

Colección "Arquitectura y Medio Ambiente"

# **LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA**

(en climas semitemplados)

**Silvia Arias Orozco / David Carlos Ávila Ramírez**

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño

Centro de Investigaciones en Ergonomía

La investigación que genera esta publicación  
fué realizada con el apoyo del  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)  
a través del Sistema de Investigación Regional  
José María Morelos (SIMORELOS)

D.R. 2004 Universidad de Guadalajara  
Coordinación Editorial

ISBN 968-895-787-9

Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño  
Comité Editorial  
Extremo Norte de la Calzada Independencia s/n, CP 44250,  
Huentitán el Bajo  
Guadalajara, Jalisco, México

Impreso en México  
Printed and made in Mexico

# LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA

(en climas semitemplados)

**Mención Honorífica**  
V Bienal de Arquitectura Mexicana



LA FEDERACION  
DE COLEGIOS  
DE ARQUITECTOS  
DE MEXICO, A.C.

México, D.F. Octubre 1988



## INDICE

<b>1.- ANTECEDENTES</b>	
<b>La luz en antigüedad</b>	11
Los orígenes	
Los primeros abrigos	
El sol y el espíritu en los monumentos	
La vivienda con patio central	
Los primeros cristianos	
Bizantino	
Románico	
Gótico	
Renacimiento	
<b>La luz en la Arquitectura del siglo XX</b>	18
Le Corbusier	
Mies Van Der Rohe	
Alvar Aalto	
<b>2.- LA LUZ Y LA FISIOLOGIA HUMANA</b>	25
<b>La luz y el desarrollo visual</b>	
Campo visual	
<b>La función de la iluminación</b>	27
Rendimiento visual o eficacia visual	
Curvas de sensibilidad espectral	
Percepción visual y confort	
Aspectos cualitativos y cuantitativos	
Deslumbramiento y desconfort	
<b>3.- GEOMETRIA DE LA LUZ</b>	37
<b>El Factor de Luz Diurna</b>	
Componente celeste	
<b>Proyección estereográfica</b>	43
Mascarilla de protecciones	
<b>Proyección equidistante “Fish-eye”</b>	49
<b>4.- LA ILUMINACION NATURAL EN LAS EDIFICACIONES</b>	55
<b>Introducción</b>	
<b>Forma del conjunto de la edificación</b>	
<b>Disposición de espacios internos</b>	
<b>5.- ANÁLISIS LUMÍNICO</b>	59
<b>Los Modelos a escala como herramienta de diseño</b>	
Análisis lumínico sobre modelos a escala	
Los simuladores solares (heliodones)	
Clasificación de los componentes de iluminación natural	

<b>6.- COMPONENTES DE PASO .....</b>	69
<b>Componentes de paso lateral</b>	
<b>Componentes de paso cenital</b>	
<b>7.- COMPONENTES DE CONDUCCIÓN .....</b>	93
<b>Patios</b>	
Porosidad del edificio	
Disposición de los patios	
Conductos de luz	
Campo visual	
<b>8.- DISPOSITIVOS DE CONTROL .....</b>	103
<b>Aleros</b>	
<b>Pérgolas</b>	
<b>Dispositivos de control verticales</b>	
<b>Dispositivos de corrección lateral</b>	
<b>9.- ENVOLVENTE Y ACABADOS .....</b>	113
<b>Tipos de vidrios y acrílicos</b>	
Fotometría de las superficies interiores	
Nuevos materiales	
<b>10.- ANÁLISIS COMPLEMENTARIO .....</b>	125
<b>Simulaciones Genelux</b>	
<b>Condiciones de iluminación natural (método de FLD)</b>	
<b>Condiciones visuales</b>	
<b>11.- LA ILUMINACIÓN NATURAL Y EL AHORRO ENERGÉTICO .....</b>	147
<b>Ánálisis costo-beneficio</b>	
Estimaciones de ahorro energético anual	
<b>GLOSARIO .....</b>	151
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	155

*A mi esposa Silvia,  
por ser la luz de mi vida.*

*A David, mi mejor  
maestro de la vida.*

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el resultado sobre el adecuado uso de la iluminación natural en la arquitectura que se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias del Hábitat (LASH) en Lyon, Francia. El lector podrá constatar el tipo de análisis realizado en modelos a escala en ambientes simulados de diferentes casos de aberturas en muros y techos, sus protecciones solares, los materiales de vidriado, así como de las proporciones que éstos guardan con el conjunto de las edificaciones.

De la misma manera, en el contenido del presente trabajo se plantea la idea de proponer una serie de apartados ambientales en vías de elaborar una normativa global de la edificación en clima semitemplado.

El propósito principal de dicha investigación se centró en considerar al usuario de la arquitectura como el principal factor en el desarrollo del diseño lumínico. Para ello es necesario tomar conciencia de que las actividades visuales que se llevan a cabo en los diversos espacios arquitectónicos deben propiciar un ambiente adecuado, de acuerdo al uso ocupacional al que estén destinados los mismos.

El tema de la iluminación natural en la arquitectura es de prácticamente reciente aparición; debido al incremento de las tarifas por consumo de energía eléctrica, la idea del ahorro energético tiende a estar en las de primer orden. En la actualidad resulta incongruente que en las horas laborales diurnas, miles de oficinas y centros de educación enciendan los interruptores para iluminar artificialmente. La gran cantidad de días despejados al año con la que cuenta la región a la que se hace referencia, permitiría prescindir de cualquier dispositivo de iluminación eléctrica con la simple adecuación de los elementos de diseño lumínico apropiados con una inversión mínima y que en muchos casos es recuperable.

Por lo anterior, se puede afirmar que resulta paradójico que en esta era de tecnología avanzada, las edificaciones en muchas ocasiones no estén acorde a los cambios que ha sufrido la iluminación natural a lo largo del desarrollo de la humanidad en función de la evolución de las ciencias y la propia tecnología.

## 1. ANTECEDENTES

A continuación se realiza una breve revisión histórica a con los ejemplos más representativos de la iluminación en la Arquitectura, mostrando a través del tiempo la importancia que ha jugado el sol dentro de las aberturas construidas por el hombre. Esa importancia tiene referencia también en los cambios que ha sufrido la iluminación natural a lo largo del desarrollo de la humanidad en función de la evolución de las ciencias y la tecnología.

**Los orígenes.**<sup>1</sup> Desde el comienzo de la civilización, el hombre de todas las épocas ha prestado una atención especial al Sol. Esta primera atención, aunque de carácter mágico o religioso, siempre tiene connotaciones de aceptación del hecho de que el sol es el gran regidor de la vida sobre la Tierra. Este hecho es comprobable con todos los monumentos neolíticos esparcidos por toda Europa, particularmente en Inglaterra, donde existen monumentos dólmicos dispuestos en planos circulares que son llamados "henges".

Edward Rutherford en su libro *Sarum*<sup>2</sup> describe apropiadamente este tipo de monumentos neolíticos: "Alrededor de 2 500 años aC., la gloria estaba hecha de piedra. Es una colección de templos circulares hechos de piedra dispuestos sobre terrenos elevados denominados *henges*. Estos *henges* son conocidos por toda Europa del Norte y en la Gran Bretaña se encuentran por toda la isla; por lo general son de forma circular y sus entradas están orientadas generalmente sobre el eje que apunta sobre el amanecer del solsticio de verano. Asimismo, los *henges* no solamente eran sitios de sacrificios rituales, sino también se utilizaban para la observación astronómica".

El más conocido de estos *henges* es el llamado Stonehenge, donde anualmente en el solsticio de verano se dan cita astrónomos, astrólogos y demás estudiosos del tema para contemplar el Sol que aparece en horizonte por uno de sus pórticos y atraviesa por el eje principal de los círculos concéntricos que conforman ese templo milenario.



Sitio arqueológico de Stonehenge

1 Adriano Colli-Bianco, *Etude de l'éclairage naturel des Bâtiments*, (1993).

2 Edward Rutherford, *Sarum*.

Los primeros abrigos. El hombre comenzó por habitar las cavernas para protegerse de las condiciones ambientales y de los enemigos naturales que pudieran andar cerca. Pero existía la dificultad de la oscuridad en el interior, ya que el utilizar fuego sólo es posible en lugares ventilados, además de la imposibilidad de movilidad de este tipo de refugios dado el carácter nomada del hombre de entonces.<sup>3</sup>

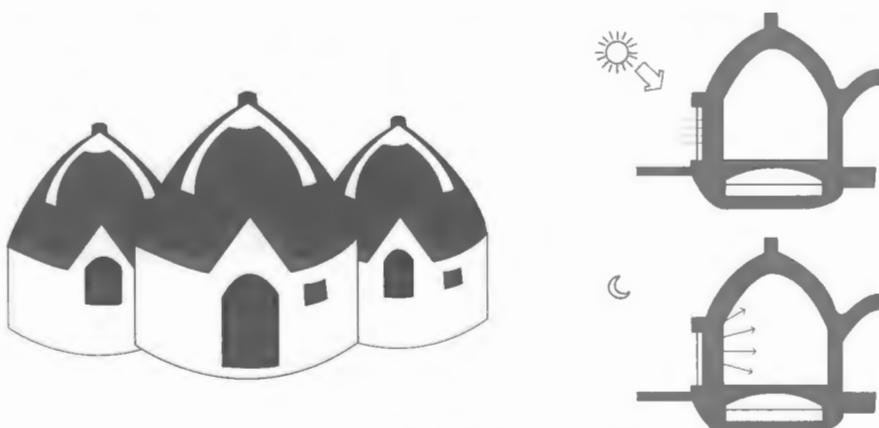
En la evolución de la vivienda, el siguiente paso lo conforman las tiendas móviles, las cuales permitían depender de una gran movilidad en razón de su flexibilidad y su facilidad de iluminar y ventilar a voluntad, pero en contraparte se carecía de seguridad.



Sencilla vivienda circular con suelo excavado

A partir de aquí empiezan a mezclarse sucesivamente las técnicas y formas que al principio eran más parecidas a cavernas o tiendas. A través de dicha evolución los habitantes de las cavernas empezaron a salir de éstas y construyeron viviendas más parecidas a las tiendas, y las tribus nómadas comenzaron a establecerse haciendo sus tiendas más sólidas mediante musgo y lodo. Estas maneras de construir variaría de acuerdo a cada grupo de hombres en función de factores importantes como el medio ambiente inmediato, la topografía, la naturaleza, el clima, etc.

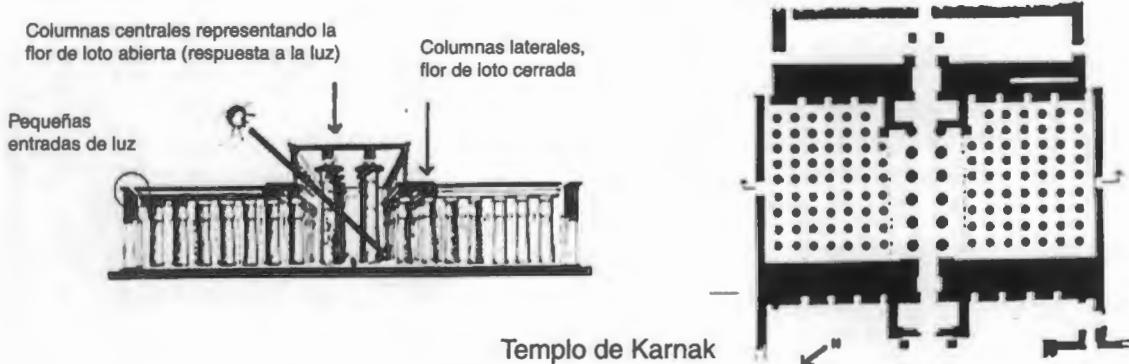
El Sol y el espíritu en los monumentos. El ejemplo más representativo del Sol como Dios



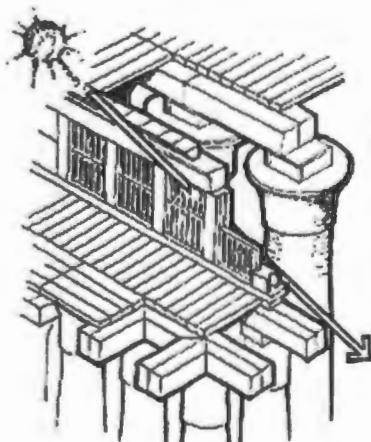
Viviendas de zonas extremas con aberturas pequeñas

en la antigüedad es sin duda el de los Egipcios. Las pirámides, que eran monumentos mortuorios para los faraones son grandes complejos arquitectónicos dispuestos en una situación específica de acuerdo a la topografía y al movimiento del astro.

El río Nilo, que corre de sur a norte indica la primera dirección espacial; el sol que se levanta por el este y se oculta por el oeste, traza la otra dirección. Estos dos elementos fundamentales de la naturaleza egipcia concurren a establecer una estructura espacial simple. La geografía del país favorece la conceptualización de los elementos y de los procedimientos naturales escenciales. La energía principal del cosmos egipcio es el Sol, el dios solar Re ó Atón tenía su santuario principal en Heliópolis (ciudad del Sol).



Los espacios interiores de las pirámides son oscuros, puesto que obviamente eran utilizados como santuario mortuorio, pero no así en los templos sagrados como los de Luxor y Karnak, en donde dependiendo del espacio éste podía estar iluminado o no. En Luxor el espacio central es más elevado que el de los costados para permitir el paso del sol a través de aberturas dispuestas para tal fin. Las columnas centrales remarcaban este detalle ya que las que están en las partes laterales representan flor de loto cerradas (por falta de sol) y no así las centrales que representaban a su vez la misma flor pero con las hojas abiertas recibiendo el sol.

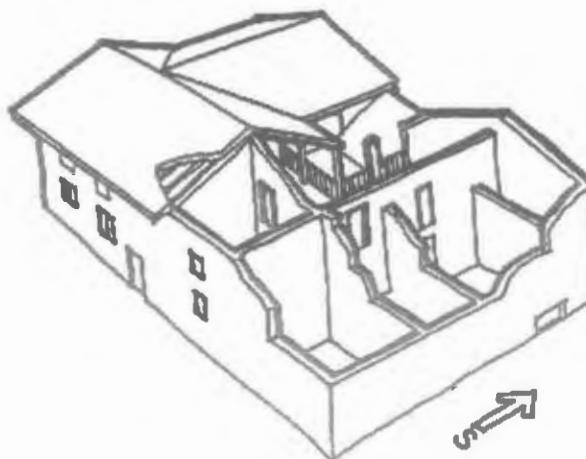


Filtro de luz en el templo de Karnak

*La vivienda con patio central.* Una de las tipologías arquitectónicas más antiguas y significativas que muestran la relación arquitectura-luz es la de la vivienda con un patio central al centro del plano. Este tipo de arquitectura aparece como respuesta a las grandes aglomeraciones urbanas, puesto que permite adosar las casas con los vecinos y permite a su vez ventilar e iluminar adecuadamente los espacios que tienen aberturas hacia dicho patio; otra justificación lógica es la remembranza de los espacios abiertos del campo, ya que muchos de los habitantes habían sido campesinos. Esto no permitió que se sucitara un especie de moda ya que se podían encontrar casas con patio fuera de los conglomerados urbanos. El patio surge entonces como fuente de luz natural y ventilación creando un microclima interior, y el conjunto de la vivienda sirve como protección contra el viento caliente en verano y frío en invierno.<sup>4</sup>

El patio es la forma predominante en ciudades con climas cálidos-secos, templados y cálido-humedos. En climas cálidos-secos con temperaturas modestas en verano, las viviendas con patio son regularmente de un solo nivel que sirve como colector del aire frío nocturno y proporciona sombra durante el día. En regiones con climas más extremos el patio tiene secciones más amplias utilizadas para el mismo fin pero con mejores resultados. Por su parte, en regiones con climas cálidos-secos los patios generan ventilación inducida necesaria para enfriar, en algunos casos se disponen de cuerpos de agua para producir el fenómeno de enfriamiento evaporativo.

Los ejemplos de viviendas con patio pueden encontrarse en culturas tan distantes como en Grecia, Roma, India, Latinoamérica, China y muchos países islámicos.



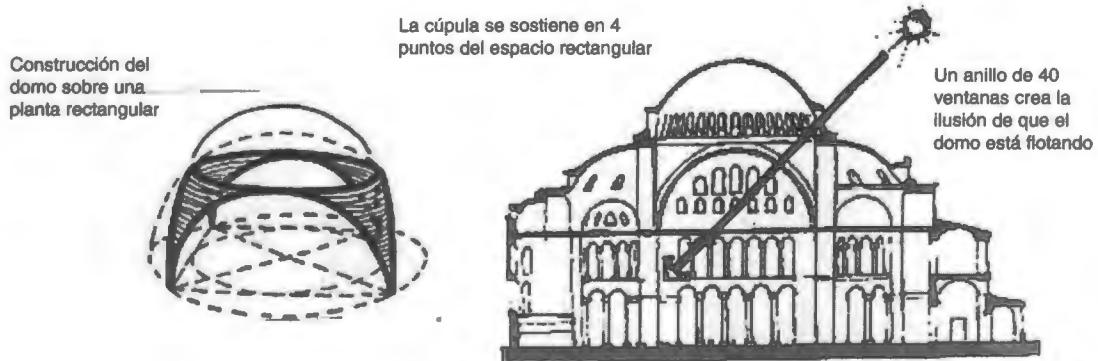
Vivienda griega de patio central

<sup>4</sup> Michel Beonar, *The new atrium*.

*Los primeros cristianos.* Este tipo de arquitectura representó la vuelta al uso de la madera en grandes construcciones, después de que los antiguos romanos utilizaran indiscriminadamente la piedra y el concreto en los techos. Esto permitió utilizar techos más ligeros reduciendo a su vez el área de muro, lo cual sería importante para disponer de ventanas a manera de tragaluz en las partes superiores, que aunque debían ser pequeñas podían de ser más numerosas; esto reducía la iluminación interior, pero permitía crear un ambiente de naturaleza mística de su nueva función religiosa. El ábside, que contenía al altar, era típicamente semicircular en planta rodeado de pequeñas ventanas que daban a su vez un mejor énfasis visual en esa área específica.<sup>5</sup>



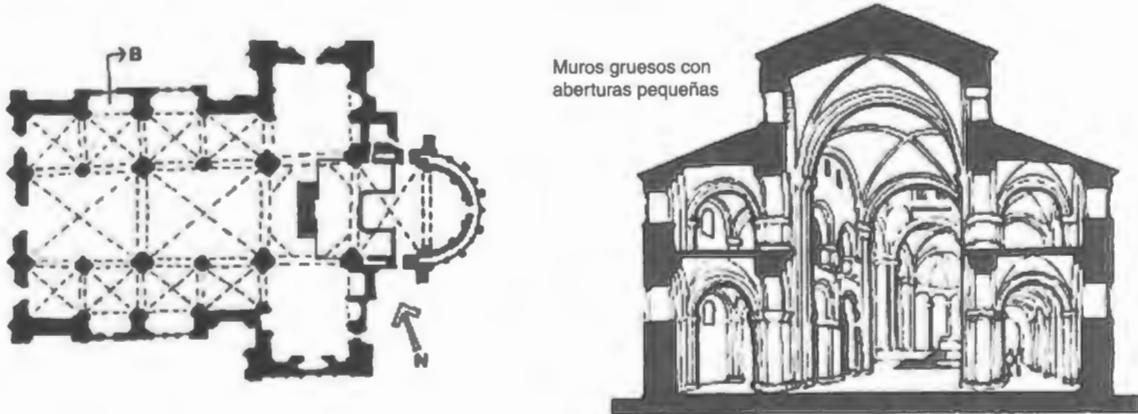
*Bizantino.* La característica más notable de la arquitectura bizantina es el uso de la cúpula sostenida en cuatro puntos para cubrir plantas de forma rectangular. El resultado de la planta bizantina fue centralizar alrededor de una cúpula primaria, espacios secundarios cubiertos a su vez con semicúpulas intersectadas debajo de la cúpula principal. Esto permitía introducir luz mediante pequeñas ventanas dispuestas en las bases de las cúpulas, creando la ilusión de que la cúpula flotaba por encima de la estructura soportante.<sup>6</sup>



5 B. A. Flecher, B.A. *A History of Architecture*.

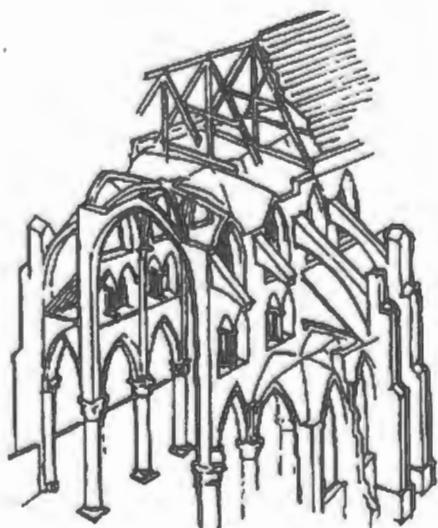
6 *Ibid.*

*Románico.* El periodo románico se caracteriza principalmente por la vuelta al uso de las técnicas romanas de construcción. Las iglesias de planta lineal están envueltas por una planta en cruz con una elevada cúpula en la intersección. Las intersecciones de las cúpulas servirían para desarrollar las formas dominantes del siguiente periodo: el gótico. Al igual que en el bizantino, las ventanas eran dispuestas en las bases de las cúpulas, que aunque eran pequeñas, en Italia y el sur de Francia comenzaban a ser más largas.<sup>7</sup>



San Miguel en Pavia, Italia

*Gótico.* En el periodo gótico se desarrolla el más alto nivel de edificación mediante la sofisticación de las estructuras. El desarrollo de arco de punto permitió intersecciar semicúpulas de diferentes dimensiones; a su vez estas intersecciones permitían disponerlas en puntos específicos de los muros. Por primera vez se podía diseñar vanos de acuerdo a estas geometrías y no como elementos aislados de los períodos anteriores. Asimismo, la orientación este-oeste de la planta permitía exponer ventanas (generalmente como vitrales) en la fachada sur, maximizando así la iluminación natural.



Típica construcción de una catedral gótica

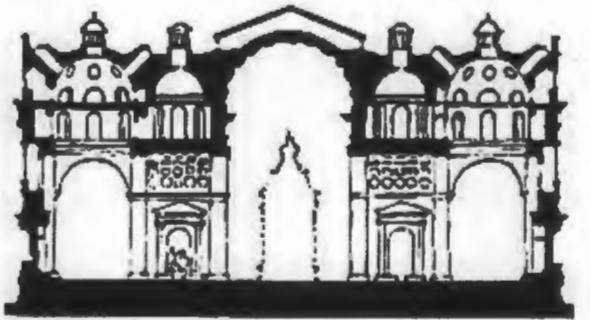
<sup>7</sup> Ibid.

**Renacimiento.** La innovación y expresión estructural son las principales características del gótico; en el periodo renacentista se trataría de revivir el interés en la armonía y las proporciones visuales. Los elementos clásicos fueron reintroducidos. Las técnicas de iluminación natural se volvieron más sutiles, sofisticadas e innovadoras. La luz fue típicamente utilizada para dar mayor énfasis a las formas arquitectónicas y dramatizar los espacios internos.

Un importante desarrollo del Renacimiento fue el de engrosar los muros y techos por aspectos decorativos interiores, los cuales requerían a su vez de aberturas para la iluminación más profundas y a veces ocultas, lo cual impedía en ocasiones que la luz no fuera vista de manera directa. Las cúpulas renacentistas eran típicamente soportadas a manera de tambores y disponían de ventanas alargadas alrededor de ellas. Frecuentemente la cúpula exterior y la interior eran estructuras separadas, lo cual requería de un complejo patrón de iluminación natural en las partes superiores de las cúpulas.

En el norte de Europa los edificios comerciales eran caracterizados por sus ventanas muy largas para la iluminación natural, lo cual ocupaba gran parte de los muros.

Numerosas e intrincadas fuentes de luz ocultas en las partes superiores



San Pedro en Roma, Italia

### La luz en la arquitectura del siglo XX

*Le Corbusier.* Como es sabido, la influencia de este arquitecto suizo en el periodo moderno es considerada como la de mayor peso. Sus ideas claras y rígidas acerca de su arquitectura son tomadas aún como teorías con carácter de doctrinas. Él entendía que la arquitectura debía seguir cinco principios básicos:<sup>8</sup>

- Los pilares que cruzan libremente
- Estructura autónoma del muro
- Planta libre individual en cada nivel
- Fachada libre
- El techo convertido en terraza

Le Corbusier afirmaba que “todo arquitecto que no obedezca estos cinco requerimientos será un imbécil”. Contrariamente a su comentario, siempre estuvo presente su preocupación por el hombre, por la calidad de la vida dentro de la ciudad, dentro de un ambiente adecuado, lo cual lo llevaba a realizar investigaciones y proyectos que cuidaban hasta el último detalle. De los ejemplos de su arquitectura que se pueden citar en lo referente al diseño adecuado de la iluminación natural, se pueden mencionar los siguientes:

-La Villa Savoye (1929-1931), ubicada en Poissy, cerca de París, en medio de la naturaleza. Este edificio superficies vidriadas al centro del plano, así como ventanas y aberturas a todo lo largo de las fachadas del volumen principal debajo de los pilares y en la terraza. La siguiente fotografía tomada con un objetivo *fish eye* muestra el salón principal ubicado en la parte superior del edificio; en ella puede apreciarse claramente la disposición del diseño hacia la iluminación, así como a las vistas exteriores puesto que se encuentra ubicada en la parte superior de una pequeña colina.



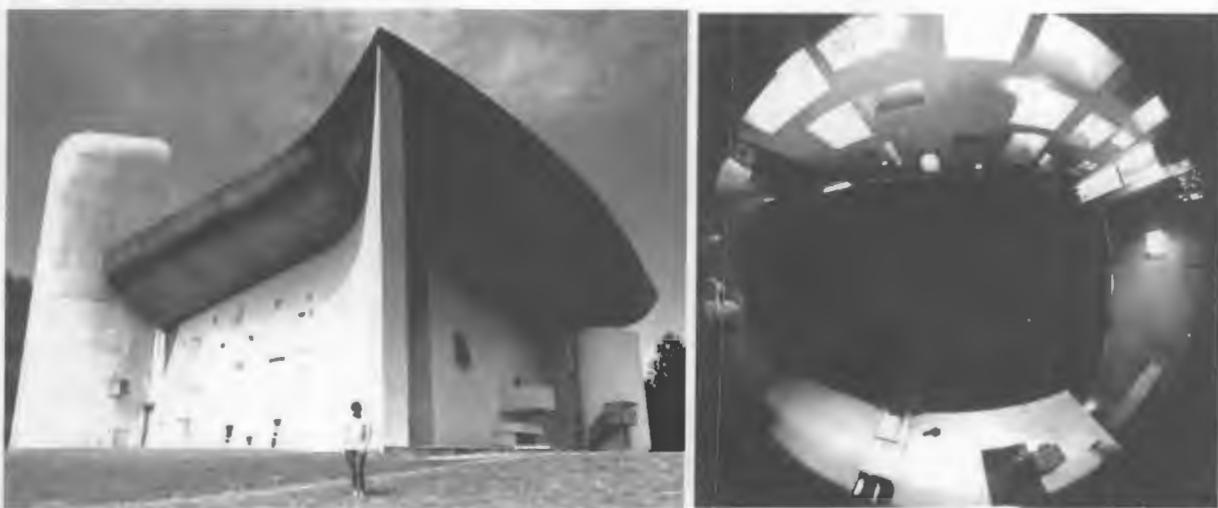
<sup>8</sup> Adriano Colli Bianco, “Etude de l'éclairage naturel des Batiments”

-La unidad habitacional de Marsella (1947-1952). Sus dos apartamentos dúplex permitían la doble altura, además de tener dos fachadas opuestas. Aunque el desarrollo de la iluminación estaba asegurado, no se descuidó el proteger mediante dispositivos de control solar, debido al clima mediterráneo de la ciudad.



Unidad habitacional de Marsella

-La capilla de Notre-Dame-du-Haut en Ronchamp (1950-1953) considerada por muchos como su obra maestra, permite a través de sus aberturas el paso de la luz, la cual se combina perfectamente con la entonación de fuerza de la forma del volumen. El papel que juega la iluminación va acorde al ambiente de misticismo requerido en este espacio de meditación.



Capilla de Notre-Dame-du-Haut

-En el convento de Sainte Marie de la Tourette el efecto de la entrada de la iluminación natural se puntuiza en ciertos espacios, como el de la capilla y el oratorio en combinación con el uso de los colores. Al ser un convento, el diseño debía seguir el propósito de claustro, pero permitiendo a los monjes ver hacia el cielo, por lo que la mayoría de las aberturas principales (exceptuando las celdas) dan hacia un gran patio principal.



Convento de Sainte Marie de la Tourette



Cañones de luz

*Mies van der Rohe.*<sup>9</sup> De formación autodidacta, es a quien se le debe la iniciativa del primer rascacielos de estructura metálica con fachadas totalmente vidriadas, así como de los edificios de estructura de concreto y fachadas vidriadas independientes de la misma. Su Pabellón Alemán para la exposición de Barcelona (1929) es una de sus obras más representativas. Construido con estructura de acero con esbeltas columnas cruciformes prefabricadas dispuestas independientemente de las fachadas, en este edificio se encuentran espacios con una relación muy dinámica con separaciones vidriadas (transparentes) independientes de la estructura.

Es de notarse la casi inexistencia entre la diferenciación de espacio interior y el espacio exterior, que lo hace integrarse en sí mismo con un juego de luces que arriban en todas las direcciones, dando una impresionante sensación de claridad. Completando el efecto de iluminación se encuentra el muro translúcido iluminado cenitalmente y que se ubica en el centro del espacio.



Pabellón Alemán en Barcelona

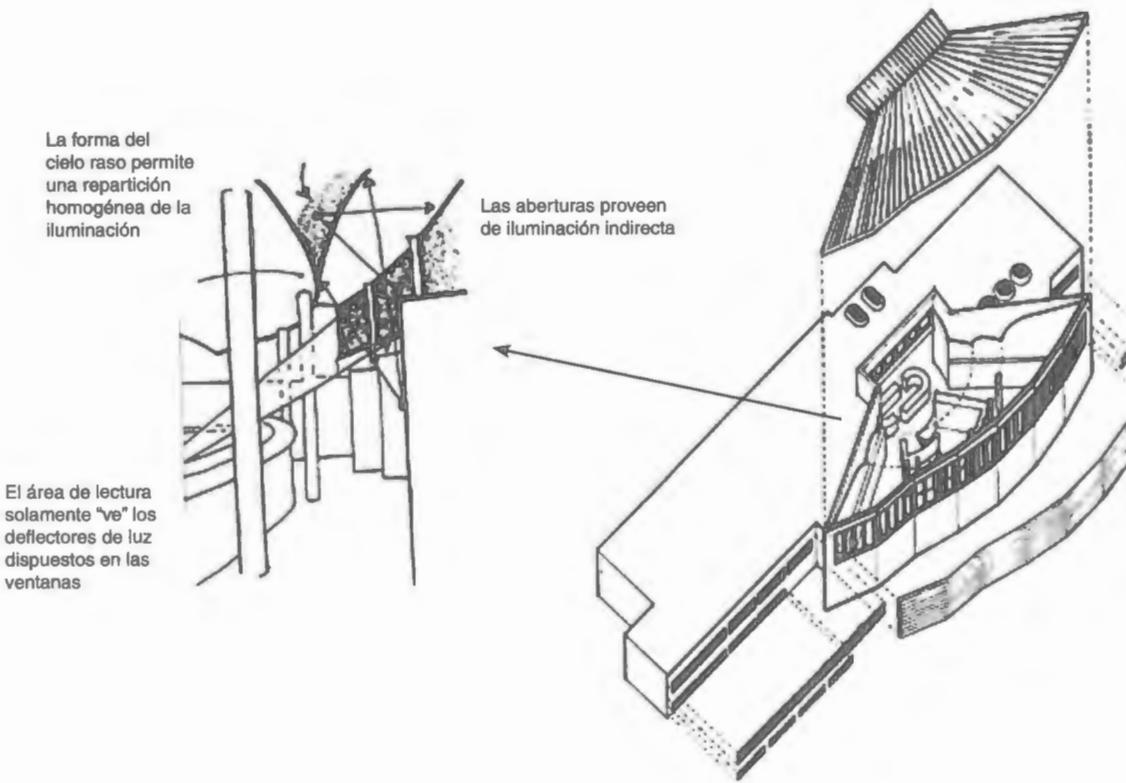


Interior del pabellón

<sup>9</sup> Comisión de Comunidades Europeas, "European reference book on daylighting".

**Alvar Aalto.** La iluminación natural era el primer parámetro de diseño de la mayoría de los edificios diseñados por este arquitecto finlandés. Las bibliotecas diseñadas por Aalto son los ejemplos más significativos en la aplicación de la iluminación en relación a su tamaño aparente y su posición conceptual. Dadas las condiciones atmosféricas de su país natal (se encuentra cercano al Círculo Polar), las horas-sol durante el año son pocas.<sup>10</sup>

La biblioteca Seinäjoki requería el máximo aprovechamiento de las horas iluminadas, es por ello que la planta tiene una gran abertura hacia el sur en la parte superior, la cual dispone de una serie de persianas horizontales (y diagonales) exteriores. El propósito principal de dichas persianas es aprovechar la incidencia del sol que en ocasiones son del orden de los 45°, lo que impide una penetración directa hacia las partes contrarias a la abertura; las persianas paralelas reflejan doblemente la luz hacia el interior. Como resultado se tiene que la gran ventana actúa como un difusor translúcido hacia las partes superiores (o cielo raso).



Biblioteca de Seinäjoki, Finlandia

10 Fuller Moore, *Concepts and practice of Architectural Daylighting*, (1998).

**REFERENCIAS Capítulo 1 :**

1, 7 Colli-Bianco, Adriano. "Etude de l'éclairage naturel des Batiments". Ed. LASH; FRANCIA, 1993.

2 Rutherford, Edward. "Sarum"

3, 8 Commission of the European Communities. "European Reference Book on Daylighting"

4 Beonar, Michael. "The new atrium"

5, 6 Fletcher, B.A. "A History of Architecture". Ed. 18th; USA, 1975

9 Moore, Fuller. "Concepts and practice of Architectural Daylighting".

Ed. Van Nostrand Reinhold; USA, 1989

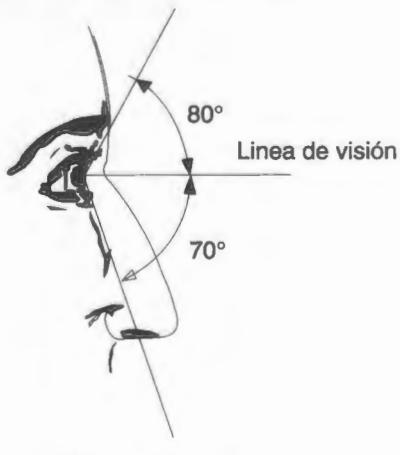
## 2. LA LUZ Y LA FISIOLOGÍA HUMANA

Para empezar a comprender los fenómenos físicos de la luz es necesario primero el conocer las repercusiones que tienen éstos sobre la fisiología humana, ya que dependiendo de ello se podrán determinar las condiciones de rendimiento visual de cada uno de los elementos de iluminación natural que se analizan posteriormente. Los parámetros aquí analizados pretenden que uno de los factores principales que se tomen en cuenta en el diseño arquitectónico sea el usuario de la misma, proporcionándole confort y propiciando el desarrollo de sus tareas visuales.

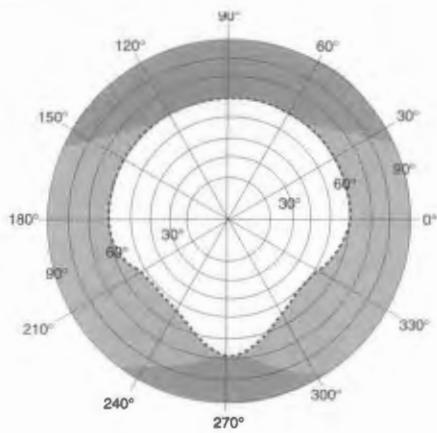
### La luz y el desarrollo visual

La luz es necesaria para que el sistema visual funcione. En términos psicológicos, la visión incluye el ojo y el cerebro. Como en la percepción del sonido, el sistema de interpretación es controlado no por un sensor aislado, sino por un conjunto de ellos. Hoy en día las opiniones acerca de cómo se trasmite esa información al cerebro son muy encontradas. A continuación se analiza el sistema visual y los parámetros relevantes del desarrollo visual: primero, la luz pasa a través de la abertura o pupila, que es un diagrama de colores llamado iris. El tamaño de la pupila está determinado por diferentes factores: la respuesta de la retina (como una retroalimentación), que depende de la calidad e intensidad de la luz disponible: la distancia a la que está enfocado el ojo; el espectro que distribuye la fuente de luz; la composición espectral de la misma y tal vez el estado de ánimo del ser humano.

Para evaluar el confort visual, es importante considerar la composición de la fuente de luz y la respuesta de la retina de la misma. Como es sabido, cuando la retina recibe poca luz el tamaño de la pupila aumenta; por el contrario, cuando la luz recibida es intensa, la pupila disminuye, funcionando como sistema de adaptación. El diámetro de la pupila varía de dos a ocho mm y estos diámetros producen un cambio efectivo de iluminación global de luz que llega a la retina que es de diez a uno. Por lo anterior se puede decir que el uso continuo de los músculos que controlan el tamaño de la pupila puede producir fatiga y por lo tanto el desarrollo visual se disminuye considerablemente. El tipo de variaciones extremas de las fuentes de luz en condiciones de trabajo no son recomendables.



Ángulo de visión



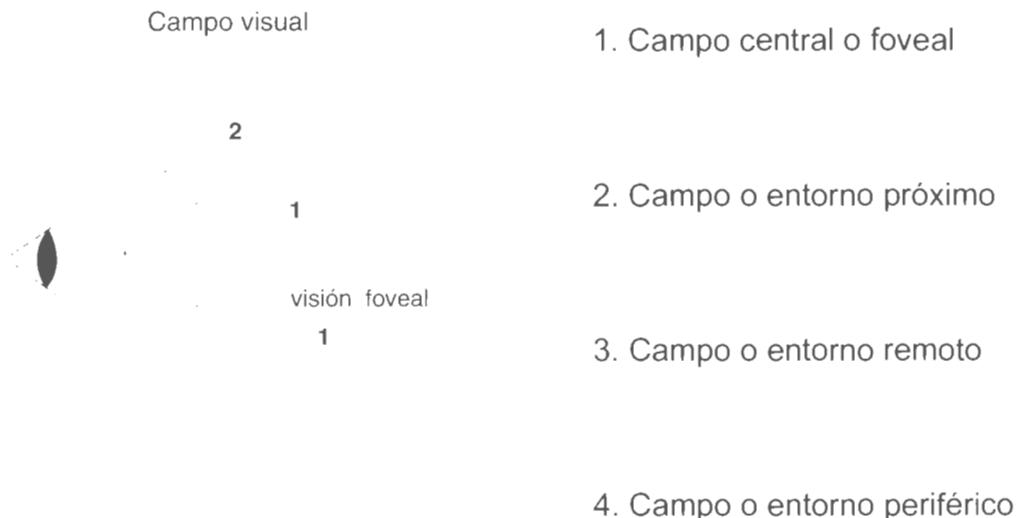
Campo visual

Por otro lado, la retina, al ser una superficie fotoquímicamente sensitiva, también contribuye al desarrollo visual. La retina tiene tres capas: una capa fotorreceptora, una capa de células bipolares y otra capa de células ganglion, que están conectadas individualmente al cerebro. Cuando se considera la interacción existente entre el ser humano y la luz, es necesario considerar el patrón de luminarias en el campo visual, pues el ojo no puede operar en diferentes rangos simultáneamente. El proceso de adaptación del sistema visual es la consideración primaria a tomarse en cuenta en el diseño del confort visual.

### Campo visual

El "confort visual" también está condicionado por la posición de los objetos. Para ser más prácticos, primero se expone en qué consiste el campo visual. Algunos autores lo expresan de la siguiente manera:

Los distintos campos de visión del hombre con sus ángulos correspondientes:



Cuando el ojo está adaptado a una cierta intensidad luminosa, las superficies con mayor iluminación aparecen como deslumbrantes y las menos iluminadas aparecen como sombras oscuras. El proceso de adaptación del sistema fotoquímico depende totalmente del tiempo; el desarrollo visual para realizar diversas funciones y el visualizar objetos depende no solamente del sistema de adaptación del ojo, sino también del contraste del objeto con la iluminación del ambiente.

## La función de la iluminación<sup>1</sup>

El ser humano tiene la tendencia de dar mucha importancia a la luz, ya que aproximadamente el 80 por ciento de la información que recibe viene de sus ojos. La visión no es una acción pasiva en respuesta a los objetos iluminados, sino una acción que procesa la información y enfocar en los detectores de luz de la retina del ojo. Esta información es almacenada y transferida a su vez a través del nervio óptico hacia el cerebro para su interpretación. La visión es por lo tanto dependiente de la luz y del sistema visual.

La cantidad y la calidad de la luz que recibe el ojo humano tiene una influencia directa en la manera de cómo se ven las cosas. Los grandes arquitectos (como ya se mencionó anteriormente), incluyendo los diseñadores del Partenón, de los emplazamientos arqueológicos mayas, los constructores de las catedrales góticas, así como los arquitectos del presente siglo, han comprendido el impacto que tiene la luz natural y su importancia al desarrollar los ambientes adecuados para el hombre. Si bien la luz natural y la artificial tienen sus características individuales y diferentes atributos cualitativos, la luz en general puede ser utilizada en condiciones arquitectónicas. Así como el empleo del tabique, el acero, la piedra y el concreto, la luz no debe emplearse como simple elemento decorativo, sino como parte estructural de la arquitectura.

En términos de luz, puede decirse que el confort lumínico se logra cuando el ojo humano está en condiciones de leer un libro u observar un objeto fácil y rápidamente sin distracciones y sin ningún tipo de estrés. Los parámetros a considerar para obtener confort visual son principalmente el de una adecuada iluminación, así como la limitación del deslumbramiento y las consideraciones subjetivas de un adecuado esquema de color y, en el caso del diseño de la luz natural, evitar interiores oscuros y procurar proveer de las formas y tamaños adecuados de ventanas para mantener el contacto con el mundo exterior.

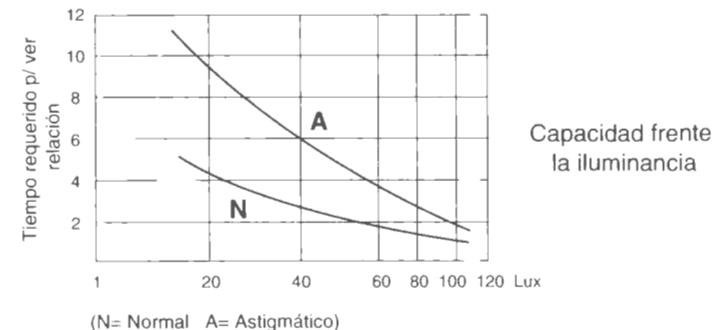
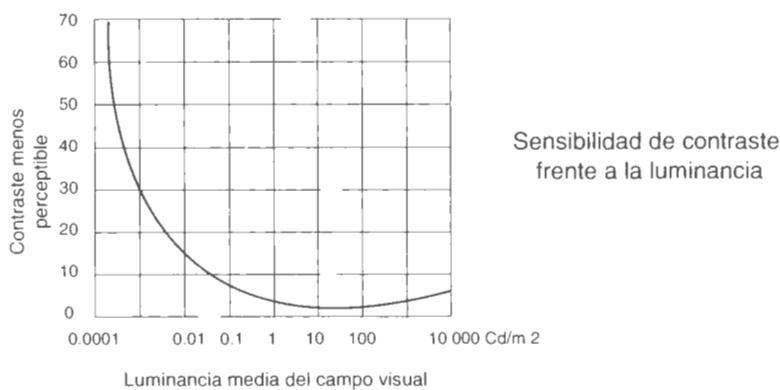
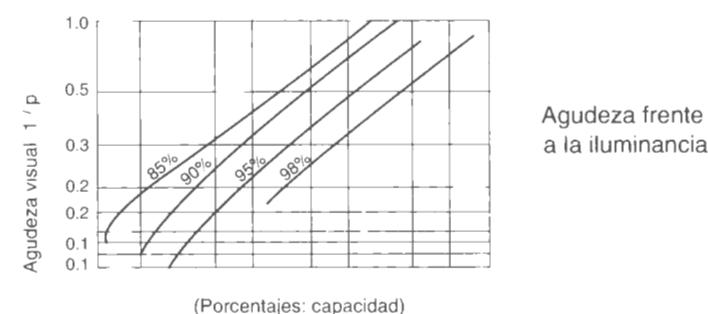
Cabe la posibilidad que al encontrar el criterio adecuado de iluminación y la eliminación de deslumbramiento, éste sea contradictorio con los requerimientos de otra índole, como es el caso del confort térmico o el confort acústico. Es tarea del arquitecto considerar todas las variables de impacto, incluyendo ganancias solares, acústica y calidad de aire, evaluando sus niveles de alteración y su interrelación con otros, con lo que es factible decidir las prioridades del espacio que se está diseñando. Lo anterior debido a que no es lo mismo diseñar un espacio de estudio que uno de reposo, por lo que la escala de prioridades se moverá en una u otra parte.

<sup>1</sup> Fuller Moore, *Concepts and practice of architectural daylighting*.

Por lo tanto, la luz no solamente puede hacer visible las cosas; puede también contribuir a crear impresiones agradables en el ser humano acerca de los espacios interiores, dándole un carácter o atmósfera. La luz también puede considerarse dentro de los campos fisiológico y biológico, al brindar el esencial buen desarrollo de los ocupantes de las edificaciones. Este buen desarrollo se verá también influenciado por los efectos no visibles de la luz que repercuten en la estimulación cerebral, la orientación y el equilibrio. Un ambiente adecuadamente iluminado no depende únicamente de la labor del diseño lumínico, sino también de los efectos en cada uno de los elementos y sus ocupantes.

### Rendimiento visual o eficacia visual <sup>2</sup>

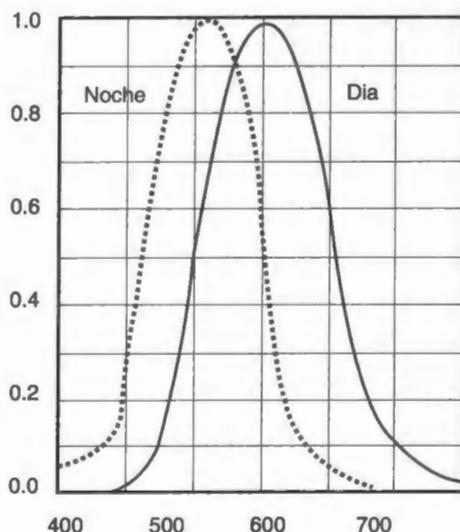
Los objetivos de la iluminación son muy variados, como ya se ha visto en el presente apartado, sin embargo a continuación se exponen los parámetros a considerar para facilitar la visión, asegurar el “confort visual”, crear diferentes ambientes lumínicos y obtener sensaciones variadas. Se presentan tres aspectos principales a considerar: agudeza visual, capacidad visual y contraste, para obtener los objetivos señalados.



### Curvas de sensibilidad espectral

Es obvio que la sensibilidad del ojo humano varía según la cantidad de iluminación los colores que es capaz de percibir durante el día y la noche, de ahí la importancia de considerar los diferentes métodos para conseguir una iluminación óptima. Como es ya conocido, el ojo humano durante la noche pierde la capacidad de ver los colores cálidos (rojos y amarillos) y sólo identifica los colores fríos (azul y violeta).

En caso de que las actividades a realizar requieran una definición de color muy precisa, la iluminación artificial debe estar diseñada para este fin. Con lo referente a la iluminación natural, se debe realizar el diseño con respecto a la dimensión, la posición y la proporción de las ventanas para obtener la adecuada calidad y cantidad en la iluminación.

