectura.

Palabras clave: Sistemas Lumínicos, Luz Natural, Arquitectura, Alta Eficiencia.

ABSTRACT

Since the first human settlements, the consideration and use of daylight has been fundamental. The luminous components of solar radiation, direct and diffuse, as a part of climate variables, interact in buildings being necessary to know their potential to exploit them to achieve conditions of luminous comfort and energy savings. This work presents the basic concepts of innovative high efficiency luminous systems through the exploit of daylight and establishes the bases to integrate them in buildings to get luminous and thermal optimum conditions to occupants, with a maximum electrical energy savings. Beside, with the application of these actions, it can be possible to reduce the pollution emissions to environment and improve the life quality of human. The study concludes with the presentation of a case study in which is applied a high efficiency luminous system and the results indicates a considerable increment in the lighting levels and a better luminous distribution in the spaces of the project. With the diffusion and application of these high efficiency luminous strategies, it is proposed to achieve luminous comfort, energy savings, and environmental improvement to contribute to sustainable actions in architecture.

Key words: Luminous systems, daylight, architecture, high efficiency.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Todos los tipos de radiación provenientes del sol forman parte del espectro electromagnético. La radiación viaja en ondas electromagnéticas. A las ondas se les llama electromagnéticas (EM) porque la energía tiene tanto propiedades magnéticas como eléctricas. Por lo tanto, el sol emite energía en todas las longitudes de onda del espectro electromagnético (Fig. 1), desde las ondas de radio a los rayos X y gamma.

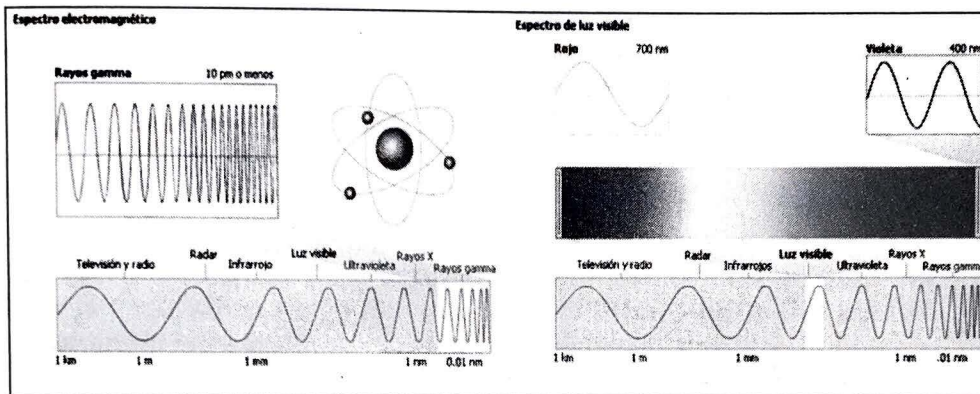


Figura 1. Espectro Electromagnético

2 IMPORTANCIA DE LA LUZ NATURAL EN LA ARQUITECTURA

La luz natural ha sido una componente indispensable en la arquitectura desde las primeras manifestaciones del hombre en el planeta. En la actualidad, es evidente que la interacción y el manejo adecuado de la luz natural en las edificaciones, juegan un papel esencial en el consumo de energía y en la obtención de condiciones de confort lumínico-visual de los ocupantes. Ciertamente, la luz natural es un factor indispensable en la mayoría de los edificios, particularmente en aquellos de uso predominantemente diurno. Su uso debe estar orientado cuantitativamente, a proveer de iluminación a los espacios para proporcionar niveles de iluminancia adecuados para la óptima realización de las tareas visuales de los ocupantes, y cualitativamente, a proporcionar la calidad lumínica que se requiere para cada caso y función específicas, así como a contribuir a la salud psicofisiológica de los usuarios al propiciar un ambiente favorable, y también favorecer la acción germicida en la componente ultravioleta de la luz visible, y además, suministrar niveles óptimos de vitamina "D", necesaria para la salud de las personas.

Por otra parte, el uso sensato y eficiente de la luz natural puede contribuir a reducir el consumo de energía eléctrica que se utiliza para los sistemas de alumbrado de los edificios. Esta situación es de particular importancia en edificios comerciales, donde los consumos de energía eléctrica para alumbrado de espacios interiores son muy elevados.

En este trabajo se exploran y presentan las posibilidades de la luz natural, por medio del planteamiento de estrategias de diseño con base en sistemas lumínicos de alta eficiencia, orientadas a lograr ahorro de energía y confort visual y termo-lumínico de los ocupantes en las edificaciones, así como su integración adecuada con sistemas de iluminación eléctrica de alta eficiencia.

3. APROVECHAMIENTO DE LUZ NATURAL PARA REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

El aprovechamiento óptimo de la iluminación natural es una alternativa altamente recomendable para reducir el consumo de la energía eléctrica que se utiliza para el alumbrado, principalmente en edificios no habitacionales, donde el mayor consumo es precisamente para iluminación eléctrica de los diversos espacios que los componen.

Por ejemplo, y con base en las experiencias de diagnósticos energéticos realizados en edificios de diversos géneros, principalmente comerciales e industriales, ubicados la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), en condiciones predominantes de clima templado, el consumo de energía eléctrica por áreas es el siguiente: Iluminación 50%, aire acondicionado 30%, fuerza 12% y motores 8%. Por otra parte, en climas predominantemente cálidos, ubicados principalmente en el norte y en las costas de México, el mayor consumo de energía eléctrica en la edificación es para el acondicionamiento del aire (60%) y es factor determinante de la demanda pico del sistema eléctrico (Figura 2).

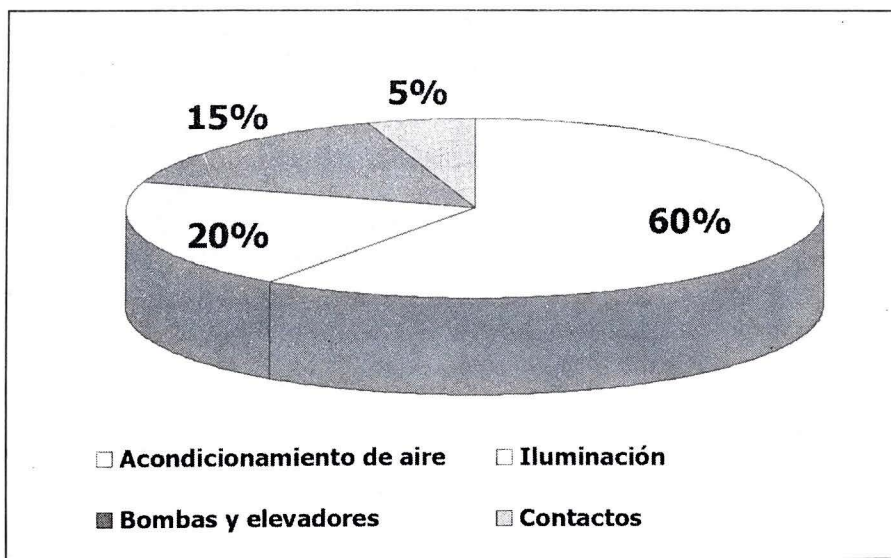


Figura 2. Consumo de electricidad por conceptos en climas cálidos. Fuente: CFE

4. POTENCIAL DE LA COMPONENTE DIRECTA DE LA RADIACIÓN SOLAR PARA ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS

Desde el punto de vista lumínico, la componente directa de la radiación solar actúa como una intensa fuente de luz colimada y puede proporcionar un rango de iluminancia exterior en un plano horizontal de 50,000 lux (para un cielo azul con menos del 30% de nubosidad), hasta alcanzar valores de 120,000 lux (para un cielo azul despejado, con menos del 15% de nubosidad); en comparación con la componente lumínica difusa, que presenta un rango de 5,000 lux (para un cielo cubierto con 100% de nubosidad y sol no visible), a 40,000 lux (para un cielo parcialmente nublado con una nubosidad del 30 al 70%).

El potencial de la luz directa en México es muy alto en la mayoría de las regiones climáticas del país, de manera tal que en un día típicamente soleado, se presentan enormes cantidades de luz natural directa que impactan en las superficies o fachadas de las edificaciones.

Desafortunadamente, en la actualidad no se aprovecha el enorme potencial de la luz solar disponible, que en otras circunstancias podrían utilizarse favorablemente en el interior de las edificaciones, particularmente en climas con condiciones de cielo predominantemente despejado y sol directo.

Aún en condiciones “desfavorables”, de cielo semi-nublado o nublado, aprovechar el potencial de la iluminación natural es recomendable, ya que se pueden alcanzar valores de 5,000 lux de iluminancia en un plano vertical, con lo cual se requerirían 40 m² nominales de superficie de vanos, o ventanas, en un edificio de 400 m², para suministrar los 500 lux necesarios para realizar las tareas visuales de sus ocupantes.