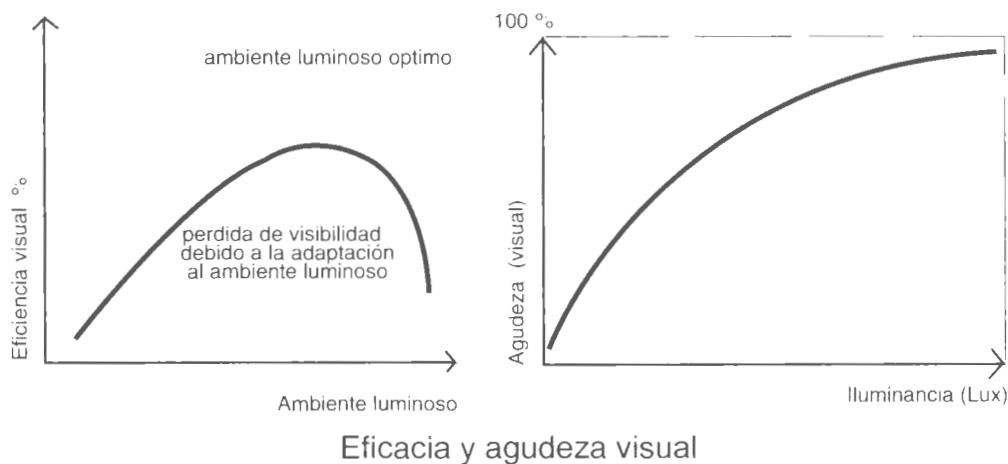


Curvas de sensibilidad espectral relativa al ojo

### Percepción visual y confort<sup>3</sup>

Como es sabido, el propósito principal de un buen diseño lumínico es el de crear ambientes bien iluminados donde sea factible el buen desarrollo visual sin fatiga de la vista. La importancia de estas consideraciones depende asimismo de la función o tarea visual que se va a desarrollar en el espacio diseñado. No es lo mismo el diseño para una biblioteca que el de un taller orfebre o el de un local de ventas. En las investigaciones de iluminación surgieron las necesidades de buscar nuevas alternativas energéticas al impacto creado por la crisis de los hidrocarburos de la década de los ochenta. La viabilidad de facilitar las actividades visuales como las de leer un libro o realizar una tarea de gran agudeza visual pueden ser desarrolladas. Existen numerosos parámetros y tablas que indican los límites máximos, mínimos y recomendables de la iluminación requerida para las diferentes tareas específicas.

El grado de medición o la medición de la tarea visual está generalmente determinada por la visibilidad de lo más pequeño o del detalle más difícil de ser reconocido. También es importante determinar el grado de contraste que esto tiene con el ambiente inmediato, la disponibilidad del tiempo de luz para desarrollar la tarea en cuestión y las capacidades del sistema visual.



Existen también otros factores que pueden perturbar el nivel de confort visual deseado; las reflexiones de otros elementos arquitectónicos y el grado de deslumbramiento que provocan influyen decisivamente en el desarrollo visual. Aunque es muy difícil determinar los efectos de los sistemas de iluminación en la productividad, sí puede hacerse una aproximación de los parámetros a utilizar. Varios experimentos han sido realizados en condiciones simuladas, alejándose de lo concerniente a la iluminación natural. De los experimentos realizados, el de la Commission Internationale d'Eclairage (CIE) y los de la Illuminating Engineering Society (IES) son los más aceptados dada la seriedad de sus investigaciones.

3 R. G. Hopkinson *The lighting of buildings* (1969).

### Aspectos cualitativos y cuantitativos <sup>4</sup>

**Aspectos cualitativos.** La luz natural es la fuente luminosa de referencia a la que el ojo humano está adaptado en el transcurso de su crecimiento. Numerosos estudios muestran que dicha fuente en el periodo de la infancia es indispensable para su desarrollo y el control del equilibrio físico y psicológico del hombre. Así como la luz tiene la facultad de iluminar un espacio, es también necesaria para describir cierto número de información cualitativa. Por otra parte, la conjunción de una temperatura de color elevada (6000 a 20000 °K), y de un espectro continuo permiten a la luz natural procurar un rendimiento de los colores, que en comparación con la iluminación artificial difieren de las diversas tonalidades reales.

**Necesidades cualitativas.** Como se sabe, el nivel de iluminación no es el único criterio del confort visual; la homogeneidad de la luz, su dirección y su disponibilidad de crear sombras o contrastes son algunos de los factores que se deben tomar en cuenta para matizar los ambientes lumínicos de un espacio.

Es generalmente reconocido que al interior de un espacio la luz natural es un factor importante de la calidad de vida y satisface nuestras necesidades sociales al asegurar el contacto con el mundo exterior. No existe en la actualidad ningún dispositivo artificial que pueda igualar en calidad a la iluminación natural. Aunque se han creado sistemas artificiales para acelerar el proceso natural en ciertos animales requeridos en la industria alimentaria, se puede comprobar que la calidad del producto es inferior a uno producido en condiciones normales.

Por otro lado, dentro del ámbito arquitectónico la iluminación natural permite dar un valor cualitativo a los espacios dependiendo de la manera como penetras creando efectos de degradación o focalización visual y si se requiere creando sensaciones de intimidad o de abertura hacia el exterior, satisfaciendo así otras aspiraciones estéticas, fisiológicas y psicológicas.

El color, por su parte, puede proporcionar con la ayuda de la luz efectos distintos. Esto es comprobable en las diferentes culturas de las diversas latitudes del planeta: en latitudes elevadas son preferidos los tonos pastel debido a las pocas horas de radiación solar que se reciben durante el año, no así en latitudes cercanas a los trópicos y al ecuador donde las preferencias se inclinan más hacia las tonalidades acentuadas.

<sup>4</sup> Bernard Paule, *Maîtrise de l'éclairage naturel* (1988).

Aspectos cuantitativos. La iluminación natural de la que se puede disponer, proveniente directamente del sol o del cielo, tiene un poder de considerable importancia. Como ejemplo se puede afirmar que en la zona metropolitana de Guadalajara se puede contar con 10 mil lux de iluminación libre horizontal durante el 90 ciento del horario diurno en promedio; en espacios internos, donde se requieren de un promedio de 300 a 600 lux sería suficiente para realizar actividades visuales, secundarias, esto es, solamente los trabajos que requieren de gran desarrollo visual como en un taller orfebre, requerirían de iluminación artificial de apoyo. Esto evidentemente dependerá también de otras condiciones, como los niveles de reflexión de las superficies, así como el número de éstas que aportan reflexión hacia la abertura del espacio en cuestión.

*Necesidades cuantitativas.* Desde el punto de vista de su capacidad de adaptación, el ojo humano es un instrumento de presión con posibilidades formidablemente extensas. Por ejemplo, el sol puede proporcionar directamente iluminación del orden de los 100 mil lux. Por el otro extremo, el ámbito nocturno sólo puede contar con la iluminación natural de la luna llena que apenas llega al orden de 1 lux. En los dos casos, el ser humano tiene las facultades visuales (considerando lo normal) para distinguir su ambiente inmediato.

Como ya se mencionó, una iluminación natural del orden de los 300 a los 400 lux es considerada como suficiente para procurar un nivel de confort aceptable para la mayoría de las actividades visuales terciarias, pero son necesarios (según la CIE) 400 lux sobre un plano de trabajo dentro del un espacio de uso escolar y esto también dependerá de la ubicación de dicho plano de trabajo con respecto a la abertura, puesto que los índices de iluminación obtenidos a más de seis metros de la abertura más cercana son insuficientes.

### Deslumbramiento y confort

Es conocido el hecho de que la presencia de altos niveles de contrastes de iluminancia en el campo visual puede llegar a causar confort por deslumbramiento y en algunos casos especiales reduce la visibilidad en lo que es también llamado "incapacidad por deslumbramiento". Como ya se ha explicado anteriormente en el funcionamiento del sistema visual, el ojo puede ver disminuida su capacidad si se produce una fuerte intensidad luminosa que produce a su vez un velo luminoso en la imagen retinal del objeto observado. El sistema de adaptación visual actúa con lentitud, lo cual produce una sensación de confort. Por otro lado, el espectro del deslumbramiento no reduce la visibilidad, pero el mencionado confort se produce por el excesivo contraste producido por las variaciones lumínicas a través del campo visual.

Pocos autores han estudiado los niveles del confort producido por deslumbramiento. El más aceptado en la actualidad es el llamado *Glare Index* (índice de deslumbramiento). Aunque los cálculos para obtener este índice son complejos, introduce las variables más notorias de este fenómeno:

- La iluminancia del cielo vista a través de una ventana  
(la ventana más larga, el índice mayor).
- El tamaño aparente del área visible del cielo  
(el área mayor, el índice mayor).
- La posición del cielo visible dentro del campo visual  
(lo más cercano al centro visible, el índice mayor).
- El promedio de luminancia del espacio excluyendo el cielo visible  
(el espacio más oscuro, el índice mayor).

A parte de los niveles inadecuados de iluminación, el confort por deslumbramiento es el más común de los fenómenos que influyen en los espacios interiores destinados a tareas específicas. Los resultados de varias investigaciones acerca del confort por deslumbramiento coinciden en que la magnitud de la sensación de deslumbramiento está directamente relacionada con la iluminancia de la fuente de deslumbramiento y su tamaño aparente visto por el observador, ya que entre mayor sea la iluminación del ambiente interior, menor será el nivel de confort.

Existen varias fórmulas analíticas para determinar la sensación de confort. La mayoría coincide en afirmar que los parámetros principales que intervienen en dicha sensación son los siguientes:

$$\text{Sensación de deslumbramiento} = \frac{\frac{(\text{Iluminancia de la fuente de deslumbramiento})^m}{(\text{Ángulo de incidencia de la fuente en el ojo})^n}}{\frac{(\text{Iluminancia del ambiente})^x}{(\text{Desviación de la fuente desde la línea visual})^y}}$$

Donde **m**, **n**, **x**, **y** son exponentes que varían según el tipo de estudio, dependiendo del país y las organizaciones (IES, CIE).

Los índices de desconfort de deslumbramiento producido por luz natural varían levemente entre las distintas organizaciones que lo han estudiado.<sup>5</sup> Las dos más conocidas son la Illuminating Engineering Society (IES) y la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Dichos parámetros se presentan aquí para su comparación:

COMPARACION DEL INDICE DE DESLUMBRAMIENTO DEL I.E.S. (para luz eléctrica) Y EL INDICE DE DESLUMBRAMIENTO DE LA C.I.E. (luz natural) PARA SIMILARES CRITERIOS DE DISCONFORT		
CONFORT	INDICE DISCONFORT I.E.S.	INDICE DISCONFORT C.I.E.
- Imperceptible	10	16
	13	18
- Aceptable	16	20
	19	22
- Discomfort	22	24
	25	26
- Intolerable	28	28

Estos números son aplicables cuando se evalúan conforme al lugar específico de estudio y las horas laborables que se contemplan durante el día (luz natural):

ILUMINACION LIBRE HORIZONTAL	PORCENTAJE DE LOS PERIODOS LABORABLES ANUALES	REDUCCION DEL INDICE DE DESLUMBRAMIENTO
28.000	25	0.0
20.000	38	0.5
15.000	54	1.5
10.000	68	2.5
5.000	87	4.0

Como ya se mencionó anteriormente, la reflectancia de las superficies del ambiente inmediato tienen una influencia directa en el nivel de deslumbramiento causado; pero el efecto mayor es el producido por la iluminancia del cielo visto a través de la ventana. Todo lo anterior determinará, junto al análisis de los niveles aceptables de iluminación, los parámetros de confort necesarios para formular las recomendaciones y normativas edificatorias resultantes de los estudios en modelos físicos de los siguientes capítulos.

5 Rafael Mur Soteras. *Geometría natural e iluminación natural* (1982).

**REFERENCIAS Capítulo 2 :**

- 1 Moore, Fuller. "Concepts and practice of Architectural Daylighting"
- 2 Commission of the European Communities. "European Reference Book on Daylighting"
- 3 Hopkinson, R. G. "The lighting of buildings"
- 4 Paule, Bernard. "Maitrise de l'eclairage naturel"
- 5 Mur Soteras, Rafael. "Geometria natural e iluminación natural"

### 3 GEOMETRÍA DE LA LUZ

Para lograr un adecuado diseño lumínico es necesario traducir a términos geométricos la distribución de la luz en el espacio. Los ángulos de proyección de altura y azimut son aplicables a la arquitectura sin importar la escala a la que se esté refiriéndo; es por ello que los resultados de los análisis posteriores de maquetas en ambientes simulados son aplicables en casos reales.

La proyección estereográfica es la herramienta básica para este tipo de análisis, lo cual deberá tomarse en cuenta en otro tipo de estudios, como el de la incidencia solar para el caso de los análisis bioclimáticos.

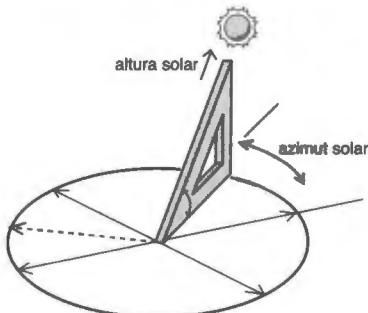
#### El factor de luz diurna

Es de todos conocido el hecho de que la disponibilidad de la luz natural depende de la cantidad de radiación solar incidente en una superficie dada (según su orientación). Para analizar lo anterior se puede decir que la cantidad total de luz natural recibida en una área determinada tiene tres componentes:

- La luz directa del sol.
- La luz directa del cielo, como resultado de su difusión por los gases de la atmósfera.
- La luz de ambos componentes reflejada en las superficies aledañas.

Y a los interiores se añadiría otro componente, que sería el de la luz reflejada en las superficies interiores. Rafael Mur define el término de "luz diurna" (*daylighting*) a la recibida en total excluyendo la "luz del sol" (*sunlighting*). Esto también es válido en el estudio que se pretende realizar, ya que por las condiciones climáticas de regiones semitempladas, conviene excluir la incidencia solar directa en las aberturas en casi la mayoría de las orientaciones.<sup>1</sup>

El periodo de tiempo durante el cual es factible obtener la luz natural necesaria para satisfacer los requerimientos, puede ser determinada mediante el gráfico de Dresler, el cual contiene en las abscisas las diferentes latitudes norte o sur y en las ordenadas los varios niveles de iluminación libre horizontal en lux (a manera de curvas). Este gráfico aceptado ampliamente por la CIE establece también los porcentajes durante los cuales es posible obtener los niveles de iluminación deseados en un día laborable.



Parámetros geométricos de la incidencia solar

<sup>1</sup> Mur Soteras, Rafael. "Geometría natural e iluminación natural"

Como en el anterior ejemplo, en una latitud de  $20^{\circ}$  N se obtendrían fácilmente, durante el 90-95 ciento del día laborable, altos niveles de iluminación (9 mil a 13 mil lux), lo cual determina a su vez el factor de luz diurna, lo que se analiza en el siguiente apartado. El gráfico de Dresler está basado en condiciones de tiempo y climas promedios. De existir años más secos y otros más húmedos, es obvio que estos valores son solamente una guía de diseño y no valores absolutos que de cualquier forma no servirían para un adecuado diseño lumínico. En una latitud correspondiente a un clima semitemplado los niveles de iluminación natural disponibles son del orden del 90 al 95 ciento en horas de trabajo normales.

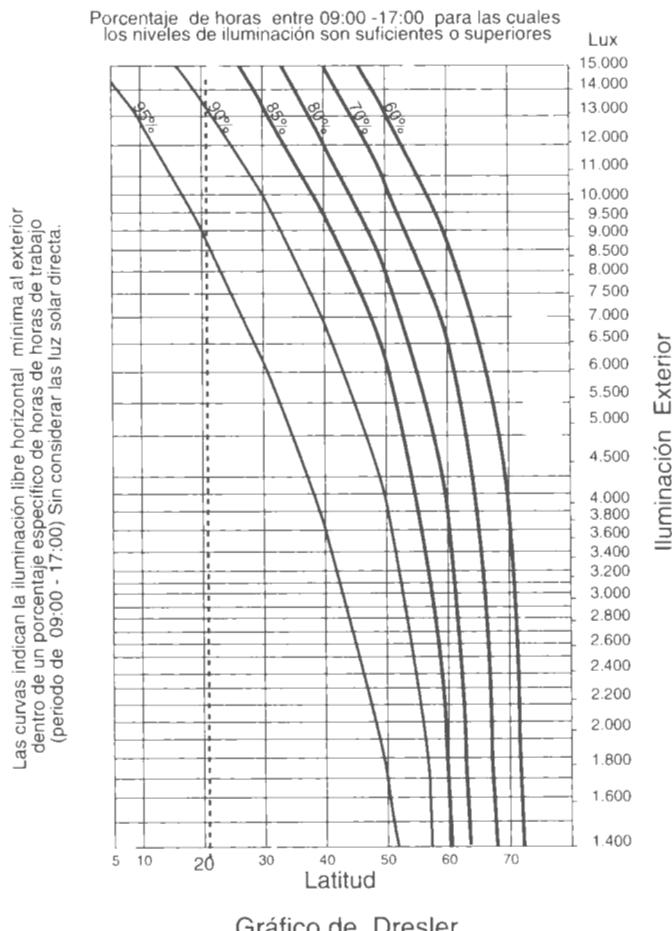


Gráfico de Dresler.

De los autores consultados, la mayoría hacen referencia a la CIE para definir el concepto de factor de luz diurna (FLD), el cual se podría definir como la iluminación de luz diurna, medida en un punto situado en un plano determinado, debida a la luz recibida directa o indirectamente desde un cielo de supuesta o conocida distribución de iluminación; o bien, de manera más simplificada, como la iluminación sobre un plano horizontal que goce de total visión libre de ese cielo.

Como se mencionó antes, el concepto de luz solar directa queda excluida de las definiciones anteriores. En otras palabras, el factor de luz diurna (FLD) es la relación (expresada en porcentaje) entre la fracción de iluminación interior y el total de la exterior. Para efectos de estudios del FLD en espacios arquitectónicos, es necesario considerar que el porcentaje dado se referirá directamente a la eficacia del recinto; de la iluminación total exterior, se tomará en cuenta qué cantidad o porcentaje será aprovechable en el interior.

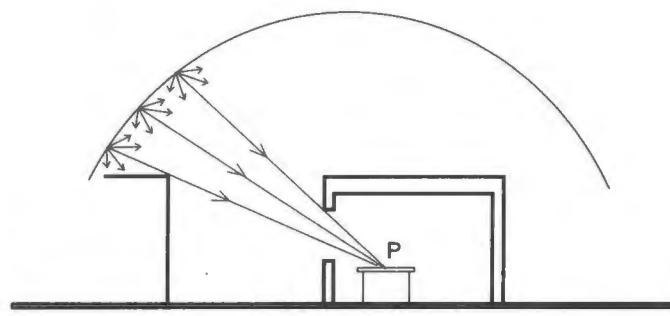
Asimismo se mencionó en el anterior apartado, la importancia que tiene el nivel de iluminación del interior para reducir el impacto dado por el deslumbramiento (nivel de adaptación del ojo). El factor de luz diurna se compone de tres partes:

- La componente celeste (directa) – Ec
- La componente reflejada exterior – ER
- La componente reflejada interior – Er

Componente celeste o componente directa del FLD. Se refiere a la razón expresada en porcentaje entre:

-Aquella parte de la iluminación de luz diurna medida en un punto situado en un plano dado, debida a la luz recibida directamente desde un cielo de supuesta o conocida distribución de iluminancia; y

-La iluminación simultánea sobre un plano horizontal que goce de la total visión libre de este cielo (iluminación libre horizontal).

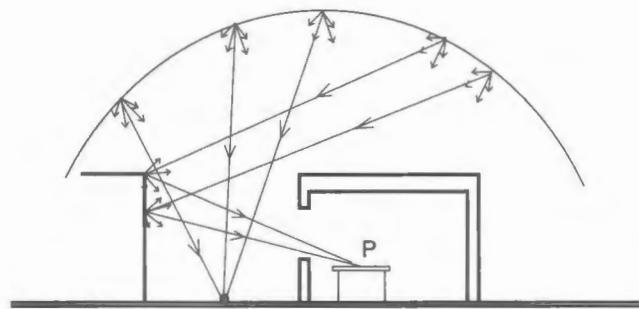


Componente celeste (o directa) Ec

Componente reflejada exteriormente del FLD. A su vez se refiere a la razón expresada en porcentaje entre:

-Aquella parte de la iluminación de luz diurna medida en un punto situado en un plano dado, debida a la luz recibida directamente desde superficies reflectoras externas, iluminadas directa o indirectamente por un cielo de presunta o conocida distribución de iluminancia; y

-La iluminación simultánea sobre un plano horizontal que goce de la total visión libre de este cielo.

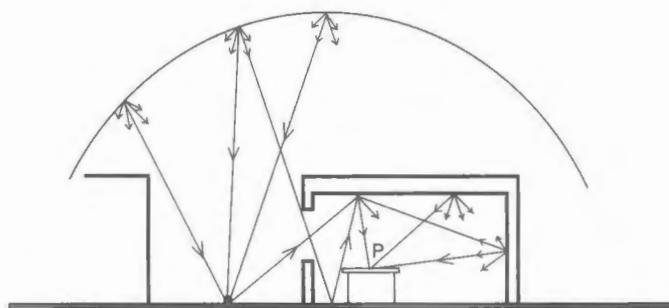


Componente reflejada exterior ER

*Componente reflejada interiormente del FLD.* Asimismo, esta componente se refiere a la razón expresada en porcentaje entre:

-Aquella parte de la iluminación diurna medida en un punto situado en un plano dado, debida a la luz recibida de las diferentes superficies reflectoras internas, iluminadas directa o indirectamente por un cielo de presunta o conocida distribución de iluminancia; y

-La iluminación simultánea sobre un plano horizontal que goce de la total visión libre de este cielo.



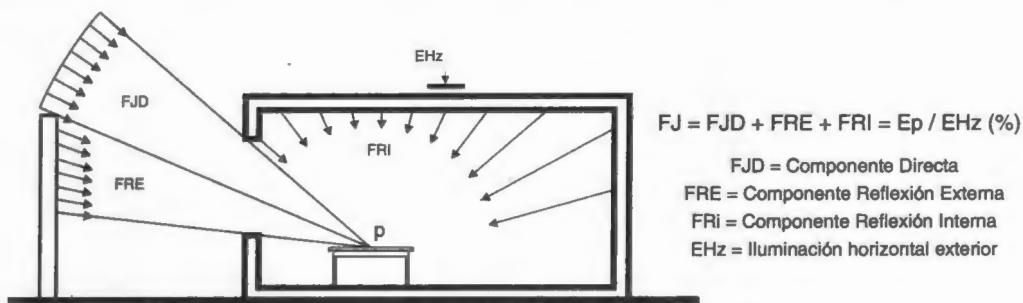
Componente reflejada interior Er

Todos estos parámetros determinarán los índices recomendables de iluminación para espacios arquitectónicos donde se desarrollan diferentes actividades. Los autores difieren a la hora de establecer los límites recomendables de iluminación; los niveles mínimos casi siempre dan valores muy elevados de los niveles necesarios. Por otro lado, las recomendaciones de iluminación media no son prácticas, ya que dicha media se alcanzaría en determinadas horas del día. Para efectos de su aplicación en normativas edificatorias, las recomendaciones (ya expresadas en el anterior apartado) resultantes de la gráfica de Dresler, consideramos son las más apropiadas, ya que establecen el porcentaje del día contemplado anualmente y además puede determinarse con antelación la latitud a la que se refiere el estudio.

La normativa moderna para el cálculo de la iluminación natural recomienda la utilización de la siguiente fórmula para determinar el FLD. Los valores del FLD y los niveles recomendados de iluminación están relacionados con el valor de 10 mil lux, tomado como constante.

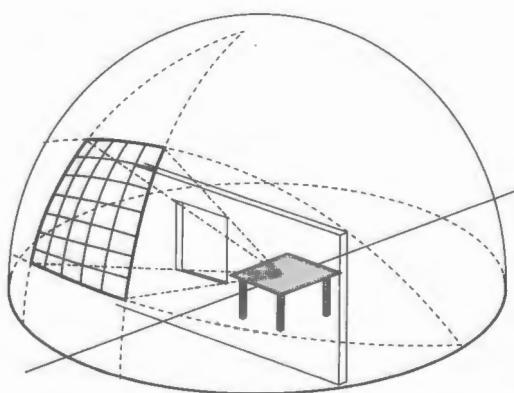
$$FLD = \frac{\text{NIVEL NECESARIO DE ILUMINACIÓN}}{50} \%$$

Como ya se vio anteriormente, mediante el gráfico de Dresler se elige el FLD requerido para las diferentes actividades visuales en función de la iluminación necesaria para la misma, la latitud del lugar y el porcentaje del horario diurno que se quiera determinar.



El Factor de Luz Diurna (FLD) depende del porcentaje de cielo visto desde una abertura.

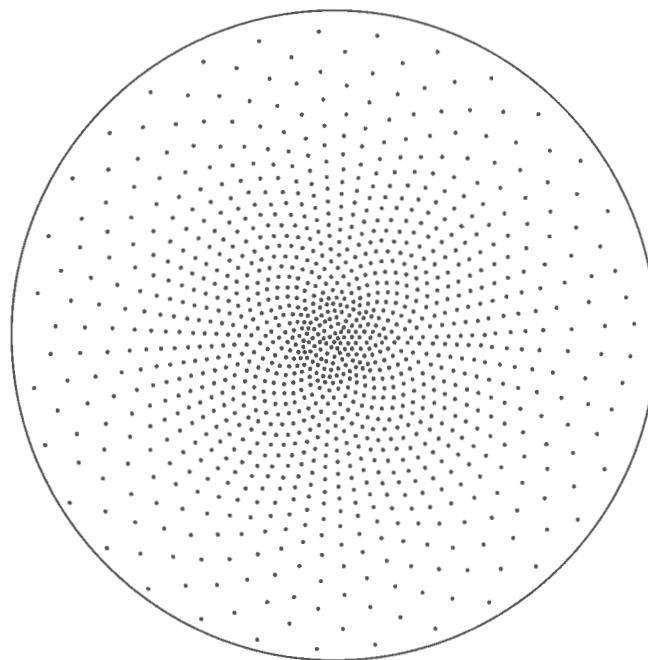
Esto es también determinable mediante la utilización de la gráfica *pepper pot* (puntos de pimienta), la cual reduce a un punto cada una de las mil superficies celestes con una relativa equiluminación. Esto da como resultado un cielo uniforme con mil fuentes puntuales con igual poder de iluminación en un plano horizontal. Esta gráfica no tiene orientación, por lo que su utilización indistinta será considerada de acuerdo al impedimento de la incidencia solar directa, así como de los requerimientos de climatización para lograr una armonía en el confort ambiental.



Porciones de cielo de igual poder de iluminación vista desde un punto del plano de trabajo.

Los puntos forman las superficies equiluminosas y su situación es alternada, dependiendo de su posición en altura. Esto se realiza para que los errores de lectura que se dan por defecto se vean compensados por otros de igual poder de iluminación.

Este modelo estático de distribución de iluminancia a un cielo uniforme (tipo 3 de la CIE) está sin ninguna variable azimutal y, como ya se mencionó, sin orientación determinada en su proyección estereográfica. El número de puntos que se apantallan por un extremo es prácticamente igual al que aparece en la abertura del cielo "visto" si la gráfica se gira indistintamente sobre su propio centro, manteniéndose constante la lectura del diagrama en el cielo que no tiene obstáculos.



Gráfica de "cielo uniforme" con 1000 puntos equi-luminosos.

El diagrama de cielo uniforme es al más adecuado para determinar el factor de luz diurna (FLD) que se tiene en un espacio. Esto es válido si no se cuenta con instrumentos de medición o no se realiza un análisis más exhaustivo sobre modelos físicos en ambientes simulados.

### Proyección estereográfica

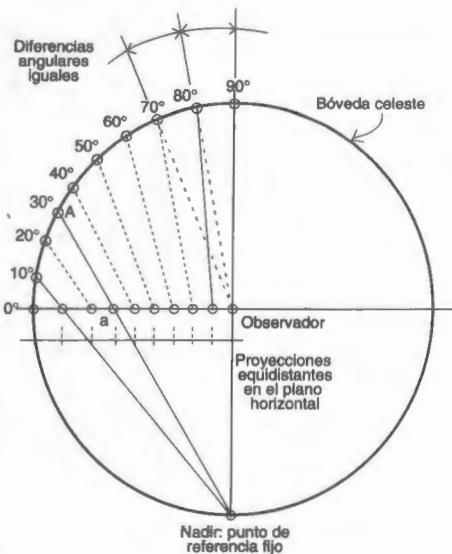
Para la aplicación de la gráfica anterior, se hace necesaria su implementación con respecto a la proyección estereográfica, que es una herramienta de diseño muy eficaz que permite conocer las características geométricas del movimiento aparente del sol en cualquier lugar de la tierra, así como de cualquier momento y hora del año. Las características geométricas que arriba se mencionan se pueden dividir basicamente en dos:

-Altura solar (h). Que se define como el ángulo formado por el rayo solar y su proyección sobre el plano horizontal.

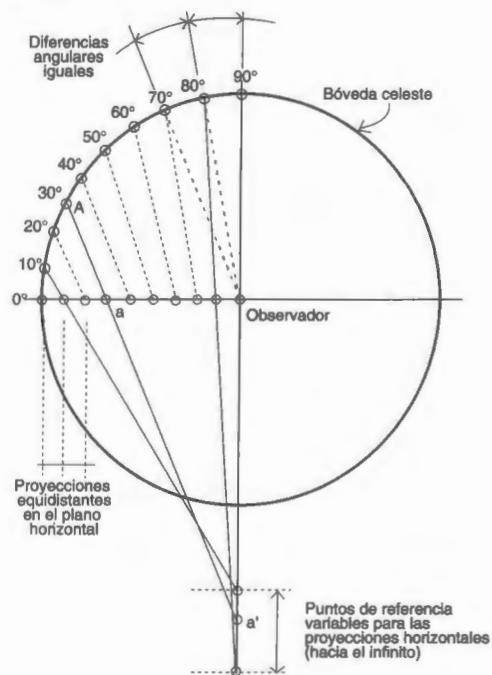
-Azimut solar (a). Que es el ángulo formado por la proyección del rayo solar en el plano horizontal y su intersección con el plano meridional (línea norte-sur), medido a partir de la misma, ya sea desde el sur o desde el norte indistintamente.

Para la proyección cónica de cualquier cuerpo sobre un plano, se debe elegir un punto en el espacio, que es el centro de proyección también llamado foco o punto de fuga. A partir de cada uno de los puntos que componen el cuerpo se trazan visuales o proyecciones convergentes al centro de la proyección insertándose en el plano antes mencionado. Las intersecciones que resultan son la proyección del cuerpo sobre el plano visto.

Al igual que la arquitectura, la proyección estereográfica se vale de posiciones geométricas en el espacio; es por ello que se insiste en su utilidad para el diseño ambiental adecuado. En el desarrollo del presente trabajo se utilizará la gráfica estereográfica debido a que sus proyecciones se acercan más a la realidad en métodos fotográficos, como se verá más adelante.



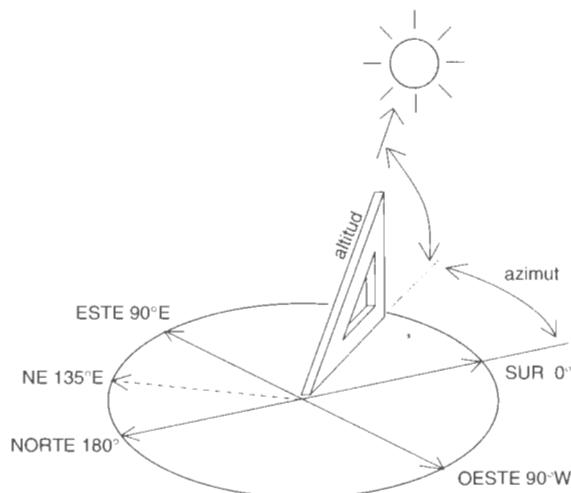
Sistema de proyección estereográfica



Sistema de proyección equidistante

Para el estudio de las condiciones de iluminación natural disponibles es necesario conocer el nivel de obstrucción que se tiene de la bóveda celeste visible. La posición del sol en el cielo puede ser determinada mediante el ángulo de altitud (ángulo vertical sobre el horizonte) y su ángulo de azimut (ángulo horizontal, este u oeste con respecto al sur).

Los ángulos de azimut y altura solar están en función de la latitud a la que se está refiriendo, así como al día del año y la hora solar del mismo.

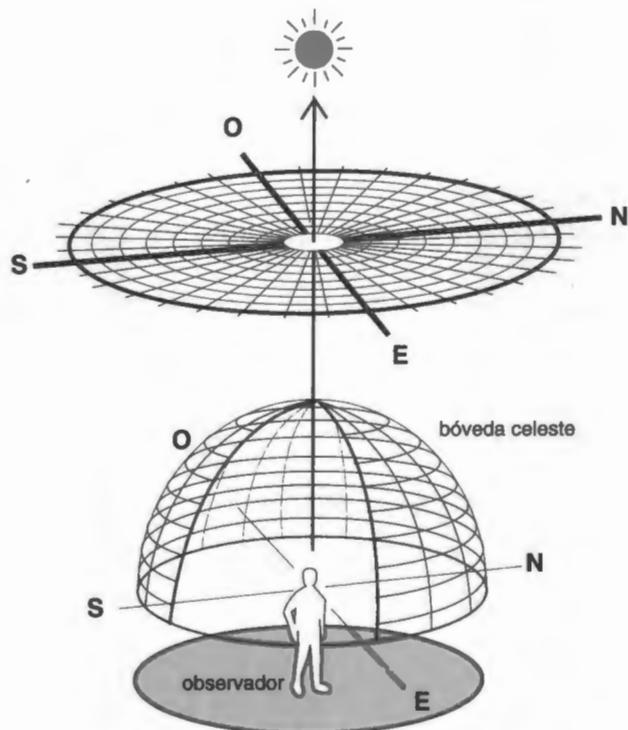


Ángulos de azimut y altura solar

Cabe mencionar nuevamente (ya que se presta a confusión) que al estudio del movimiento del sol se denomina “aparente”, ya que como es sabido, las proyecciones solares son producto de los movimientos de rotación y traslación del planeta Tierra alrededor del sol.

Estos “movimientos” aparentes del sol pueden ser visualizados mediante una serie de patrones trazados en la bóveda celeste. Esta representación tridimensional, para que sea aplicable en términos arquitectónicos, debe ser traducida a su vez en representaciones bidimensionales. La manera más sencilla de realizar esto es trazar el plano de proyección de la bóveda, como se muestra en la siguiente figura. Al ser dicha proyección equidistante, los ángulos de altitud solar están dispuestos en distancias iguales sobre el plano. La proyección equidistante (como se verá más adelante) será la herramienta de mayor utilidad para determinar los niveles de sombreado necesarios en las diferentes orientaciones de las aberturas, así como de los niveles de iluminación natural disponibles en el interior de los espacios.

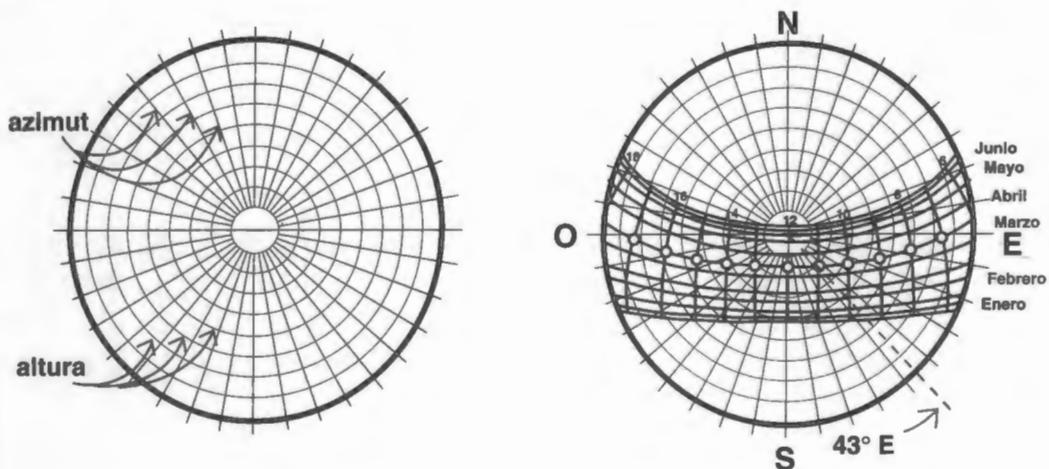
La aplicación de los datos climáticos procesados en la gráfica solar determinará a su vez las horas del día, así como de la temporada donde se requerirán estrategias de control solar en las diferentes fachadas de las edificaciones.



Proyección equidistante de la bóveda celeste

Asimismo, la gráfica solar auxilia en determinar el nivel de obstrucción existente en el sitio de análisis. Esto será un factor importante puesto que en las temporadas templadas será necesaria la incidencia solar directa en las orientaciones al sur debido a la inclinación del sol hacia este punto.

La gráfica solar de proyección estereográfica está representada en ángulos de azimut y altura solar (como se ilustra en la siguiente gráfica), lo que servirá para determinar la posición exacta del sol en las diferentes horas solares del año. Las curvas del recorrido solar anual están divididas en dos partes, el primer semestre del sur hacia el norte, y el segundo en sentido contrario.<sup>3</sup>



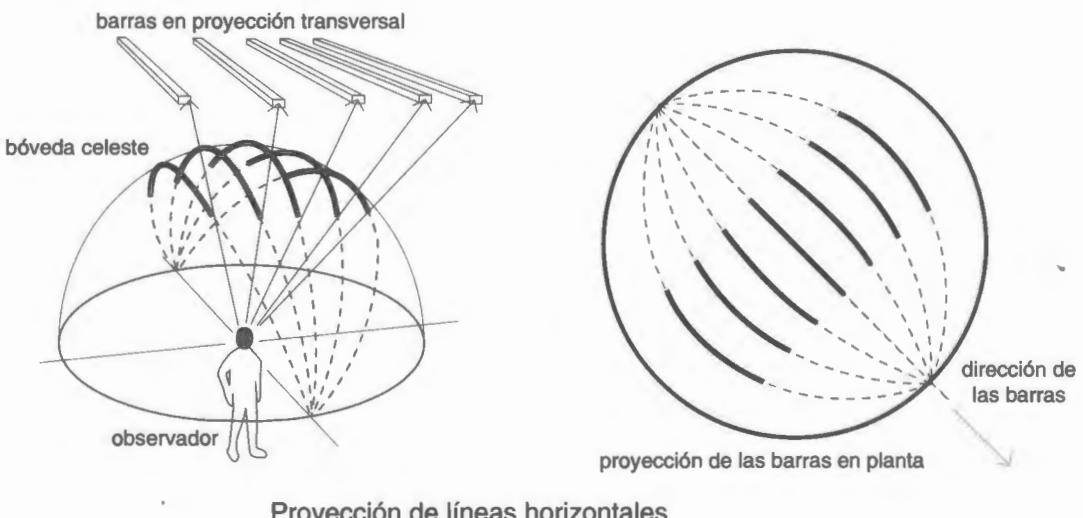
Componentes de la gráfica solar

<sup>3</sup> Olgay y Olgay, *Solar Control and Shading Devices* (1992).

### Mascarilla de protecciones <sup>4</sup>

Utilizando este mismo tipo de proyecciones esféricas, es posible determinar la posición del sol en los diferentes instantes del año y del día. El diagrama de protecciones define la porción del cielo (bóveda celeste) que está obstruida por medio de dispositivos de control dispuestos para tal fin en las aberturas. Utilizando correctamente la gráfica solar antes señalada, es posible determinar las horas de las diferentes temporadas en las que se requiere proteger de la incidencia solar directa.

*Proyecciones horizontales.* Para explicar las estrategias de sombreado, es necesario entender el tipo de proyecciones al que se está refiriendo. En la gráfica inferior se explica la proyección resultante de una serie de barras dispuestas de manera horizontal en la parte superior de un supuesto observador. Las proyecciones resultantes hacia dicho observador (situado en el centro de la bóveda celeste) tendrían forma de "gajos de naranja", convergiendo en sus extremos hacia el mismo horizonte, lo que a su vez se traduce en una proyección en planta a manera de curvas.



Proyección de líneas horizontales

Estas proyecciones pueden ser utilizadas para construir diagramas (o mascarillas) de protección. Las obstrucciones horizontales pueden ser logradas mediante aleros, toldos, pérgolas, balcones, remetimientos, etc.

No existe orientación del diagrama por sí sola, es necesario determinarla mediante una gráfica solar, según sea el muro analizado. La elevación angular de la protección horizontal está determinada por la proporción que guarde ésta con la abertura (ventana, vano, etcétera), es decir que la protección se calcula proporcionalmente sin tomar en cuenta ninguna medida aritmética.

<sup>4</sup> Moore, Fuller. "Concepts and practice of architectural day lighting"

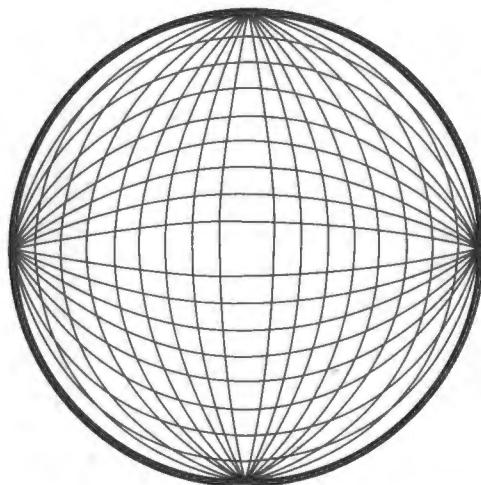
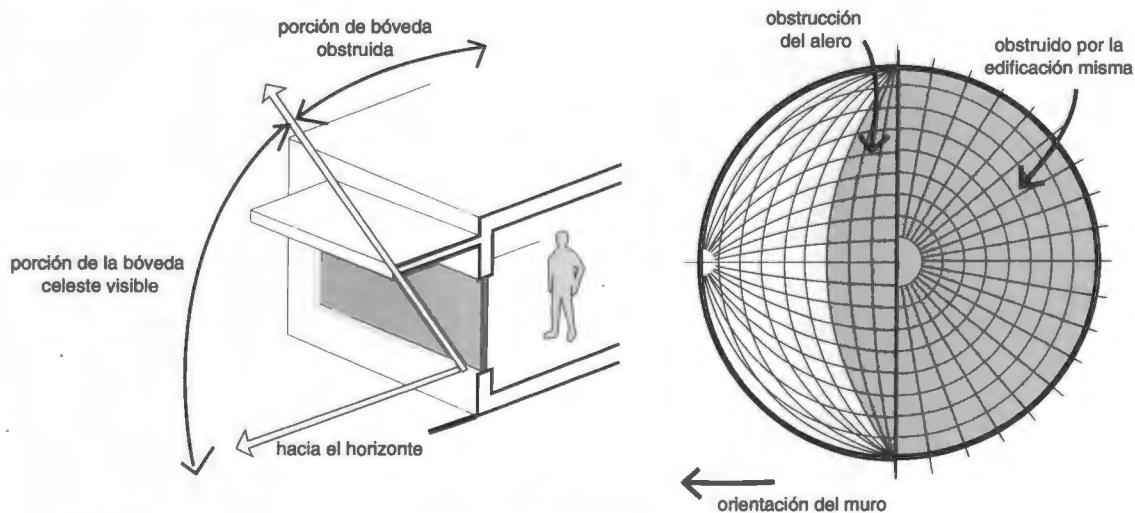


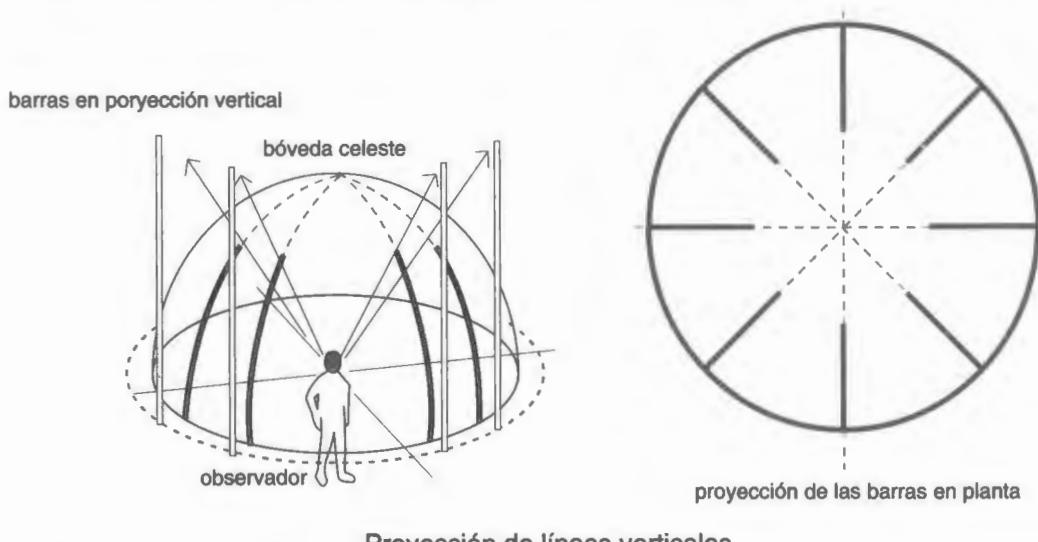
Diagrama de protecciones horizontales.

Por ejemplo, si un alero se extiende a todo lo largo de una ventana, la mascarilla mostrará la porción de bóveda celeste vista desde el interior del espacio dado. Esto se debe a que el alero es perpendicular a la parte inferior de la ventana, que en este caso también es horizontal. Esto es aplicable tomando en cuenta que el alero no se extiende infinitamente, sino que tendrá también una proporción vertical con respecto a la ventana, la cual permitirá una penetración solar en las partes laterales si no se cuenta con otro tipo de protecciones, o la proporción que guarda con dicha ventana será suficiente para evitarlo.



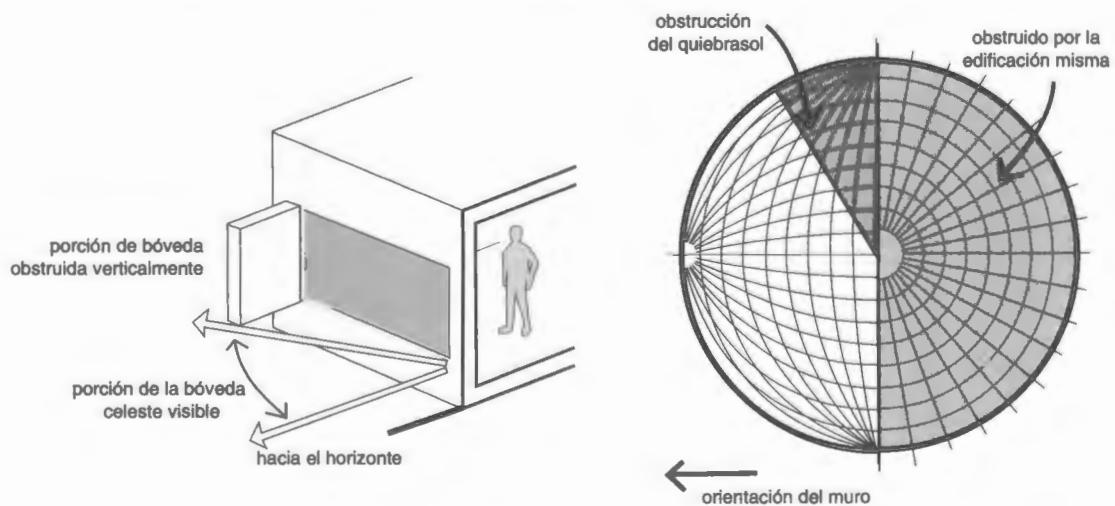
Obstrucción horizontal de la mascarilla de protección en un alero.

**Proyecciones verticales.** Si se utiliza el mismo ejemplo de las barras, pero ahora dispuestas de manera vertical, las proyecciones en la bóveda celeste aparentan líneas que convergen en la parte superior de dicha bóveda. Al igual que en la proyección horizontal, dichas líneas sólo coincidirían en el cenit si éstas fueran infinitas. Asimismo, las proyecciones en planta son líneas que se cruzan en el centro, lo que indica que pueden ser utilizadas para crear protección lateral en las aberturas.



Proyección de líneas verticales

La mascarilla en este caso sirve de auxiliar para determinar el nivel de sombreado lateral en las aberturas. El punto de referencia para localizar el área de sombreado, es el lado contrario de donde esté situada la protección lateral (un quiebrasol en el caso del ejemplo). Al igual que la protección horizontal los niveles de protección solar están dados mediante la proporción que guarda el dispositivo con el tamaño de la abertura, por lo que el diseño de los dispositivos de protección solar en las partes superiores de las aberturas deben considerar la geometría de los mismos.