El atributo del factor de colimación de la luz solar directa y su mayor contenido de energía luminosa por unidad de área, en comparación con la luz difusa proveniente de cielos despejados o nublados (de cuatro a siete veces mayor, respectivamente), son las principales ventajas de usar dicha componente solar directa para iluminación natural de los edificios. Por lo tanto, se pueden requerir menores áreas de aberturas (ventanas) para proporcionar la misma cantidad de iluminancia interior.

Esta característica de la luz solar directa, puede ser particularmente útil en edificios localizados en regiones con condiciones predominantes de cielo despejado, ya que aberturas de menor superficie resultarían en menores ganancias de calor exterior, que es una condición deseable en este tipo de regiones climáticas.

Por lo tanto, el uso de la luz solar directa en lugares bajo cielos típicamente despejados es una estrategia promisoriosa para reducir el consumo de energía debido a la utilización de sistemas de iluminación

artificial y aire acondicionado (carga térmica de enfriamiento, ocasionada por el uso del alumbrado y ganancias internas de ocupantes), siempre y cuando la luz que llega al interior del espacio sea distribuida efectivamente y utilizada totalmente para propósitos de iluminación. El potencial de ahorro de energía al usar la luz solar directa como fuente de iluminación interior, puede ser particularmente significativo en edificios comerciales.

Si en una aplicación se aprovecha de manera óptima el enorme potencial de la luz natural directa en un edificio, y además se integran a ésta sistemas de iluminación eléctrica de alta eficiencia, el resultado será muy favorable, ya que se pueden obtener las siguientes ventajas:

- Ahorro de energía,
- Confort visual y lumínico para los ocupantes,
- Beneficios económicos,
- Mayor productividad y eficiencia en el trabajo,
- Mayor nivel de competitividad, por ser acciones con carácter sustentable,
- Mejoramiento y preservación del medio ambiente natural, no sólo del lugar donde se encuentra el edificio, sino a nivel global.

5. EL ROL DEL CONFORT LUMÍNICO EN LAS EDIFICACIONES

La constante interacción de las variables externas del clima, tales como: radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire, movimiento del aire, etc., con respecto a la envolvente constructiva o “piel constructiva del edificio”, juegan un rol determinante en la percepción de las condiciones de confort de los ocupantes en sus edificaciones. De manera particular, la acción de la radiación solar involucra la componente térmica y la lumínica que interactúan simbióticamente en las edificaciones. Por lo tanto, debido a la acción predominante de la radiación solar, se manifiestan de manera simultánea efectos térmicos y lumínicos, que impactan las edificaciones y dan como resultado la presencia o ausencia de condiciones de *confort térmico* y *confort lumínico* en los ocupantes. Además, esta interacción se relaciona con el consumo de energía, que en su mayoría, es proveniente de la quema de combustibles fósiles en las plantas generadoras de energía, lo que a su vez provoca la emisión de gases de invernadero y un severo daño ambiental a nivel global.

Por lo que respecta al *confort lumínico*, éste se puede definir como *la condición que permite la realización de tareas visuales a los usuarios*

e involucra no sólo la cantidad de luz necesaria para llevarlas a cabo, sino la calidad con que se establecen estas condiciones. Lo anterior indica que en el confort lumínico de los ocupantes de las edificaciones, están explícitas características cuantitativas y cualitativas de las componentes lumínicas de la radiación solar. A su vez, la componente directa de la radiación solar proviene del sol y la componente difusa, de la bóveda celeste. Las superficies circundantes al objeto en estudio, que interactúan por medio de inter-reflexiones, también juegan un papel importante en este contexto global del fenómeno lumínico que se manifiesta en los espacios interiores de las edificaciones.

Por lo tanto, para obtener condiciones óptimas de confort lumínico y visual en las edificaciones, se deben considerar los aspectos *cuantitativos y cualitativos* de la provisión de luz en los espacios, aprovechando las componentes lumínicas de la radiación solar (directa y difusa), las inter-reflexiones de superficies, tanto externas como internas, así como las propiedades y eficiencia energética de los equipos de iluminación artificial o eléctrica, de acuerdo con la función del edificio analizado y con las condiciones microclimáticas del lugar en donde se realizará el proyecto. Por lo tanto, la luz y el calor provenientes del entorno exterior juegan un papel determinante en las edificaciones, ya que establecen las condiciones y el nivel del confort térmico y lumínico en los ocupantes. La presencia o ausencia de este confort determina la eficiencia y productividad de los usuarios en su ambiente de trabajo y afecta de manera significativa la salud, desde los puntos de vista fisiológico y psicológico. Así mismo, el confort termo-lumínico se relaciona directamente con el ahorro y uso eficiente de la energía en las edificaciones. A su vez, el manejo consciente y racional de la energía puede contribuir a la preservación y mejoramiento del medio ambiente y en la calidad de vida de los ocupantes.

En cuanto al *confort térmico*, éste se puede definir como *la condición bajo la cual la mayoría de los ocupantes de un espacio manifiestan estar en condiciones satisfactorias y aceptables de bienestar térmico*. Ciertamente, los ocupantes transcurren más del 90% de su tiempo dentro de diversos espacios arquitectónicos y es muy importante que las actividades que realizan sean en condiciones óptimas de confort ambiental integral que incluye entre otros tipos de confort, el relacionado con las condiciones térmicas y lumínicas (García Chávez, J. R., 1996).

Con la acción de la radiación solar, se presentan condiciones térmicas y lumínicas en las edificaciones, situación que da lugar a la necesidad de obtener confort termo-lumínico, donde factores tales como: Las tareas visuales a realizar, la carga térmica interior proveniente de ocupantes y equipo, los niveles de consumo de energía, el mantenimiento de la funcionalidad de los espacios, la obtención de niveles de eficiencia y productividad laboral, niveles de salud de los ocupantes, entre otros, determinan las estrategias de diseño bioclimático ecológico-energético y sustentable que se deben diseñar y evaluar de manera integral en todo proyecto arquitectónico y urbano (García Chávez, J. R., 2004, 2002).

6. ESTRATEGIAS Y SISTEMAS LUMÍNICOS PARA APROVECHAR LA LUZ NATURAL EN LOS EDIFICIOS.

6.1 SITUACIÓN ACTUAL DE DETERIORO AMBIENTAL EN EL PLANETA Y SU RELACIÓN CON EL APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL

La situación actual de severo daño en el medio ambiente, provocada por acciones antropogénicas en los patrones de uso de las diversas formas de energía, principalmente por la quema de enormes cantidades de combustibles fósiles a la atmósfera, debe detenerse y llevar a cabo acciones enfocadas a disminuir y corregir este problema. Una acción que ha sido recomendada a nivel internacional por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático¹ es la implementación de acciones de Arquitectura Bioclimática y Sustentable (IPCC, 2007). El Cuarto Reporte del Grupo de Trabajo III del IPCC (AR4), en donde se analizan varios sectores, entre ellos, el de las edificaciones, afirma que: *“La aplicación de Arquitectura Bioclimática y Tecnologías Sustentables en las Edificaciones es la estrategia mas rápida, eficiente y económica para generar una significativa disminución de la emisión de contaminantes al medio ambiente y del daño en el planeta”*. Además, los edificios, entre todos los sectores analizados, ofrecen la posibilidad de realizar acciones con el menor costo efectivo, y oportunidades para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero (GHG), y lograr en el corto y mediano plazo, actividades con un futuro de bajo o cero emisión de carbono.

Además, en este Cuarto Informe del IPCC, se llegó a la conclusión: “... que la mayoría del aumento observado en la temperatura media mundial a partir de la mitad del siglo xx se debe muy probablemente al aumento observado en las concentraciones de gases de efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles, enviados a la atmósfera por acciones antropogénicas”.

En consideración a lo antes mencionado y tomando en cuenta que el consumo de electricidad para la iluminación en edificios, dependiendo del clima y género de edificios, representa un porcentaje considerable, y que el potencial de componente directa de la luz natural es muy elevado, en este trabajo se plantea la implementación de Sistemas Lumínicos de Alta Eficiencia en las edificaciones, aprovechando este potencial solar lumínico.