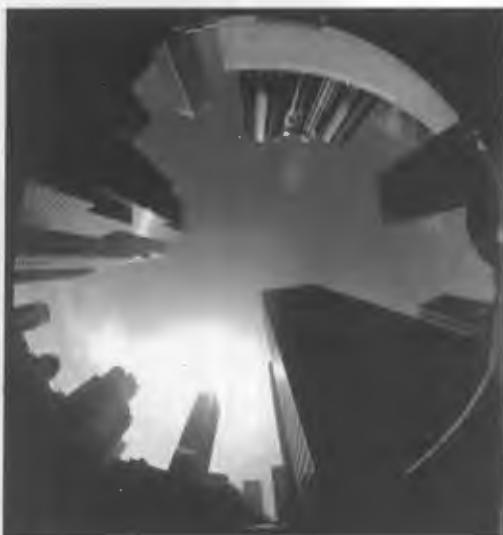


Obstrucción vertical de la mascarilla de protección en un quiebrasol.

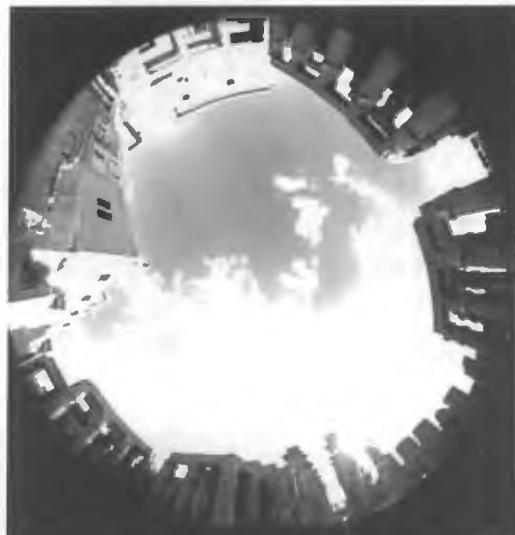
### Proyección equidistante *Fish-Eye*<sup>5</sup>

El método de la proyección equidistante es el más apropiado para su utilización en el diseño arquitectónico debido a que las diferencias angulares iguales corresponden a distancias iguales en los puntos proyectados. Dichas medidas angulares al tener deformaciones permiten la utilización de una escala constante, lo que propicia la fácil medición de los puntos proyectados.

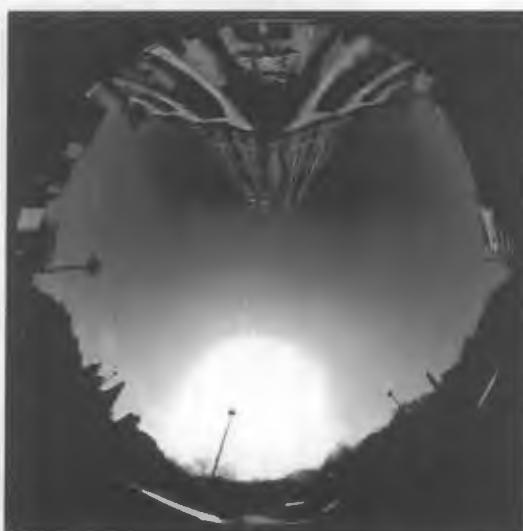
Las imágenes vistas con objetivos fotográficos *fish-eye* pueden ser utilizadas para el análisis tanto del recorrido solar (en proyectos reales) como del cielo visto *pepper pot* al tener deformaciones equidistantes. Como se ha explicado anteriormente, el observador está ubicado en el centro de la fotografía y los obstáculos de los edificios o elementos naturales impiden en ciertos puntos el recorrido solar o el cielo visto. A continuación se muestran imágenes tomadas con objetivo *fish-eye* en diferentes latitudes y diferentes tipos de cielo.



Los Ángeles, California, EU



Presa de Aswán, Egipto



Sagrada Familia, Barcelona, España



Ronchamp, Francia

5 Ávila, David Carlos. *Método fotográfico fish-eye en el análisis Arquitectónico*.

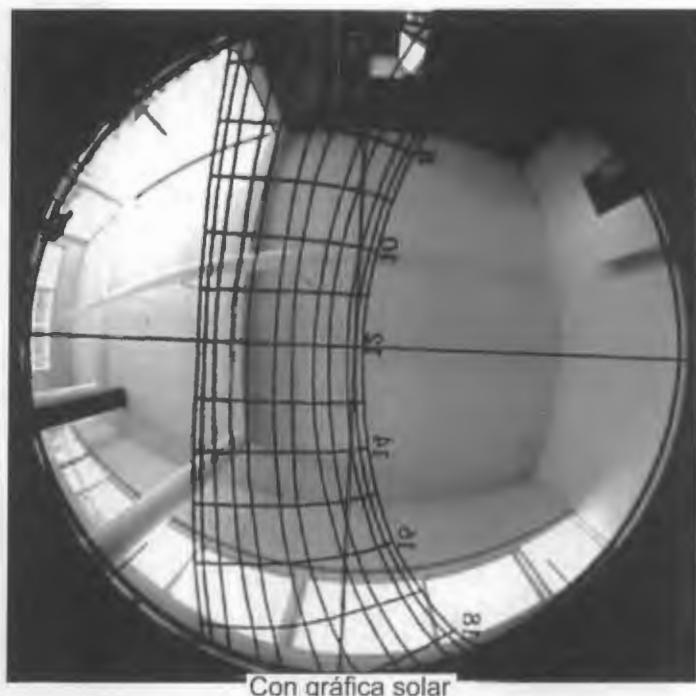
Las perspectivas cónicas proyectadas por el objetivo *fish-eye* proporcionan una imagen global de 180° limitada por la línea del horizonte visto. Para su aplicación a estudios climáticos o lumínicos se deberán considerar dos parámetros geométricos de corrección: primero debe ser revelado de forma invertida, o en su defecto, sobreponer los diagramas de recorrido solar invertidos. Esto se debe a que en dicha proyección el observador ve hacia el cielo mientras que la gráfica es una proyección en planta de las curvas cónicas de la posición solar. Por otro lado, la posición del norte con respecto a la orientación de la cámara fotográfica es un dato de suma importancia, ya que sólo así podrán sobreponerse las gráficas conociendo la hora y día del año en que la fotografía fue tomada.

El tipo de cielo se deberá considerar en el análisis de la geometría cónica. En las imágenes superiores puede observarse que el cielo es semicubierto y en las que si se sobrepusiera una gráfica solar sólo sería posible estimar la posición del sol. Este tipo de fotografías exteriores sólo servirán para estimar las sombras que se producirían durante el año en la posición central del observador.

En proyecciones “ojo de pez” en interiores, se reduce la escala de los obstáculos al cielo visto; los muros, techos y demás elementos arquitectónicos impiden la penetración de luz de sol y/o luz diurna en los puntos de interés a analizar. Esto se aplicará posteriormente en el análisis que se realiza en modelos físicos (maquetas) en ambientes simulados. Por cuestiones prácticas, dichas proyecciones se muestran de manera gráfica. En las siguientes imágenes se puede observar la sobreposición de la gráfica de recorridos solares y la gráfica de luz diurna.

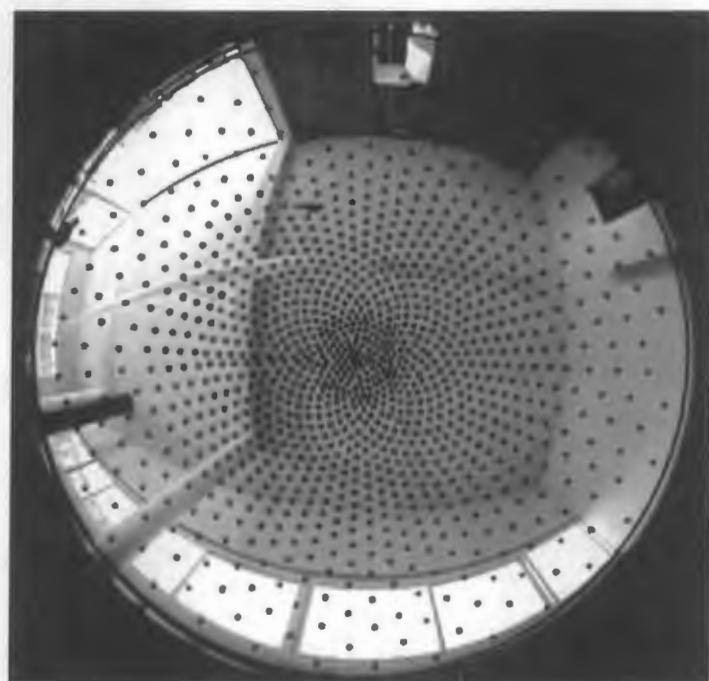


Proyección “ojo de pez”

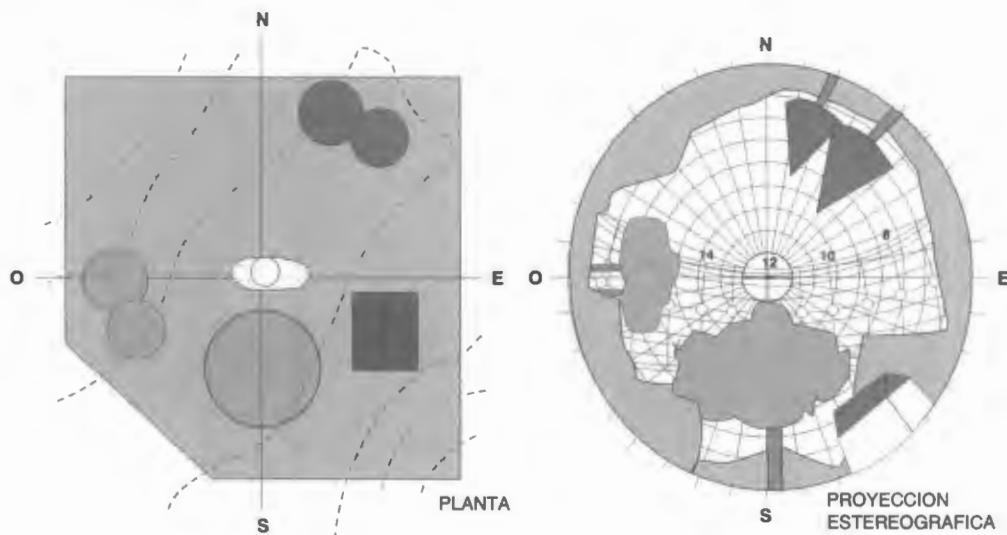


Como se hace referencia en párrafos anteriores, la sobreposición de la gráfica solar (en este caso para una latitud de 20° N) es invertida para corregir geométricamente la impresión en papel del negativo. El punto del observador será el que reciba el sol visto en las horas y días del año indicadas en la gráfica solar. La posición de la cámara en el nivel de trabajo es la más indicada, ya que en el nivel de piso terminado tendría poca utilidad.

Lo mismo es aplicable en los análisis de iluminación natural: al sobreponer la gráfica de cielo uniforme se pueden hacer las estimaciones de luz diurna disponible en puntos específicos del espacio interior.



Con gráfica de cielo uniforme



Proyección de las obstrucciones de un espacio abierto

En la imagen superior se muestra una representación sencilla de este tipo de proyecciones. Como se puede apreciar, el recorrido solar puede verse obstaculizado por los elementos, ya sean naturales o artificiales, circundantes al punto del observador. Estos niveles de sombreado influirán también en la eficacia de la iluminación natural en interiores, puesto el horario de uso del espacio interior, así como su orientación, determinarán los resultados de un adecuado diseño lumínico.

**REFERENCIAS Capítulo 3 :**

- 1 Mur Soteras, Rafael. "Geometria natural e iluminación natural". Ed. (tesis ETSAB); CATALUÑA,1982.
- 2 Gomez Azpeitia, Gabriel. "Geometria solar".
- 3 Olgay y Olgay. "Solar Control and Shading Devices". Ed. Van Nostrand Reinhold; USA, 1992.
- 4 Moore, Fuller. "Concepts and practice of Architectural Daylighting". Ed. Van Nostrand Reinhold; USA, 1989
- 5 Avila, David Carlos. "Método fotográfico fish-eye en el análisis Arquitectónico"

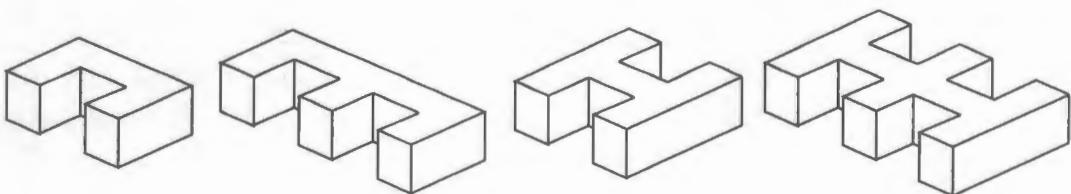
## 4 LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LAS EDIFICACIONES

Lo que aquí se pretende analizar es la relación de las proporciones y formas geométricas en la arquitectura con la cantidad de flujo luminoso que se introduce a través de las aberturas y su distribución interna, lo que permitirá a su vez establecer los parámetros necesarios a seguir para evitar y/o controlar condiciones de confort por deslumbramiento dado por incorrectas distribuciones de luz, o por el contrario, de insuficiencia visual, por bajas tasas de iluminación. Se aplican los métodos desarrollados por diversos autores, así como se aplican los resultados del estudio realizado por el autor en modelos físicos a escala en condiciones simuladas.

Como es sabido, las estrategias de iluminación natural más analizadas son los componentes verticales y los horizontales, además de que han sido desarrollados varios métodos cuya finalidad es introducir la luz natural en el interior de los espacios arquitectónicos. Del estudio del desarrollo espacial dependerá gran parte la eficacia lumínica de cualquier edificación.

### Forma del conjunto de la edificación

El nivel de compacidad de una edificación incrementa el perímetro iluminado naturalmente y puede aprovecharse para ampliar el área interior de la misma destinada a tareas que requieran niveles aceptables de factor de luz diurna (FLD). La manera más común de obtener esto es diseñar edificios con formas U, E, doble C y doble E.



Forma "U"

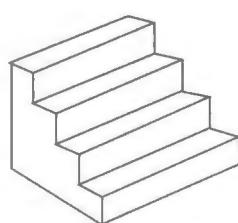
Forma "E"

Forma "H"

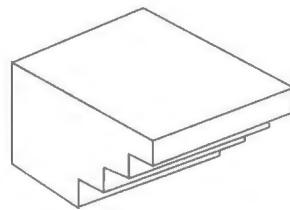
Forma doble "E"

La compacidad del perímetro total del edificio determina el área del núcleo central de éste; entre menor sea la compacidad, menor será el área central con escasa iluminación natural. La compacidad debe de entenderse como una manera de manipulación de la forma y no como un componente de iluminación (abertura), pero se analiza conjuntamente dichos componentes, así como los demás elementos que intervienen en el proceso de iluminación.

Dicho concepto de compacidad puede aplicarse en un contexto tridimensional, de manera horizontal y/o vertical (separadamente). Las formas escalonadas de piso en piso, que son diseñadas para repartir en una mayor área la incidencia solar, puede considerarse para la iluminación natural, procurando controlar las ganancias excesivas. De manera inversa es el caso de los escalonados invertidos, que no son recomendables, ya que no incrementan la efectividad de iluminación natural, sino por el contrario, los niveles en los pisos inferiores obligan a utilizar iluminación artificial aun en el periodo diurno.



Forma escalonada

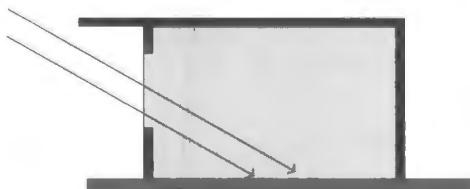


Escalonado invertido

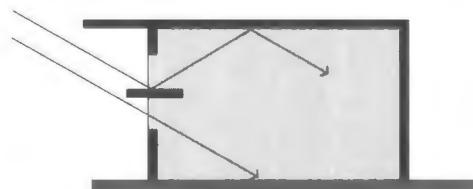
### Disposición en espacios internos

Es conocido el hecho de que la distancia existente entre la ventana y el punto más lejano visible desde ella será el límite de la iluminación natural directa en un espacio determinado. La profundidad de penetración es entonces la limitante principal.

Varios experimentos realizados en iluminación coinciden en afirmar que la penetración de la luz natural utilizable raramente excede dos o tres veces el área de la ventana. Utilizando esto como guía puede decirse que la zona aprovechable no sobrepasa los cuatro a seis metros de profundidad, dependiendo de la forma de la ventana (proporción, ubicación) y del nivel de reflectancia de las superficies interiores. Por ello en los edificios actuales, al incrementarse la profundidad, se requiere de iluminación artificial en los espacios más alejados de la ventana. Una solución "pasiva" que se analiza más adelante es utilizar repisas de luz que dirija la iluminación a esas áreas alejadas y a la vez sirva de dispositivos de control del deslumbramiento y de las ganancias térmicas excesivas.

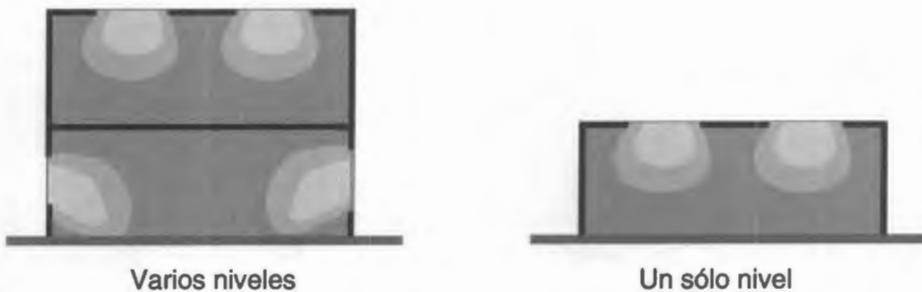


Ventana lateral simple

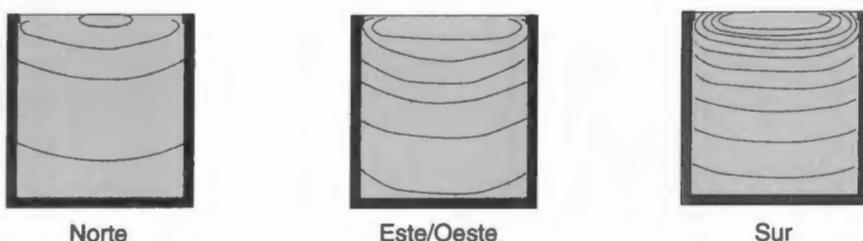


Repisa de luz

Por lo que respecta a la altura, se puede decir que su modificación influye lateralmente dependiendo del tamaño y la ubicación de la ventana, pero como comúnmente en las edificaciones de tipo habitacional actuales las alturas rara vez exceden de tres metros la altura sólo se analiza en componentes de tipo horizontal. Siguiendo la afirmación anterior puede decirse que la iluminación cenital es más eficiente que la lateral, siendo muy limitada si se emplea en edificaciones de varios pisos. La solución a esto son los conductos de luz que se analizan también posteriormente.



Cuando las condiciones del cielo son claras, la orientación de la abertura con respecto al sol es una variable importante junto con la proporción de dicha abertura en referencia al muro. Si la ventana se encuentra en un cielo despejado y se gira ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $180^\circ$ ) tomando como base el norte, el nivel de iluminación variará de diferente manera. Como ya se ha mencionado anteriormente, dependiendo de los requerimientos de climatización de cada orientación se procurará propiciar la incidencia solar directa, o protegerse de ésta. El caso de la orientación sur, como ya se ha visto con anterioridad, es la que presenta mayor incidencia solar; un simple alero como protección sirve para controlar las ganancias excesivas y permitir el paso en ciertos meses de la temporada templada, aunque esa penetración debe ser también controlada para impedir descomfort por deslumbramiento.



Diferente iluminación dependiendo de la orientación.

En orientaciones este/oeste se tiene el mismo inconveniente de sólo tener luz de sol durante medio día, aunque en el este pudiera aprovecharse en ciertas horas del año para calentar; la orientación oeste es bastante crítica como para disponer cualquier tipo de abertura ya que se requerirían elementos de control muy cerrados (como persianas o celosías) que disminuirían drásticamente los niveles de FLD. La tasa de iluminación natural en condiciones de cielo CIE son las mismas en las dos orientaciones.

El caso de la orientación norte es la opción más interesante para aprovechar el diseño lumínico, ya que en latitudes norte casi no presentan incidencia directa. En el ejemplo tomado anteriormente, sólo se requerirían elementos de protección solar verticales como persianas, además de que se evitaría el problema de sufrir discomfort por deslumbramiento al tener una iluminación homogénea contemplando sólo la iluminación natural. Esto es aprovechado mayormente en espacios destinados a actividades de tipo laboral y de estudio en donde se requieran niveles de FLD más uniformes y constantes.

En las orientaciones intermedias (NO, SE, NNO, OSO, etcétera) las consideraciones que se deben tomar deben estar más acorde a los requerimientos bioclimáticos de cada una de ellas. Los elementos de control consecuentes de dicho análisis se realizan desde el punto de vista lumínico en los siguientes subapartados.

La utilización de las relaciones espaciales (superficie-volumen) son muy comunes en los análisis del diseño arquitectónico. Las proporciones espaciales son un auxiliar crítico del diseñador que ayudan a establecer soluciones de diseño eficientes. El diseño, la disposición y la orientación de las aberturas destinadas a soluciones lumínicas, son elementos esenciales en la forma global de la edificación. Como consecuencia debe estimarse que el uso del diseño lumínico afectará en gran medida el proyecto arquitectónico.

## 5. ANÁLISIS LUMÍNICO

Como es sabido, las maquetas o modelos a escala son herramientas que los arquitectos han utilizado desde tiempos remotos para realizar estudios de varios aspectos del diseño de edificios y de la construcción. Aún hoy en día, algunos arquitectos siguen usando estas técnicas para visualizar la forma de las edificaciones, el diseño de fachadas y los espacios interiores, utilizándolas como una comunicación entre el cliente y el consultor. Cabe mencionar que, siguiendo de cerca los detalles de edificación, los modelos a escala son una excelente herramienta de diseño para el estudio de la iluminación natural.

### **Los modelos a escala como herramientas de diseño**

Como se apuntó en el análisis de la física de la luz, la diferencia de escala entre la maqueta y el tamaño real no requiere de correcciones, de la misma manera que ocurre con los análisis de conducción térmica, de resistencia estructural, de acústica o de ventilación. Debido a que las ondas electromagnéticas dentro del rango del espectro visible son del orden entre los 380 y los 750 nanómetros, no existe diferencia entre su comportamiento en una maqueta de detalle mínimo y una a escala 1:1. Pero para que lo anterior resulte cierto, es necesario que las proporciones y los detalles de las maquetas sean idénticas a los reales, propiciando así un exacto análisis de las reflexiones e interreflexiones en el interior de la misma.<sup>1</sup>

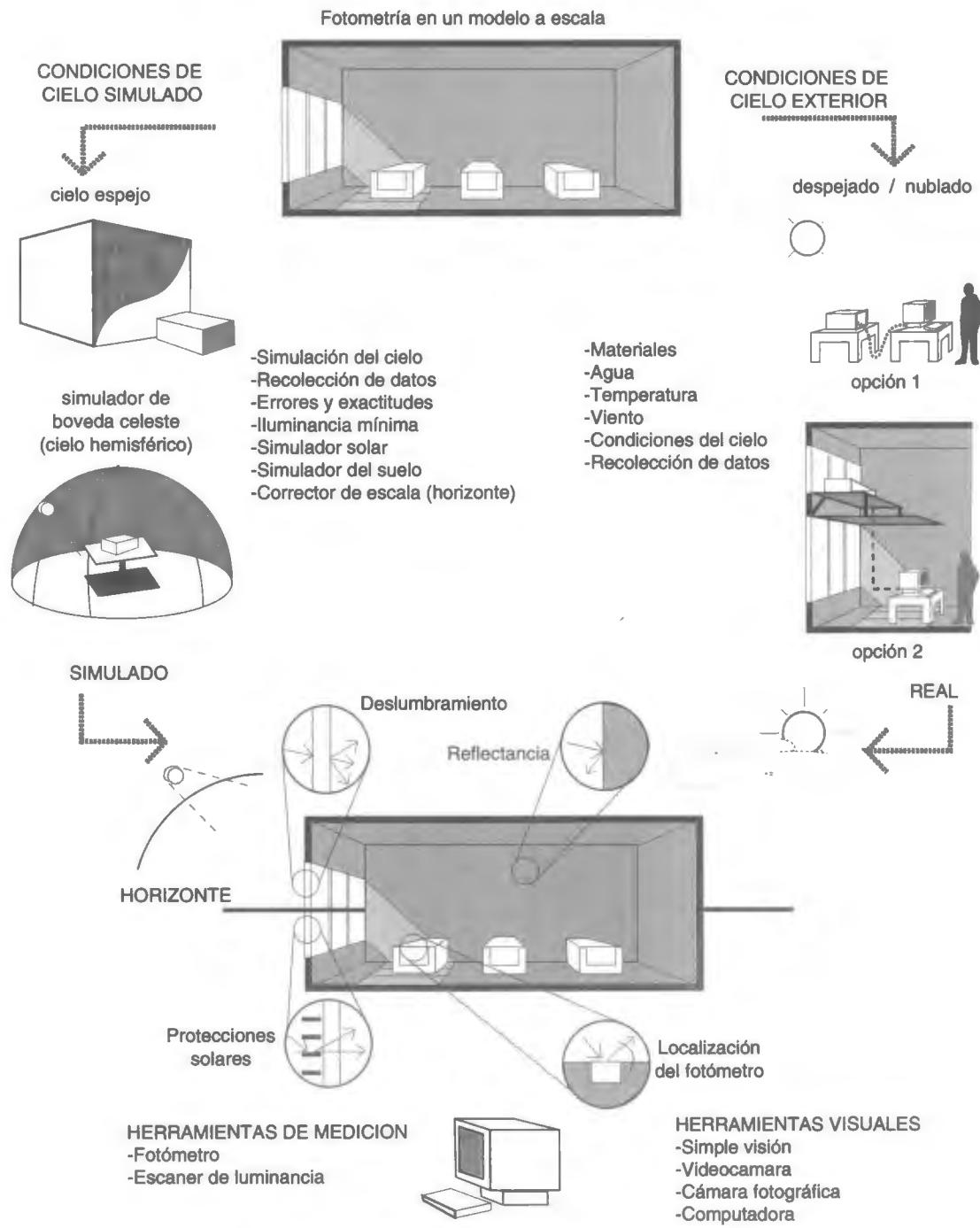
Dentro de la variedad de técnicas disponibles para el diseñador, las maquetas pueden combinar varios aspectos que pueden auxiliar en el análisis de la iluminación natural, para lo cual es necesario se consideren los siguientes aspectos:

- Las maquetas son una herramienta simple de diseño que pueden ser manejadas por cualquier persona (los programas informáticos no siempre son amigables y en ciertas ocasiones hasta difíciles de usar).
- Los modelos a escala no requieren de un alto presupuesto para el estudio del diseño. Una simple maqueta puede responder cuestionamientos acerca de la iluminación natural en los espacios.
- Los modelos a escala como herramientas de diseño pueden proporcionar otro tipo de respuestas (aparte de las lumínicas), como puede ser el adecuado uso del color o el acomodo del mobiliario.
- Asimismo, se pueden utilizar para simulaciones en espacios de forma no rectangular, geometrías complejas y configuraciones muy complejas.

Muy a menudo los espacios no son de forma rectangular simple, especialmente aquellos que son diseñados para maximizar el uso de la iluminación natural y sus efectos. De la misma manera, muy pocas computadoras pueden simular espacios no rectangulares, puesto que se requiere de una gran memoria para ello, en decremento de la accesibilidad para su manejo.

<sup>1</sup> Commission of the European Communities. "European reference book on daylighting"

Por otro lado, las maquetas no sólo pueden ser utilizadas para el estudio de formas complejas, sino que además los cambios en su geometría pueden ser realizados rápidamente para evaluar los efectos visuales y adecuar los niveles óptimos de iluminación requeridos. Los modelos a escala pueden proveer de información valiosa por medio de la simple observación o de fotografías. Dicha información puede indicar al diseñador los problemas potenciales de deslumbramiento. La información obtenida puede también ser utilizada para determinar los requerimientos de iluminación natural, así como de las condiciones térmicas necesarias.



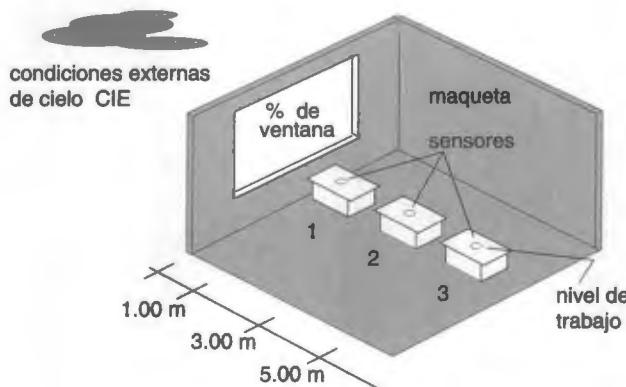
Técnicas de fotometría en modelos a escala

Los datos obtenidos del uso de estas maquetas en heliodones, simuladores aparentes del cielo o en condiciones de cielo real, son más útiles si son grabados en cinta de video, proporcionando así la visualización global del los cambios de la iluminación en las diferentes etapas del día y temporadas del año.

El uso de los modelos a escala en el análisis de la iluminación natural puede proporcionar información acerca del diseño de nuevos elementos arquitectónicos como el atrio o la iluminación a través de elementos centrales. Con estas herramientas es factible analizar el uso de nuevos materiales a utilizar en los vanos, como las estructuras holográficas, los aerogeles, etcétera, así como de los materiales a emplear en las superficies internas determinando su reflectancia y transmisión.

### Análisis lumínico sobre modelos a escala

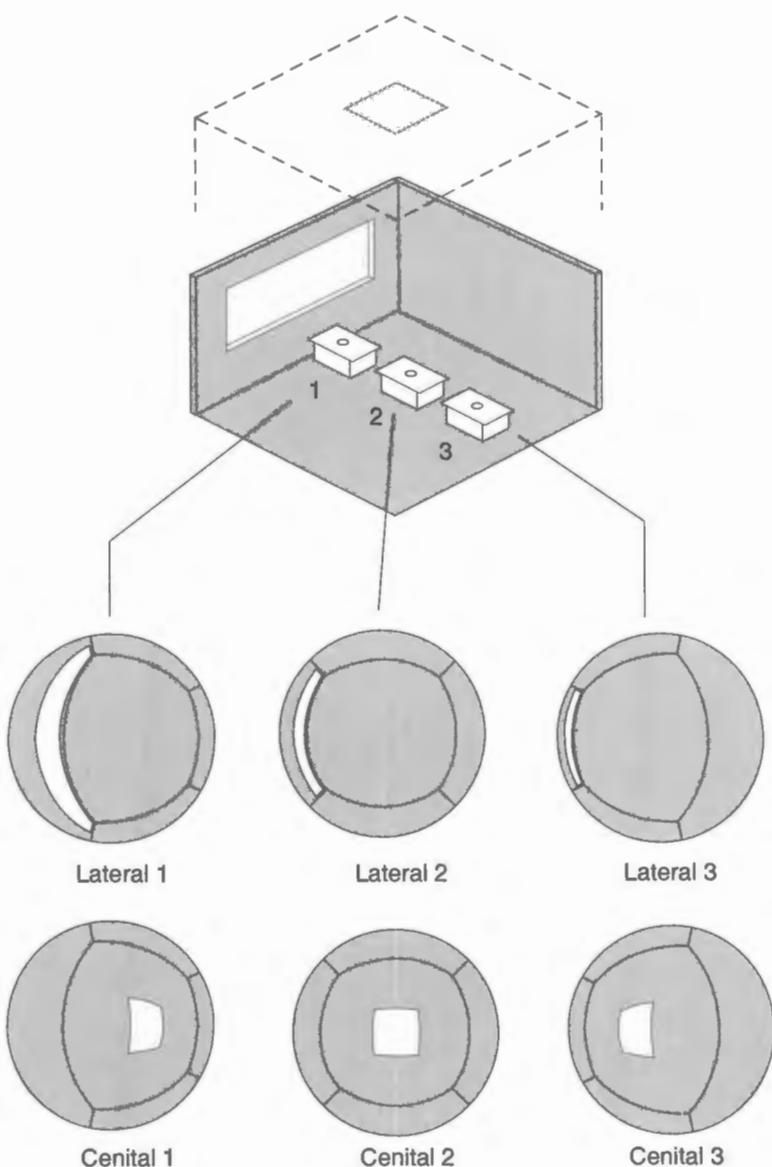
El análisis en modelos físicos se realiza en dos aspectos: la medición en tres puntos del nivel de trabajo mediante sensores colocados en un modelo físico en condiciones reales de cielo CIE (o de simulación de recorrido solar mediante un heliodón); y a través el análisis gráfico en fotografías *fish-eye* en relación al factor de luz diurna resultante.



Proporciones del modelo físico utilizado

Tomando en consideración lo anterior, se sabe que ciertos criterios de proporción ayudan a establecer el tamaño óptimo, la forma y la ubicación de las aberturas. Mediante el análisis en modelos físicos se pretende realizar una propuesta de guía para su aplicación en las normativas legales. Los parámetros que se analizan en las aberturas son:

- Coeficiente y proporción de la ventana.
- Forma y geometría.
- Disposición y ubicación.
- Niveles de iluminación en el nivel de trabajo.
- Niveles de reflexión exterior.

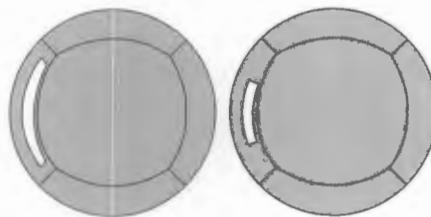
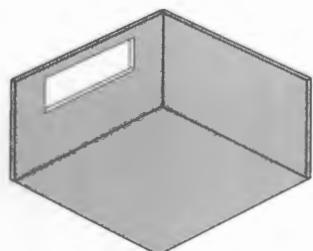


Vista "ojo de pez" en 3 diferentes posiciones

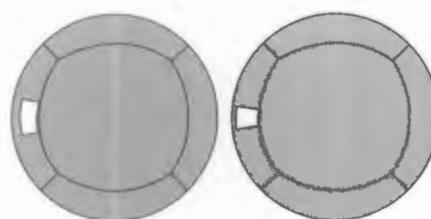
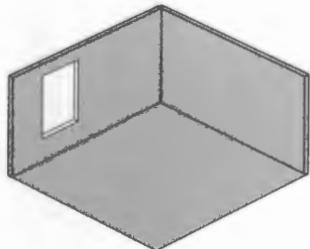
Los modelos físicos utilizados corresponden a una escala 1:20, siendo esto un factor de importancia mínima ya que la luz se comporta de igual manera en cualquier escala. El único requerimiento básico de los materiales empleados es su maneabilidad y bajo costo, además de que su versatilidad permite el análisis de diferentes tipos y tamaños de aberturas.

Para los dos aspectos del análisis sobre modelos físicos, se pueden considerar a su vez en dos grupos: los referentes a los aspectos de la abertura y los que se relacionan a las superficies receptoras, las cuales se analizan de igual manera en los componentes de iluminación lateral y en los de cenital.

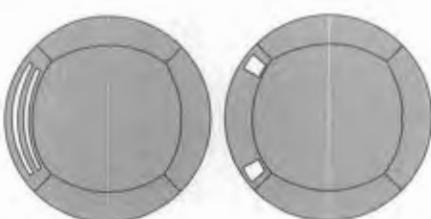
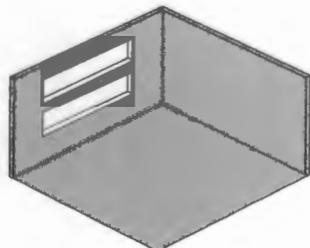
Las siguientes imágenes muestran las diferentes aberturas y sus disposiciones en los modelos físicos y su visualización en el objetivo *fish-eye*.



Coeficiente/proorción



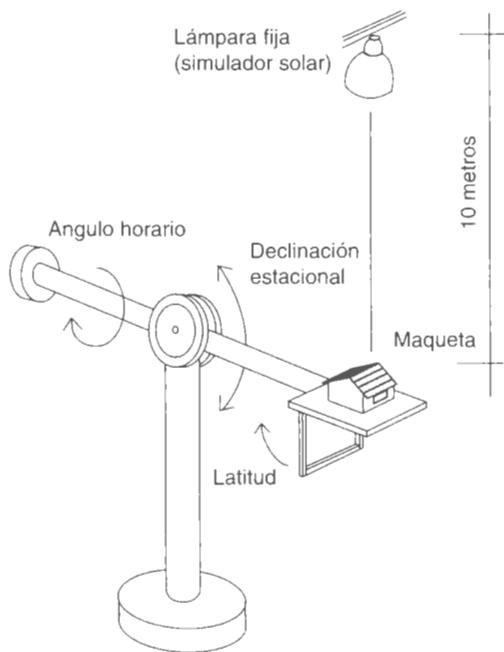
Forma/geometría



Disposicion/proorción

## Los simuladores solares (heliodones)

Como complemento a los sistemas gráficos, entre las herramientas que permiten estudiar la influencia de la iluminación natural en los proyectos arquitectónicos se puede referir de primera mano a los simuladores solares para maquetas, llamados también heliodones. Este tipo de herramientas permiten "reconstruir" los desplazamientos aparentes del sol en la bóveda celeste: el día del año, la hora del día y la latitud del sitio considerado. Asimismo, ayuda en el análisis del aspecto dinámico de la iluminación natural proveniente del sol. Existen diversos sistemas de simuladores solares que permiten realizar dicho tipo de análisis. En el Laboratorio de Ciencias del Hábitat (LASH) se ha desarrollado un heliodón de funcionamiento vertical como el de la figura siguiente.<sup>2</sup>



Heliodón desarrollado en el LASH

Este tipo de heliodón posee tres ejes que permiten la selección de tres ángulos fundamentales que son: la latitud, la declinación solar y el ángulo horario. De la misma manera tiene la posibilidad dentro del plano terrete simulado de hacer variar el azimut del modelo a escala. Dos motores eléctricos de corriente continua permiten hacer variar a velocidad constante los ángulos de las horas y de las declinaciones. Otra de las ventajas sobre el plano son: las manipulaciones de la rotación continua del ángulo horario que permite filmar el interior de las maquetas, así como acelerar las fluctuaciones de la penetración de los rayos solares dentro de un espacio. Este tipo de técnicas de simulación son determinantes para el diseño de las aberturas destinadas a la iluminación natural.

En el plano cualitativo, la determinación de los factores solares se obtienen mediante la medición simultánea con la ayuda de células fotosensibles dispuestas en puntos específicos del interior de la maqueta, así como sobre el plano horizontal exterior para su posterior comparación y obtener el FLD resultante.

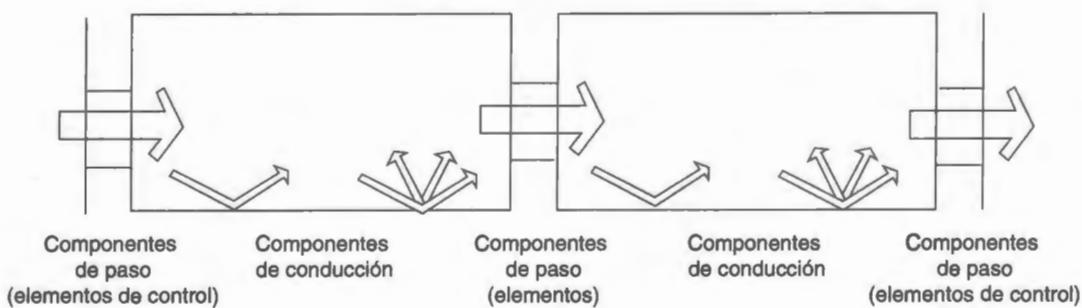
2 Paule, Bernard. "Maîtrise de l'éclairage naturel"

### Clasificación de los componentes de iluminación natural <sup>3</sup>

La clasificación más aceptada en estos términos corresponde a la del *Manual europeo de referencia en iluminación natural (ERBD)*, por sus siglas en inglés). Este manual considera principalmente que existen dos razones principales por las que se debe tomar en cuenta la importancia de la luz en los aspectos arquitectónicos: primero, porque por sí misma la luz define el espacio, y segundo por su misión de proveer confort.

Como se ha visto con anterioridad, los diseñadores a través de la historia han tratado de que la luz tenga un alcance significativo en el interior de las edificaciones, ya sea a través de acentuar volúmenes interesantes o de crear espacios lumínicamente confortables. En la actualidad, en la era del desarrollo tecnológico, la importancia de la iluminación natural ha decrecido debido al progreso que han tenido los sistemas artificiales. Sin embargo, esta sustitución representa a su vez una serie de desventajas, que pueden ser las de tipo estético o financiero, así como las concernientes al confort visual.

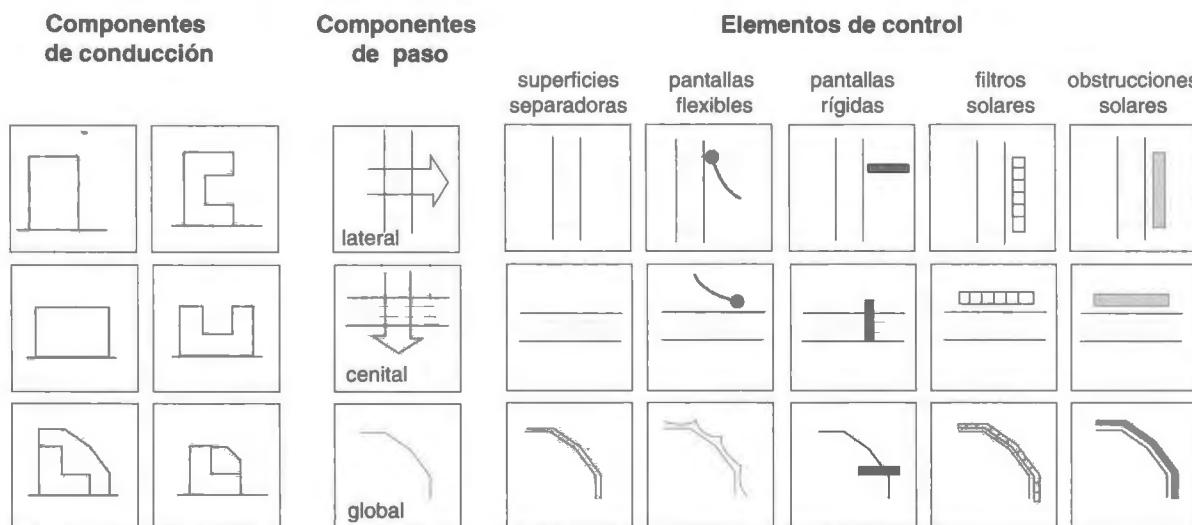
Para entender los beneficios que ofrece el diseñar con la iluminación natural, es necesario conocer el comportamiento físico de la luz, lo que se traducirá a su vez en conocer todas las posibilidades de diseño lumínico disponibles para el arquitecto. La clasificación que propone el *ERBD* pretende que el diseñador comprenda de una manera ordenada los diferentes tipos de componentes disponibles, así como sus diferentes combinaciones y su apropiada aplicación. Para analizar y clasificar los componentes de iluminación natural, es necesario definir dos grandes grupos: los llamados componentes de conducción y los componentes de paso. Los componentes de conducción guían y distribuyen la luz hacia el interior de la edificación y los componentes de paso son los dispositivos diseñados para transportar la luz de un ambiente a otro.



<sup>3</sup> Comisión de Comunidades Europeas, *ob. cit.*

Como se muestra en la imagen, la combinación de estos componentes es lo que determina la eficacia de la estrategia lumínica empleada. Cada componente de paso puede incorporar una serie de dispositivos de control debidamente diseñados para propiciar o controlar (según sea el caso) la luz en el interior de la edificación.

La mencionada clasificación no pretende restringir las recomendaciones de diseño, puesto que dependerá de la capacidad de cada diseñador para lograr soluciones adecuadas a cada caso específico. Lo que se pretende más bien es tener un plano general donde haya más casos específicos entre los diferentes tipos de componentes con similar comportamiento lumínico. La amplitud del diagrama aquí ejemplificado no tiene límites, debido a la casi infinita posibilidad de combinación entre los diferentes componentes tanto de conducción como de paso.



El análisis que se realiza en los capítulos subsiguientes se basa en la clasificación aquí mencionada, no restringiendo con ello la posibilidad del diseñador, ni pretendiendo tampoco crear recetas de cocina.

REFERENCIAS Capítulo 5 :

- 1 3 Commission of the European Communities. "European Reference Book on Daylighting"
- 2 Paule, Bernard. "Maitrise de l'éclairage naturel". Ed. ENTPE-LASH; FRANCIA, 1988.

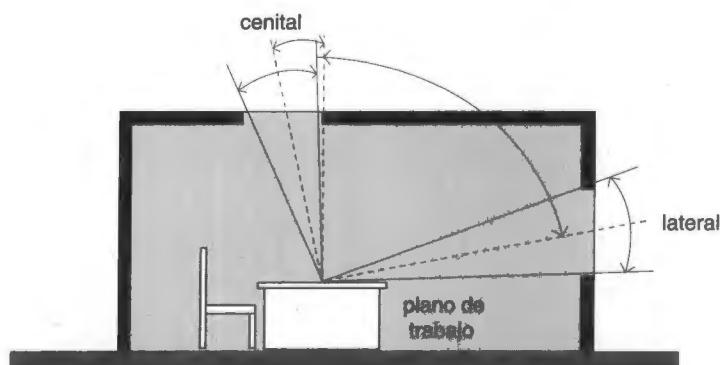
## 6. COMPONENTES DE PASO

En el presente apartado se pretende elaborar las bases de los parámetros geométricos para los diversos componentes de iluminación. Dichas componentes son analizadas físicamente de acuerdo a sus patrones de comportamiento lumínico resultantes de los coeficientes, ubicaciones y formas de las aberturas respectivas. Cada una de dichas aberturas tendrá su patrón de distribución particular, lo cual será adecuado en un espacio arquitectónico determinado dependiendo del uso a que se destine.

Primero, es conveniente recordar los principios fundamentales que deben guiar los pasos concernientes al análisis de la iluminación natural del proyecto arquitectónico. Se pueden distinguir tres objetivos principales para ello:

- Propiciar la captación de la luz difusa.
- Selección de las penetraciones solares directas en función de la temporada.
- Distribución homogénea de la luz dentro de los espacios de interés.

En una primera aproximación, se pueden distinguir dos grandes grupos de componentes de iluminación natural: las de tipo lateral y las cenitales. La luz disponible en un punto del espacio depende del tipo de cielo, de la componente horizontal exterior, por el ángulo sólido de la abertura y por coseno del ángulo de incidencia media de esa luz sobre el plano considerado.<sup>1</sup>

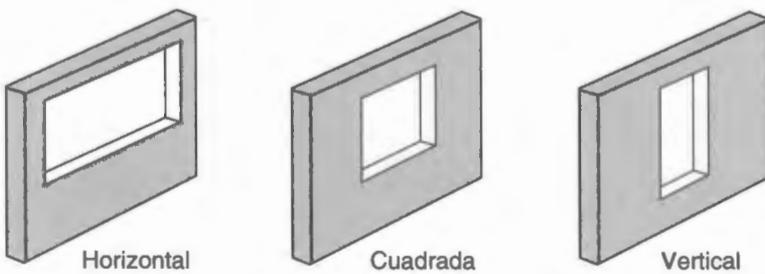


Comparación de iluminación obtenida en un plano de trabajo de forma cenital y lateral.

De esta relación se deduce que las aberturas cenitales son más eficaces en un plano horizontal que las aberturas laterales, ya que producen una iluminación interior elevada sobre esta superficie horizontal. En lo concerniente a las incidencias solares directas (luz de sol) se puede afirmar que las aberturas laterales son más favorables ya que la penetración es selectiva dependiendo de la temporada del año, del día y la hora, al contrario de las aberturas cenitales donde la incidencia en verano es crítica y en invierno más escasa.