Para aprovechar de una manera óptima la luz natural, se propone que la componente directa de la radiación solar, sea utilizada como la principal

¹ El Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por las siglas IPCC, fue formado en el año 1988 a instancias de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas. A consecuencia del primer informe presentado por este grupo, es que se preparó en 1992 en Nueva York, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático siendo uno de sus objetivos generar una conciencia pública a escala planetaria de los problemas relacionados con el cambio climático.

fuente de iluminación en los espacios edificatorios, incluyendo aquellas zonas de los espacios interiores donde normalmente la provisión de luz natural por métodos convencionales no es factible, es decir, en la zonas centrales y profundas de una edificación, distantes de las aberturas de iluminación. En la aplicación de esta alternativa, se incluye la manipulación de los mecanismos de reflexión, refracción y transmisión lumínica, entre otros. Este enfoque también considera la contribución de las componentes de la luz difusa del cielo y la reflejada de superficies circundantes.

Por lo tanto, el objetivo principal del uso de la luz solar directa en las edificaciones comerciales, está orientado a obtener confort ambiental térmico y lumínico de los ocupantes, ahorro de energía y reducción de la emisión de contaminantes a la atmósfera. Para lograr lo anterior, es indispensable controlar y distribuir dicha componente de la radiación solar de forma tal que pueda ser utilizada como un iluminante interior efectivo y agradable a los sentidos de los ocupantes, a través de un balance óptimo de la cantidad y calidad de la luz natural, además de proporcionar niveles lumínicos adecuados, aún en aquellas zonas localizadas a mayor profundidad en el espacio interior, es decir, distantes de las aberturas. En este enfoque, se debe considerar la calidad de la luz en relación a todos las variables y factores implícitos en un proyecto arquitectónico.

Los sistemas lumínicos de alta eficiencia propuestos, se basan en redirigir la luz que entra a un espacio, ya sea en forma de luz difusa, de la bóveda celeste, o bien como luz directa, proveniente del sol directamente, a las áreas donde se requiera. Diversos trabajos de investigación, enfocados principalmente al aprovechamiento de la componente solar lumínica directa en sistemas innovadores, han evaluado y comprobado su eficiencia (Fraas, L.M., 1983; Givoni, B. et al.; 1986, Leslie, R., 1986; Littlefair, P., 1996, 2000; Whitehead, L., 1986).

En consideración a un análisis de las variables tecnológicas, y económicas implícitas en los proyectos arquitectónicos, y de los costos de operación y mantenimiento y con base en trabajos experimentales recientes, realizados en diversos géneros de edificios (García Chávez, J. R. et al. 2008, 2009), se han seleccionado cuatro estrategias lumínicas que aprovechan principalmente la luz solar directa, como las más recomendables para su integración en las edificaciones, particularmente ubicadas en regiones con condiciones de cielo predominantemente despejado.

- Sistema de Reflectancia Integrado en el Sistema de Ventanería de la Fachada. Tablero Reflectivo (Light Shelf)
- Ductos Solares Lumínicos
- Persianas Reflectivas. Persianas y Celosías Especulares o Difusas, y/o Movibles o Fijas
- Dispositivos Especulares

7. CASO DE ESTUDIO CON APLICACIÓN DE UN SISTEMA LUMÍNICO ESPECULAR

En este trabajo, se presenta un caso de estudio de un sistema lumínico especular instalado en un edificio habitacional con severos problemas de déficit de niveles de iluminancia, ubicado en la Ciudad de México.

El edificio de este caso de estudio tiene cuatro niveles de departamentos, más planta baja y un sótano como estacionamiento, el cual presenta, de acuerdo a un monitoreo realizado, niveles de iluminancia muy por debajo de los recomendados por los estándares nacionales e internacionales. El edificio tiene dos cubos de iluminación y ventilación (Figura 3), que se ubican al centro de la construcción con los bloques de servicio. El estudio lumínico se realizó bajo las condiciones de cielo despejado y nublado, que se compararon con un modelo físico tridimensional que fue construido específicamente para este trabajo (Figura 4).

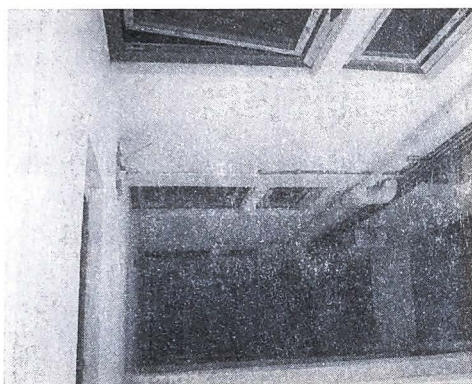


Figura 3. Cubos iluminación y ventilación del edificio

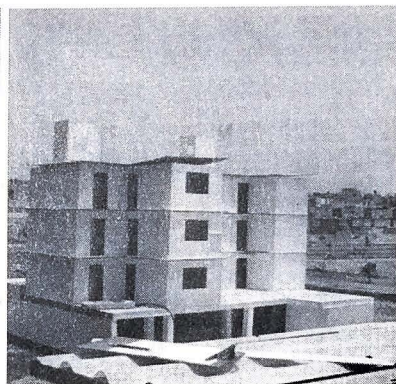


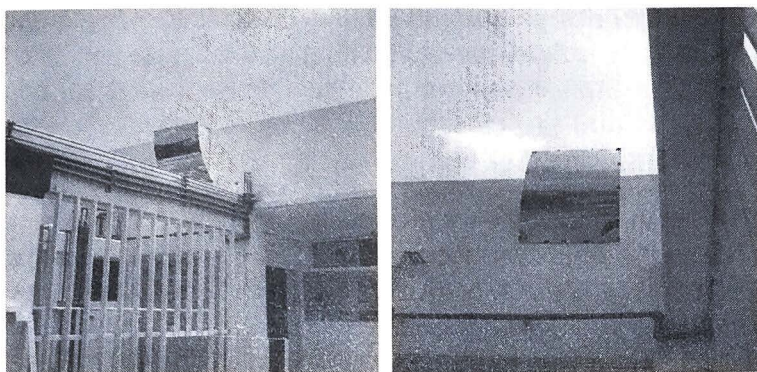
Figura 4. Modelo físico tridimensional del edificio Caso de estudio

7.1 PRUEBAS EN EL MODELO FÍSICO TRIDIMENSIONAL Y EN EL EDIFICIO REAL

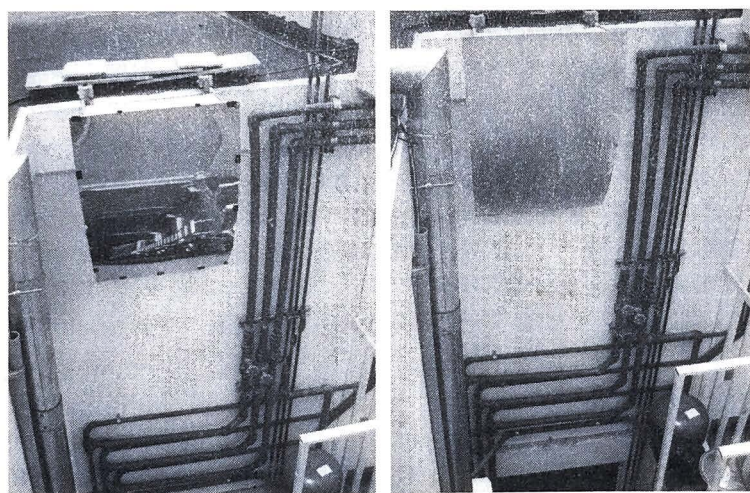
Además de las pruebas experimentales realizadas en el modelo físico tridimensional, el dispositivo lumínico se construyó a escala 1:1 para evaluarlo y comparar su funcionamiento, instalándolo en el edificio real. El diseño y geometría óptimos del dispositivo lumínico innovador, fue resultado de cálculos matemáticos y gráficos de su funcionamiento óptico, que se realizaron específicamente en este trabajo. El dispositivo se instaló en el muro del pretil del cubo de iluminación y ventilación del edificio real. Este dispositivo tiene dimensiones de 91 cm x 61 cm; fue construido en acero inoxidable, con acabado en espejo (Figuras 5 y 6), para lograr el efecto especular y garantizar las reflexiones de la luz natural al interior.

Se probaron y compararon dos materiales en el dispositivo, de la misma dimensión (91x61cm). El primer dispositivo en acero inoxidable,