<sup>1</sup> Mur Soteras, Rafael. "Geometría e iluminación natural"

Aunque lo anterior es de consideración, los análisis de iluminación natural aquí desarrollados solo contemplan el cielo CIE<sup>2</sup> (cielo cubierto) de luz difusa; el estudio de la incidencia solar directa se hace más a profundidad en los apartados referentes a los elementos de control, tanto en aspectos bioclimáticos como lumínicos. Como previo análisis en modelos físicos e informáticos, el análisis gráfico muestra las proporciones de ventanas más adecuadas en las orientaciones más comunes. El criterio bioclimático marca las pautas para llegar a esta preconclusión en lo que respecta a porcentajes de ventana, geometría y disposición en los diferentes muros. Aunque la proporción esté marcada de acuerdo a cuestiones de tipo climático, los niveles de iluminación que se pueden alcanzar con estas proporciones son bastante aceptables para realizar tareas visuales en orientaciones adecuadas.



Orientación	Porcentaje de ventana del muro --- de la superficie	Geometría	Vista interior	Posición	
NORTE	35 - 50 - 80 %	20 %	Horizontal	Centrada	muy mala
SUR	30 - 50 %	30 %	Horizontal	Izquierda	buenas
ESTE	10 - 15 %	5 %	Cuadrada	Derecha	regular
OESTE	-----	-----	-----	-----	muy mala
NO	25 %	10 %	Horizontal	Derecha	mala
SE	35 %	15 %	Horizontal	Izquierda	muy buena
NE	35 - 50 %	15 - 20 %	Horizontal	Centrada	mala
SO	-----	-----	-----	-----	muy mala

### **Componentes de paso lateral**

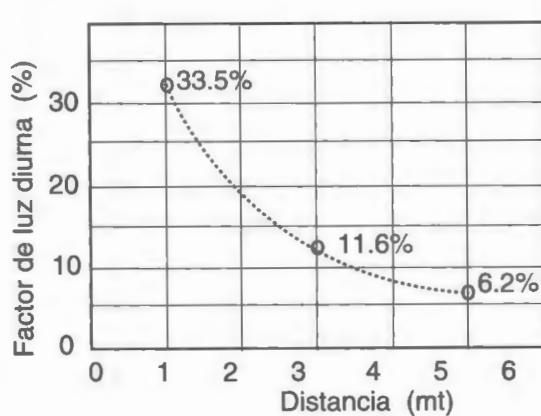
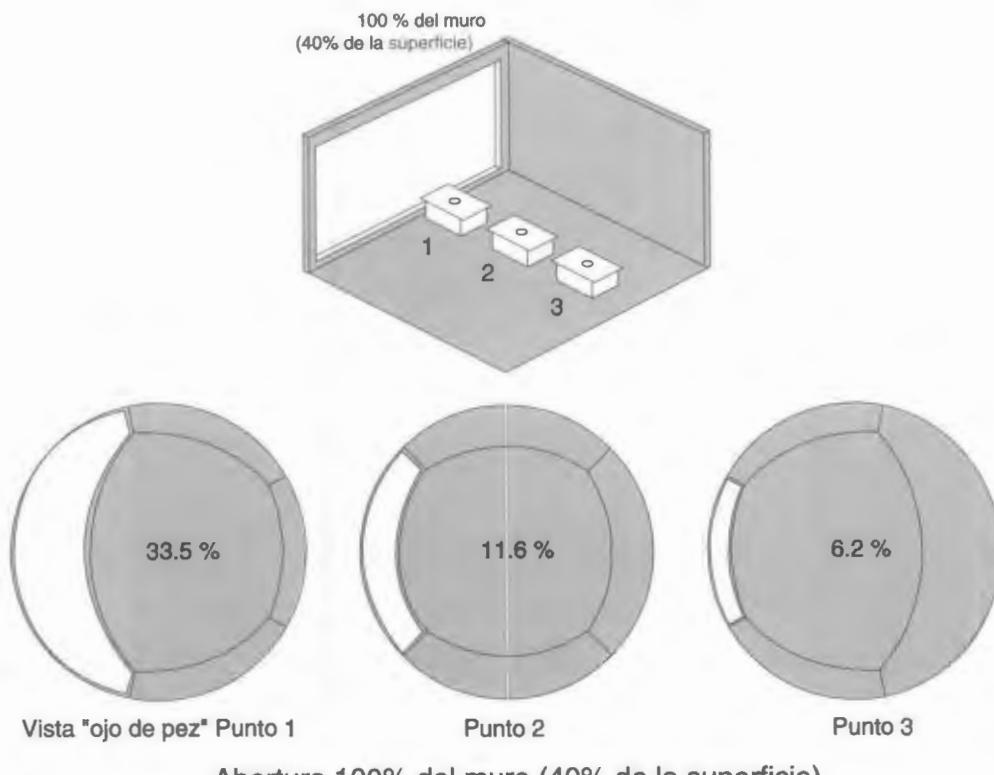
La iluminación natural de un espacio a través de aberturas verticales en las fachadas es el caso más utilizado. Como se mencionó con anterioridad, la penetración de la luz de sol es selectiva, dependiendo de la temporada en la que se sitúe. El principal problema de este tipo de vano es la desigual repartición de la luz dentro del espacio, donde las tasas de iluminación más elevadas se encuentran en los puntos más cercanos a dicho vano. Esto también es aplicable al hecho de que dependerá de la proporción respecto al muro, del tipo de geometría y de la ubicación de la ventana dentro del espacio Arquitectónico.

*Coeficiente/proorción.* El coeficiente o proporción de ventana en el muro respectivo funciona como el filtro que determina la cantidad (y calidad) de luz que entra en el espacio Arquitectónico. La manipulación de los elementos de la envolvente dependerá de los niveles de iluminación interiores, así como de la disposición y ubicación del espacio en cuestión.

En el proceso del diseño de la iluminación natural, la relación geométrica entre el espacio Arquitectónico y la abertura será el parámetro principal que determinará el impacto causado por la incidencia solar: deslumbramiento, control solar, escasa iluminación, etcétera. Para efectos de estudio, se analizan dichos parámetros. El coeficiente o proporción de la ventana tratado a manera de porcentaje (%) del muro y el tratamiento por separado de cada uno de los diversos tipos de dimensiones de ventanas y su comparación con respecto a los demás permiten una visualización general que ayudará a elegir la más adecuada de acuerdo con los otros parámetros, como son la orientación, la temporada climática y el nivel de iluminación requerido según función, grado de deslumbramiento, etc.

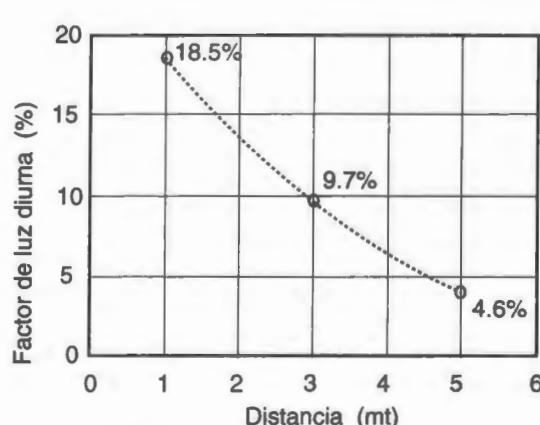
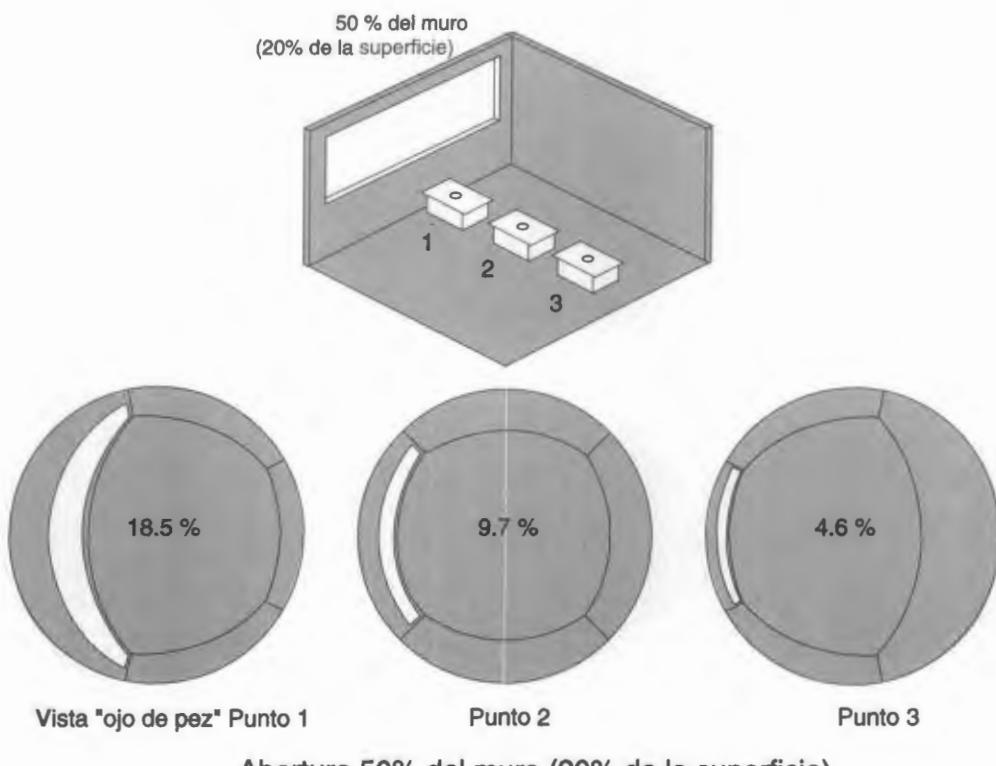
A continuación se analizan las diferentes variables en diversas proporciones de vanos. Dichos análisis se realizaron por el autor en modelos físicos en ambientes simulados, tomando mediciones con sensores fotosensibles.

**Ventana 100% del muro (40% de la superficie).** Análisis realizado como referencia comparativa de las demás dimensiones de ventanas. Para climas semitemplados no es recomendable este tipo de dimensiones en ninguna orientación, a menos que se disponga de protecciones solares adecuadas y en la orientación norte por concepto de “dominio visual” de algún aspecto paisajístico interesante aunado al confort psicológico que este conlleva. Las actividades de requerimiento visual quedan descartadas en los espacios donde se opte por utilizar esta gran proporción, ya que los niveles de desconfort por concepto de deslumbramiento serían bastante elevados.



Distribución la iluminación natural (A 100%, S 40%).

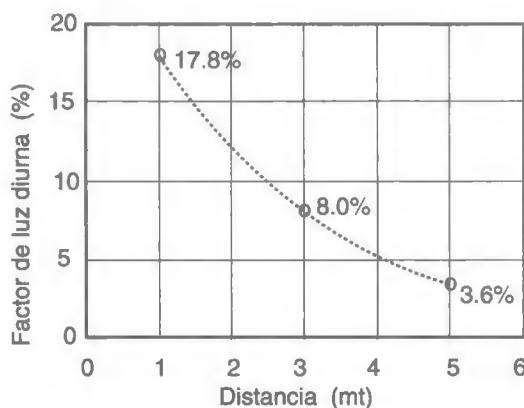
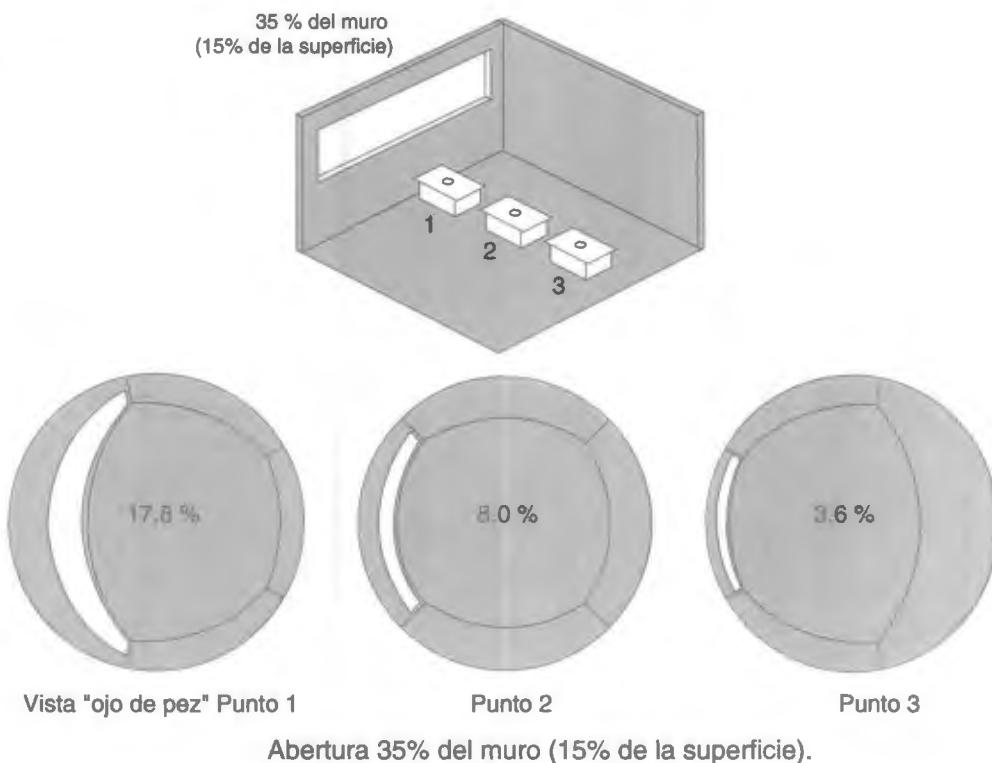
*Ventana 50% del muro (20% de la superficie).* Al igual que la consideración anterior, una ventana equivalente a la mitad del muro requiere especial atención en lo que respecta a la disposición de elementos de control solar. La iluminación natural que permite este porcentaje es conveniente para su uso en espacios destinados a trabajos de gran detalle visual. El análisis de la orientación en el muro respectivo es un factor de importancia para determinar su utilización por conceptos de estética. Por concepto de ganancias térmicas, en este tipo de climas semitemplados solo se recomienda su utilización en orientaciones norte y más concretamente NE y NNE, así como en la orientación sur debidamente protegida con alero o pérgolas.



Distribución la iluminación natural (A 50%, S 20%).

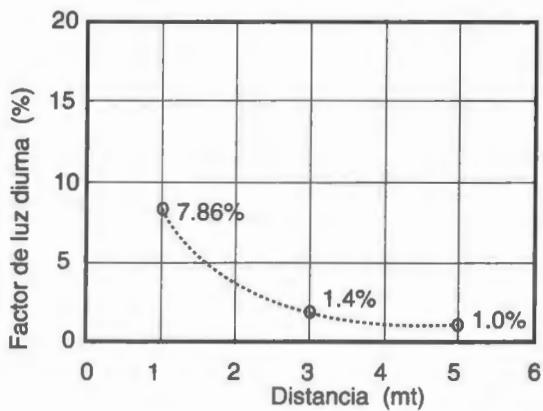
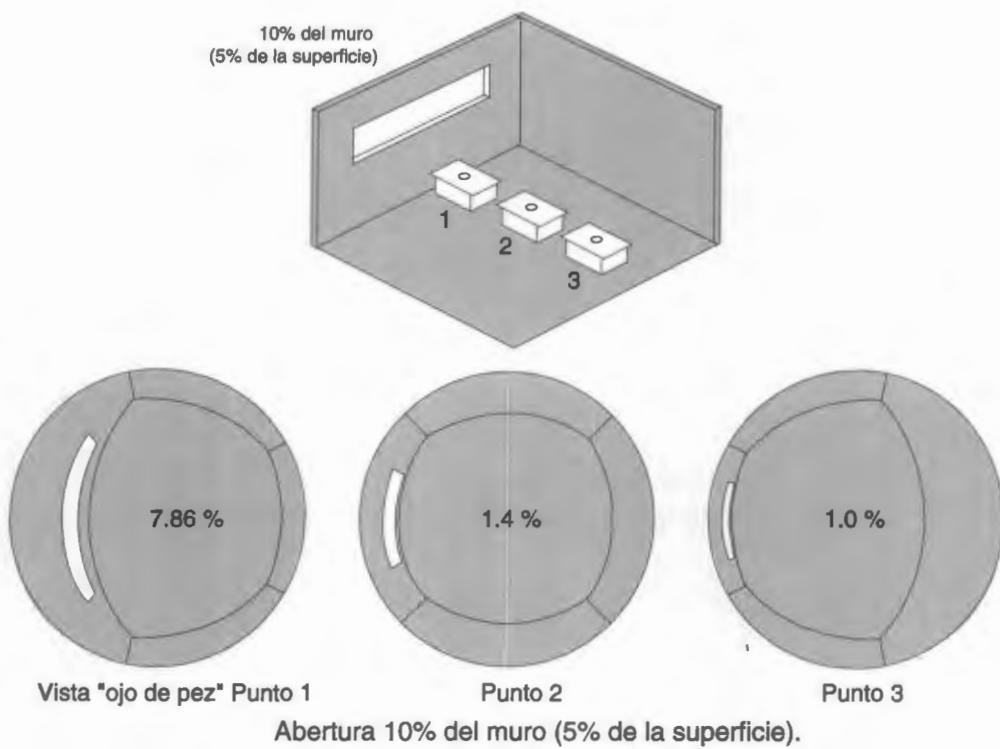
**Ventana 35% del muro (15% de la superficie).** Coeficiente de ventana referido a disponer de un nivel de trabajo apropiado de acuerdo con las proporciones utilizadas en el análisis. Para climas semitemplados, reducir la proporción de ventana a 15% (de la superficie) reduce a su vez las ganancias solares directas y admite ganancias de iluminación natural aceptables.

Como se muestra en el análisis previo, las orientaciones N, NE y SE son las más adecuadas para disponer de este tamaño de proporción de ventana. El tipo de geometría también coincide en señalar que el tipo horizontal es el más conveniente en estas orientaciones.



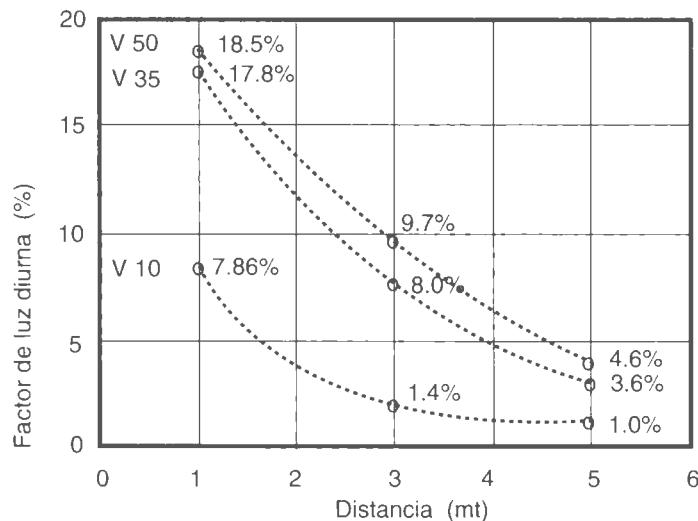
Distribución de la iluminación natural (A 35%, S15%).

**Ventana 10% del muro (5% de la superficie).** La proporción mínima considerada en este análisis muestra la escasa eficacia en los tres puntos del nivel de trabajo. Con dimensiones de este tipo solo servirían para funciones de ventilación ya que el desconfort visual que causa requiere de iluminación suplementaria por medio de elementos artificiales.



Distribución de la iluminación natural (A 10%, S 5%).

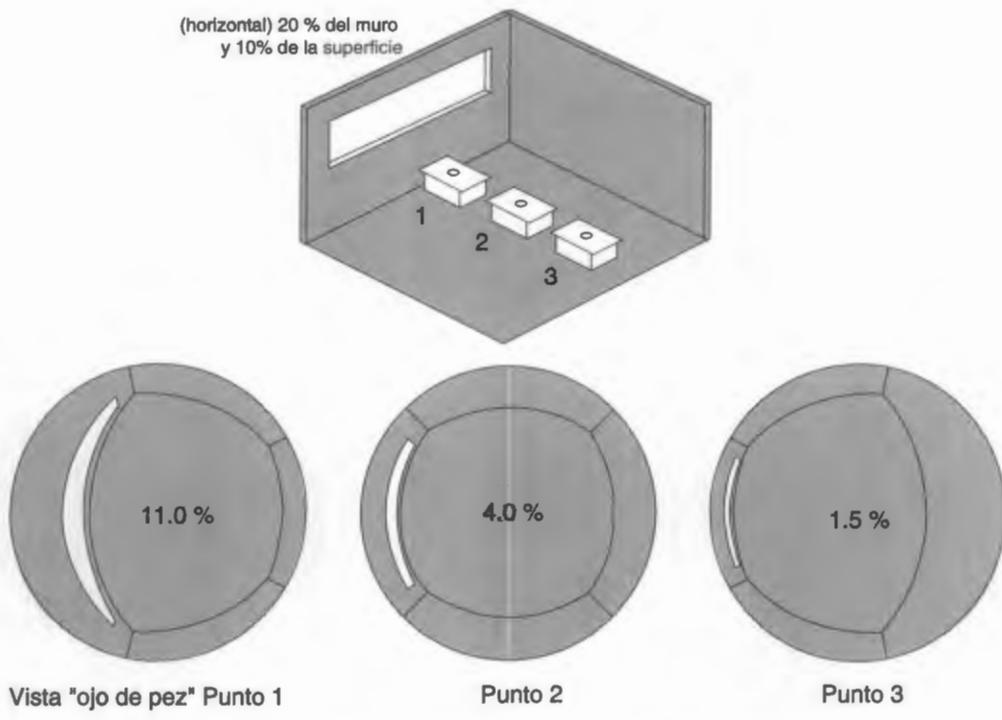
La comparación de las tres diferentes proporciones de aberturas muestran el comportamiento de la iluminación natural incidente. Los niveles de FLD en el punto más alejado de la ventana no varían significativamente en los diferentes porcentajes, lo que sugiere la utilización de elementos conductores que auxilien, sin empleo de energía artificial, en la distribución de la luz en todo el espacio.



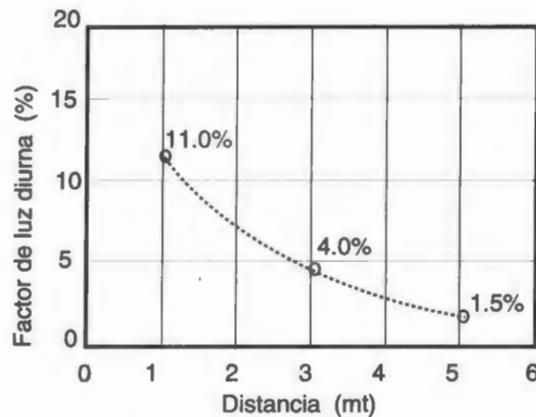
Comparación del comportamiento lumínico de 3 proporciones diferentes de ventana.

*Forma/geometría.* Las diferentes formas de las aberturas laterales pueden aprovecharse para su disposición en los muros orientados de diferentes formas por cuestiones bioclimáticas. En el presente análisis se considera una misma proporción de ventana pero con diversas posibilidades de forma geométrica: horizontal, vertical y cuadrada en una proporción de ventana del 20% del muro respectivo (10% de la superficie total).

**Horizontal (alta).** En este tipo de climas es la geometría más conveniente, ya que de esta manera es más sencillo adecuar las protecciones solares en dimensiones horizontales menores (menor altura solar) en orientaciones que lo requieran. En la iluminación, permite una mayor y mejor repartición de la luz al fondo del espacio, siendo esto válido en ventanas de ubicación alta. Al contrario de las otras dos formas, se consigue una iluminación más homogénea en el espacio.

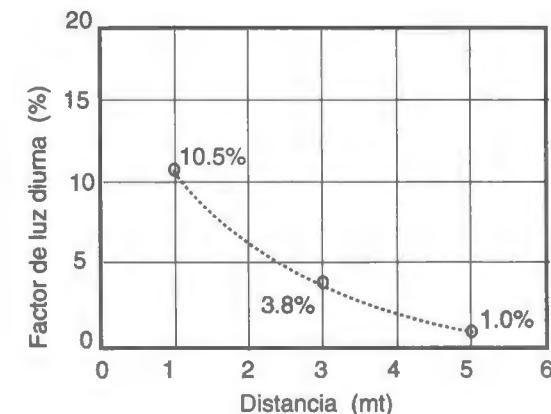
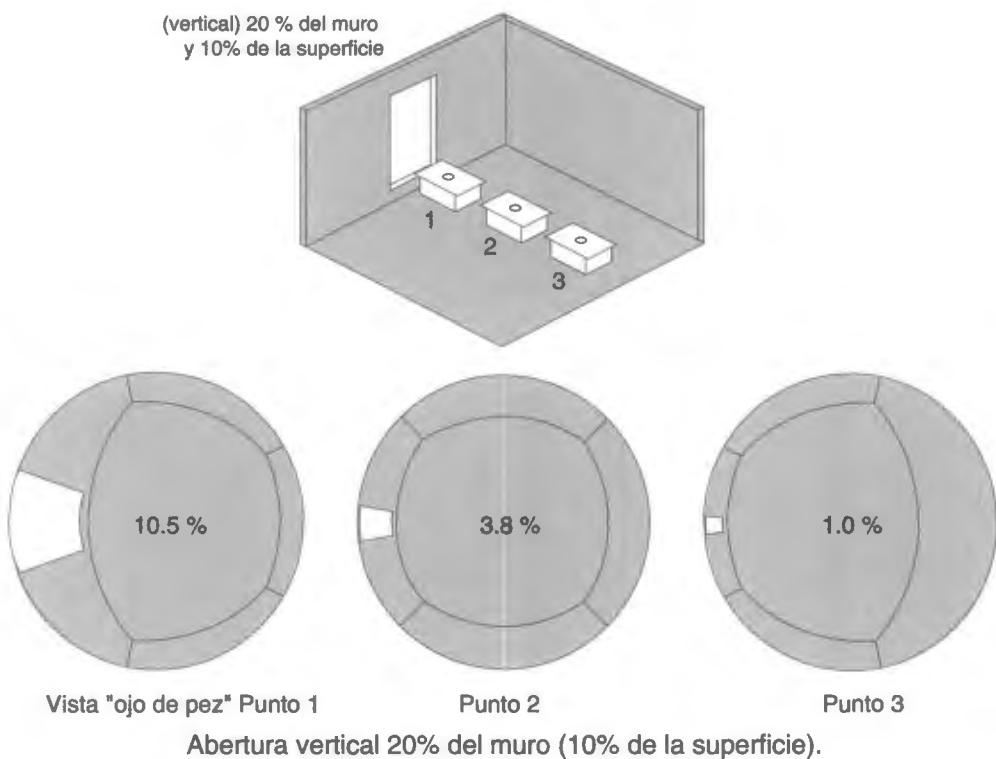


Abertura horizontal 20% del muro (10% de la superficie).



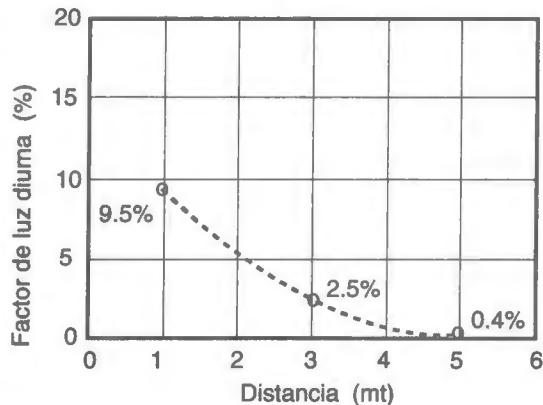
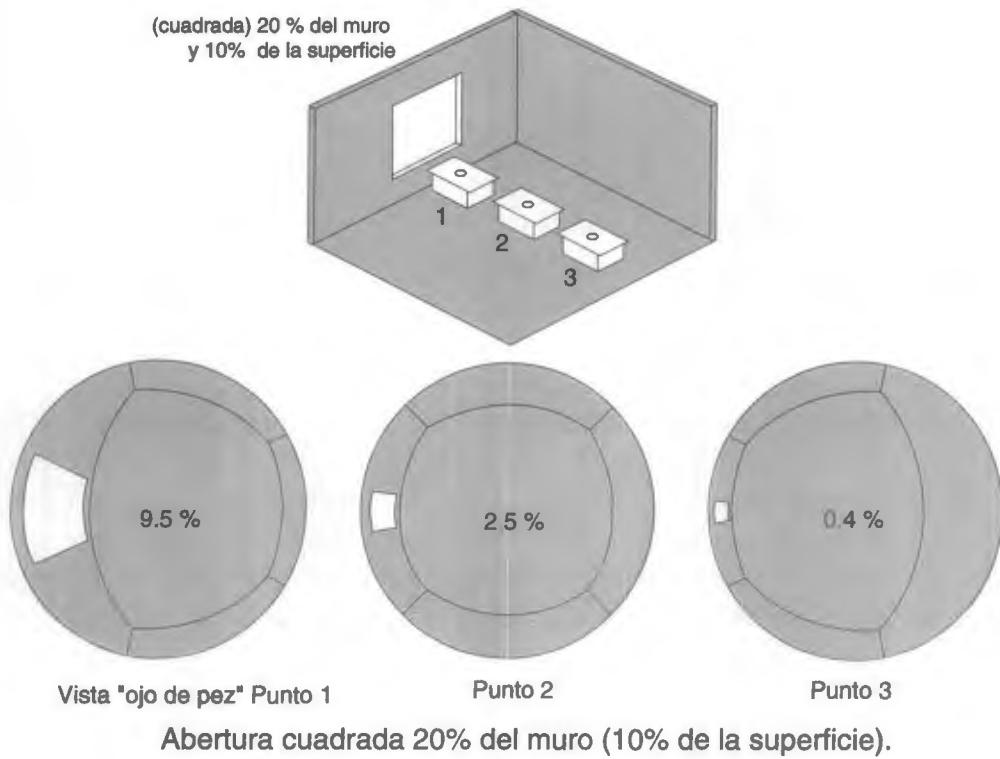
Distribución de la iluminación natural (A 20%, S 10%).

**Vertical.** Se recomienda para espacios de descanso, no así de uso laboral. La gráfica del comportamiento a lo largo del espacio muestra la escasa calidad de la iluminación en el fondo de la misma, ya que esta geometría impide el reparto homogéneo. Por cuestiones térmicas se recomienda su uso en orientaciones negativas disponiéndolas en la esquina contraria del muro de donde incide el sol. Asimismo, la ventilación se ve más favorecida por la diferencia de presiones que existe entre la parte inferior y la superior de la ventana.



Distribución de la iluminación natural (A 20%, S 10%).

**Cuadrada.** De comportamiento similar a la anterior, aunque con todavía menor cantidad y calidad de iluminación disminuyendo en la parte última del espacio. Al igual que la forma vertical, sólo se recomienda en orientaciones muy inadecuadas como la este, donde se debe de ubicar en el lado derecho (vista desde dentro), contrario a la incidencia solar directa en horas matinales de todos los días del año.



Distribución de la iluminación natural (A 20%, S 10%).

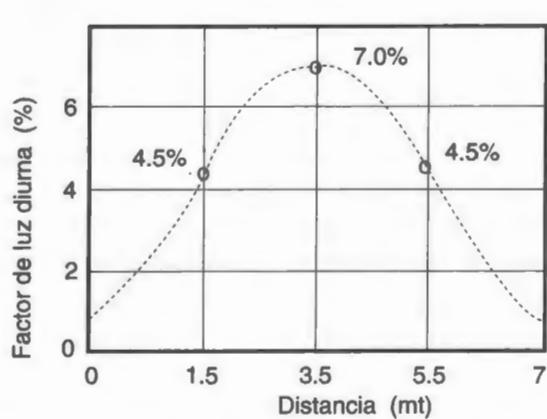
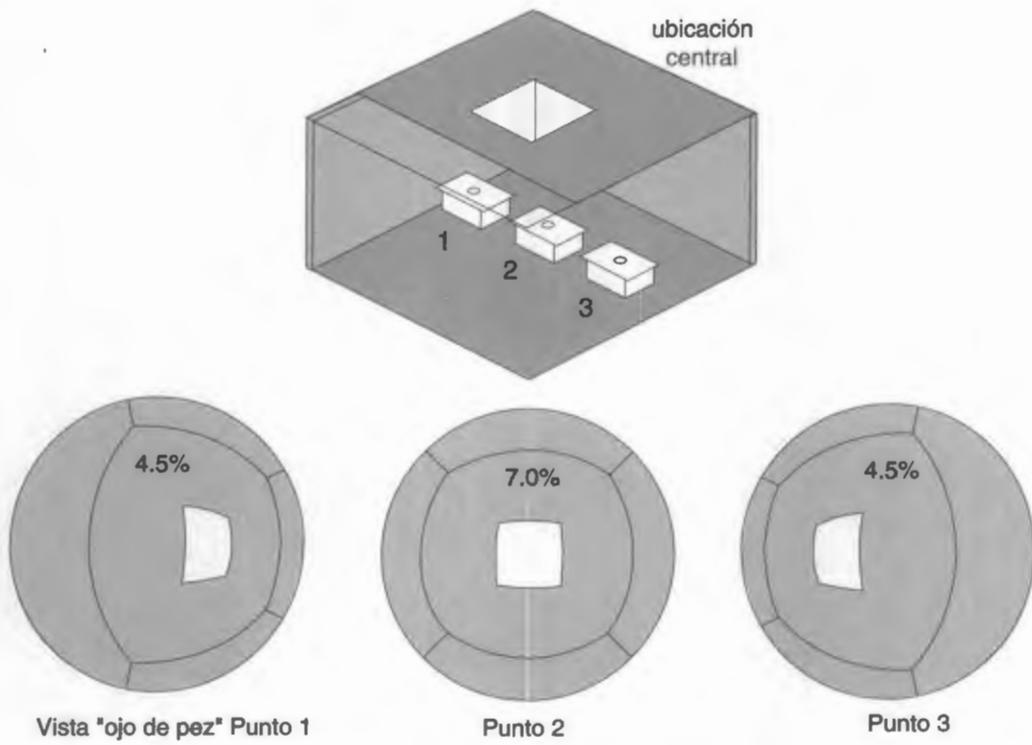
### Componentes de paso cenital

Este tipo de estrategias son utilizadas como opción ante el problema de no disponer de muros laterales para iluminar naturalmente. La decisión de iluminar cenitalmente se debe considerar de diferente manera a la de tipo lateral. Espacios que requieren iluminación uniforme o donde las distancias a la iluminación de tipo lateral sean prolongadas optarán por aberturas horizontales. La luz cenital es la más adecuada para su aplicación en planos de trabajo horizontales como talleres de dibujo, oficinas especializadas, etcétera. Asimismo, es la más apropiada para iluminar imágenes de tercera dimensión como una pieza de escultura. Aunque para todo ello deben considerarse los problemas de control solar que existen al decidir iluminar cenitalmente, la superficie horizontal es la que recibe más horas de radiación solar que cualquiera de las fachadas.

Otra de las ventajas de la iluminación cenital es la de su fácil integración con las instalaciones eléctricas de iluminación, ya que generalmente son colocados en los techos. La característica principal de la iluminación cenital es la del nivel de uniformidad de luz que proporciona a todo lo largo y ancho del espacio en cuestión, ya que tiene mayor vista de la cúpula celeste y, por consecuencia, la disponibilidad de luz natural es mucho mejor que en la iluminación lateral.

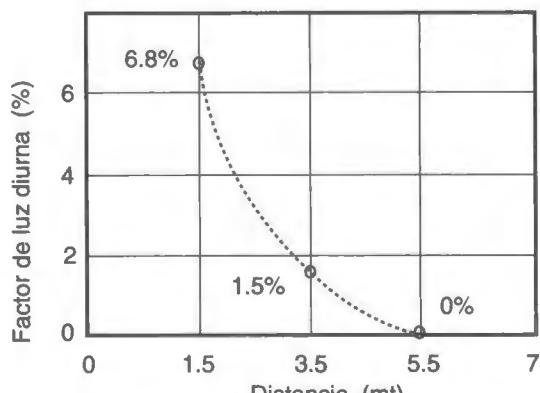
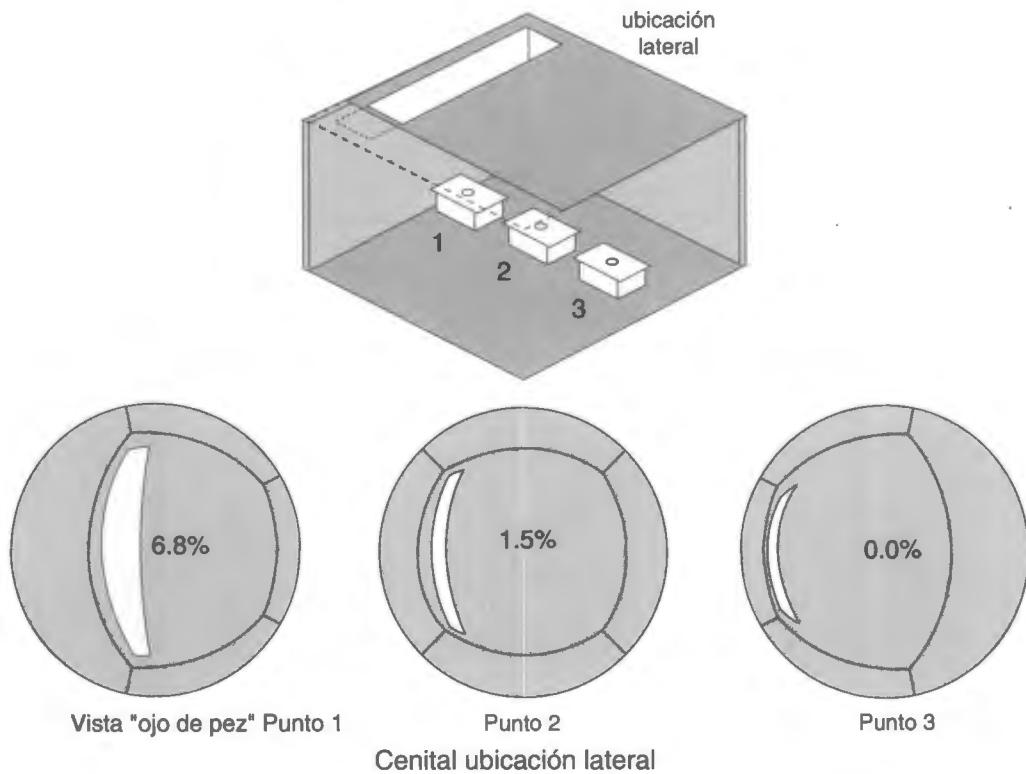
La diferencia entre los dispositivos de control y los componentes de iluminación (desde el punto de vista cenital) no pueden diferenciarse ya que dependiendo de los materiales y los recubrimientos utilizados se incrementa o disminuye la eficiencia del mismo. El análisis aquí realizado auxiliará a determinar los más adecuados para las diferentes orientaciones, sirviendo esto para establecer los parámetros que convienen para regir su utilización en un clima semitemplado.

**Ubicación central.** La ubicación de la abertura cenital será el primer parámetro a considerar para un adecuado desarrollo lumínico en el interior del espacio Arquitectónico. La lógica disposición de la abertura en el centro del techo proporciona una iluminación más uniforme en los diferentes puntos del plano de trabajo. El análisis sobre modelos físicos se realizó considerando un cielo uniforme (cubierto) sin que esto condicione de alguna manera la orientación. Para lograr un reparto igual en todos los puntos, se recomienda utilizar materiales difusores que no concentren la luz directa en un solo punto.



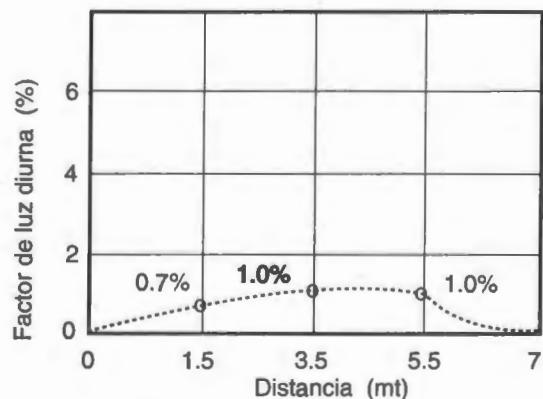
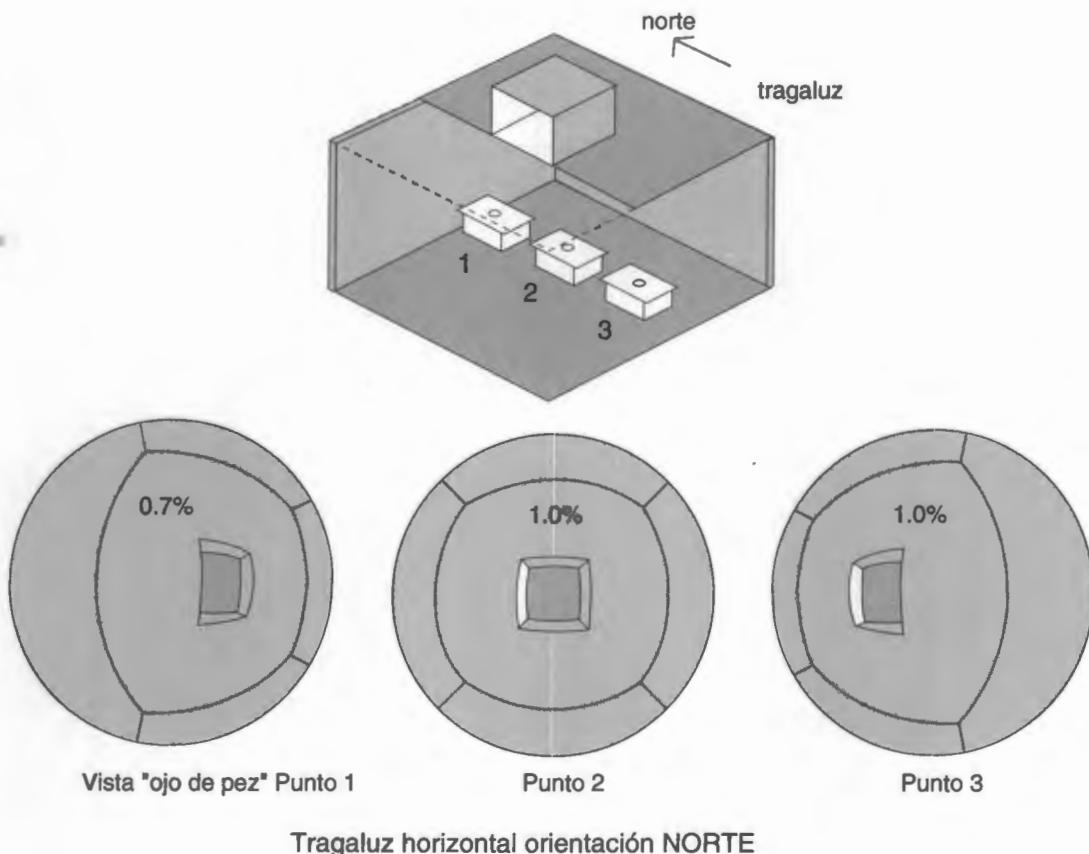
Distribución de la iluminación natural.

*Banda lateral.* Por otro lado, la ubicación lateral debe considerarse en espacios donde no sea posible iluminar lateralmente mas allá de cinco metros del lado opuesto de la abertura más cercana. La combinación de esta ubicación con el de una abertura en el lado contrario proporcionaría un espacio adecuadamente iluminado para realizar tareas visuales especiales.



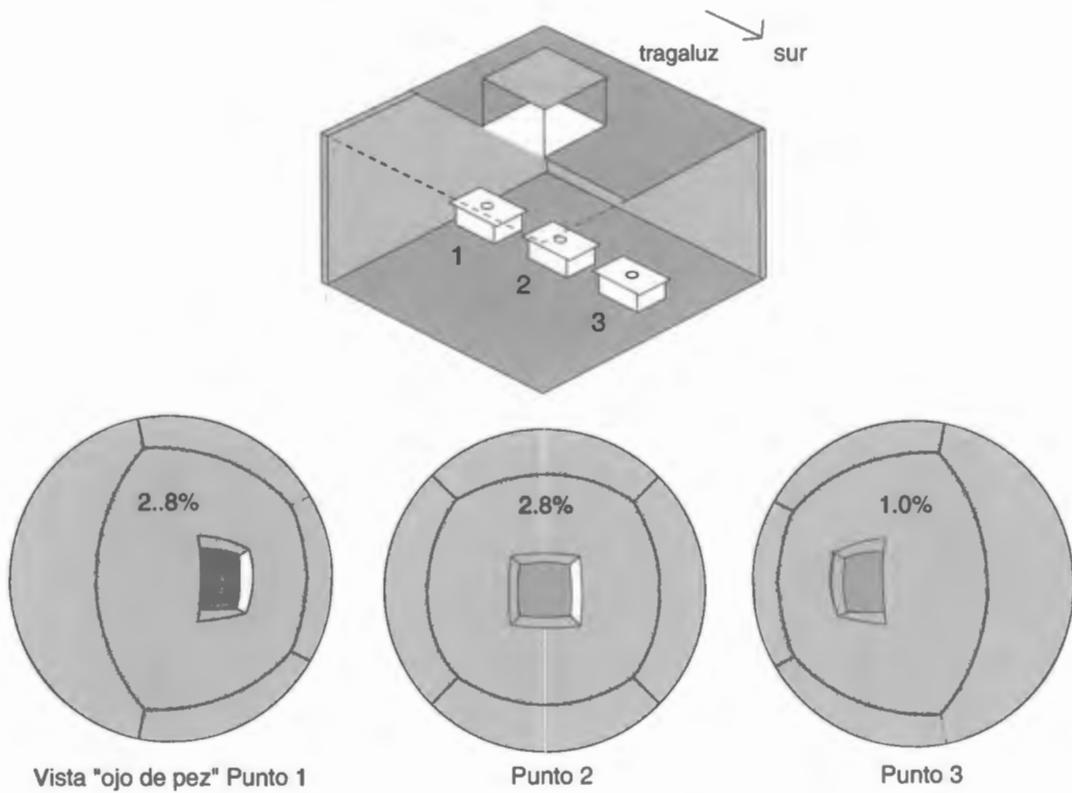
Distribución de la iluminación natural.

**Tragaluces.** Es una estructura continuada del techo utilizada según la orientación que se disponga, en este caso norte o sur. Comunmente se emplean materiales reflejantes y recubrimientos de máxima transmitancia como el vidrio claro, que permiten el mayor aprovechamiento de la luz del sector norte.

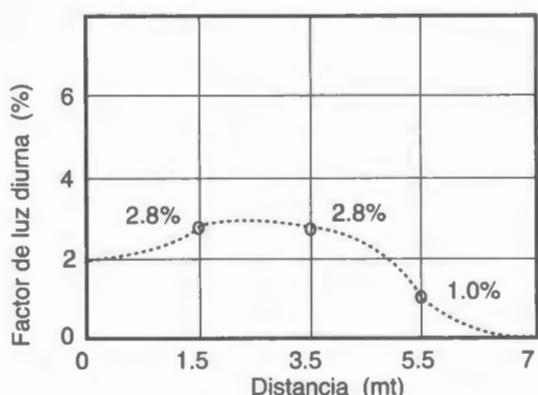


Distribución de la iluminación natural.

En el caso de orientarlos hacia el sector sur se deben emplear vidrios translúcidos y deflectores (persianas) que hagan difusa la luz del sol. Las gráficas muestran la clara diferencia de orientar el tragaluz cuadrado hacia el norte o al sur.

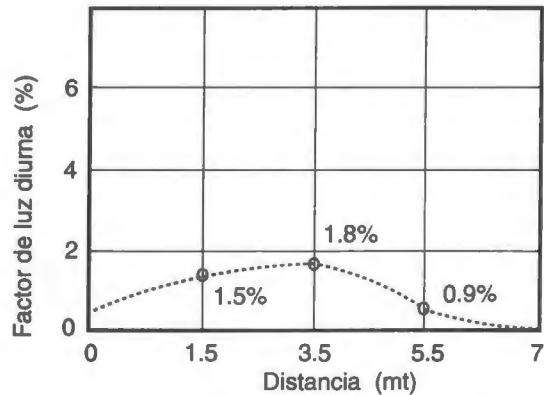
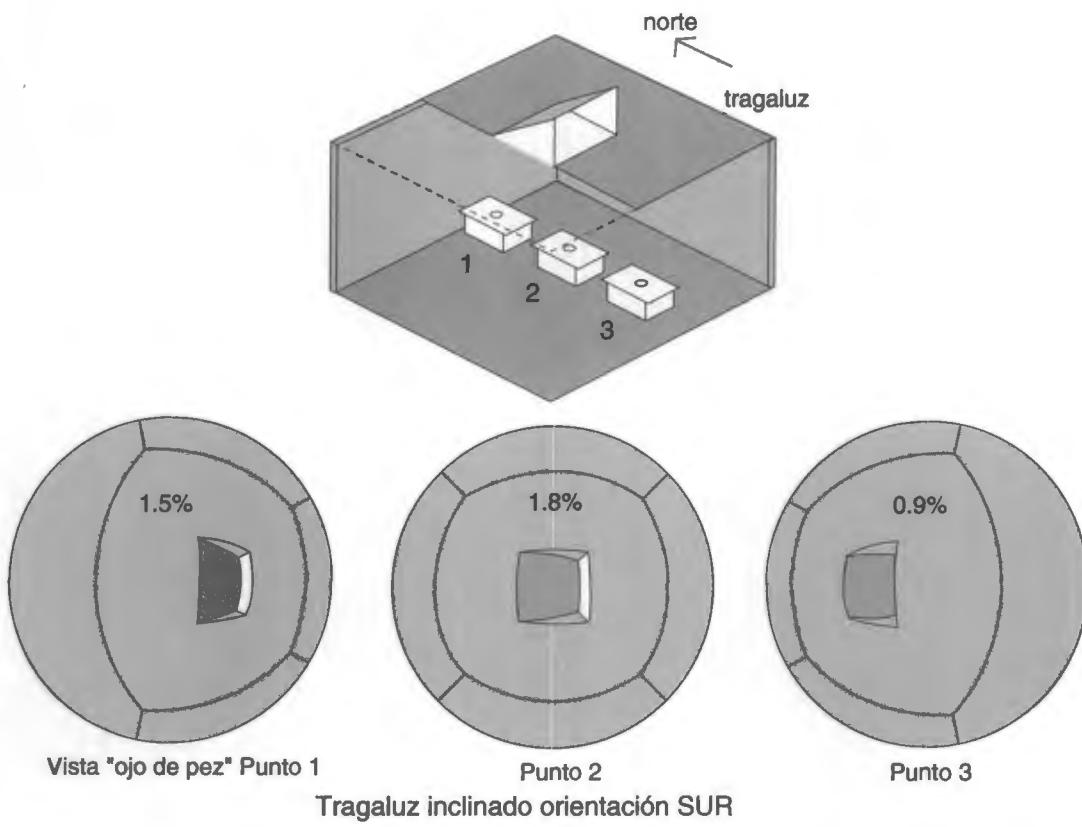


Tragaluz horizontal orientación SUR



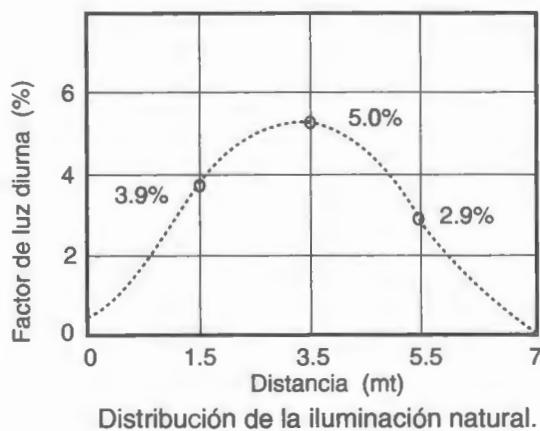
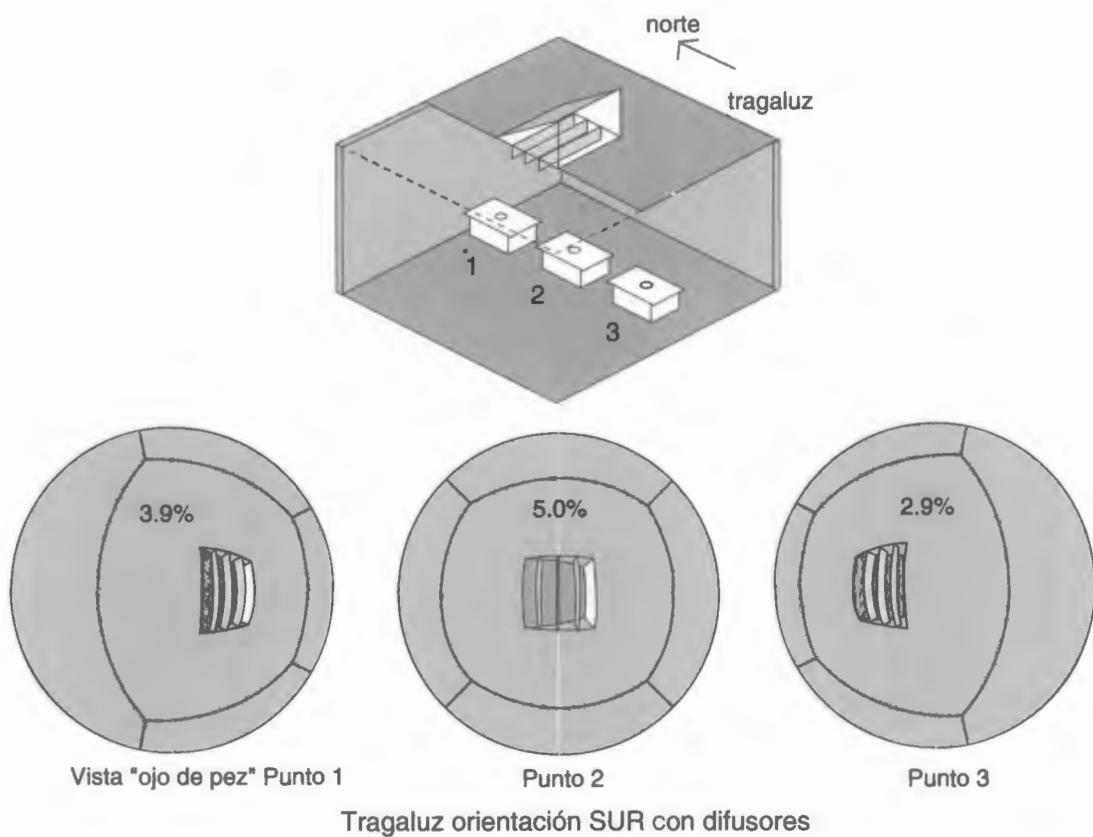
Distribución de la iluminación natural.

**Tragaluces inclinados.** Este tipo de estructura aprovecha la inclinación de su cubierta para proporcionar luz indirecta al interior. Si la inclinación de dicha estructura es mayor a  $45^{\circ}$ , el porcentaje de iluminación es adecuado para realizar tareas visuales sencillas.

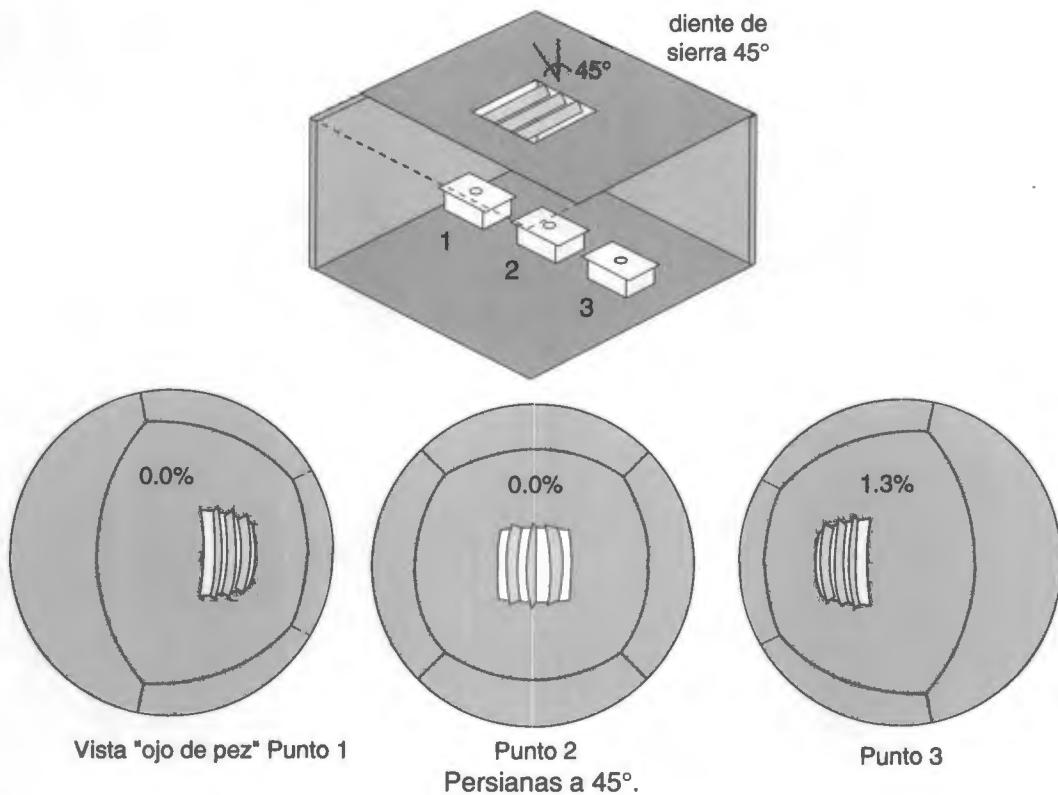


Distribución de la iluminación natural.

Los tragaluces inclinados funcionan mejor orientados hacia el sur, ya que con una pequeña ventana vidriada captan eficientemente la luz del sol. Aunque es recomendable el empleo (como ya se mencionó) de difusores y protecciones calculadas para permitir el paso del sol en los meses de invierno.



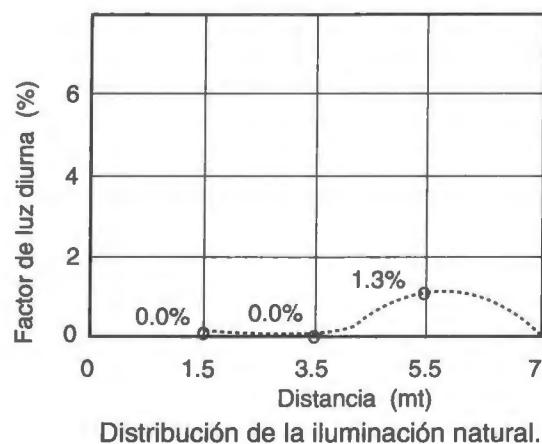
**Cenital con persiana 45°.** Este tipo de estructura es empleado comúnmente para iluminar grandes naves industriales. Si la inclinación de dicha estructura es mayor a 45°, el porcentaje de iluminación es más o menos constante. La orientación recomendada es hacia el norte para evitar grandes contrastes en las diversas áreas del interior.



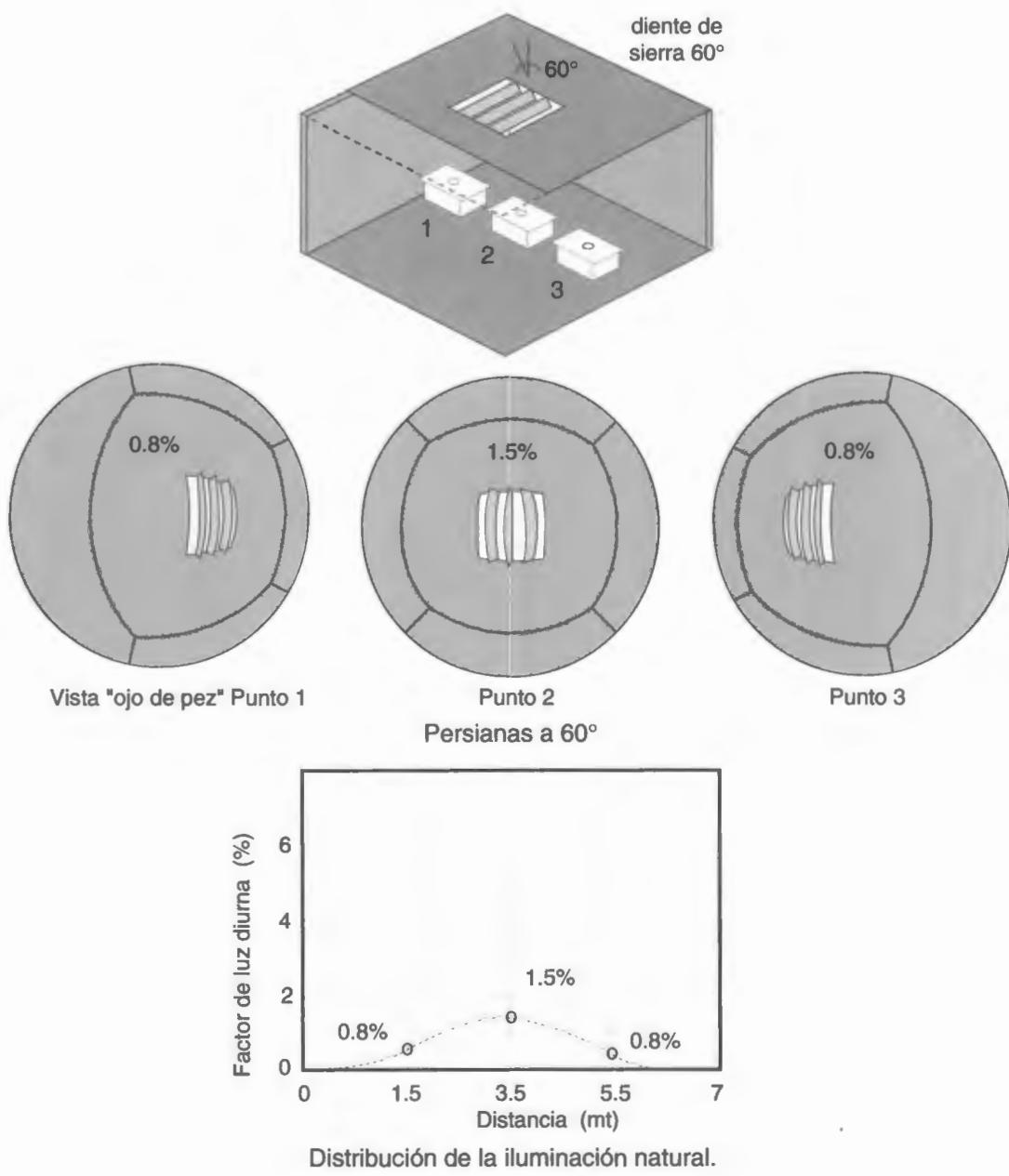
Vista "ojo de pez" Punto 1

Punto 2  
Persianas a 45°.

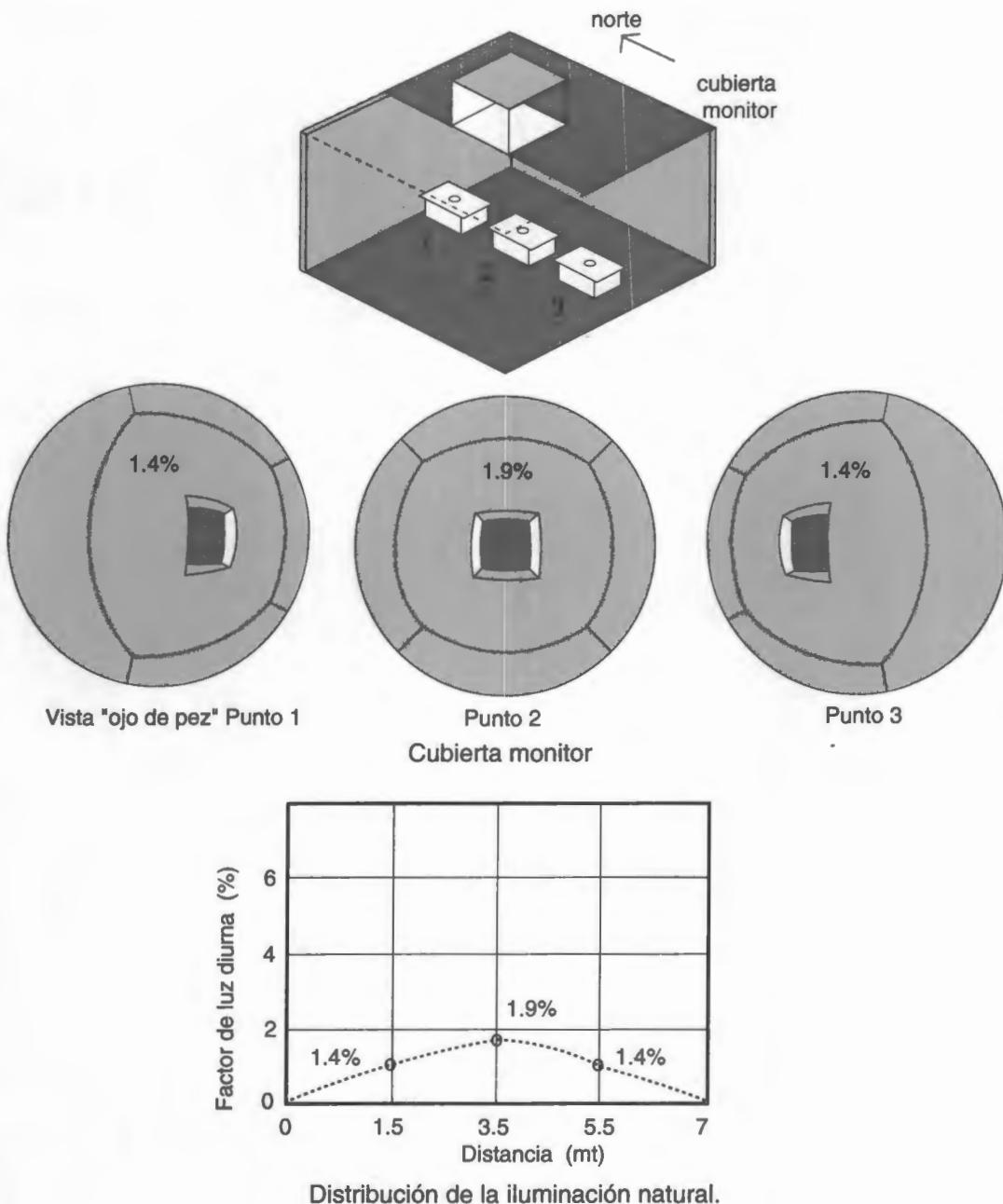
Punto 3



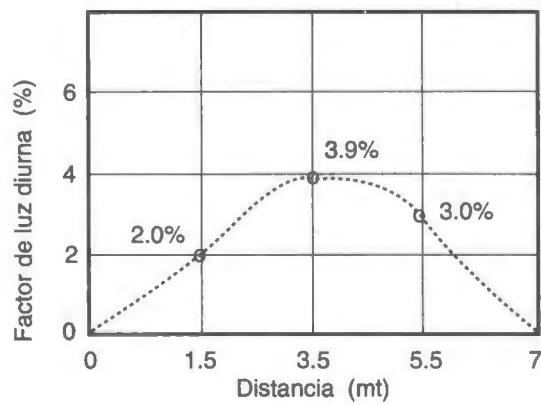
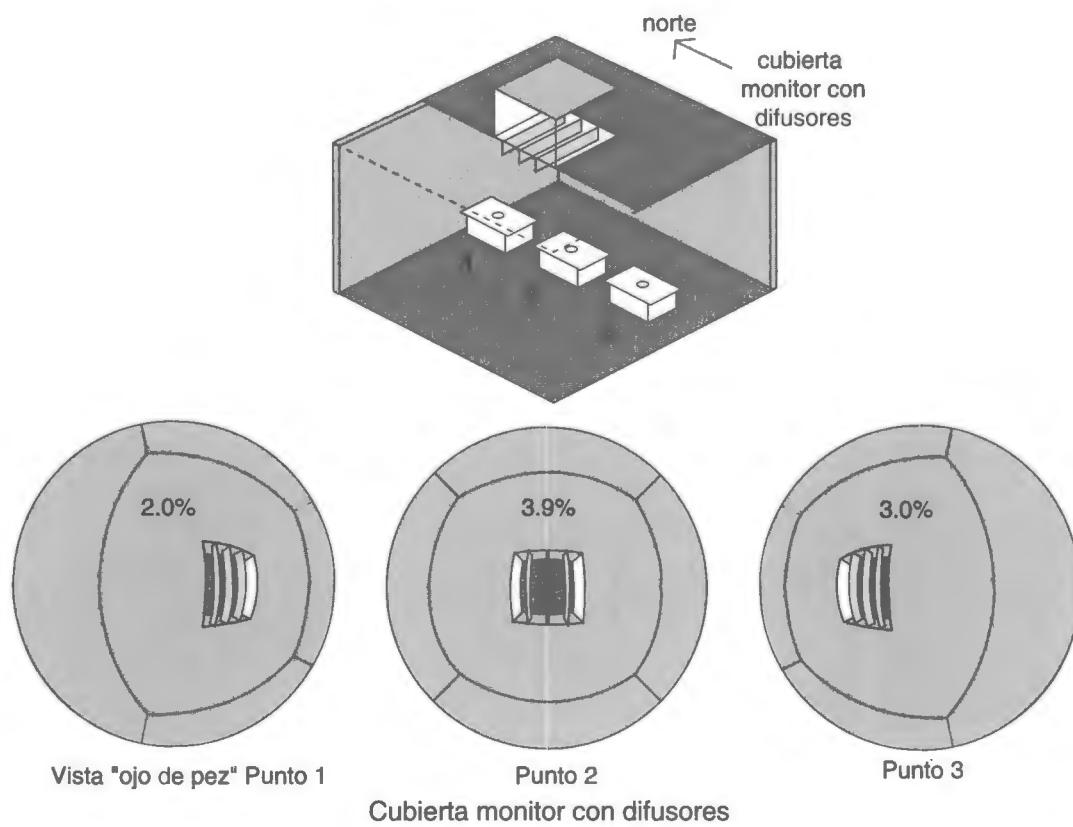
*Cenital con persiana 60°.* Con esta inclinación se logra una repartición de la luz más uniforme sobre los tres puntos de nivel de trabajo, aunque con estas opciones se logra disminuir considerablemente el FLD.



**Cubierta monitor.** Este tipo de elemento cenital admite la luz natural en ciertas horas del día. Si se orienta este-oeste, que es lo más común, la distribución de la luz es problemática. Aunque su empleo más bien obedece a aspectos de ventilación natural, se pueden seguir los criterios descritos anteriormente y emplear materiales vidriados difusores y recubrimientos reflejantes para aumentar su eficacia.



**Cubierta monitor con deflectores.** Al igual que en los anteriores ejemplos, aunque los deflectores disminuyen la calidad y cantidad de iluminación, deben ser considerados en el caso de requerir de luz difusa para trabajos visuales específicos.



Distribución de la iluminación natural.

**REFERENCIAS Capítulo 6 :**

1 Mur Soteras, Rafael. "Geometría natural e iluminación natural"

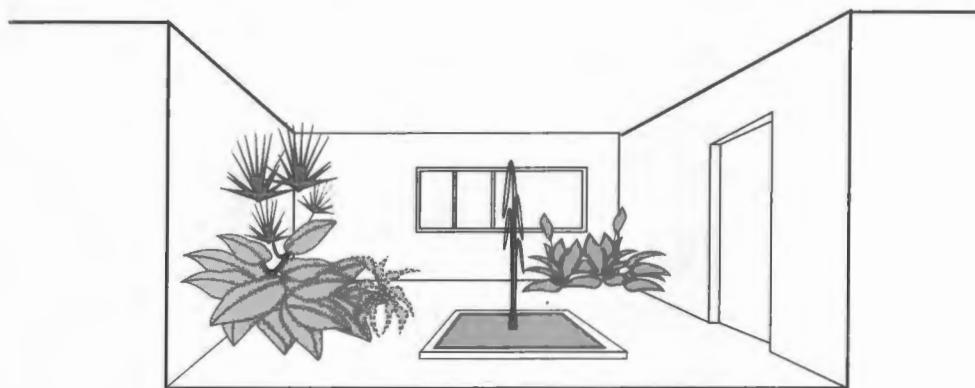
2 Commissiion International de l'Eclairage

## 7. COMPONENTES DE CONDUCCIÓN

El presente trabajo pretende analizar los componentes de conducción, que transportan la luz hacia espacios interiores que tienen poca o nula posibilidad de iluminarse naturalmente. Dentro de este grupo se consideran los patios y los conductos de luz. Las condiciones físicas de dichos componentes son similares a de los componentes de paso; en el caso de los patios lo importante es el desarrollo lumínico de los espacios que tienen aberturas hacia éstos. Los conductos de luz, por su parte, merecen un análisis por separado.

### **Patios**

Desde la perspectiva lumínica, los patios se consideran como aquellos espacios envueltos por muros de un edificio o varios que tienen aberturas y que tienen la parte superior abierta al exterior. Las condiciones lumínicas del patio son, por lo tanto, similares al exterior permitiendo la iluminación y ventilación hacia las zonas interiores del edificio a través de aberturas.



Condiciones lumínicas de los patios

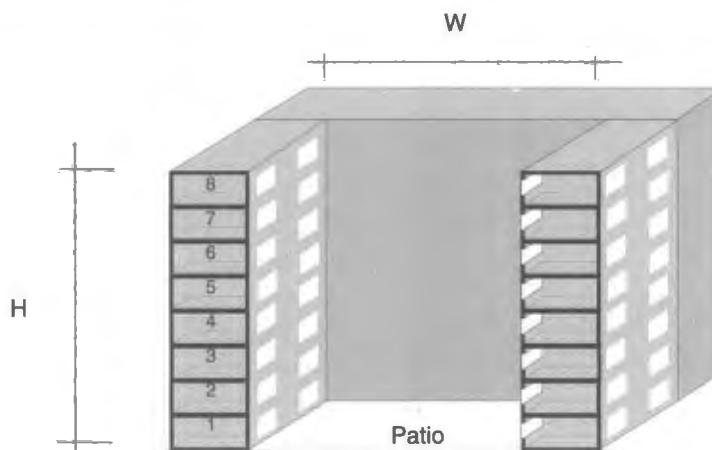
Dividiendo el perímetro del edificio en diferentes zonas de iluminación diurna, se podrán obtener diferentes tasas de lumínicas dependiendo de la orientación de éstas hacia dicho patio. La iluminación obtenida en las aberturas norte será inferior a las orientaciones sur (en estas latitudes), lo cual tendría que ser considerado al tomar la decisión de los colores y acabados de sus fachadas y de sus dispositivos de control que den hacia el patio.

Los patios son usualmente diseñados en el corazón del edificio y esto deberá también considerarse si se piensa en diseñar varios niveles hacia el patio. El tamaño del patio variará de acuerdo a los requerimientos lumínicos del terreno disponible y a las necesidades espaciales del diseño. Las condiciones térmicas se verán modificadas al variar el tamaño del patio, por lo que deberá realizarse un balance de los atributos lumínicos y térmicos.

El tamaño del patio también estará en función del número de niveles con los que contará la edificación; la penetración de la luz es mejor en los pisos superiores ya que tendrá menos obstáculos hacia la cúpula celeste. En estos pisos superiores no se considerarán las reflexiones provenientes del piso, lo cual podrá ser aprovechado en los pisos inferiores, que tendrán poca visión hacia el cielo. La proporción del patio se establece mediante una sencilla ecuación:

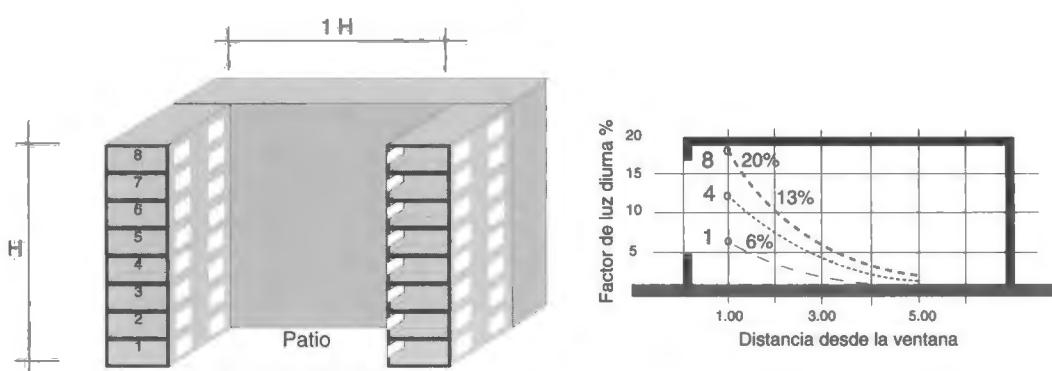
$$A = H / W$$

Donde A es el radio, H es la altura y W es el ancho del patio. En los siguientes ejemplos se comprueba la eficacia de lo anteriormente expuesto, la separación 1:1 (altura igual a separación). Los niveles lumínicos internos son similares a cómo se comportan dos elementos separados. Las tasa de FLD en el piso superior puede alcanzar hasta el 20% y en el inferior desciende hasta un 6% de FLD.<sup>1</sup>



Relación de altura-separación.<sup>1</sup>

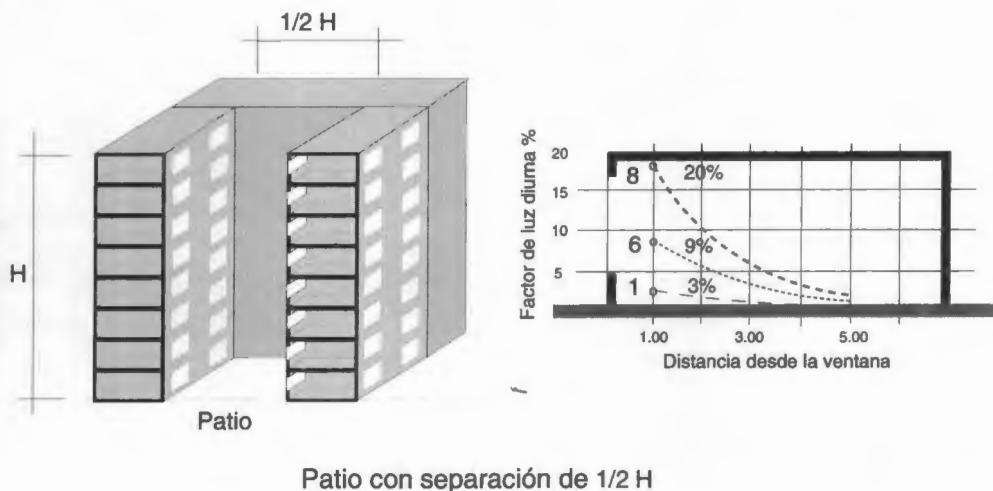
Reduciendo la separación los índices de FLD también se ven reducidos (sin contar con la reflexión que pueda existir en el piso) en los pisos inferiores; en 1/2 de separación de la altura el FLD en el piso 2 se reduce hasta el 3% en la posición cercana a la abertura y en un 4% en el piso 6 con una separación de 1/4 de H.



Patio con separación igual a la altura.

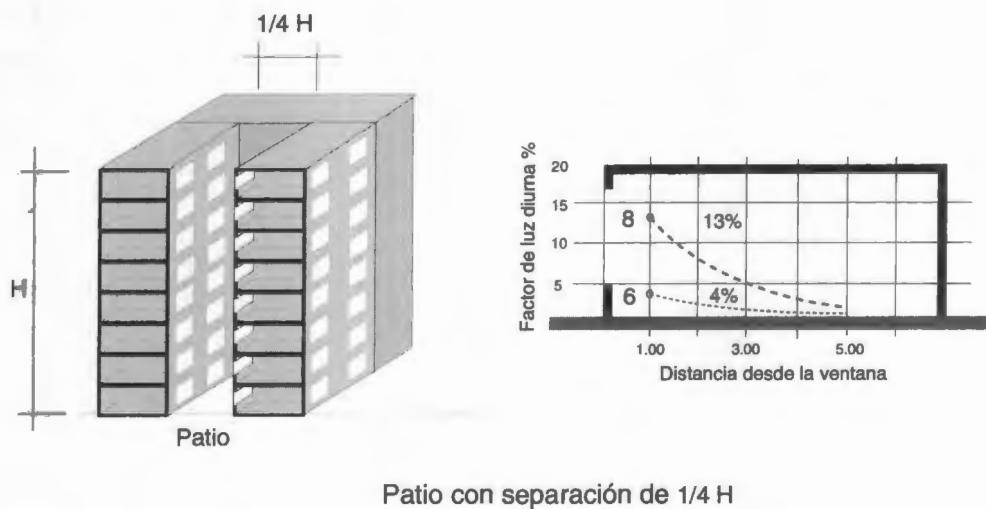
1 C. L. Robbins. "Daylighting" (1982).

La separación de  $1/2 H$  pudiera ser de las más convenientes para el control climático en edificaciones de tipo habitacional por medio de la ventilación. Pero en los aspectos lumínicos que aquí se analizan dicha separación reduciría drásticamente la iluminación natural en el nivel inferior por lo que sería conveniente el disponer de elementos constructivos que reflejaran la luz del suelo, teniendo cuidado de dosificar las ganancias térmicas excesivas.



Patio con separación de  $1/2 H$

Una separación mínima de  $1/4 H$  reduce no solamente la iluminación, sino también las posibilidades de intercambio energético con el exterior. La iluminación natural se ve reducida notoriamente desde el nivel 6, imposibilitando su adecuación visual para usos laborales de altos requerimientos lumínicos. La proporción  $H/W$  tendría que ser condicionada a propiciar una iluminación adecuada y más aún en espacios de uso habitacional.<sup>2</sup>



Patio con separación de  $1/4 H$

<sup>2</sup> *Ibid.*

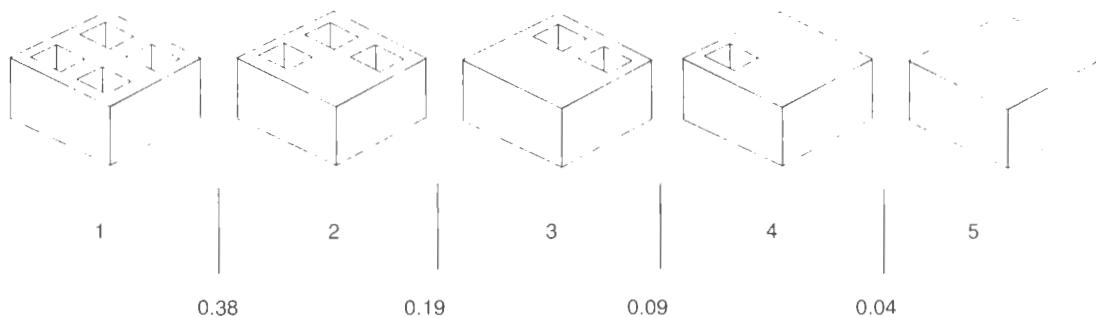
## Porosidad del edificio

Las condiciones del nivel de la porosidad de un edificio deberán considerar al volumen total de la edificación. La propuesta incluiría las limitantes primarias de las características de patios interiores, las cuales tendrán que concordar con la disposición de los mismos. Los espacios vacíos (poros) tendrán la función de facilitar la iluminación y ventilación natural en espacios internos donde la abertura más cercana se encuentre a 6 metros.<sup>3</sup>

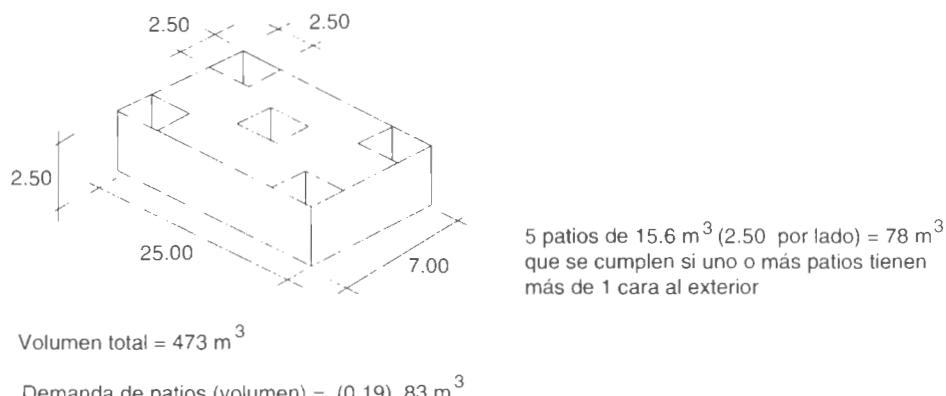
La estimación del nivel de porosidad del edificio puede realizarse mediante la siguiente relación:

$$g_{po} = \frac{V_{pa}}{V_g}$$

Donde  $V_{pa}$  es el volumen de patios ( $m^3$ ) y  $V_g$  es el volumen total del edificio ( $m^3$ ). Mientras mayor sea el área de patios, mayor será la posibilidad de intercambio energético controlado debido al microclima corregido.



La exemplificación a la que se puede hacer referencia es el volumen necesario de patios en relación al volumen total de la edificación y a la ventilación requerida en un espacio de características específicas. La exigencia de proveer un 0.19 de nivel de porosidad en un edificio condicionará las demandas de aire por concepto de área de ventanas disponibles para realizarlo, al contar con mayor superficie que en el volumen inicial.



Por lo tanto, el nivel de porosidad del edificio no deberá ser menor al 0.19 del volumen total de la edificación. La existencia de espacios vacíos y comunicados directamente con el exterior en el volumen de la edificación estará regido por las siguientes observaciones:

- Se considerarán patios de iluminación y ventilación aquellos que tengan 1/6 parte de su volumen total en contacto con el exterior. Dichos patios estarán regidos por lo establecido en la sección reglamentaria referente a la iluminación y ventilación respectivamente.
- Deberá disponerse de patios en los espacios habitacionales mayores a 6 metros de distancia de la abertura opuesta, para asegurar las condiciones de iluminación.
- Todas las aberturas horizontales de los patios deberán contemplar los requerimientos de ventilación de los espacios que tienen aberturas hacia él.
- Todos los patios deberán tener acabados de texturas lisas y con colores claros en los muros que le delimitan, ya sea patios particulares o patios compartidos entre varios edificios.



## Disposición de los patios

Como se menciona en el apartado anterior, las propuestas para la disposición de patios están centradas en el hecho que deben propiciar las condiciones de ventilación e iluminación natural a los espacios que los delimitan. Asimismo, se propone condicionar la forma de los patios (rectangular o cuadrada) y su uso, los cuales serán exclusivamente para iluminar y/o ventilar.

Según el *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*, la disposición de los patios para la iluminación y ventilación natural deberán utilizarse en edificaciones donde no sea posible tener aberturas verticales en todos los espacios. Todos los patios para dichos fines deberán seguir los siguientes lineamientos:<sup>4</sup>

1. La forma de los patios tendrá que ser rectangular o cuadrada; sólo en casos especiales se permitirían patios con otras geometrías mediante un análisis bioclimático de su ubicación.
2. El uso de los patios será exclusivamente de iluminación y ventilación natural, evitando implementar instalaciones como estanterías, libreros, armarios o cualquier otro tipo que impida el adecuado funcionamiento lumínico y climático.
3. Los patios nunca deberán ser menores a 2.50 m por lado, salvo en los casos establecidos en los párrafos siguientes. Las dimensiones mínimas en relación a la altura de los lados que conforman el patio (para varios niveles) deberán guardar la siguiente disposición:

Tipo de espacio	Dimensión del patio en relación a la altura de sus lados (mínimo 2)
Habitacional Oficinas	1/3
Laboral Comercial	1/4
Otros	1/4

4. La orientación de los patios abiertos lateralmente deberá procurarse hacia el sur, SE, SO, oeste e intermedias a éstas, evitándose en lo posible las demás orientaciones:

- A) En orientaciones con eje norte-sur se podrá reducir el patio hasta una cuarta parte si se incrementa en sentido transversal 1/4 de la dimensión mínima.
- B) En las demás orientaciones podrá hacerse lo mismo con la variación de 1/5 de las dimensiones mínimas del patio; esto es válido si la parte opuesta es por lo menos 1/5 de la dimensión mínima exigida.
- C) La dimensión del patio se podrá reducir al 50% del mínimo, si uno de sus lados está abierto hacia la vía pública en orientaciones norte y en las demás orientaciones podrá hacerse lo mismo si cuentan con protecciones solares complementarias.

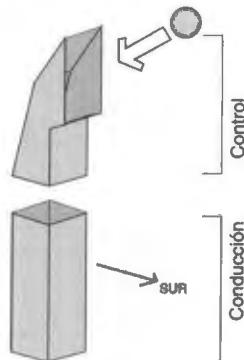
5. Los patios de iluminación y ventilación que por situaciones especiales deban estar techados, deberán utilizar materiales que tengan un factor de transmisión lumínica mínima del 80%. Además deberán contar con aberturas para propiciar la ventilación que no sea menor a la exigida por la suma de las áreas de ventilación de todos los espacios que den hacia dicho patio.

<sup>4</sup> Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

### Conductos de luz<sup>5</sup>

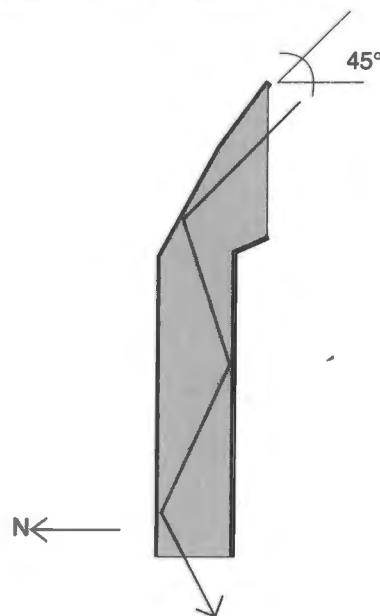
Son utilizados en espacios donde debido a su posición central (en varios niveles) no existe posibilidad de iluminar directamente del exterior y la luz tiene que atravesar varios volúmenes. El doctor Rafael Serra desarrolla la idea de los “conductos de luz”, que consisten en una chimenea que transporta iluminación natural. Desde el punto de vista funcional este sistema tiene dos partes:

- La parte superior, para captar la luz seleccionando las penetraciones solares en función de la temporada.
- La parte inferior o conducto, que es destinado a transportar la luz a través del edificio, procurando que se componga del menor número de partes posibles.



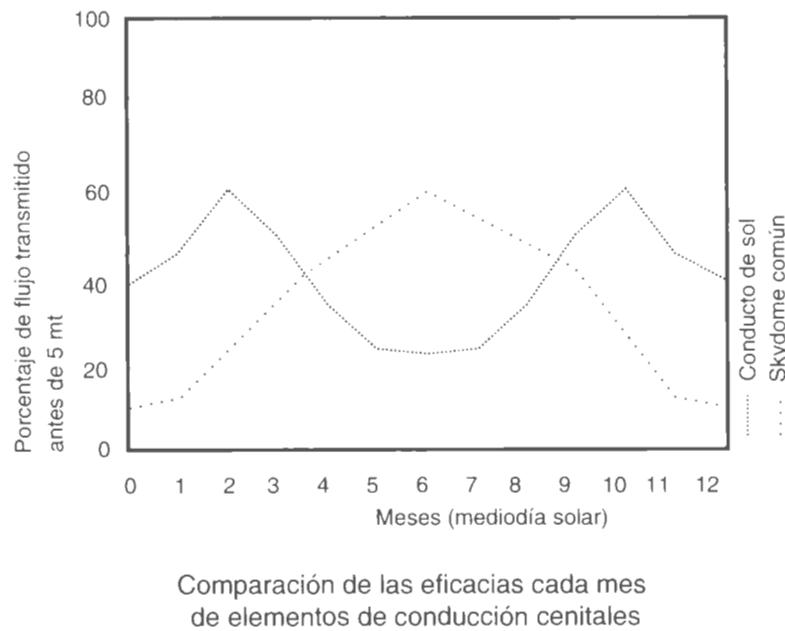
Axonometría de un conducto de sol.

Los conductos de iluminación son preferiblemente para espacios de uso no habitacional; pueden proporcionar una luz directa, con franjas o manchas solares, o difusa, si se controla la salida hacia el espacio. Pueden también ser utilizados para ventilar en espacios donde no sea posible hacerlo lateralmente.



Penetración solar en Diciembre para la latitud de 20° N

Sus dimensiones son pequeñas, puesto que su uso sólo debe ser para cuestiones luminicas o de ventilación; su longitud no debe ser mayor a los 10 metros y con una sección de 0.5 x 0.5 metros hasta 2.00 x 2.00 metros revestido en el interior de espejos y separados del exterior con elementos transparentes. Otros autores han comparado la eficacia de las chimeneas de luz con la de un componente cenital simple donde la abertura representa la misma superficie. En la tabla siguiente se puede observar que el sistema de chimenea aporta mayores cantidades de luz (con un adecuado cálculo de penetraciones solares) que el sistema cenital normal.



**REFERENCIAS Capítulo 7 :**

1, 2 Robbins, C. L. "Daylighting". Ed. Van Nostrand Reinhold; USA, 1982.

3 Serra Florensa, Rafael. "Clima, Lugar y Arquitectura". Ed. CIEMAT; ESPAÑA, 1989.

4 "Reglamento de Construcciones del Distrito Federal"

5 Paule, Bernard. "Maitrise de l'eclairage naturel". Ed. ENTPE-LASH; FRANCIA, 1988.

## 8. DISPOSITIVOS DE CONTROL

Dependiendo del dispositivo de control elegido, el patrón de distribución de la luz modificará su comportamiento en el interior del espacio arquitectónico. Aunque los dispositivos de protección son generalmente utilizados en contra de la incidencia solar directa, el análisis lumínico debe realizarse por separado. Los dispositivos de corrección por su parte se consideran como solución para iluminar las zonas de los espacios donde no llega la luz suficiente. Ambos dispositivos de protección y corrección se estudian a través de modelos físicos para desarrollar sus parámetros normativos de construcción.

El presente apartado se divide en los dos grupos principales de dispositivos de iluminación natural: los de conducción y los de control. Ellas a su vez pueden subdividirse (como ya se vio con anterioridad) en laterales y cenitales. Asimismo se pretende analizar físicamente en este apartado varios de estos elementos y determinar cuáles son los más apropiados según su orientación, definiendo los materiales, acabados y dimensiones ideales de los mismos para su recomendación.

*Dispositivos de control lateral.* Este tipo de elementos pueden interferir en la penetración de la luz natural en partes de la superficie vista de la bóveda celeste, ya que serían estas partes las que impedirían que cualquier tipo de iluminación (directa, reflejada, etcétera) arribe al punto de observación. Aunque por otro lado, en ocasiones el diseño de elementos de control sea para impedir la iluminación natural y evitar el deslumbramiento excesivo.