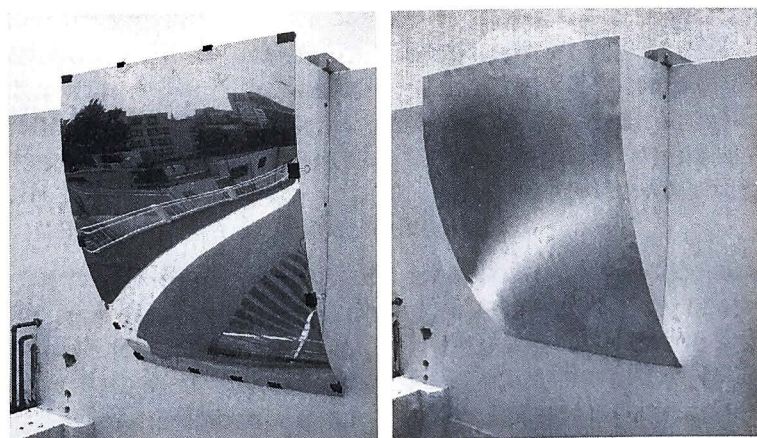
con acabado en espejo y el segundo dispositivo, fabricado con aluminio con acabado satinado. De los dos dispositivos (Figuras 7, 8, 9 y 10), el que obtuvo el resultado más favorable fue el de acero inoxidable, incrementando los niveles de iluminancia en las habitaciones orientadas a los cubos de iluminación; mientras, el de aluminio, presentó menores niveles de iluminancia. Estos dispositivos lumínicos se probaron también bajo condiciones de cielo nublado, para comprobar -con la situación más desfavorable-, los niveles de luz natural.



Figuras 5 y 6. Dispositivo lumínico a escala 1:1 instalado en el edificio real



Figuras 7 y 8. Dispositivos lumínicos, escala 1:1 con acabados en acero inoxidable y aluminio satinado



Figuras 9 y 10. Detalle de dispositivos lumínicos, escala 1:1 con acabados en acero inoxidable y aluminio satinado

La figura 9, muestra que el dispositivo lumínico, logra su principal función reflectiva, ya que se aprecia claramente que en su superficie se ve reflejada la imagen de los muros del patio adjunto, lo cual indica que se cubren de luz directa las cuatro superficies del patio, incrementando los niveles de iluminancia en la habitaciones orientados a éstas y se aumentan los niveles de iluminancia en el patio, al incrementarse la luz que llega a la parte inferior del edificio. Es importante mencionar que se calcularon las reflexiones en los modelos gráficos y se comprobaron de manera práctica y visual, es decir, lo calculado y registrado en tablas y gráficas de isolux y niveles de iluminancia.

7.2 RESULTADOS

Los resultados del monitoreo de los niveles de iluminancia del dispositivo indican un incremento cuantitativo de un 25% en las plantas bajas y un 30% en el primer y segundo nivel y un 40% en el tercer y cuarto nivel. Estos resultados se registraron en gráficas de isolux. Una vez tabulados los valores registrados en el modelo real, en el modelo a escala y en el modelo a escala con el dispositivo, se realizó una comparación del los registros de las mediciones del modelo a escala con y sin el dispositivo, observando un incremento favorable en los espacios orientados al patio, de acuerdo a los porcentajes indicados anteriormente.

Con el mayor incremento de los niveles de iluminancia en el caso de estudio, se puede reducir el consumo de energía eléctrica y la emisión de contaminantes al medio ambiente, con lo cual se contribuye a disminuir los efectos del cambio climático, que afecta severamente al planeta.

Además del aumento de la intensidad de los niveles de iluminancia registrada en el edificio del caso de estudio, se comprobó la calidad de la luz suministrada por el dispositivo lumínico, ya que los estudios realizados durante los diferentes períodos del año y horas del día, demostraron que no se presentaron deslumbramientos del dispositivo lumínico hacia los ocupantes, ni afectaciones en su campo visual. El deslumbramiento se evitó con base en el diseño, geometría y ubicación del dispositivo. La curvatura es más inclinada en la parte inferior donde son pocos los rayos que se reflejan y el ocupante puede ver directamente y donde los rayos del sol inciden con mayor intensidad. La curva del dispositivo es casi vertical, y las reflexiones no inciden dentro del campo visual de los ocupantes, con lo cual se evitan problemas de deslumbramiento.

Las gráficas de comparación con los modelos a escala, permitieron verificar el aumento y la uniformidad de la luz. Las pruebas realizadas con el modelo del dispositivo a escala 1:1 en los cubos de iluminación del edificio real, permitió comprobar el proceso de experimentación con los modelos a escala. La realización de pruebas y mediciones en el modelo real, favoreció para dictaminar que la curvatura del dispositivo,