### Aeros

Los dispositivos de control fijos como los aeros pueden ser instalados externamente e incorporados en el diseño arquitectónico del edificio. Estos elementos inhiben la penetración solar y también reducen la visual desde el interior (obertura visual), admitiendo sólo una porción de luz natural. Indudablemente los aeros horizontales son los más efectivos para las fachadas sur y aun más en climas semitemplados. Otra de las ventajas de los aeros es que pueden ser diseñados para proteger y a la vez hacer difusa la incidencia solar para que pueda ser introducida en el interior de la edificación. La "eficacia" de estos aeros ya ha sido analizada (como ya se mencionó anteriormente) por varios autores, entre ellos Victor y Aladar Olgyay, quienes elaboraron la siguiente tabla:<sup>1</sup>



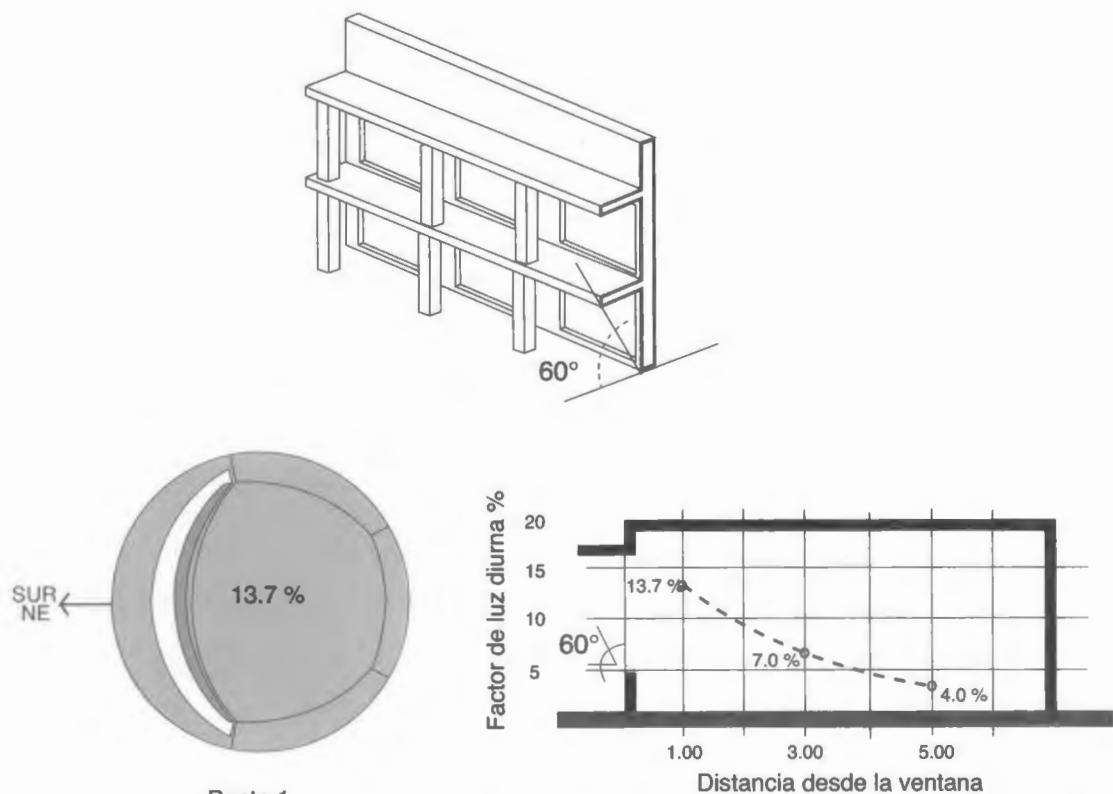
c/h	Eficacia %	c/h	Eficacia %
0	100.0	0.6	56.5
0.1	90.5	0.7	52.0
0.2	81.9	0.8	48.0
0.3	74.3	0.9	44.4
0.4	67.6	1.0	41.4
0.5	61.7	2.0	23.6

<sup>1</sup> Olgyay y Olgyay, "Solar control and shading devices"

La eficiencia está medida en el borde de la ventana y, como mencionan ellos mismos, no toma en cuenta las superficies colindantes ni la reflexión que pudieran producir. Por lo anterior se hace necesario considerar una serie de factores más amplios que abarquen los siguientes criterios:

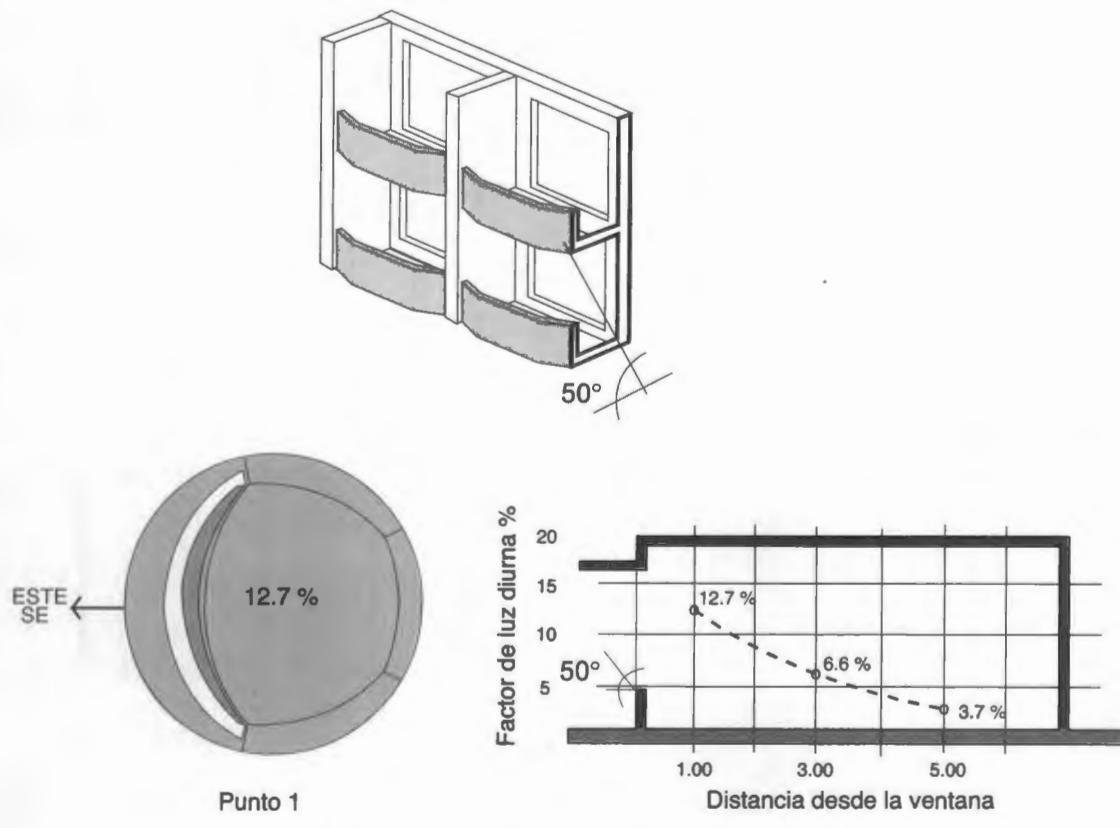
- Orientación del alero
- Materiales de recubrimientos interiores
- Posición del nivel de trabajo con respecto a la ventana
- Tamaño de la ventana

**Alero 60°.** Es recomendable su utilización en las orientaciones sur y NE. Las posibilidades de empleo de otro tipo de elemento de control deben ser consideradas en la orientación sur, ya que es la orientación más recomendable para espacios de uso laboral, y un alero podría reducir considerablemente la luz natural disponible en el interior. El gráfico muestra el comportamiento de la luz en factor de luz diurna (FLD) repartido en el interior del espacio. Junto a la ventana los niveles pudieran llegar a ser poco confortables con riesgo de deslumbramiento, mientras que en el fondo del espacio se reduce considerablemente.<sup>2</sup>



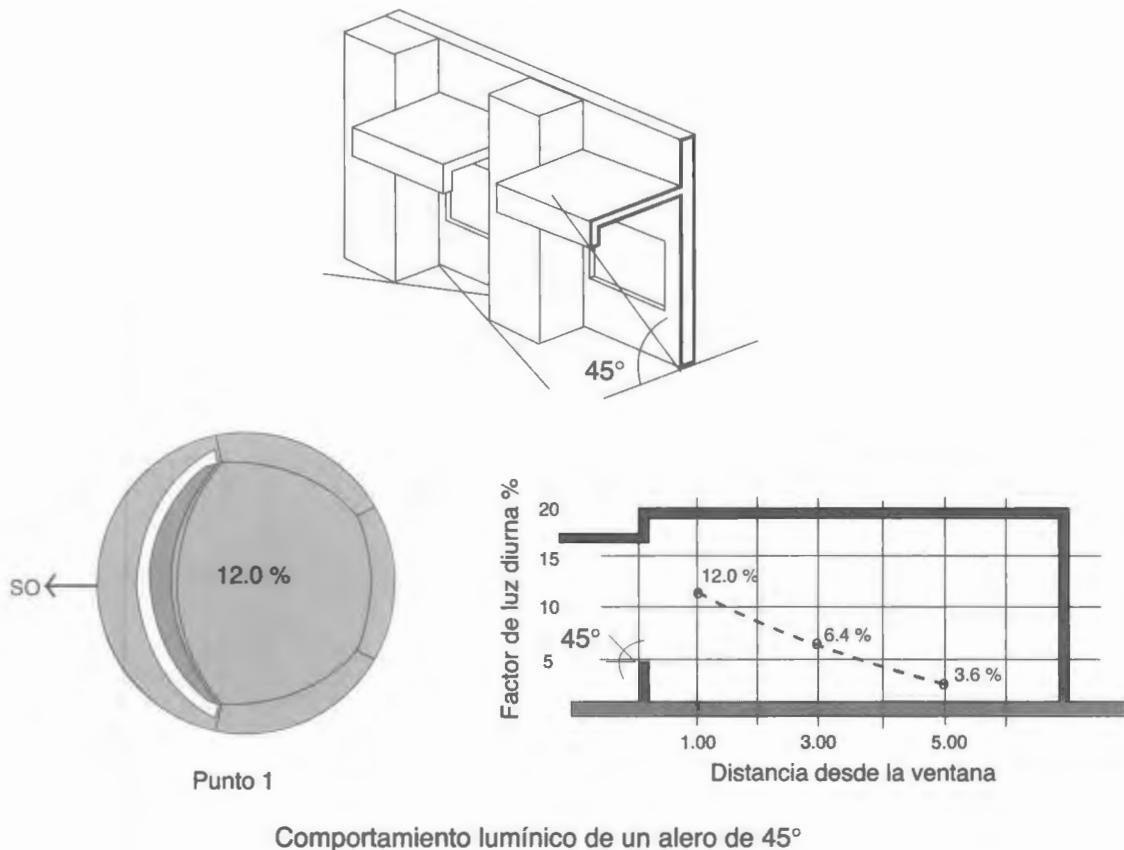
Comportamiento lumínico de un alero de 60°

**Alero 50°.** Recomendable en los sectores este y SE donde se tiene incidencia solar en las primeras horas del día de todo el año, procurando proporcionarla en las horas del amanecer en los meses más fríos. Este tipo de elemento es más adecuado que las pérgolas y más aun si se adecua el horario laboral (si así se requiere) al horario solar.

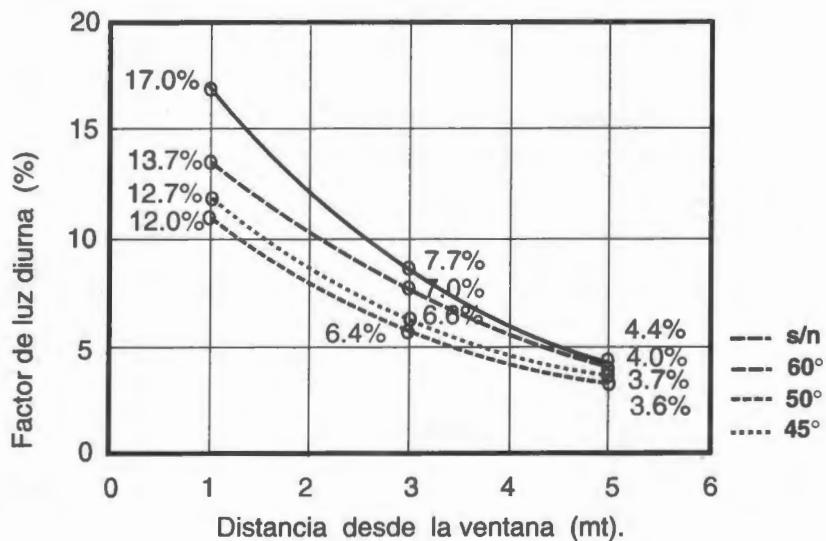


Comportamiento lumínico de un alero de 50°

**Alero 45°.** Recomendado principalmente en la orientación SO donde, al ser un sector algo crítico en cuestiones térmicas, su grado de protección es máxima. Por cuestiones estructurales puede optarse por buscar otro medio de proteger a 45°, como persianas, celosías o la inclinación misma del alero. Los niveles alcanzados en comparación con los demás aleros muestran su ineficiencia lumínica en el interior.



La gráfica muestra que el comportamiento lumínico depende en gran medida del tipo de elemento de protección que se utilice. Debido a los requerimientos de protección (por concepto térmico) el ángulo del alero con respecto a la base del vano aumentará o disminuirá, por lo que se puede optar por proteger con una escala menor, como por ejemplo utilizar persianas o pérgolas que tengan el mismo ángulo de protección y que aporte mayores tasas de iluminación.<sup>3</sup>



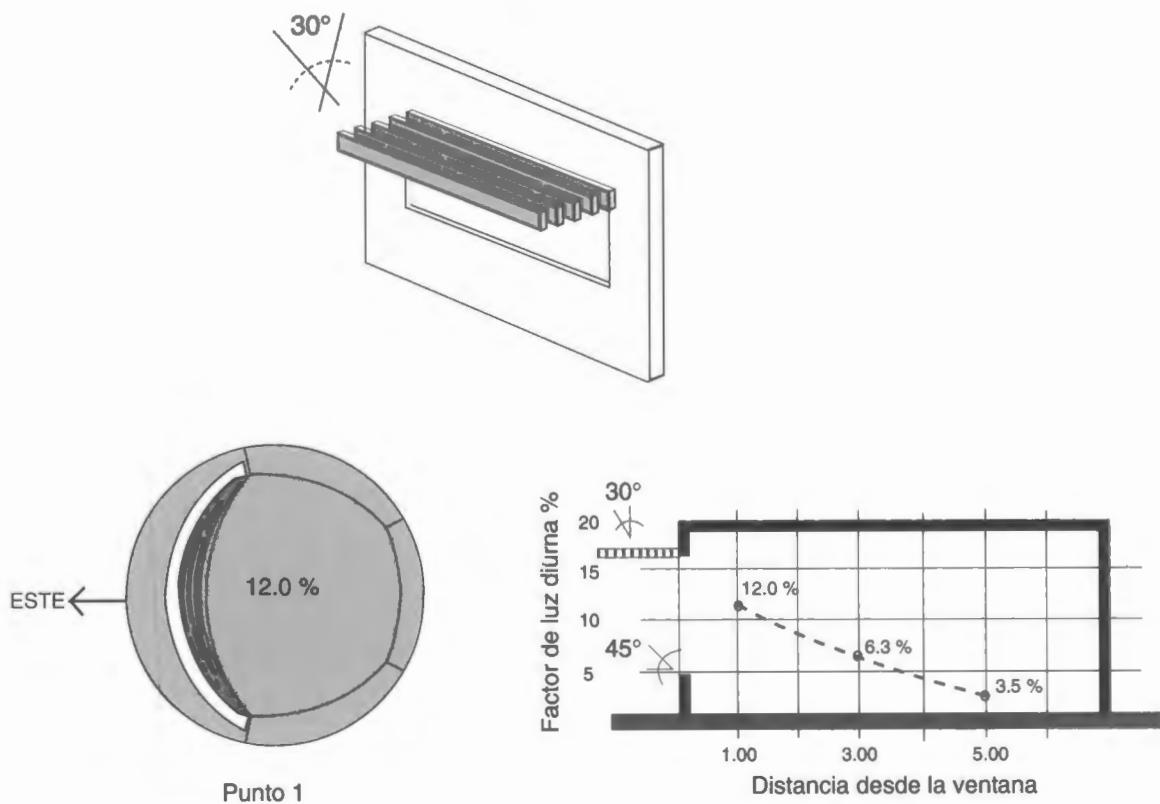
Comparación de los FLD de diferentes dimensiones de aleros

<sup>3</sup> *Ibid.*

## Pérgolas

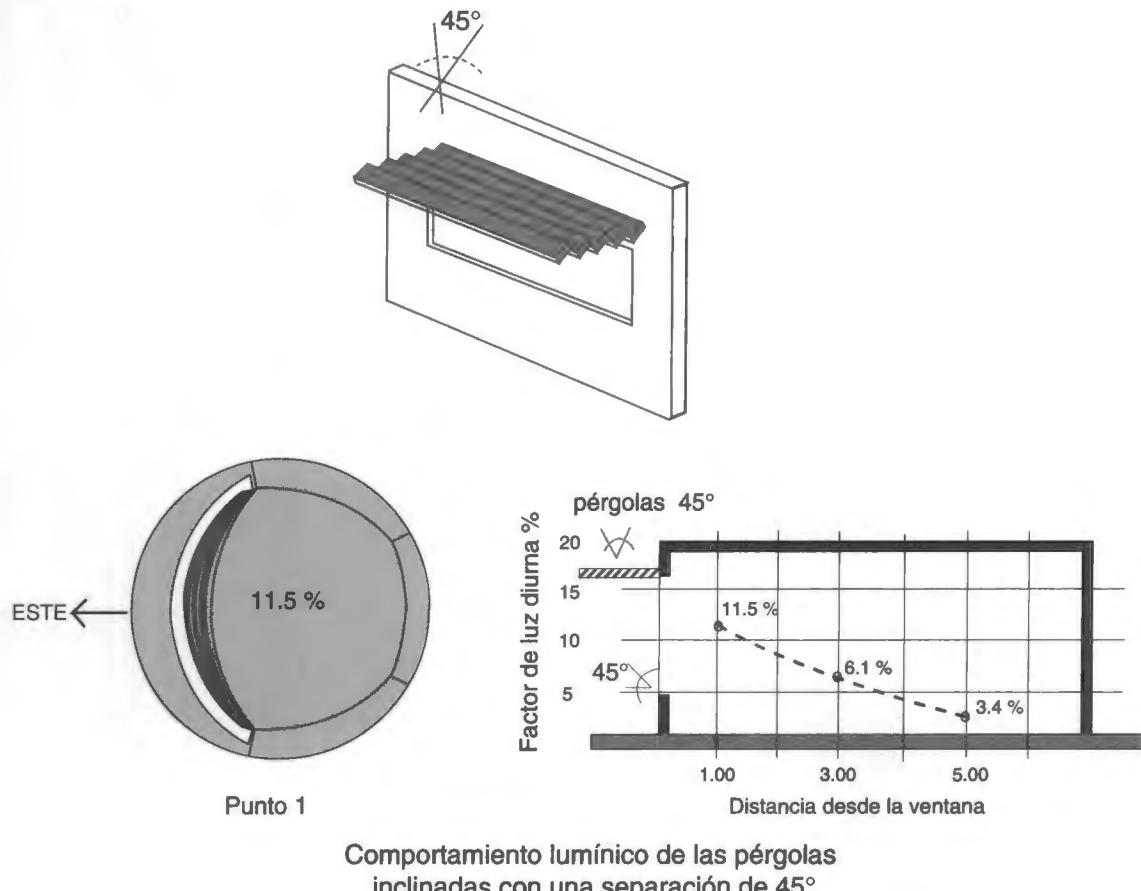
Este tipo de elementos son recomendables ya que tienen un pequeño aporte lumínico adicional al diluir la luz en las separaciones que hay entre cada uno de los elementos que la componen.

**Pérgolas 30° (rectas).** La disposición recta de las pérgolas influye directamente en el aporte interno de FLD. Una separación de 30° permite el paso de la luz y si son de colores claros se incrementa. Es recomendable en el sector este o similar.

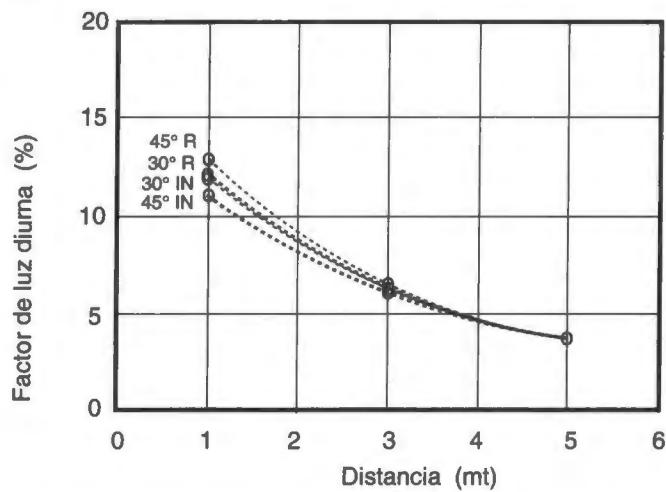


Comportamiento lumínico de las pérgolas rectas con una separación de 30°

**Pérgolas 45° (inclinadas).** A diferencia de las pérgolas dispuestas linealmente (rectas), las inclinadas reducen ligeramente la tasa de iluminación en el interior. Si la inclinación se dispone en el sentido contrario al vano, la incidencia solar sería indirecta.



La comparación entre diversos tipos de pérgolas muestra que entre mayor sea la inclinación y menor la separación, los niveles internos de iluminación disminuirán proporcionalmente.

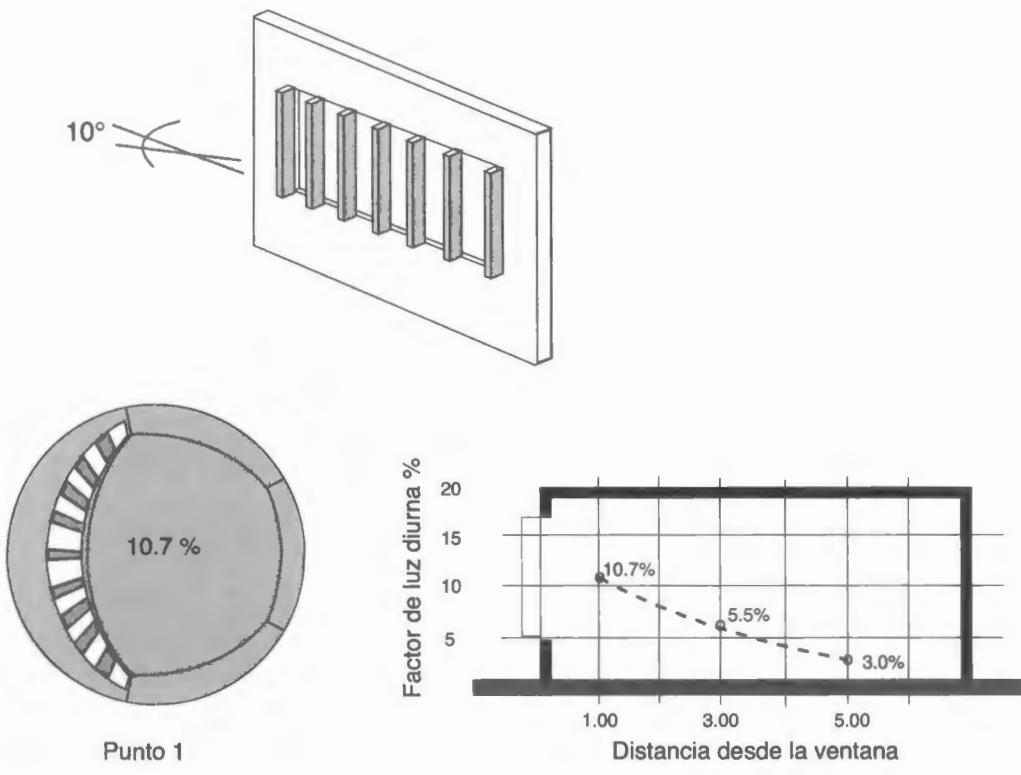


Comparación de los FLD de diferentes tipos de pérgolas

### Dispositivos de control verticales

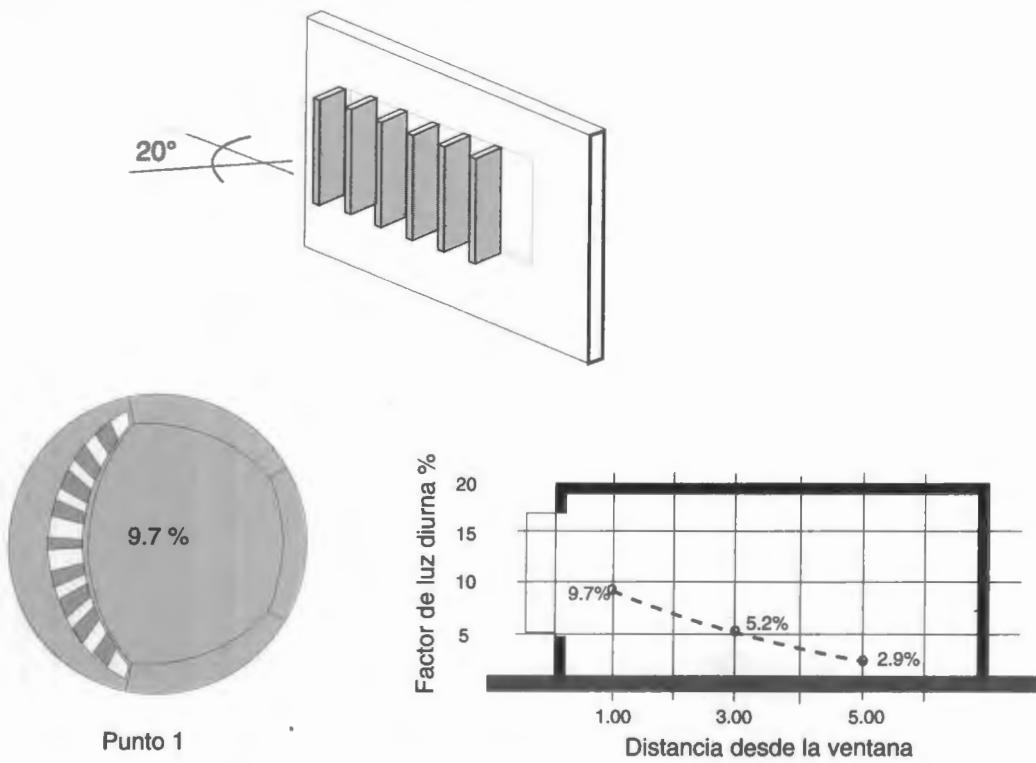
Por lo general son utilizados como complementos constructivos a otros elementos, como los aleros, o en combinaciones entre ellos. Los elementos de menor escala tienden a reducir sustancialmente el FLD, como es el caso de las celosías y las persianas venecianas.

**Quiebrasoles 10°.** Elemento vertical recomendado en la orientación norte y tal vez en las intermedias (NNO etcétera) que impide la incidencia solar directa principalmente durante las horas de la tarde en los meses cálidos. Al igual que los elementos verticales, pintarlos de colores claros ayuda a incrementar el FLD en el interior.

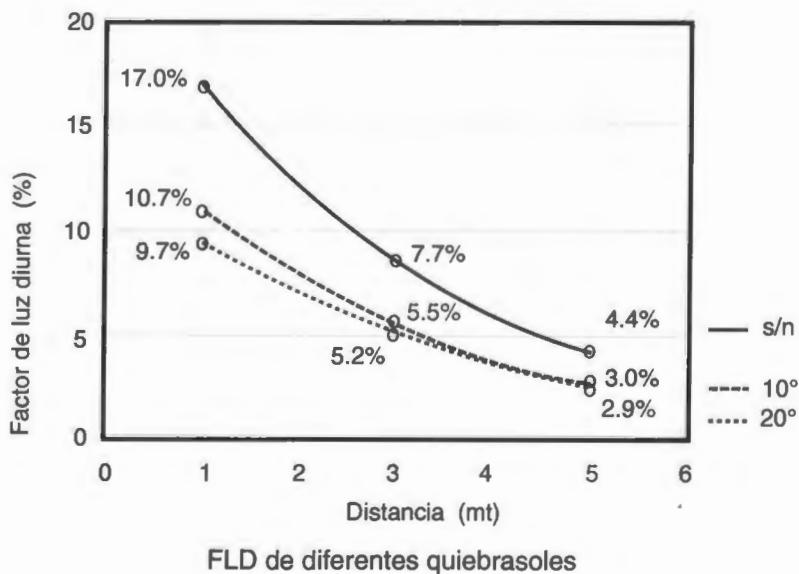


Comportamiento lumínico de Quiebrasoles con una separación de 10°

*Quibrasol 20°.* A diferencia del anterior, el nivel de protección es mayor y por lo tanto el FLD disminuye, aunque mínimamente. Debido al impacto térmico en la orientación NNO puede optarse por una separación de este tipo o de elementos de protección de una escala menor, como las celosías.



Comportamiento lumínico de Quiebrasoles  
con una separación de 20°

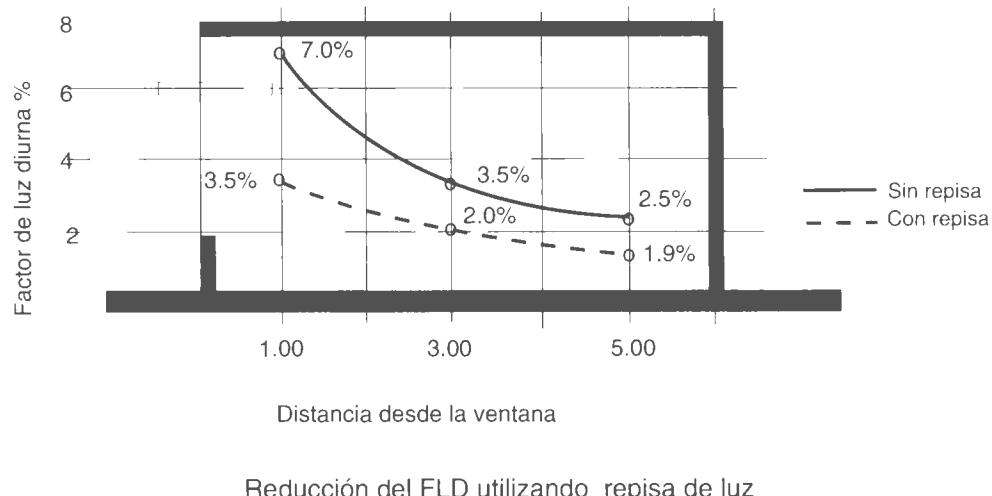


FLD de diferentes quiebrasoles

## Dispositivos de corrección lateral

El uso de este tipo de elementos no es muy común. El análisis aquí presentado pretende ser una propuesta de recomendación para su utilización en zonas de los espacios arquitectónicos donde sea bajo el acceso de la luz natural.

*Repisas de luz.* Existe la creencia de que este tipo de elementos incrementa siempre la iluminación en el sector más alejado de la ventana. La luz reflejada al techo no incrementa dicha iluminación, sino que la reduce al obstruirla en la parte más cercana a la ventana. Esto puede servir para mejorar el reparto de la luz y disminuir el deslumbramiento en esos puntos cercanos al vano, mediante el adecuado uso de materiales difusores que permitan repartir la luz correctamente.<sup>4</sup>



Asimismo, se puede incrementar (como se verá más adelante) la iluminación natural interior mediante el empleo de materiales y colores (o tonalidades, según el caso) que permitan una mayor interreflexión de dicho flujo luminoso.

<sup>4</sup> Paule, Bernard. "Maîtrise de l'éclairage naturel"

## 9. ENVOLVENTE Y ACABADOS

Los parámetros que a continuación se mencionan se obtienen mediante el análisis de la distribución de la luz así como de la fotometría de los acabados en los muros, pisos y techos. De la misma manera que en los anteriores apartados, el análisis se ha realizado por medio de modelos físicos (maquetas) en ambientes simulados. Los resultados aquí obtenidos servirán también para diferenciar su empleo en espacios de distinta utilización, desde los que requieren un cierto porcentaje de Factor de Luz Diurna mínimo, hasta los que requieren de gran detalle visual en tareas específicas.

Cualquiera que sean los métodos y los medios utilizados para efectuar aportes lumínicos naturales dentro del proyecto arquitectónico, estarán sujetos a las características de los materiales que se emplean para ello. Estos materiales intervienen de manera directa en la repartición y distribución de la luz dependiendo tanto de su textura y su color, como de sus características fotométricas propias (factor de reflexión, absorción, transmisión). El análisis de estos materiales se divide por lo tanto en dos aspectos: la distribución de la luz y la fotometría de los muros.

Como es sabido, en el acristalamiento de edificios existen varias alternativas que propician la entrada de luz y calor, y facilitan las vistas hacia el exterior. En lo que respecta al control de las ganancias solares, los cristales son usados (según el caso) como barreras contra la convección; al tener una alta conductancia, no contribuyen de manera directa a reducir las pérdidas por conducción. Es de todos conocido el hecho de que los diversos tipos de cristales (al igual que otros materiales) varían en sus capacidades para transmitir, reflejar y absorber radiaciones según su longitud de onda. Varios autores (Moore, Robbins) coinciden en afirmar que existen tres regiones del espectro de la radiación que son de particular interés para el diseño arquitectónico: <sup>1,2</sup>

- Visible	0.4 - 0.7 micrones
- Cercano al infrarrojo	0.7 - 4.0 micrones
- Cercano al ultravioleta	0.3 - 0.4 micrones

1 Moore, Fuller. "Concepts and practice on architectural daylighting"

2 C. L. Robbins, ob. cit.

## Tipos de vidrios y acrílicos

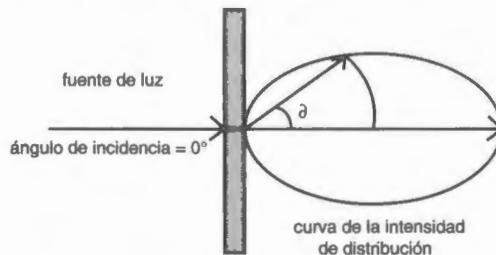
Asimismo, los autores antes referidos clasifican los acristalamientos en siete tipos y los consideran importantes para su aplicación en la iluminación natural debido a sus diferentes comportamientos en las tres regiones del espéctrum mencionado:

1. Vidrios claros.
2. Vidrios grises / bronceados.
3. Vidrios verdes "absorbentes térmicos".
4. Películas de reflectancia lumínica.
5. Películas de reflectancia ultravioleta.
6. Películas de reflectancia infrarroja.
7. Plásticos transparentes al infrarrojo.

Posteriormente se analizan los más representativos (vidrio simple, acrílico translúcido, papel calca, acrílico opaco blanco, acrílico bronce), puesto que los demás son inaccesibles por economía y disponibilidad. En el presente apartado se analiza el factor de reflexión de diversos materiales; la clasificación incluye desde materiales opacos hasta los de tipo translúcido para definir sus características individuales en vías de su aplicación mediante técnicas de iluminación natural. De tal manera, la fotometría de los materiales es la base de su aplicación adecuada en los componentes de la iluminación natural.

**Técnica de medición.** La transmisión lumínica a través del material puede ser determinada de acuerdo a la intensidad de la curva de distribución, la cual se define por su ángulo de incidencia de la fuente luminosa. Para las mediciones los materiales se utilizó el espectrómetro del Laboratorio de Ciencias del Hábitat (ENTPE). Los datos necesarios para realizar dichas mediciones son:<sup>3</sup>

- Ángulo de incidencia de la fuente luminosa en el material (0-360°).
- Intensidad de la misma (lux).
- Ángulo de observación del luminancemeter (luminanciómetro) (0-180).

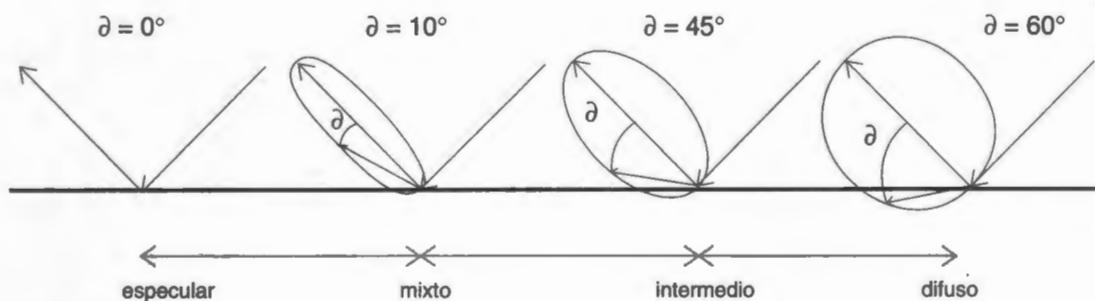


Debido a que el número de mediciones sería enorme si se realizaran en cada uno de los 360° del punto de observación (también de cada 360° de incidencia), sólo se realizan los ángulos más frecuentes, 60°- 45° para iluminación lateral, 30°- 90° para cenital. Las pruebas realizadas por los fabricantes de materiales tienen el propósito de su utilización en luz artificial, por ello es conveniente determinar el nivel de penetración y distribución de cada material. De acuerdo con esto, se describen los materiales desde el punto de vista de sus características antes mencionadas.

<sup>3</sup> Comisión de Comunidades Europeas, *ob. cit.*

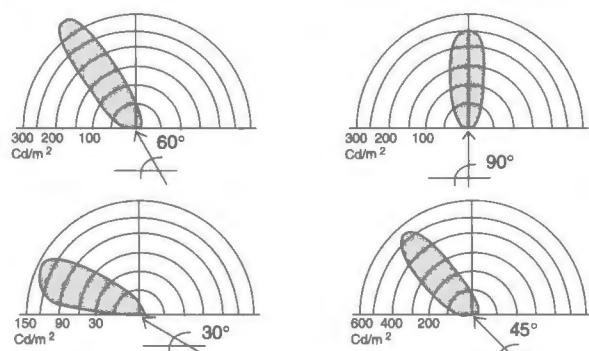
Asimismo, antes de proceder al análisis de los materiales, es conveniente distinguir esquemáticamente los cuatro modos de transmisión de la luz. Esta diferenciación permitirá elegir el material más óptimo para su utilización desde el punto de vista del comportamiento lumínico en el interior del espacio arquitectónico. Los cuatro modos de transmisión antes mencionados se dividen en:

- a) *Transmisión especular*. Se considera especular a todos los materiales que permiten la transmisión de una imagen perfecta de la fuente luminosa a la que son expuestos.
- b) *Transmisión difusa*. Este modo de transmisión se observa raramente, por lo cual se considera teórico. Los materiales con características fotométricas más cercanas al perfecto son las alfombras.
- c) *Transmisión mixta*. Se dice de los materiales que combinan las características de los dos anteriores (especular y difuso). Así también son los que tienen características de "brillantez" y transmiten una imagen relativamente precisa de la fuente luminosa.
- d) *Transmisión intermedia*. Existe toda una gama que engloba la característica intermediaria y se define por la dispersión de la luz en una dirección privilegiada, exactamente la de dirección inicial de los rayos luminosos incidentes.

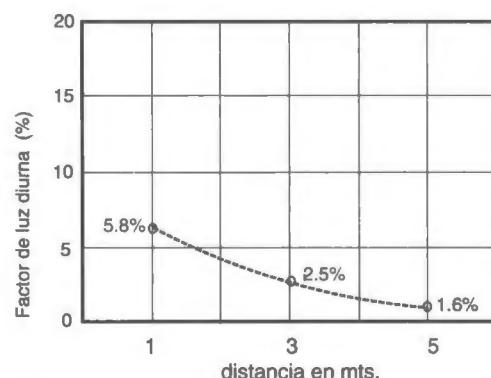


A continuación se desarrolla el análisis de los cuatro materiales mencionados con anterioridad, donde se muestran las gráficas de transmisión lumínica con cuatro diferentes grados de incidencia ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $90^\circ$ ) así como de la gráfica de los resultados obtenidos en modelos físicos en ambiente simulado de cielo cubierto. Dichos análisis se realizaron por el autor, en el Laboratorio de Ciencias del Hábitat (LASH) de la Escuela Nacional de Trabajos Pùblicos del Estado (ENTPE) en Lyon, Francia, bajo la dirección del doctor Marc Fontoyont.

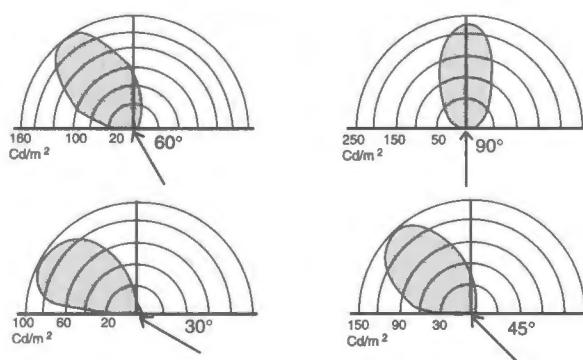
**Papel difuso calca.** El análisis se centra en comparar globalmente una o varias capas de papel calca sobre un vidrio normal. Las mediciones muestran que cuantas más capas (hojas) de papel calca se sobrepongan, mayor se asemeja al comportamiento del acrílico blanco. En este tipo de materiales difusores es donde se logra una dispersión de la luz más homogénea en el interior del espacio; al contrario de lo que sucede con los materiales con factores de transmisión especular, el fondo del espacio (dentro de los primeros seis metros) puede llegar a tener niveles de iluminación aceptables para realizar tareas visuales poco complicadas. La conclusión primaria sería recomendar este tipo de materiales en combinación con otros y su empleo al adaptarlo a elementos arquitectónicos, como serían las repisas de luz.



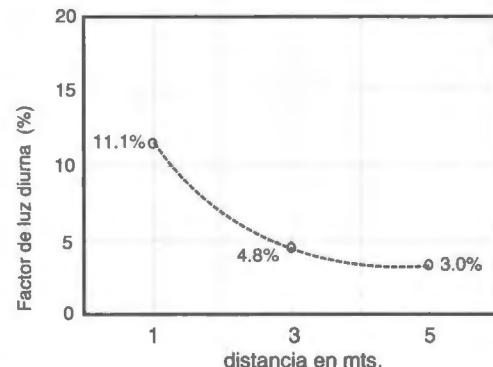
Análisis del papel calca.



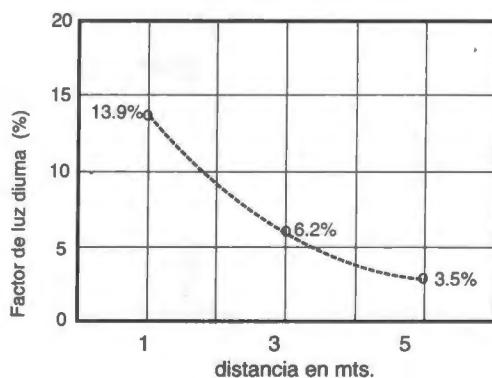
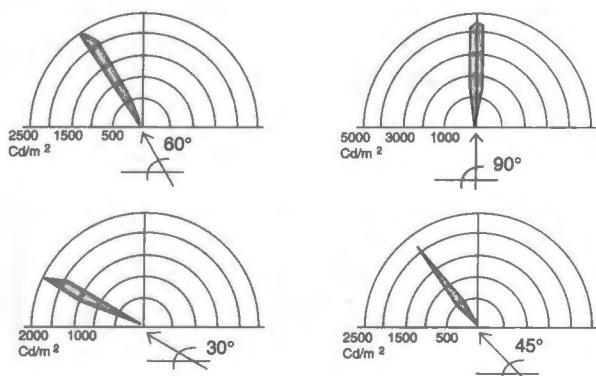
**Acrílico difuso blanco.** Un vidrio difusor permite distribuir de una manera uniforme la luz natural. Esta distribución se produce de una manera "limpia" e independiente de las condiciones atmosféricas exteriores (posición del sol, nublados, etcétera.). Pero por otro lado, un material difusor puede producir desconfort por deslumbramiento, dada la dispersión tan alta que produce; por ello se debe tener cuidado al diseñar las aberturas, propiciando la difusión de la luz solamente en una porción de la ventana, combinando con otro tipo de materiales y/o protecciones. El factor de transmisión que presentan los materiales difusos es inferior al del vidrio normal y por lo tanto disminuyen las cantidades de iluminación transmitidas.



Análisis del acrílico difuso blanco.

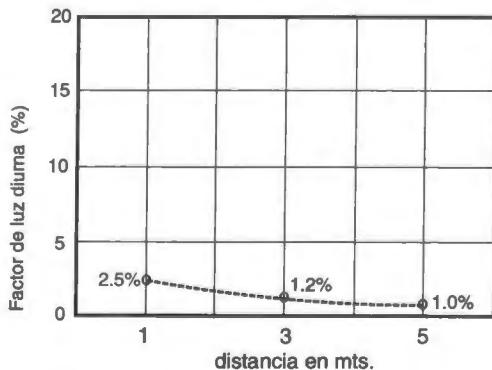
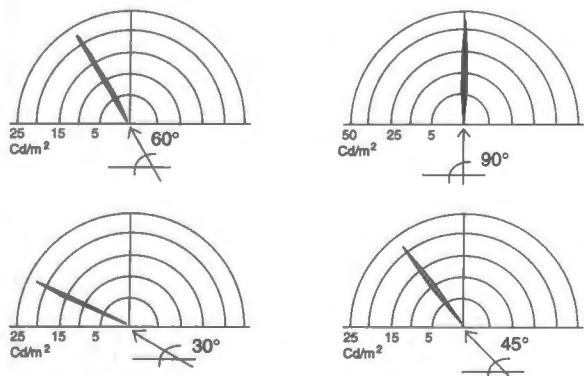


**Acrílico especular.** Este material de transmisión mixta, muy utilizado en la iluminación de sanitarios, no es recomendable para su empleo en espacios de usos laborales. La doble dispersión que experimenta produce altos grados de desconfort por deslumbramiento. Su utilización también en casos especiales sólo es recomendable si se combina con otros vidrios en las ventanas. Como puede observarse en las gráficas, el nivel de especularidad es mayor que el de los materiales difusos, ya que logran altos niveles de iluminación junto a la ventana (con su consecuente deslumbramiento), pero decrece hasta niveles similares al del acrílico difuso en el fondo del espacio.



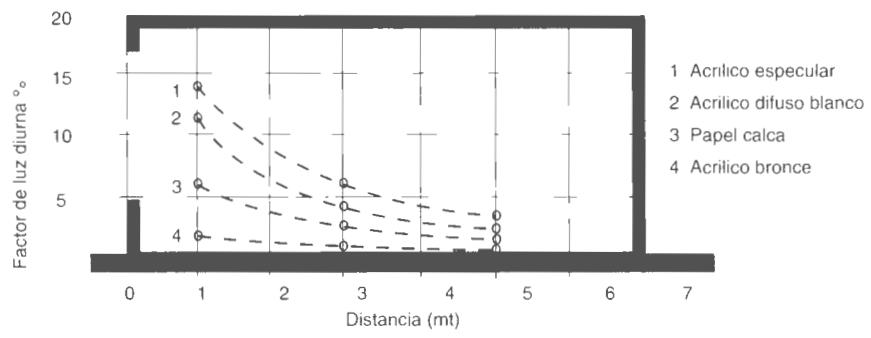
Análisis del acrílico especular.

**Acrílico bronce.** El empleo de este tipo de materiales con tintes fue ampliamente utilizado en las décadas de los setenta y ochenta. Contrario a lo que aseguran varios fabricantes, las ganancias térmicas no se ven reducidas si se dispone en orientaciones inadecuadas. La gráfica del factor de luz diurna muestra que la reducción de la iluminación es bastante considerable desde el primer punto del análisis. Asimismo, las curvas de la dispersiónpectral señalan que sólo se logran altos niveles de iluminación en una incidencia completamente directa, disminuyéndose grandemente ésta en los siguientes grados. Su empleo no se recomienda, pues se sacrifica el confort lumínico a pocos metros de la ventana.



Análisis del acrílico bronce.

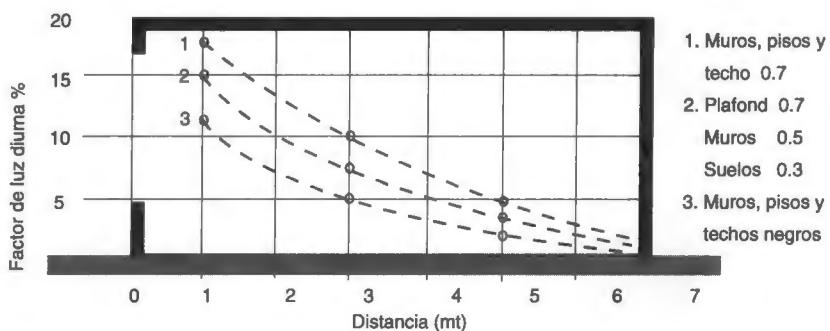
La cantidad y calidad de iluminación disponibles en el interior de un espacio arquitectónico están directamente relacionadas al factor de transmisión del vidrio, es decir, que si el factor de transmisión es bajo, la dimensión de la ventana tendrá que ser mayor. Se pueden observar en la figura inferior los resultados que obtenemos a partir de analizar los materiales antes referidos; la disminución del factor de luz diurna dentro de un espacio va en relación directa a la distancia con respecto a la ventana, así como del tipo de tratamiento al que fue sometido el material: humeado textura, opaco, etc.



Comparación de materiales.

### Fotometría de las superficies interiores <sup>4</sup>

El factor de reflexión de la luz en un espacio depende en gran medida de los materiales de construcción de la misma: muros, pisos y techos. Las consecuencias lumínicas debido al factor de reflexión de los muros deberán estar en relación directa al confort lumínico que se tendrá en dicho espacio. Con la ayuda del programa informático Genelux se comprueba la fotometría de los materiales de revestimiento sobre la distribución de la luz dentro de un volumen dado.



Fotometría de los materiales de revestimiento.

En la figura superior se muestra la distribución lumínica (en curvas) de diferentes terminados. En dicho análisis se muestra que entre la curva 2 y la curva 3 existe una disminución del 20% en la parte próxima a la ventana y que en el fondo del espacio ambas disminuyen en un 100%.

De esto se puede concluir que la mitad de la iluminación disponible en el fondo del espacio es únicamente de las interreflexiones de la luz sobre las paredes, piso y techo del espacio. Si se comparan las curvas 1 y 2, se aprecia que las cantidades de luz disponibles en el fondo de la pieza son del orden de la multiplicación por dos, o sea que es una mitad de un espacio totalmente blanco. Las dos comparaciones muestran la importancia de tener en cuenta la fotometría de los materiales de revestimiento de un espacio arquitectónico cualquiera.

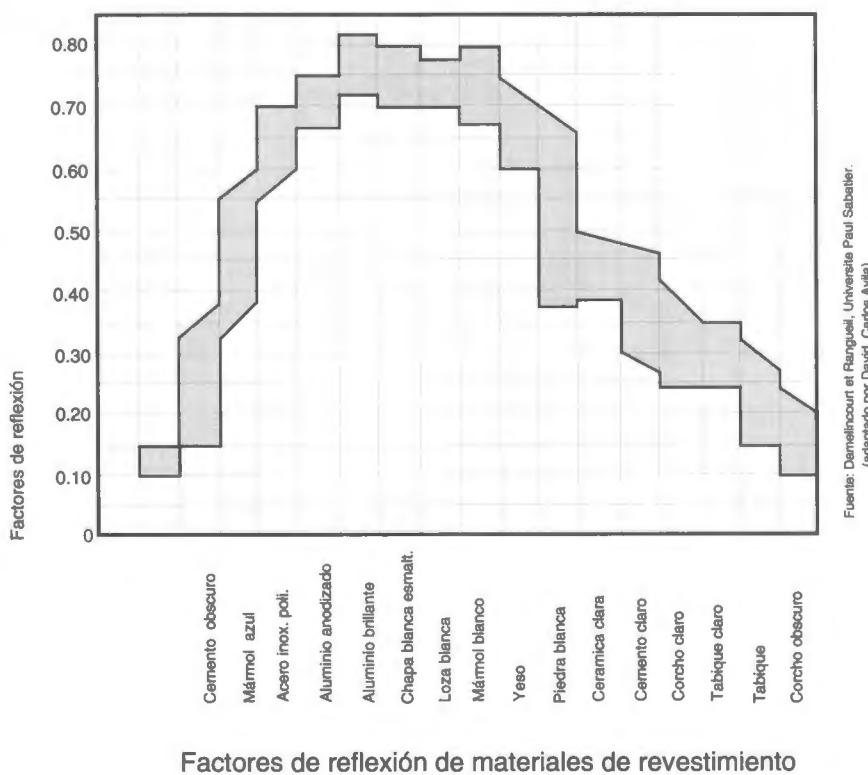
<sup>4</sup> Paule, Bernard. "Maîtrise de l'éclairage naturel"

Por lo tanto, se puede afirmar que en las diferentes superficies internas el comportamiento sería de la siguiente manera:

**Cielo raso (techo).** En general, el techo no recibe iluminación natural de manera directa; no interviene de manera importante en la repartición de la luz. En cambio, en el caso de desviar la luz hacia arriba (repisas de luz), recibe cierta cantidad que puede a su vez redistribuir en todo el espacio. Como consecuencia, el factor de reflexión de esta superficie deberá ser elevado (0.7 - 0.8).

**Piso (suelos).** Antes que nada, conviene precisar de una manera general que las superficies de los pisos están raramente libres o despejados. Así, el mobiliario y en especial las mesas (niveles) de trabajo cubren gran parte de la superficie.

El análisis se centra en considerar los niveles de trabajo horizontales que son las que recibirán la cantidad de luz más importante y es donde se pone mayor importancia al cuidar que no existan niveles altos de iluminación que provoquen desconfort por deslumbramiento.

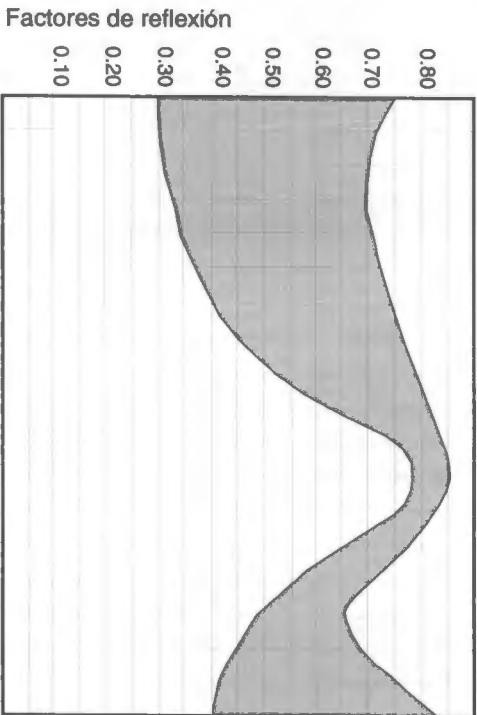


Fuente: Demelincourt et Rangueil, Université Paul Sabatier.  
(adaptado por David Carde Avila)

**Muros.** Como se comprueba en la simulación Genelux, los muros que reciben iluminación tanto directa como difusa juegan el papel más importante en el espacio arquitectónico al repartir dicha luz al interior. Como regla general, se puede decir que si el factor de reflexión de los muros es inferior a 0.5, la iluminación tendrá dificultades de desarrollarse en el fondo del espacio en cuestión.

## Factores de reflexión de pinturas según su color

Púrpura  
 Violeta  
 Violeta-azul  
 Azul-violeta  
 Azul  
 Azul-verde  
 -Verde-azul  
 Verde  
 Verde-amarillo  
 Amarillo-verde  
 Amarillo  
 Amarillo-naranja  
 Naranja-amarillo  
 Naranja  
 Naranja-rojo  
 Rojo-naranja  
 Rojo  
 Púrpura

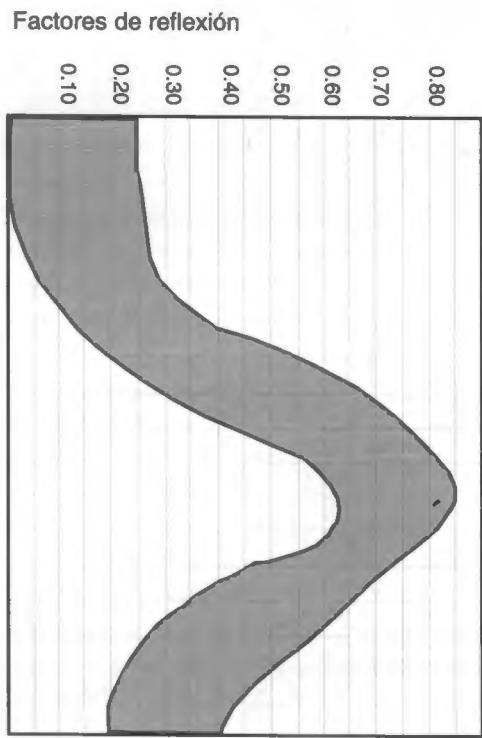


Fuente: Damelincourt et Rangueil, Université Paul Sabatier.  
(adaptado por David Carlos Avila)

## Factores de reflexión de pinturas según su color

Por lo que respecta a la variedad de materiales disponibles en el mercado de la construcción, se transcriben aquí los resultados obtenidos en la Universidad Paul Sabatier, en donde se pueden comparar las características de cada uno de ellos.

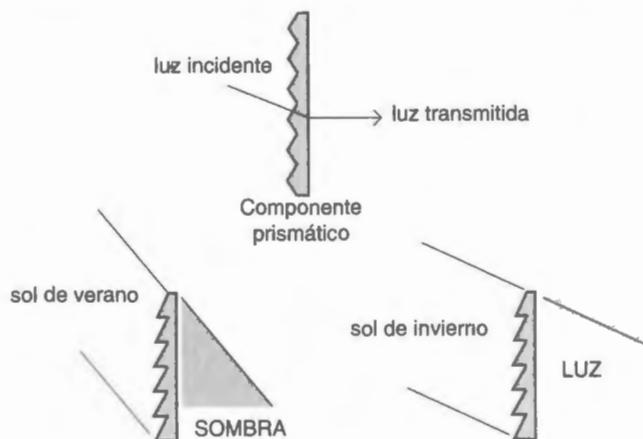
Púrpura  
 Violeta  
 Violeta-azul  
 Azul-violeta  
 Azul  
 Azul-verde  
 Verde-azul  
 Verde  
 Verde-amarillo  
 Amarillo-verde  
 Amarillo  
 Amarillo-naranja  
 Naranja-amarillo  
 Naranja  
 Naranja-rojo  
 Rojo-naranja  
 Rojo  
 Púrpura



Fuente: Damelincourt et Rangueil, Université Paul Sabatier.

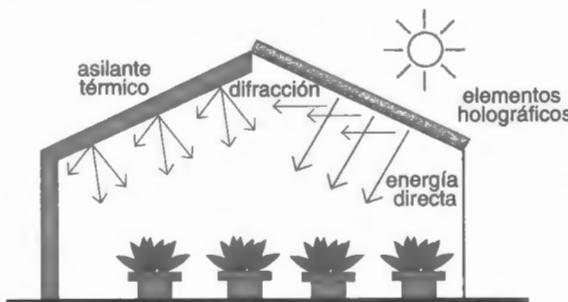
## Nuevos materiales

Dispositivos prismáticos.<sup>5</sup> Otra de las formas eficientes para controlar la incidencia solar y su penetración en las edificaciones es incrementar la sensitividad del factor de transmisión del ángulo incidente, especialmente refiriéndose al ángulo de latitud. Una solución de este tipo sería el utilizar lentes tipo Fresnel ya sean de vidrio o acrílicos; este tipo de dispositivos pueden ser de una simple capa prismática o de dos sucesivas. Estos productos pueden llegar a ser inexpresivos, pero su pobre transparencia restringe bastante su uso a edificios industriales que requieren de bajos niveles visuales o en combinación con otros materiales vidriados en el total del vano.



Control solar mediante un componente prismático simple.

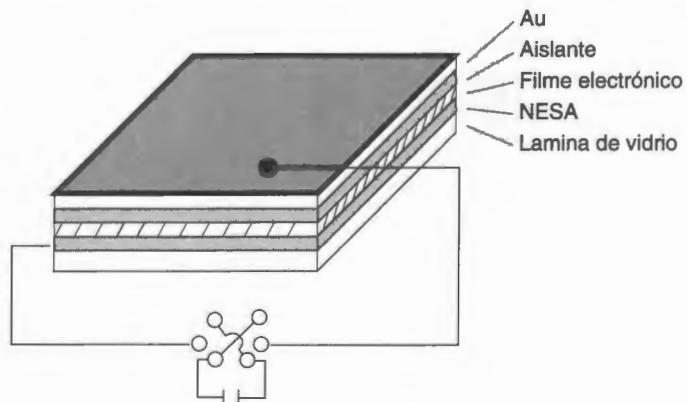
*Filmes holográficos.* El principio físico de este tipo de filmes es interceptar la luz del sol y difractarlo hacia otra dirección. Dicha luz puede ser conducida más profundamente en el espacio y la eficacia luminosa de su radiación puede ser incrementada mejorando a su vez el efecto invernadero. Los filmes holográficos son generados por un proceso fotográfico en una gelatina dicromática que es sensible a las ondas de larga frecuencia y crea reflexiones tipo arco iris. Su aplicación en edificios habitacionales está todavía en etapa experimental, ya que en un principio fueron pensados para producir sistemas ópticos de bajo costo para dispositivos de visualización en jets militares y concentradores de luz, pero su aplicación en ventanas ofrece un gran potencial en el futuro.



Ejemplo del uso de elementos holográficos para eficientar un invernadero.

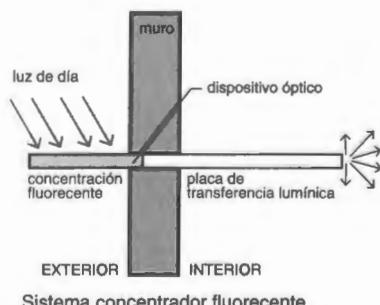
**Aerogeles.** Son materiales transparentes de baja densidad que funcionan como un aislante sólido; solamente del 1 al 10% de este tipo de producto se puede considerar en estado sólido, pues las fracciones remanentes son células vacías. Durante una iluminación extrema el material es frágil y necesita estar encasillado entre dos paredes de plástico o vidrio; puede ser considerado como una pieza transparente con poros tan pequeños como la longitud de una onda de luz visible. Este tipo de material, todavía en etapa experimental, resulta de un costo elevado.

**Dispositivos electrónicos.** Son sistemas activos que requieren de una fuente externa de energía, en este caso eléctrica. El principio en el que se basa consiste en cambiar las propiedades de absorción óptica de ciertos materiales mediante la aplicación de un campo eléctrico. El proceso consiste en colorear el material mediante un campo de corriente directa. Su variado número de capas hace que este material sea costoso. La transmisión de la energía varía entre el 70 y 15% del espectro visible.



Típica estructura multicapa electrónica

**Concentradores fluorescentes.** Este tipo de materiales utiliza el principio de que cuando la luz proviene de una material con un alto índice de refracción, se produce una reflexión interna hasta la última parte de sus planos. Este efecto se aprovecha para concentrar la luz natural difusa dentro del material llamado PMMA; su eficiencia es baja, puesto que sólo el 10% de la luz puede llegar a ser convertida, además de que el resultado último tiene colores específicos (amarillo, verde, rojo), lo que limita su uso.



## REFERENCIAS Capítulo 9 :

- 1 Moore, Fuller. "Concepts and practice of Architectural Daylighting".  
Ed. Van Nostrand Reinhold; USA, 1989
- 2 Robbins, C. L. "Daylighting". Ed. Van Nostrand Reinhold; USA, 1982
3. 5 Commission of the European Communities. "European Reference Book on Daylighting"
- 4 Paule, Bernard. "Maitrise de l'éclairage naturel". Ed. ENTPE-LASH; FRANCIA, 1988.

## 10. ANÁLISIS COMPLEMENTARIO

Los análisis que a continuación se presentan pretenden complementar lo anteriormente señalado. En el caso de los análisis Genelux, es importante considerar que el uso de sistemas informáticos limitan el entendimiento de los sistemas de iluminación natural, que es la intención principal de este documento.

En el caso de estos análisis no se consideran factores específicos como la fotometría de los muros, así como del índice de reflexión que éstos puedan tener.

### Simulaciones Genelux

Este programa informático calcula a partir de la fuente luminosa en cuestión el nivel de iluminación en el interior sobre cada pared en función de la edificación, su largo, anchura, altura, los factores de reflexión de cada pared y el tipo de vidrio utilizado. Los datos de iluminación natural disponible están dados de acuerdo al cálculo del promedio anual disponible en condiciones normales de la región específica de estudio.<sup>1</sup>

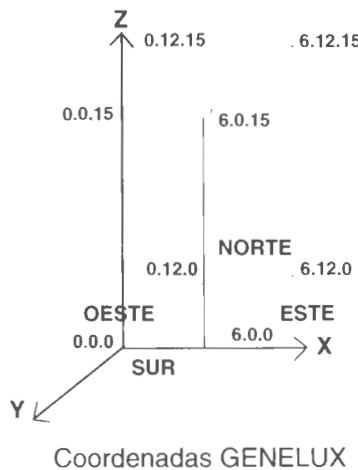
*Elaboración de los ficheros BDG.* Se crearon ficheros que se presentan de la siguiente manera para cada una de las superficies (están en Francés):

<i>Nom de surface:</i> Nombre de la superficie	<i>Mur nord</i>
<i>Couleur de la surface:</i> Color de la superficie	<i>1 white</i>
<i>Forme de la surface:</i> Forma de la superficie	<i>Rectangle</i>
<i>Position de la surface:</i> Posición de la superficie	<i>(intérieur, extérieur, vitrage)</i>
<i>Caractéristique de la surface en réflexion:</i> Característica de la superficie en reflexión	<i>DIFFUS REF</i>
<i>Facteur de réflexion:</i> Factor de reflexión	0.50
<i>Facteur de transmission:</i> Factor de transmisión	0.00
<i>Définition de la maille:</i> Definición de la malla	<i>Moyen</i>

<sup>1</sup> Colli-Bianco, Adriano. "Etude de l'éclairage naturel des Bâtiments"

Las coordenadas de las superficie norte está dada por tres puntos (como todas las demás) de un volumen de  $6 \times 12 \times 15$ , como se muestra en la figura.

0.000 12.000 15.000  
 0.000 12.000 0.000  
 6.000 12.000 0.000

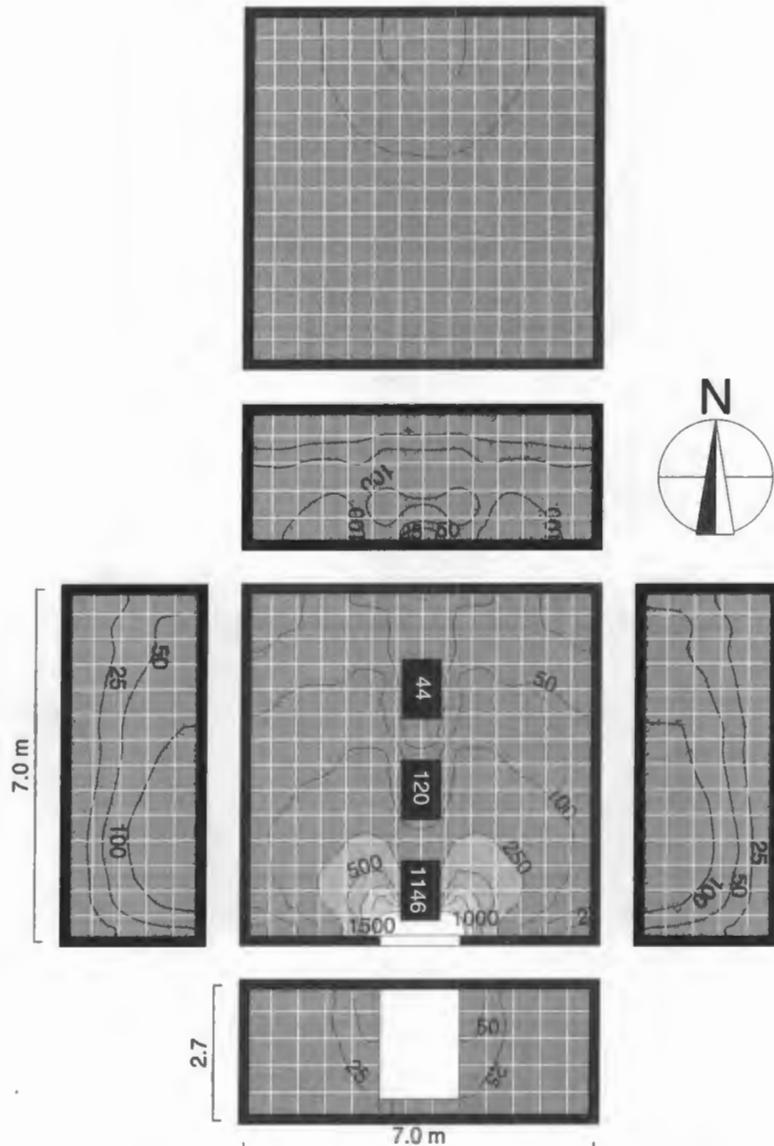


*Representación e interpretación de los resultados de las simulaciones.* Una vez efectuados los cálculos, el fichero de resultados (fichero RES) da a los valores de iluminación obtenidos en los diferentes puntos por cada superficie de la edificación. Con los valores de iluminación obtenidos (dados en lux) se pueden calcular los FLD disponibles en los diferentes puntos del interior.

Por cuestiones prácticas, cada gráfica corresponde a la medida dada en metros por la malla representada en líneas blancas. A continuación se muestran los resultados obtenidos en simulaciones Genelux para diferentes tipos de aberturas, recordando que los datos base antes mencionados son los mismos en todos los ejemplos.

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



**Simulacion: 01**  
ventana vertical  
10% de la superficie  
20% del muro

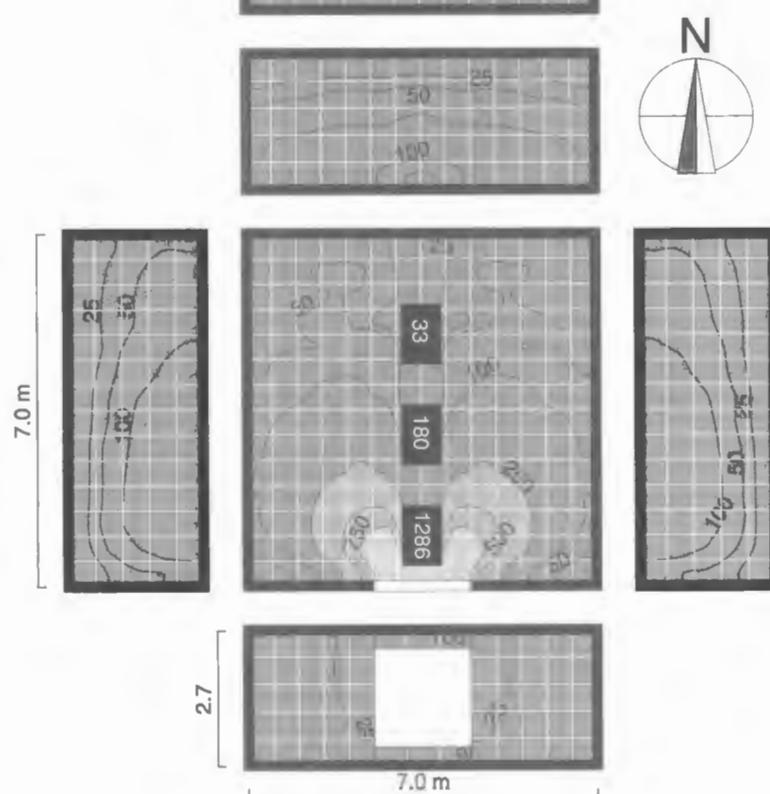
**Caracteristicas del espacio**

Factores de reflexion promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmision promedio del vidrio: 0.80  
(10% de la superficie, 20% del muro)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



0	250 Lux	1000	3000 Lux
250	1000 Lux	>	3000 Lux

**Simulacion: 02**  
ventana cuadrada  
10% de la superficie  
20% del muro

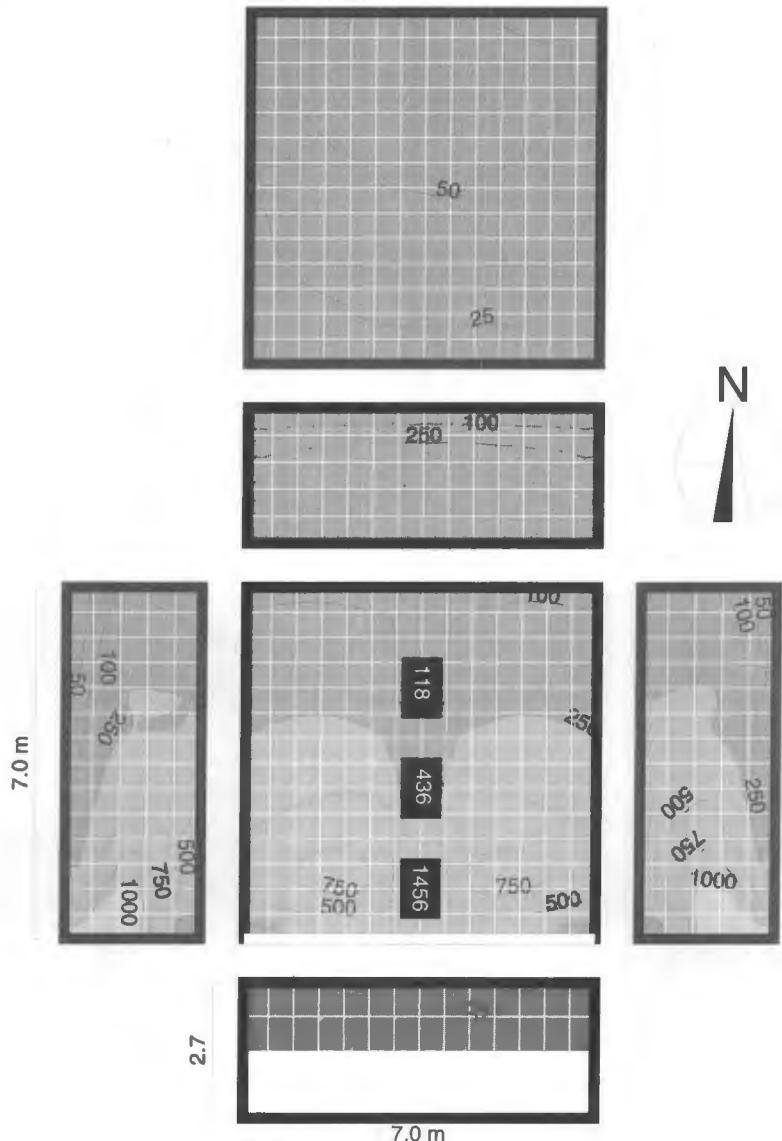
Características del espacio

Factores de reflexión promedio de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmisión promedio del vidrio: 0.80  
(10% de la superficie, 20% del muro)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Máximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminación Residual: 0.1 lux

# Simulacion Genelux Representacion Espacial Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



**Simulacion: 03**  
ventana horizontal alta  
10% de la superficie  
20% del muro

## Características del espacio

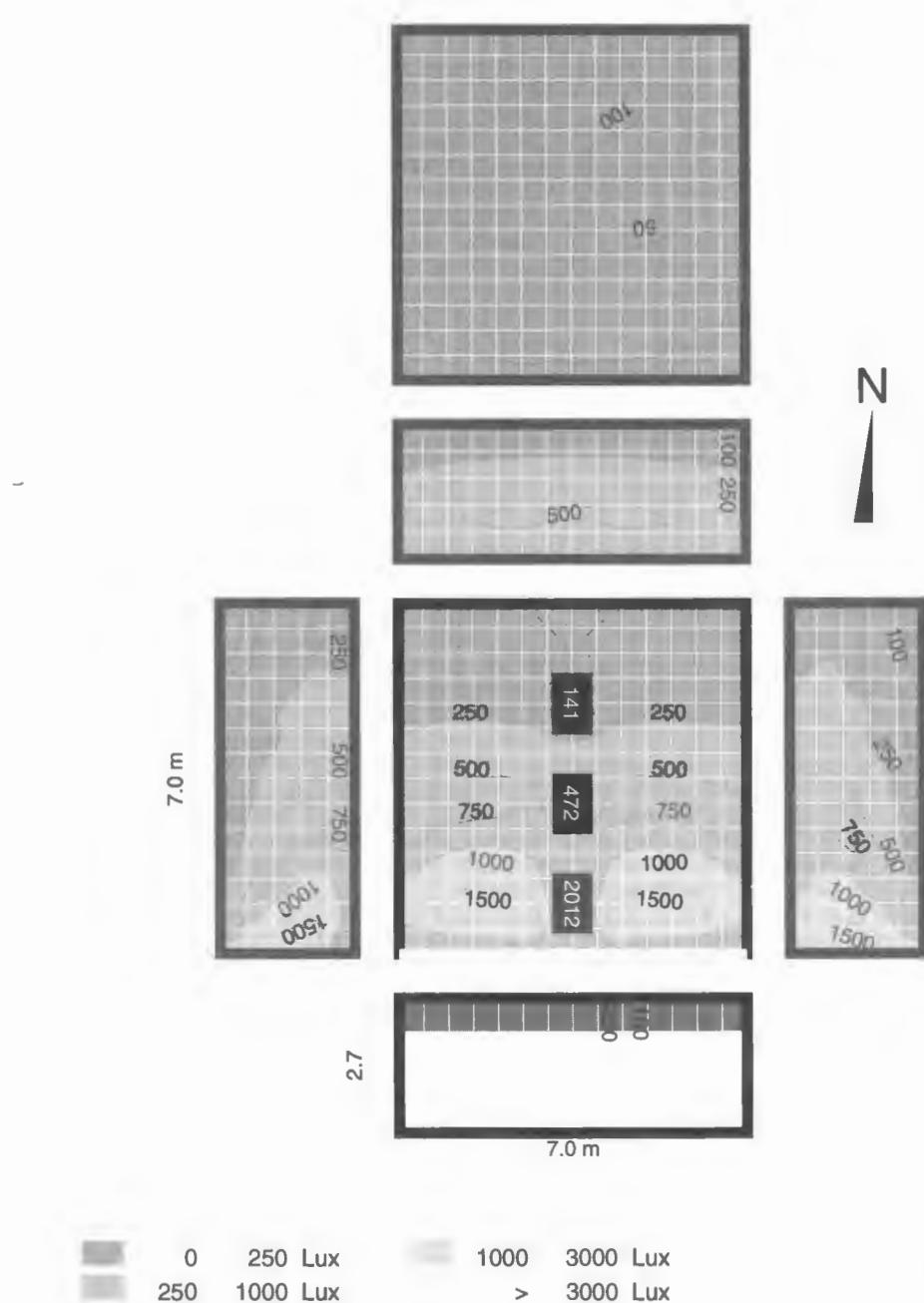
Factores de reflexión promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmisión promedio del vidrio: 0.80  
(10% de la superficie, 20% del muro)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

## Simulacion Genelux Representacion Espacial

Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



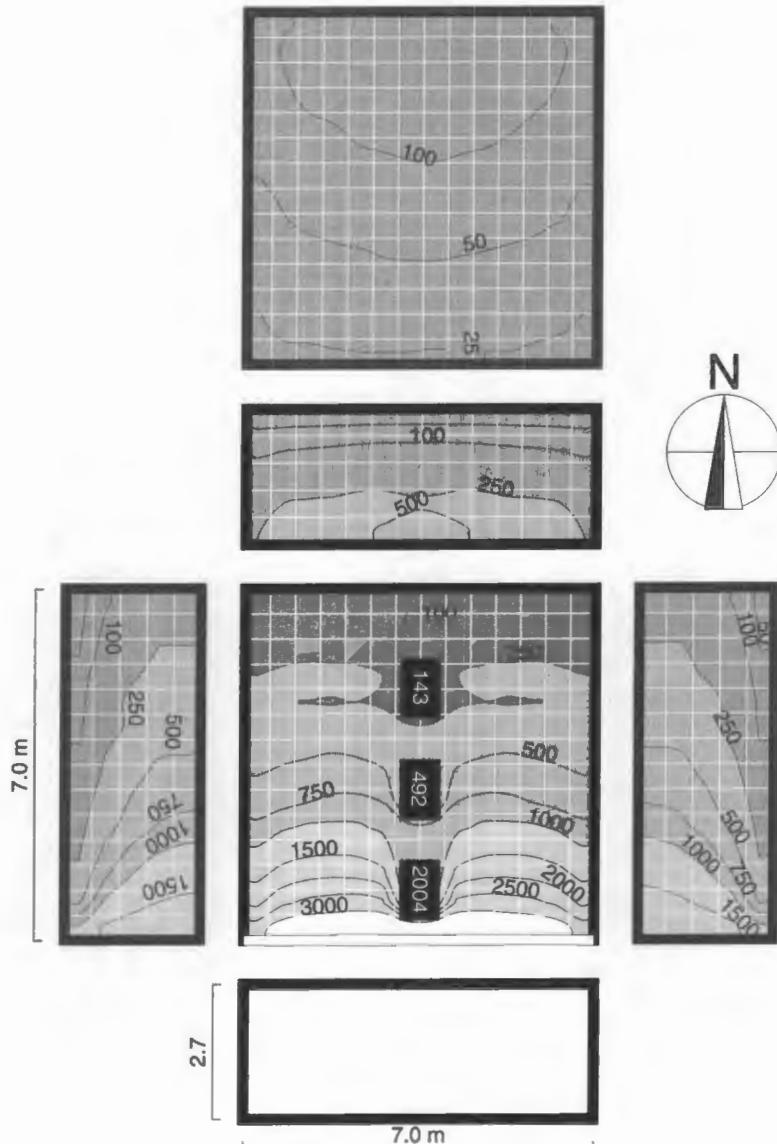
## Caracteristicas del espacio

Factores de reflexion promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmision promedio del vidrio: 0.80  
(28% de la superficie)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



0	250 Lux	1000	3000 Lux
250	1000 Lux	>	3000 Lux

**Simulacion: 05**  
ventana horizontal  
40% de la superficie  
100% del muro

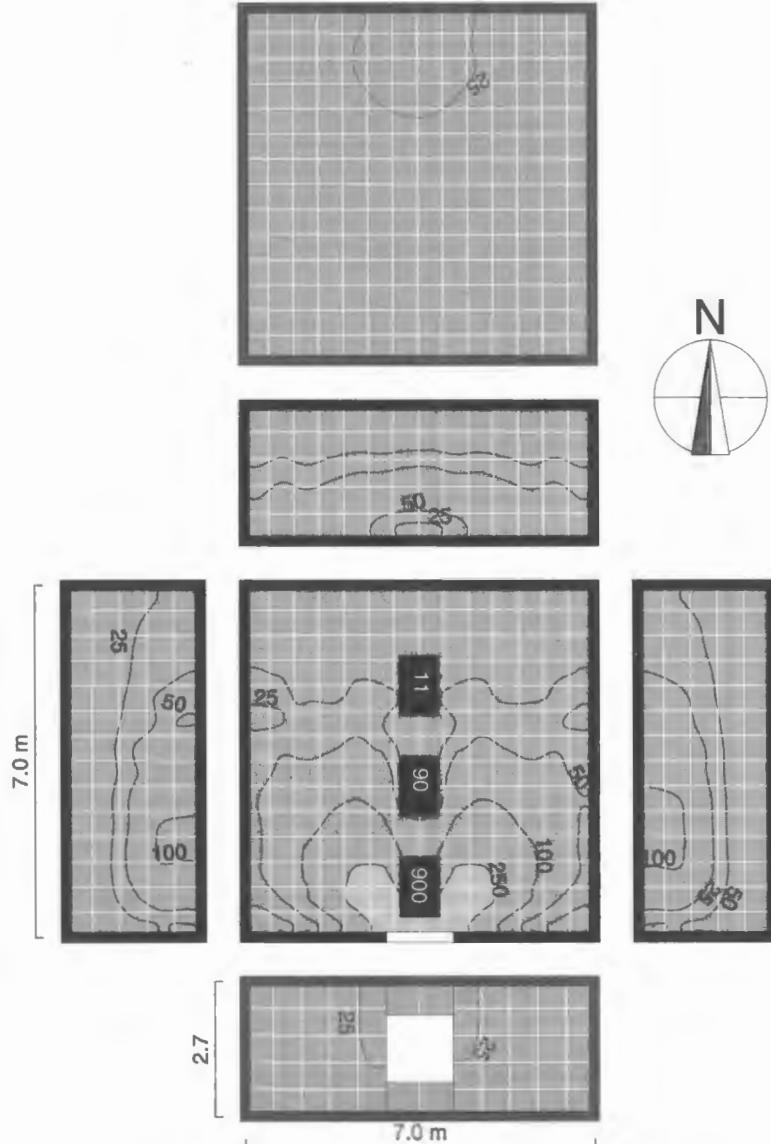
Caracteristicas del espacio

Factores de reflexion promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmisión promedio del vidrio: 0.80  
(40% de la superficie, 100% del muro)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



**Simulacion: 06**  
ventana cuadrada  
5% de la superficie

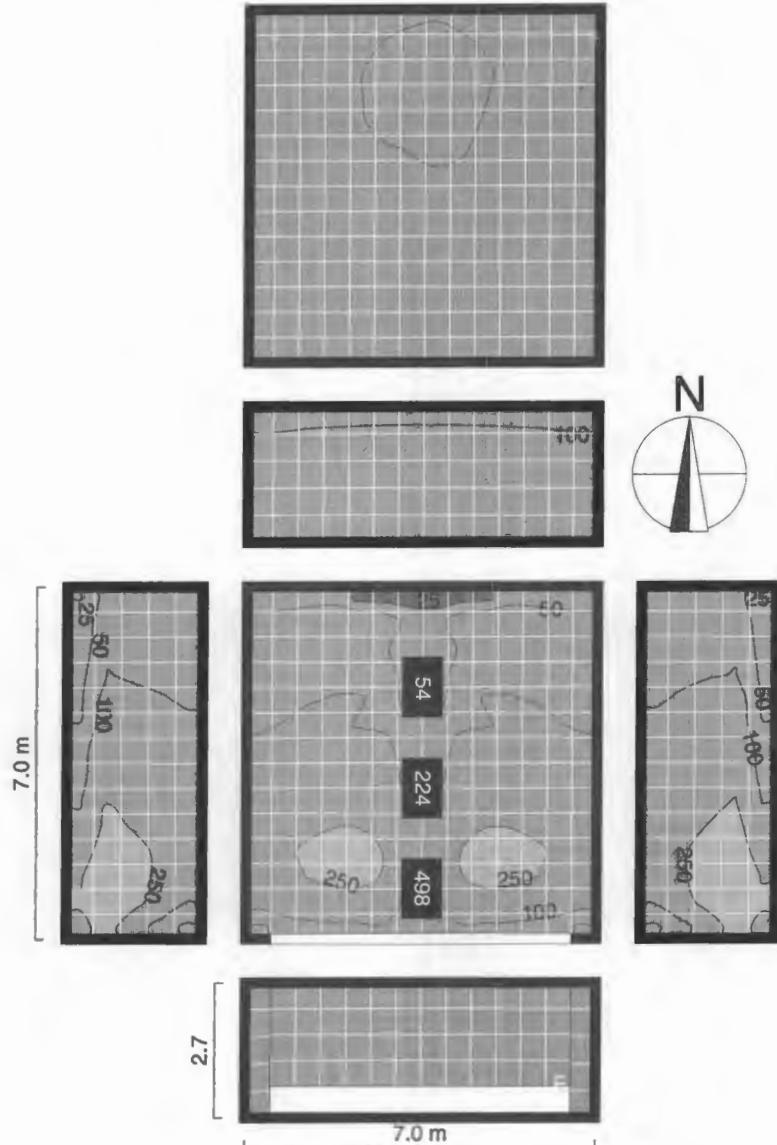
Caracteristicas del espacio

Factores de reflexion promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmision promedio del vidrio: 0.80  
(5% de la superficie)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



**Simulacion: 07**  
ventana horizontal  
10% de la superficie  
20% del muro

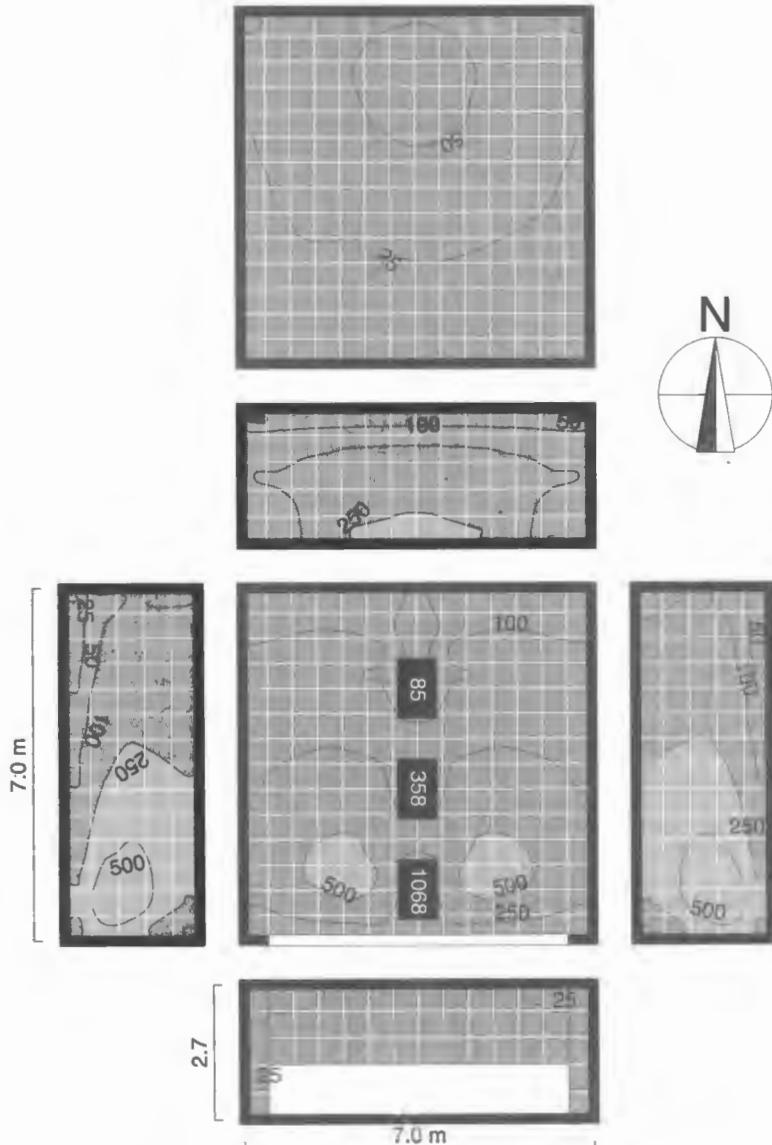
**Características del espacio**

Factores de reflexión promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmisión promedio del vidrio: 0.80  
(10% de la superficie, 20% del muro)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Máximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminación Residual: 0.1 lux

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



**Simulacion: 08**  
ventana horizontal alta  
15% de la superficie

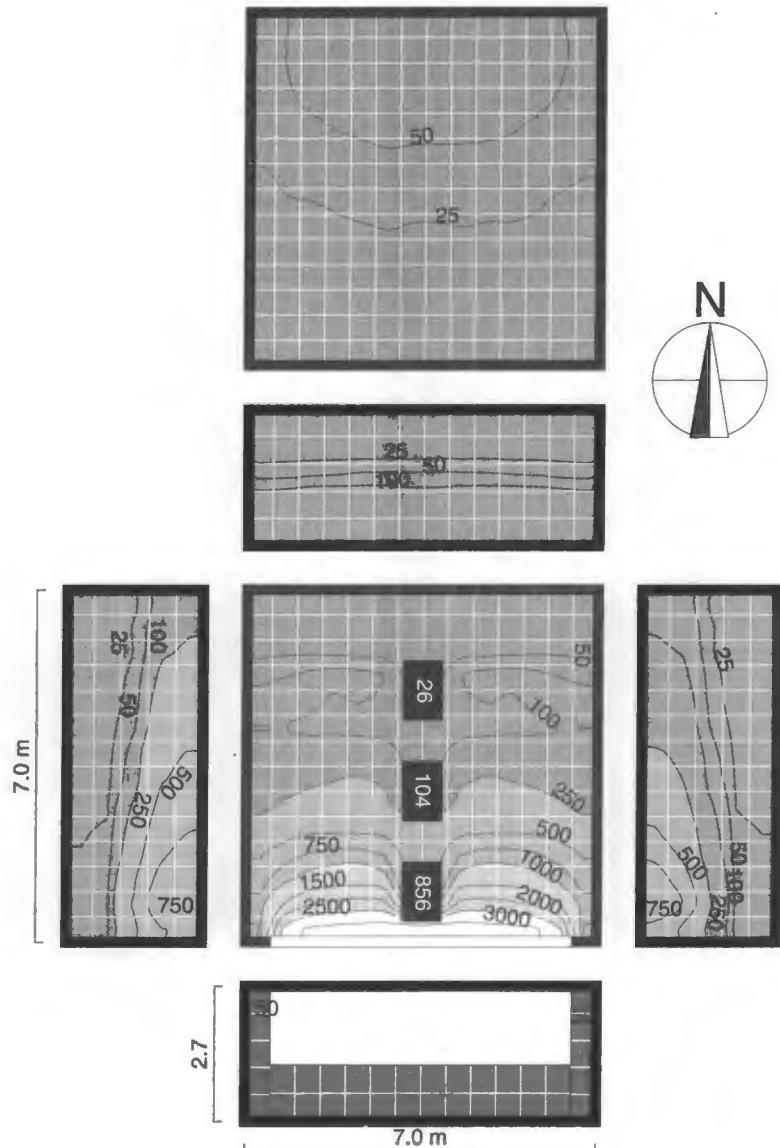
**Caracteristicas del espacio**

Factores de reflexion promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmision promedio del vidrio: 0.80  
(15% de la superficie)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



**Simulacion: 09**  
ventana horizontal alta  
20% de la superficie  
50% del muro

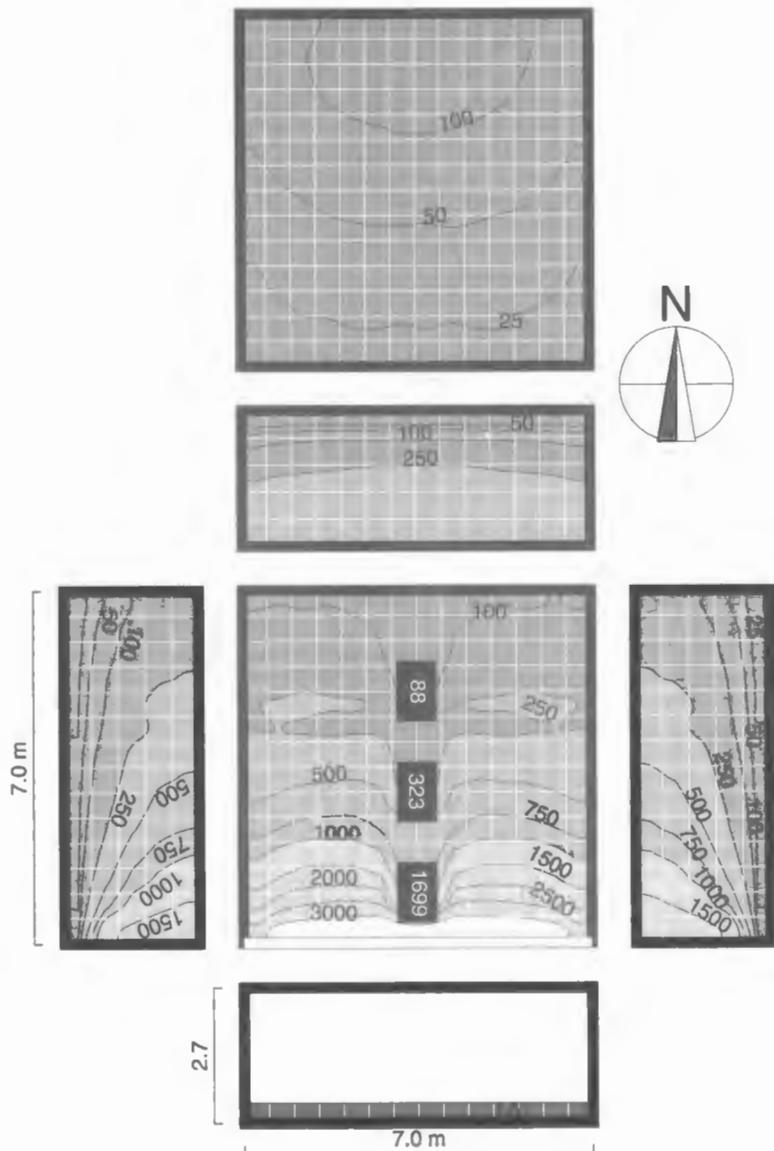
Caracteristicas del espacio

Factores de reflexion promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmision promedio del vidrio: 0.80  
(20% de la superficie, 50% del muro)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

Simulacion Genelux Representacion Espacial  
Nivel de Iluminacion

LASH/ENTPE



0	250 Lux	1000	3000 Lux
250	1000 Lux	>	3000 Lux

Simulacion: 10\*  
ventana vertical  
30% de la superficie

Caracteristicas del espacio

Factores de reflexion promedios de las paredes:  
Techo: 0.1, Muros: 0.1, Suelo: 0.1, Plano de trabajo: 0.4  
Factor de transmision promedio del vidrio: 0.80  
(30% de la superficie)  
Malla Genelux de la ventana: 0.27 m x 0.27 m (14/m<sup>2</sup>)

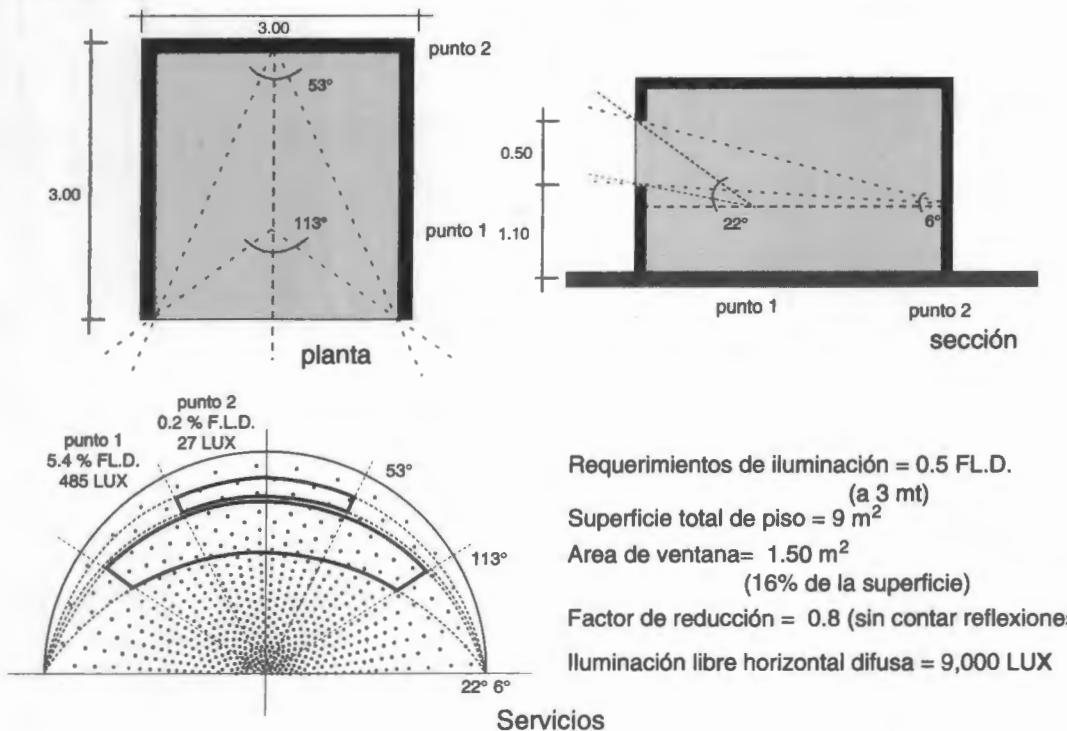
Fuente: Cielo 30 (5000 Lux), Uniforme  
Intersecciones Maximas: 3  
Densidad de los Rayos: 1  
Tamaño de la Malla: 0.50 m  
Iluminacion Residual: 0.1 lux

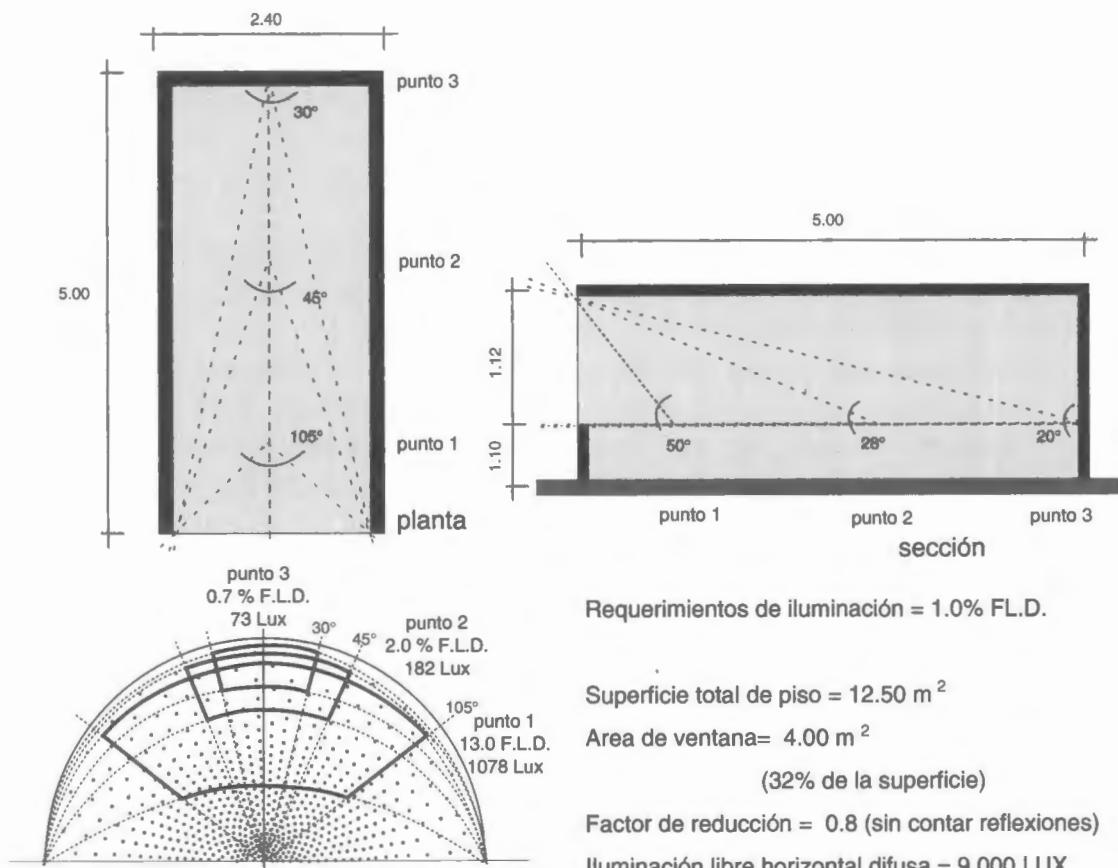
### Condiciones de iluminación natural (método de FLD)

Las propuestas de las condiciones de iluminación natural deberán estar solicitadas de acuerdo a la actividad que se vaya a realizar en los diversos espacios. En las proporciones de ventanas se contemplan los aspectos lumínicos y climáticos para recomendar asimismo su disposición, geometría y vista interior.