funciona como se proyectó y calculó. Estas pruebas con el modelo en tamaño real y con la pantalla en el material preciso (acero inoxidable con acabado pulido tipo espejo), verificaron y comprobaron la cantidad de luz natural en los espacios del edificio y se comprobó que no se presentan, en todos los niveles, afectaciones por deslumbramiento en los ocupantes. De acuerdo a los ahorros de energía eléctrica estimados para la iluminación eléctrica, el período de recuperación del dispositivo lumínico de alta eficiencia, se estimó en 6 meses. Finalmente es importante mencionar que uno de los objetivos del dispositivo fue su condición de permanecer estático, para evitar el mantenimiento y el que los ocupantes no necesiten moverlo o ajustarlo. El principio del sistema, de giro en vertical y horizontal, es permitir la adecuación a cualquier latitud, de tal manera que se pueda instalar en diferentes ciudades sin tener que hacer modificaciones en el dispositivo, sino únicamente un ajuste manual.

8. CONCLUSIONES

En resumen, el uso adecuado de la luz solar directa en edificaciones bajo condiciones predominantes de cielo despejado, puede contribuir a lograr beneficios potenciales tales como ahorro de energía y demanda de la misma en horas pico (factor que determina el diseño de la plantas generadoras de electricidad), mejores condiciones ambientales en interiores y exteriores y mejoramiento en los niveles de productividad, eficiencia, competitividad y calidad de vida del Hombre. Las estrategias propuestas en este trabajo, tienen el potencial de obtener estos beneficios y sería recomendable promover su aplicación a nivel masivo, para lograr un efecto multiplicador, y así poder apreciar las ventajas de su implementación en México. Estas estrategias lumínicas innovadoras son compatibles con los sistemas de iluminación eléctrica de alta eficiencia y su integración en las edificaciones es altamente recomendable.

Actualmente y como parte complementaria a este estudio, se encuentran en fase de desarrollo trabajos de investigación para el aprovechamiento de la luz solar directa, enfocados a estimar la eficiencia energética y costo-beneficio de estas estrategias innovadoras y la respuesta de los usuarios a su implementación en edificios existentes. En una etapa subsecuente, se elaborarán guías de diseño para el aprovechamiento de la luz solar en diferentes tipos de climas y en edificios de diversos géneros. Es deseable que los resultados obtenidos se apliquen con criterios sustentables para el mejoramiento del medio ambiente y la calidad de vida en nuestro planeta.

FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFÍA

1. IPCC, The Fourth Assessment Report of the IPCC Three Volumes. Climate Change (2007) – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II. Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC.
2. García Chávez, J. R. et al. (2009), “Dispositivo de Iluminación de Alta Eficiencia Instalado en Cubos de Edificios” en *Memorias de Congreso ANES*, Guadalajara, Jalisco, México.
3. García Chávez, J. R. et al. (2008), Diseño de un Dispositivo de Iluminación de Alta Eficiencia Instalado en un Cubo de Iluminación de un Edificio Comercial en *Memorias de Congreso ANES*, Mérida, Yucatán, México.
4. García Chávez, J. R. (1996) *Diseño Bioclimático para Ahorro de Energía y Confort Ambiental Integral*, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
5. García Chávez, J. R. (2004), Integración de Estrategias Bioclimáticas para Obtención de Confort Térmico y Lumínico en Edificaciones Comerciales en *Memorias de Congreso ANES*, México.
6. García Chávez, J. R. (2002), Estrategias para el Aprovechamiento de la Luz Natural e Integración con Iluminación Eléctrica en Edificaciones en Climas Cálidos para Ahorro de Energía y Confort Lumínico en *Memorias de ANES*, México, pp 207-212.
7. Fraas, L.M, (1983) Concentrated and Piped Sunlight for Indoor Illumination. *Applied Optics*, V22, No. 4, pp. 578-582.
8. Givoni, B., Kroner, W., Leslie, R., (1986) Light/Ventilation Wells for Large Office Buildings. Conference proceedings: International Daylighting Conference, pp. 411-416; Long Beach, California.
9. Leslie, R. (1986) Core Daylighting: Building code issues. Conference proceedings: International Daylighting Conf., pp. 407-410; Long Beach, California.
10. Littlefair, P., (1996) Designing with Innovative Daylighting. BRE Report. BRE 305. Garston, CRC.
11. Littlefair, P., (2000) Developments in Innovative Daylighting. BRE Information paper. IP9/00. Garston, CRC.
12. Whitehead, L., Scott, J., Lee, B., York, B. (1986) Large Scale Core Daylighting by Means of a Light Pipe. Conference proceedings: International Daylighting Conference, pp. 416-419; Long Beach, CA..