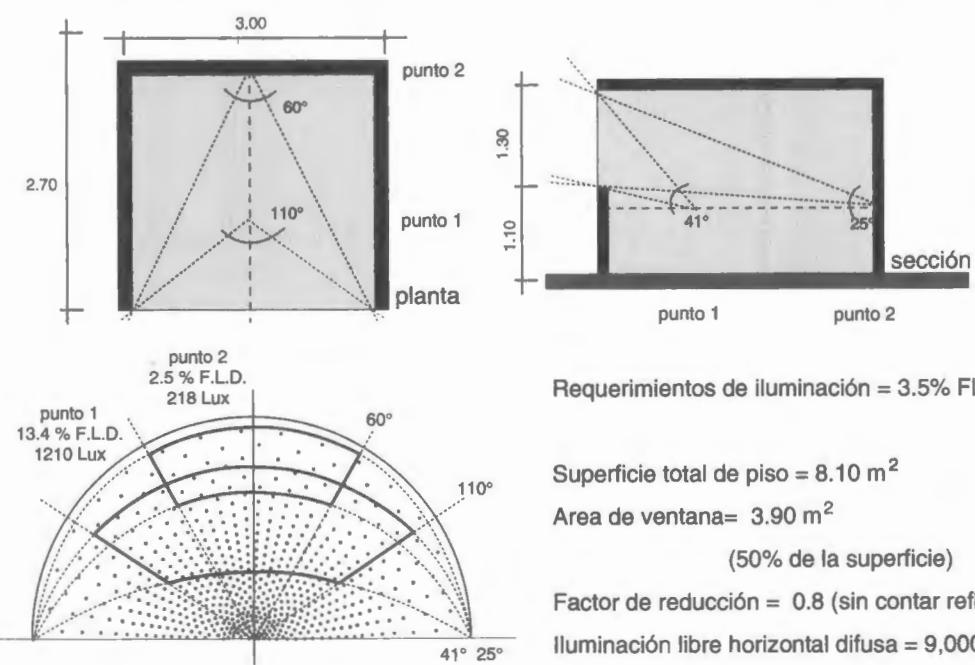
Para la evaluación de la iluminación sobre un punto situado en el interior de un espacio, sin contar con aparatos de medición que muestren la diferencia lumínica entre el obtenido internamente y el del exterior, se puede optar por la utilización de imágenes estereográficas. Al igual que se muestra en capítulos anteriores, este método de medición puede ser empleado como perspectiva cónica sobre una proyección gráfica del espacio, ya sea que esté dibujado o con fotografía *fish-eye* (ojo de pez). El método más adecuado para evaluar el factor de luz diurna (FLD) visto desde una porción de cielo, es el llamado cielo uniforme, donde se tiene dividido dicho cielo (que en este caso sería uniforme) en mil fuentes puntuales que tienen un igual poder de iluminación sobre el punto del observador.<sup>2</sup>

A continuación se desarrolla el análisis de los espacios más comunes; las diferencias de mediciones entre ellas dan como resultado los factores de luz diurna en un nivel de 0.80, considerado como nivel de trabajo visual. Como se puede observar, las condiciones lumínicas adecuadas nunca pasan de seis metros desde la ventana al lado opuesto. El ejemplo se vuelve a basar en un clima semitemplado en una latitud de 20°N; para otras latitudes basta adecuar el diagrama de Dresler a éstas así como del horario laboral más adecuado y sin considerar los factores de reflexión interiores y exteriores.

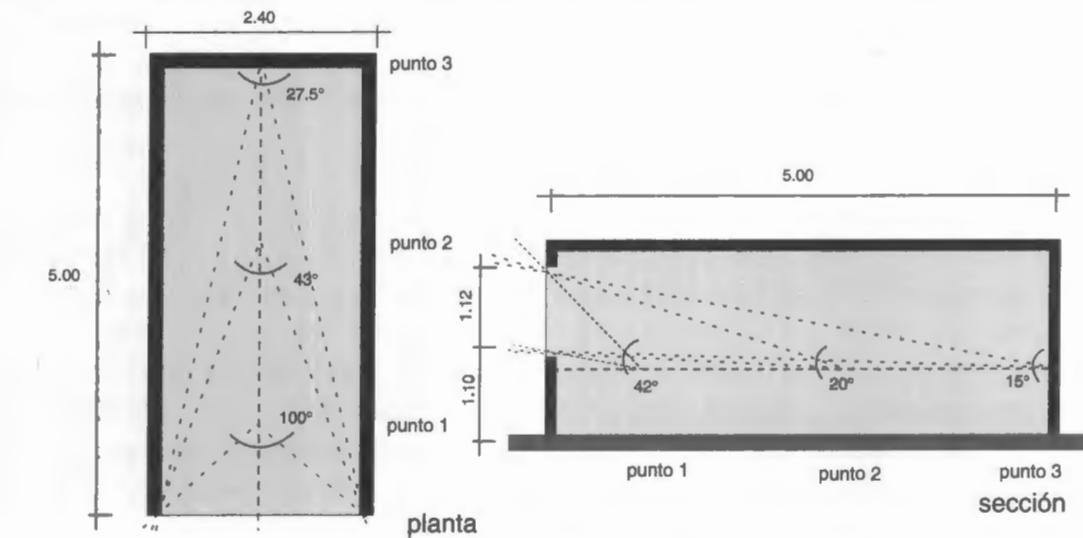




### Sala de estar



### Consultorio



Superficie total de piso = 12.00 m<sup>2</sup>

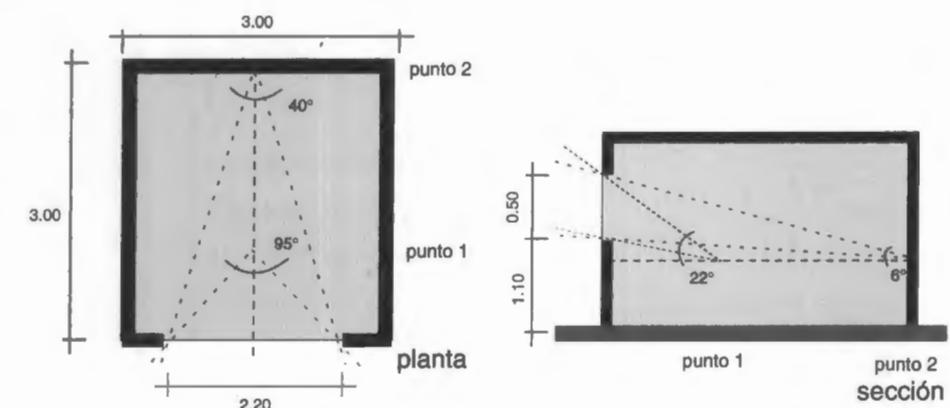
Área de ventana = 2.68 m<sup>2</sup>

(22% de la superficie)

Factor de reducción = 0.8 (sin contar reflexiones)

Iluminación libre horizontal difusa = 9,000 LUX

### Comedor



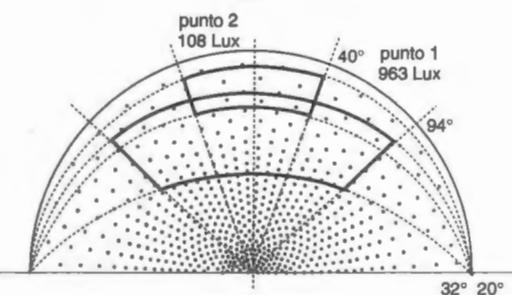
Requerimientos de iluminación = 100 Lux

(a 3 mt)

Superficie total de piso = 9 m<sup>2</sup>

Área de ventana = 1.98 m<sup>2</sup>

(22% de la superficie)



### Encamados

El periodo y tiempo de ocupación en los distintos espacios arquitectónicos puede variar las tasas de iluminación requeridas en el punto más alejado de la ventana, el cual no excede de cinco metros ya que después de esta distancia los niveles que se alcanzarían serían insuficientes.

Las condicionantes de iluminación natural son difíciles de establecer, ya que el buen desarrollo lumínico se logra al reunir una serie de elementos que en su conjunto determinará el confort ambiental adecuado. Lo que aquí se pretende recomendar no es una serie de tasas de iluminación mínimas necesarias, debido a que con ello se podría propiciar el desconfort al descuidar los índices de deslumbramiento máximos recomendables. Tampoco es recomendable establecer tasas máximas de iluminación, lo cual provocaría la insuficiencia visual; lo más adecuado serían niveles de iluminación recomendables en las distancias marcadas y dependiendo de la tarea visual a realizar.

Como ya se mencionó con anterioridad, la reflectancia de las superficies internas del espacio arquitectónico tienen una influencia directa con el nivel de deslumbramiento causado, pero el elemento con efecto mayor es el producido por la iluminación del cielo visto a través de la abertura. Los índices de desconfort por deslumbramiento (sea cual sea su procedencia) pueden llegar a ser establecidos de la siguiente manera:

CONFORT	INDICE DE DISCONFORT
Imperceptible	10
Aceptable	15
Discomfort	23
Intolerable	28

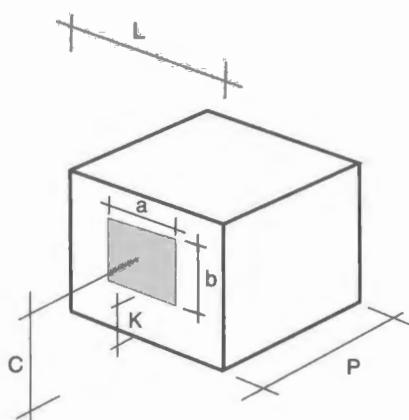
En todos los espacios arquitectónicos de uso habitacional deberán asegurarse las condiciones de iluminación natural (en factor de luz diurna) adecuadas en relación a lo enumerado a continuación, los cuales tendrán que ser iguales o mayores medidos a 0.80 metros del suelo (nivel de trabajo).

TIPO DE ESPACIO	DISTANCIA DE LA VENTANA		
	1 mt	3 mt	5 mt
<b>HABITACIONAL</b>			
Sala de estar	16.5 % F.L.D.	3.0 % F.L.D.	1.0 % F.L.D.
Comedor	16.0	2.0	0.5
Cocina	16.0	2.0	0.5
Dormitorio principal	16.5	3.0	1.0
Dormitorio adicional	16.5	3.0	1.0
Espacio de lavado	7.5	0.5	----
Servicio sanitario	7.5	0.5	----
<b>OFICINAS</b>			
Areas de trabajo	22.0 %	5.5 % (dist. max)	requiere elementos especiales
<b>COMERCIO</b>			
Todo tipo	15.5 %	1.5 %	
<b>HOSPITALARIO</b>			
Cuartos (individual)	10.5 %	1.0 %	"
Comunes	10.5	1.0	"
Consultorios	18.0	3.5	"
Asistencia social	18.0	3.5	"
<b>EDUCACIONAL</b>			
Aulas	15.5 %	5.5 %	"

### Condiciones visuales <sup>3</sup>

La presente propuesta se establece como complemento a las condiciones lumínicas y térmicas de las aberturas, aunque no se realizó anteriormente el análisis de las características psicológicas del confort visual. Cabe proponer el condicionar su legislación, la cual tendrá que estar más acorde a las restricciones físicas de las diferentes orientaciones. Para determinar la visión exterior-interior de un espacio arquitectónico es necesario hacer uso del ábaco de abertura visual. Como se menciona con anterioridad, este factor visual se considera como una visión del campo abierto hacia el exterior con obstrucciones a menos de tres metros.

Las proporciones de la ventana en relación al espacio se obtienen de la siguiente manera:

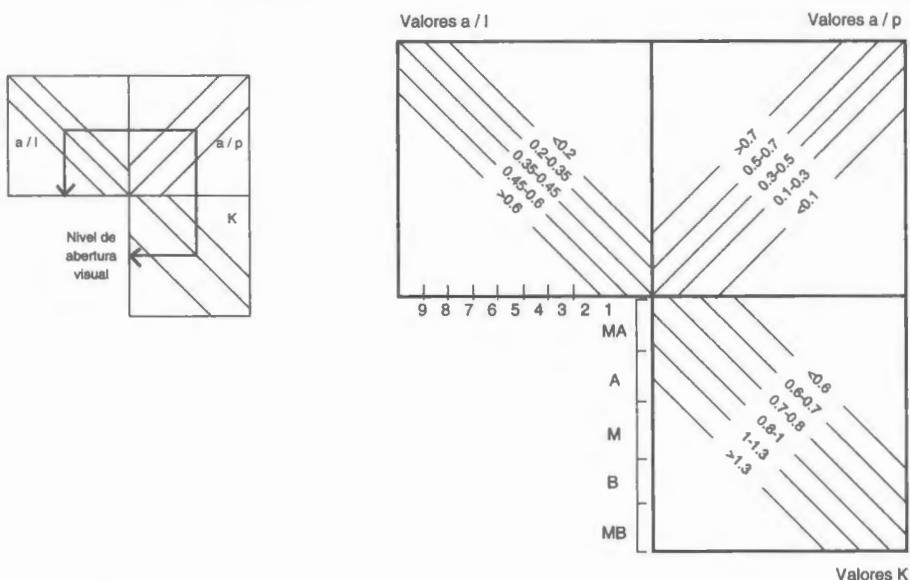


$$1) a / l = \frac{\text{anchura de la ventana}}{\text{anchura del espacio}}$$

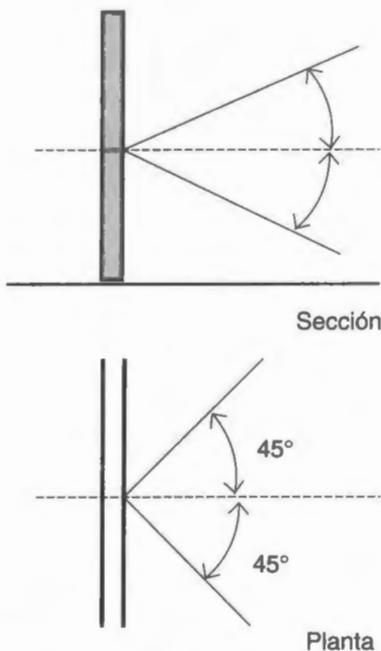
$$2) a / p = \frac{\text{anchura de la ventana}}{\text{profundidad del espacio}}$$

3) K = altura de la base inferior (ventana)

**Funcionamiento del ábaco.** Tomando en cuenta la distancia de la obstrucción (nueve diferentes posiciones) se eleva verticalmente una línea hasta encontrar la diagonal correspondiente al punto  $a/l$  y se sigue horizontalmente hacia la segunda diagonal del valor  $a/p$  y por último bajar verticalmente a la diagonal de los valores  $K$ ; siguiendo hacia la izquierda se encuentra el nivel de abertura visual del espacio arquitectónico en cuestión.

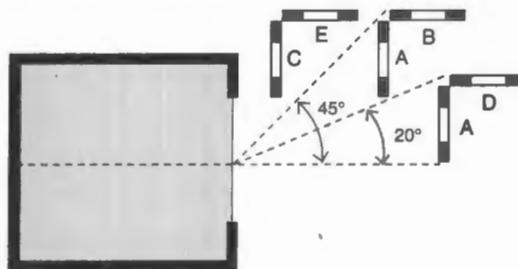


Casos	Angulo sólido	1 / 2
1	>500	
2		>500
3	$\approx 100$	
4		$\approx 100$
5	$\approx 20$	
6		$\approx 20$
7	$\approx 3$	
8		$\approx 3$
9	$\approx 3$	



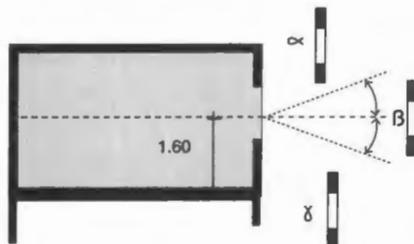
Como se menciona con anterioridad, la privacidad visual es una relación de visión exterior-interior. Se han de considerar los factores que influyen en la sensación de ser observados por personas desde el exterior del espacio arquitectónico. Dichos factores son: la distancia (d), la situación de la planta (Sp) y la situación de la sección (Ss).

1. Situación en planta (Sp) de la ventana hacia el vecino más próximo y enfrente a ésta con respecto a la perpendicular en el punto medio de la ventana.



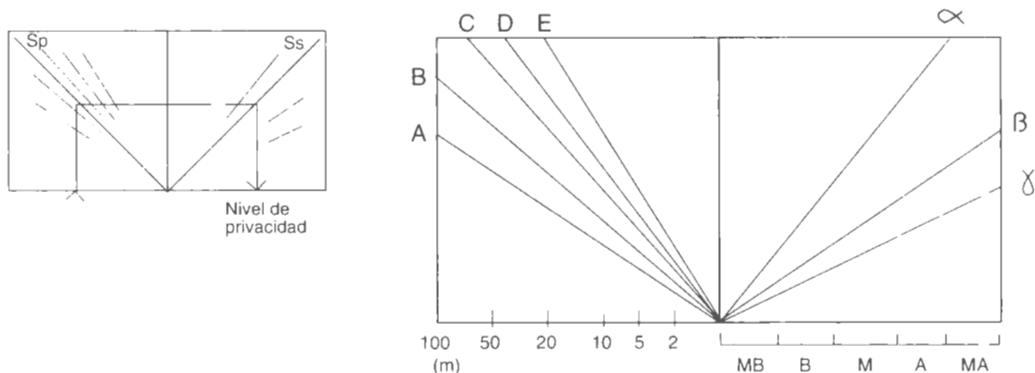
Situación del vecino en planta

2. Situación en sección (Ss) de la ventana hacia el vecino más próximo y enfrente a ésta respecto a la perpendicular en el punto medio de la ventana.



Situación del vecino en sección

**Funcionamiento del ábaco.** Se entra al ábaco con la distancia del vecino (d) y se eleva verticalmente hasta encontrar la diagonal con el caso correspondiente (A, B, C, D, E) de la situación en planta y se continúa horizontalmente hasta la diagonal de los casos  $\infty$ ,  $\beta$  y  $\delta$  de la situación en sección, para posteriormente obtener el nivel de privacidad visual.



Se establecen tres aspectos importantes de las condiciones visuales:

-*Abertura visual*; que es el ámbito del paisaje exterior visto desde el interior del espacio. Se debe tomar en cuenta que la abertura visual dentro de un espacio arquitectónico ofrece un paisaje urbano en la mayoría de los casos y ha de considerar que la calidad de éste se mide en gran parte con respecto a la distancia del mismo.

TIPO DE ESPACIO	OBSTRUCCIONES distancias	ABERTURA VISUAL grado
Dormitorio	20 - 8 mt	Media
Cocina	100 - 8	Media o Alta
Comedor	100 - 8	Media o Alta
Sala de estar	20 - 8	Media
Baños	8 - 5	Baja
Lavadero	8 - 5	Baja
Pasillos	8 - 5	Baja

-*Dominio visual*; que es la capacidad de ver zonas exteriores concretas con un valor específico para el usuario. El entorno no es solamente la vivienda, sino todo lo que pueda arribar del mundo exterior. La evaluación del dominio visual se clasifica en cinco niveles, los cuales se consideran bastante subjetivos y depende del tipo de edificio al que se refiera.

TIPO DE ESPACIO	DOMINIO VISUAL nivel
Dormitorio	Baja
Cocina	Alta
Comedor	Media
Sala de estar	Media o Alta
Baños	Muy baja
Lavadero	Muy baja
Pasillos	Muy baja

**-Privacidad visual;** que es la posibilidad de disfrutar los parámetros anteriores, sin ser observados por el exterior. La evaluación de la privacidad visual se realiza como los anteriores, pero considerando las situaciones típicas con los vecinos que podrán ser diferentes en cada caso particular.

TIPO DE ESPACIO	distancias frontales	PRIVACIDAD VISUAL grado
Dormitorio	80 - 50 mt	Alta
Cocina	50 - 20 - 10	Media
Comedor	50 - 20 - 10	Media o alta
Sala de estar	50 - 20 - 10	Media
Baños	80 - 50	Alta
Lavadero	8 - 5 - 3	Muy baja
Pasillos	10 - 8 - 5	Baja

Las condiciones visuales de las aberturas estarán establecidas de acuerdo a lo enunciado en los apartados referentes a las condiciones térmicas y de iluminación. Lo estipulado aquí se tomará como complemento a dichas condiciones, procurando proporcionar un confort visual adecuado.

1. Las condiciones visuales deberán estar aseguradas como mínimo en uno de los espacios comunes: sala de estar, comedor o cocina, los cuales tendrán un dominio visual del espacio exterior, ya sean jardines o zonas públicas accesibles al edificio.
2. Quedan descartadas las condiciones visuales en espacios de servicios como baños, lavaderos y similares. REFERENCIAS Capítulo 10 :

## REFERENCIAS Capítulo 10

1 Colli-Bianco, Adriano. "Etude de l'éclairage naturel des Batiments". Ed. LASH; FRANCIA, 1993.

2 Mur Soteras, Rafael. "Geometría natural e iluminación natural".  
Ed. (tesis ETSAB); CATALUÑA, 1985

3 Serra Florensa, Rafael. "Clima, Lugar y Arquitectura". Ed. CIEMAT; ESPAÑA, 1989.

4 Paule, Bernard. "Maitrise de l'éclairage naturel". Ed. ENTPE-LASH; FRANCIA, 1988.

## 11. LA ILUMINACIÓN NATURAL Y EL AHORRO ENERGÉTICO

Para encontrar el método de evaluación económica ideal para evaluar la auditoría energética de un edificio en relación al consumo por cuestiones de iluminación natural, es necesario tener en consideración varios factores que, aunque parezcan aislados, se requiere de una visión integral de ellos.

Precisamente para la valoración del costo-beneficio de las tecnologías que apuntan hacia la optimización de la iluminación natural en las edificaciones, es necesario tomar en cuenta consideraciones de carácter global debido a los problemas que representan las innumerables dificultades técnicas y operacionales que hacen posible su funcionamiento.

Para que lo anterior pueda ser factible de realizarse, es necesario que los beneficios se tomen en cuenta de acuerdo a dos categorías:

- Para que los beneficios puedan ser transformados en dinero real es necesaria la utilización de tecnologías y estrategias que aseguren el ahorro energético en la iluminación, así como en la energía usada en la climatización artificial.
- Dichos beneficios no serán tomados en cuenta si éstos están en contra del confort del usuario, así como de sus condiciones de trabajo u otros similares.

Cabe mencionar que este tipo de evaluaciones económicas generalmente tienden a limitar los beneficios reales del ahorro energético, como pueden ser los de tipo motivacional en relación a lo que sería la conciencia de la protección del medio ambiente.

### **Análisis costo-beneficio <sup>1</sup>**

Para encontrar el método idóneo de evaluación del costo-beneficio de edificaciones que utilicen tecnología avanzada para la optimización de la iluminación natural, es necesario tomar en consideración las decisiones respecto al tipo de inversión que se llevó a cabo en la etapa de diseño y construcción.

Por ejemplo, es frecuente que muchos proyectos constructivos continuamente varíen las expectativas de crecimiento iniciales, lo cual también se traduce en el empleo de mayor número de trabajadores, incrementándose a su vez la posibilidad de accidentes y errores de edificación. El crecimiento del proyecto también repercute en la complejidad de los planos constructivos y de instalaciones, haciéndolos más propensos a múltiples revisiones debido a dicho grado de complejidad que existe entre cada uno de los elementos interactuantes.

<sup>1</sup> Moore, Fuller. "Concepts and practice on architectural daylighting"

Los costos se elevan así como los impuestos que generan este tipo de incrementos de volumen de construcción y de los calendarios de obra.

En este caso se hace referencia al término de “inversión” como a la operación económica-financiera en que incurre la constructora para la expedición de capital en espera de obtener ganancias en un futuro. Esto considerando la diferencia entre el valor original del edificio y el obtenido con la implementación de los sistemas de iluminación en años venideros.

Las características deseables para la inversión en el proyecto se resumen en los siguientes factores:

- La cantidad expedida inicialmente en el proyecto .
- Los futuros ingresos generados por el ahorro energético.
- La duración del proyecto en relación a la vida económica de los fondos.

### **Estimaciones de ahorro energético anual <sup>2</sup>**

Para realizar estimaciones de ahorro energético anual por concepto de iluminación artificial, se requiere conocer la relativa frecuencia de las condiciones de variación del cielo durante las horas operacionales del edificio. El método tradicional está basado en las proyecciones registradas en observatorios de la relativa frecuencia del cielo despejado y cubierto (nublado). Aunque como se ha visto con anterioridad, las estimaciones de la luz de día (FLD) disponibles consideran dos factores principales: la latitud del lugar (mediante la utilización de la tabla de FLD) y el supuesto cielo en condiciones cubiertas.

Robbins y Hunter han desarrollado un método de estimación del ahorro energético anual atribuido al aprovechamiento de la iluminación natural, basado en la predicción del porcentaje anual en que el sistema de iluminación eléctrica no es utilizado. Dicho porcentaje está en función de: la estrategia de control de la iluminación eléctrica utilizada, el estándar de horario de trabajo, los datos locales de clima, así como del total de iluminación natural disponible (expresadas en FLD) medida en un punto específico del edificio. El método mencionado es el siguiente:

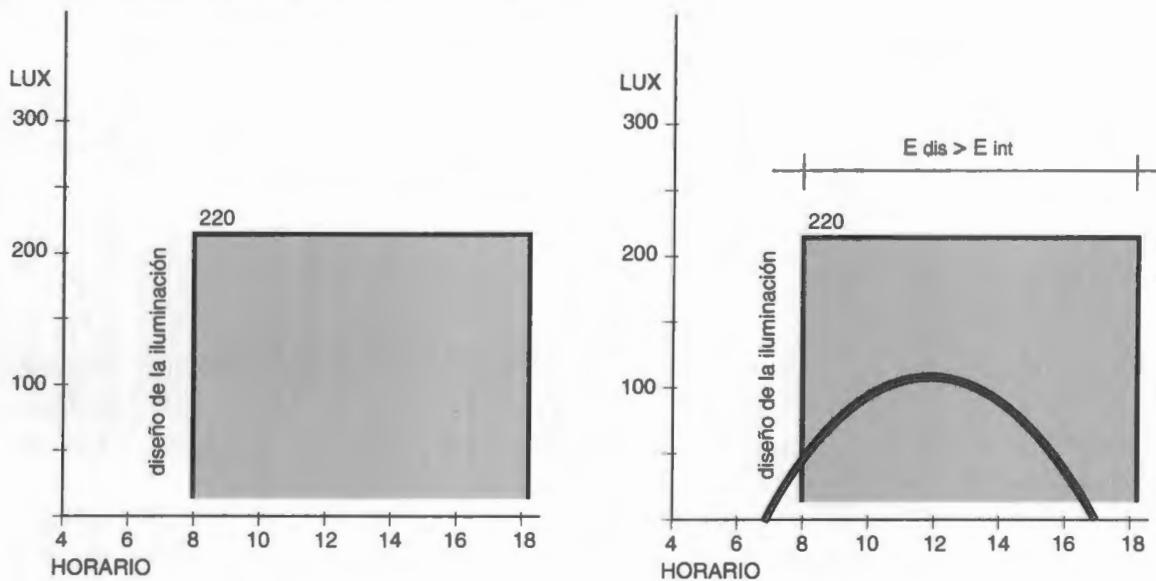
El estándar laboral anual se define como 365 días por cualquiera de las doce jornadas de trabajo más usuales. En este estándar se incluyen combinaciones de los tres horarios de inicio laboral (7:00, 8:00 y 9:00), así como los de finalización (16:00, 17:00, 18:00 y 19:00) en ciudades norteamericanas.

<sup>2</sup> Comisión de Comunidades Europeas, ob. cit.

El Factor de luz diurna (el cual se ha utilizado anteriormente) se define como la iluminación de luz natural medida en un punto situado en un plano determinado, debido a la luz recibida directa o indirectamente desde un cielo de supuesta o conocida distribución de iluminación y la cual es expresada en porcentaje:

$$FLD (\%) = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \times 100\%$$

El diseño de la iluminancia  $E_{dis}$  representa el valor de la iluminancia usada por el diseñador para establecer el sistema de iluminación adecuado para un espacio determinado, incluyendo los sistemas artificiales y naturales. La siguiente figura muestra gráficamente el periodo laboral de 8:00-18:00; los diferentes valores de  $E_{dis}$  pueden existir para diversos tipos de espacios.



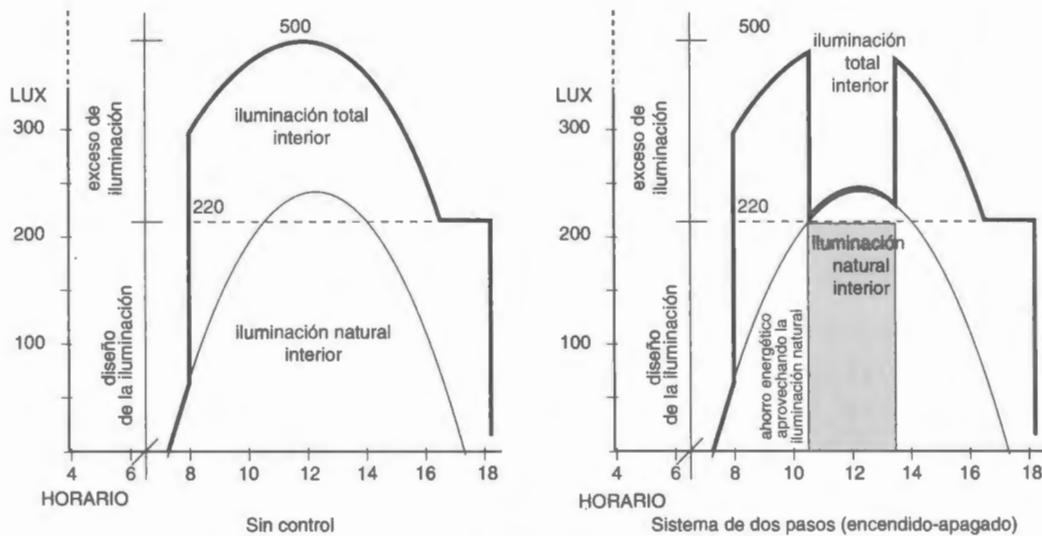
Diseño de la iluminación en un periodo laboral de 8:00 - 18:00

Despejando la ecuación anterior se puede determinar la iluminancia interior si se conoce el FLD, así como la iluminancia exterior:

$$E_{int} = E_{ext} \times \frac{DF}{100}$$

La iluminación eléctrica suplementaria puede ser controlada mediante sistemas de encendido-apagado. Dichos sistemas pueden ser de dos pasos (encendido-apagado), tres pasos (encendido, medio, apagado), cuatro pasos (encendido, un tercio encendido, dos tercios encendido, apagado) y cinco pasos (encendido, un cuarto encendido, medio encendido, tres cuartos encendido, apagado). La siguiente figura muestra cómo responden estas estrategias de ahorro energético por medio del aprovechamiento de la iluminación natural.<sup>3</sup>

3 C. L. Robbins y K. C. Hunter, *A model for illuminance on horizontal and vertical surfaces*.



Diseño del ahorro energético  
en un periodo laboral de 8:00 - 18:00

Para calcular el umbral exterior de iluminación (EU) requerido para estimar el rendimiento del diseño interior de iluminancia  $E_{dis}$ :

$$EU = \frac{E_{dis}}{FLD} \times 100$$

Para las estimaciones de ahorro energético es necesario considerar otros factores de igual importancia, como pudieran ser los referentes a: el tipo de materiales y acabados utilizados en los muros y cielos raso interiores, los requerimientos de detalle visual dependiendo de la tarea, los obstáculos exteriores, etc.

## **GLOSARIO**

### **ALERÓ**

Dispositivo de control horizontal que forma parte del edificio dispuesto en las partes superiores de los componentes de paso protege de la incidencia solar directa y controla la iluminación natural.

### **AMBIENTE LUMINOSO**

La iluminación considerada en relación con sus efectos fisiológicos y psicológicos.

### **CELOSÍA**

Elemento fijo exterior compuesto de una estructura que cubre la totalidad del componente de paso, que permite la iluminación y la ventilación natural a través de las pequeñas aberturas. Dependiendo del diseño geométrico de su estructura puede proteger de la radiación solar en ciertos ángulos.

### **CLARABOYA**

Abertura situada en los techos inclinados u horizontales. Permite el paso cenital de la iluminación natural, incrementando el nivel lumínico de los espacios inferiores del mismo. Puede ser abierta para proporcionar ventilación natural.

### **CONDUCTO DE LUZ**

Espacio de iluminación interior que conduce iluminación natural hacia zonas específicas de las edificaciones. Sus superficies interiores tienen por lo general terminados de alta reflexión para conducir luz difusa.

### **CONTRASTE**

Valoración de la diferencia aparente de dos o más partes del campo visual visto simultáneamente o sucesivamente.

### **COMPONENTE DE CONDUCCIÓN**

Espacio diseñado para guiar y/o distribuir iluminación natural hacia el interior de los espacios, desde un componente de paso hacia otro.

### **COMPONENTE DE PASO**

Parte arquitectónica de la edificación que conecta dos ambientes, permitiendo el paso de la luz desde uno hacia el otro.

### **COMPONENTE DE PASO LATERAL**

Es el componente de paso que se sitúa en las partes verticales (exteriores o interiores) de las edificaciones. Separa dos ambientes iluminados, permitiendo el paso lateral de la luz.

**COMPONENTE DE PASO CENITAL**

Es el componente de paso que se sitúa en las partes horizontales (exteriores o interiores) de las edificaciones. Separa dos ambientes iluminados, permitiendo el paso cenital de la luz hacia las partes inferiores.

**CÚPULA**

Techo de forma hemisférica que puede tener perforaciones o que puede ser construido totalmente de materiales translúcidos. Permite la iluminación cenital de los espacios que cubre.

**DESLUMBRAMIENTO**

Condición visual en la que existe desconfort o la reducción de la habilidad de ver detalles u objetos causado por el inconveniente distribución del rango de luminancia o de extremo contraste.

**DIFUSOR**

Elemento o superficie usado para alterar la distribución espacial de la luz ya sea por efecto de difusión, reflexión o transmisión.

**DIFUSIÓN**

Proceso mediante el cuál la distribución espacial del haz de radiación es cambiada cuando es desviada en varias direcciones por una superficie o un medio sin cambio de su frecuencia o de sus componentes monográficos.

**DISPOSITIVO DE CONTROL**

Elemento especialmente diseñado para admitir o controlar la entrada de luz en los componentes de paso.

**FACTOR DE LUZ DIURNA (FLD)**

La iluminación de luz natural medida en un punto situado en un plano determinado, debida a la luz recibida directa o indirectamente desde un cielo de supuesta o conocida distribución de iluminación.

**FILTRO SOLAR**

Elemento de control que cubre la superficie total de la abertura y que protege las zonas interiores contra la radiación solar directa. Puede ser fijo o ajustable.

**FOTOMETRÍA**

Medición de las cantidades referentes a la radiación evaluada de acuerdo a su función espectral luminosa eficiente.

**ILUMINACIÓN**

Aplicación de la luz en un espacio o su envolvente de acuerdo a cómo puedan ser vistos.

**ILUMINACIÓN DIRIGIDA**

Una forma de la iluminación donde la mayor parte de la luz es recibida desde una simple dirección.

**ILUMINACIÓN DIFUSA**

Una forma de iluminación donde aproximadamente la misma intensidad de luz viene desde diferentes direcciones.

**ILUMINACIÓN INDIRECTA**

Iluminación recibida por reflexión, usualmente desde un muro y/o desde superficies del cielo raso.

**ILUMINACIÓN DIRECTA DEL SOL**

Porción de iluminación natural que viene directa desde el sol en un punto específico y la cual no es difusa.

**INVERNADERO**

Espacio intermedio iluminado donde uno de sus lados está adjunto a la edificación, mientras los demás lados están separados del exterior mediante superficies transparentes o translúcidas. Puede ser abierto para propiciar la ventilación; permite el paso de la luz y la radiación solar hacia el interior de los espacios que se vinculen con él.

**LUCERNARIO**

Elevación superior con aberturas verticales o inclinadas en varios de los laterales sobre el plano del techo. Permite la penetración cenital de la iluminación natural, protegiendo a su vez de la incidencia solar directa hacia los espacios inferiores; puede proporcionar a su vez ventilación natural sin vistas hacia el exterior.

**LUMINOSIDAD**

Atributo de una sensación visual de acuerdo con la percepción de la emisión de mayor o menor luz.

**PATIO**

Espacio exterior iluminado cerrado lateralmente por muros o por varias edificaciones, abierto hacia el exterior en su parte superior y en ocasiones lateralmente; proporciona ventilación e iluminación natural hacia los espacios que se vinculan con el mismo.

**PERSIANA**

Elemento interior o exterior compuesto de pequeñas bandas dispuestas de manera vertical u horizontal en la totalidad de la abertura; puede ser fija o removible. Asimismo, puede ajustarse a los requerimientos de sombreado, regulándolos a los ángulos solares.

**REFLECTOR**

Elemento que regresa la iluminación incidente y altera la distribución espacial de la luz.

**REFLEXIÓN**

Proceso mediante el cual la radiación es regresada por una superficie o medio, sin cambio de frecuencia de sus componentes monocromáticos.

**RENDIMIENTO VISUAL**

Rendimiento del sistema visual medido de acuerdo a la velocidad de exactitud con la cual la tarea visual pueda ser desarrollada efectivamente.

**REPISA DE LUZ**

Elemento de control usualmente dispuesto horizontalmente sobre el nivel de visión en los componentes de paso vertical. Protege de la incidencia solar directa y a su vez redirige la luz hacia el cielo raso interior proporcionando iluminación a las partes últimas de los espacios.

**SUPERFICIE ESPECULAR**

Superficie con propiedades reflectivas donde el ángulo visible de la radiación incidente es igual al ángulo de reflexión.

**TRANSMISIÓN**

Tránsito de radiación de un medio a otro sin cambio de frecuencia o de sus componentes monocromáticos.

**VIDRIO TRANSLÚCIDO**

Vidrio con propiedades para transmitir la luz de manera difusa, variando la visión de éste desde claro hacia oscuro.

## BIBLIOGRAFIA

Arias Orozco, Silvia y David Carlos Ávila Ramírez, 2002, Ecotecnologías aplicadas a la vivienda, Universidad de Guadalajara, México.

\_\_\_\_\_, 2001, Ecología urbana, Pandora, México.

Avouac, Pascale, 1990, Bien voir, bien apprendre, Entpe-Lash, Francia.

Bardou, Patrick y Varoujan Arzoumanian, 1980, Sol y Arquitectura, Gustavo Gili, España.

Bedoya Frutos, César y Javier Neila, 1992, Las técnicas de acondicionamiento ambiental, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Bernard, Paule, 1988, Matrise de l'éclairage naturel dans le project, Entpe-Lash, Francia.

Colli-Bianco, Adriano, 1993, Etude de l'éclairage naturel des Batiments, Entpe-Lash, Francia.

Daumal, Francesc, y otros, Los medios naturales de control ambiental, (notas de clases del curso de acondicionamiento y servicio), Etsab, Cataluña.

Department of Environment, 1971, Sunlight and Daylight, Inglaterra.

Fontoyonnot, Marc, 1990, Guide de conception de systemes d'éclairage naturel, Entpe-Lash, Francia.

Givoni, Baruch, 1976, Man, Climate and Architecture, Applied Science, Inglaterra.

Hopkinson, R. G., 1969, The Lighting of Buildings, Faber and Faber; UK.

Huges, Donald J., 1975, Ecología de las civilizaciones antiguas, Fondo de Cultura Económica, México.

Izard, Jean-Louis, 1993, Architectures d'été, EDISUD, Francia.

Le Muet, Pierre, 1972, Maniere de bien bastir pour toute sorte de personnes, Richmond, Francia.

López Asiain, Jaime, 1989, El enfoque bioclimático en Arquitectura, Apuntes de la Universidad de Sevilla, España.

López Morales, Francisco, 1987, Arquitectura vernácula en México, Trillas, México.

- Mazria, Edward, 1993, *El libro de la energía solar pasiva*, Gustavo Gili, México.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), 1992, *Condiciones térmicas de los edificios; NBE-CT –79*, España.
- Moore, Fuller, 1989, *Concepts and Practice on Architectural Daylighting*, Van Nostrand Reinhold, EUA.
- Mur Soteras, Juan B., 1982, *Asoleo geométrico* (tesis doctoral), ETSAB, Cataluña.
- Mur Soteras, Rafael, 1985, *Geometría e iluminación natural*, ETSAB, Cataluña.
- Olgay y Olgay, 1992, *Solar Control and Shading Devices*, Van Nostrand Reinhold, EUA.
- Olgay, Victor, 1992, *Design with climate*, Van Nostrand Reinhold, EUA.
- Plaza Montero, Lorenzo, 1980, *El color y el entorno habitable*, El Instalador, España.
- PLEA sección canadiense, 1990, *PLEA '90 (ponencias)*, Pergamon Press, Canadá.
- Ramón, Fernando, 1976, *Confort térmico en una situación urbana (manuales)* España
- Rasmussen, Steen Eiler, 1974 *Experiencia de la Arquitectura*, Labor España.
- Robbins, C.L., 2000, *Daylighting*, Van Nostrand Reinhold, EUA.
- Ruck, N.C., 2000, *Building design and human performance*, Van Nostrand Reinhold, EUA.
- Rudofsky, Bernard, 1964, *Architecture without Architects*, Academy, Inglaterra.
- Rybczynski, Witold, 1986, *La casa*, Nerea, España.
- Serra Florensa, Rafael, 1999, *Clima, lugar y arquitectura*, CIEMAT, España.
- Serra Florensa, Rafael y otros, 1985, *Condicions mínimes d'habitabilitat i construcció*, ITEC, Generalitat de Catalunya, Cataluña.
- Steadman, Philip, 1978, *Energía, medio ambiente, edificación*, Blume, España.
- Szokolay, Steven V., 1977, *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*, Paraninfo, España.
- Watson, Donald, 1977, *Designing and Building the Solar House*, Garden Way, EUA.
- Wright, David, 1978, *Natural Solar Arhitecture*, Van Nostrand Reinhold, EUA.

Universidad de Guadalajara

Lic. Trinidad Padilla López  
Rector

Mtro. Itzcóatl Tonatiuh Bravo Padilla  
Vicerrector Ejecutivo

Mtro. Carlos Jorge Briseño Torres  
Secretario General

Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño

Arq. Carlos Correa Ceseña  
Rector del Centro

Arq. Carlos Muñoz Botello  
Secretario Académico

Mtro. Isidro Velázquez Garza  
Secretario Administrativo

Mtro. Mario A. Orozco Abundis  
Director de la División de Tecnología y Procesos

Mtro. Héctor Flores Magón y Jimenéz  
Jefe del Departamento de Producción y Desarrollo

Dra. Lilia R. Prado León  
Directora del Centro de Investigaciones en Ergonomía

*La iluminación natural en la arquitectura  
(en climas semitemplados)*  
se terminó de imprimir en agosto de 2004  
en los talleres gráficos de Triciclo,  
Guadalajara, Jalisco, México.

Para su formación se utilizaron los tipos  
Arial en 12 puntos para textos  
y 14 puntos para títulos.

El tiraje fue de 1000 ejemplares más sobrantes para reposición.