

JORNADAS DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE 2017

Sistemas de Iluminación Natural y Artificial Eficientes

Gabriela Casabianca - Sabrina Mandel

Ministerio de Ambiente
y Espacio Público



Buenos Aires Ciudad



Vamos Buenos Aires

Ciudad Verde

AUTORIDADES

JEFE DE GOBIERNO

Horacio Rodríguez Larreta

VICEJEFATURA DE GOBIERNO

Diego Santilli

MINISTERIO DE AMBIENTE Y ESPACIO PÚBLICO

Eduardo Alberto Macchiavelli

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

Juan Bautista Filgueira Risso

JORNADAS DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE 2017

Sistemas de Iluminación Natural y Artificial Eficientes

Casabianca G. y Mandel S. para Fundación Hábitat y Desarrollo y Agencia de Protección Ambiental – APrA - GCABA

Edición de Contenidos

Agencia de Protección Ambiental – APrA.
Dirección General Política y Estrategia Ambiental.
Gerencia Operativa Gestión Urbano Ambiental.
Subgerencia Operativa Planeamiento Urbano Sustentable

Dibujo de tapa

Leonel Baldoni

Diseño

Leonel Baldoni

Agencia de Protección Ambiental -APrA-

Lima 1111 (C1073AAW) Buenos Aires, Argentina.

Esta publicación es de distribución gratuita y puede ser reproducida en forma parcial siempre que se haga referencia a la fuente.

Buenos Aires, Junio 2018.

INTRODUCCIÓN

Mariano Reobo

Arquitecto en Agencia de Protección Ambiental

Esta publicación es una iniciativa conjunta de la Agencia de Protección Ambiental y la Fundación Hábitat y Desarrollo.

En el marco del Proyecto “Construcción Sustentable en Proyectos y Obras de Gobierno”, cuyo objetivo es la promoción de la incorporación de criterios de construcción sustentable en los proyectos y obras edilicias y urbanas que desarrollen las áreas del Gobierno de la Ciudad con competencia, se ha organizado un Ciclo de Jornadas de capacitación respecto de la temática durante el año 2017.

Esta publicación pretende resumir los conceptos más importantes brindados durante este ciclo y busca brindar información técnica relevante en relación a algunas de las estrategias de diseño y construcción que pueden aplicarse a la hora de desarrollar un proyecto, una obra nueva o de remodelación de un edificio existente; en pos de reducir y/o minimizar el impacto ambiental de los edificios y obras.

Los documentos, desarrollados por reconocidos profesionales especialistas en cada una de las temáticas presentadas, pretenden promover y acercar a aquellos profesionales del diseño y la construcción interesados y al público en general, algunos conceptos que influyen notoriamente en el desempeño ambiental y energético de los edificios, y que muchas veces son minimizados, desestimados e incluso ignorados. Asimismo buscan incentivar tanto a los futuros como a los actuales profesionales a profundizar conceptos y propiciar la investigación de nuevos contenidos y herramientas disponibles.

A continuación, el sexto tomo “Sistemas de iluminación natural y artificial eficientes”.

ILUMINACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA

Mg. Arq. Gabriela A. Casabianca

Arquitecta (FADU, UBA, 1986). Investigadora Adjunta en el Centro de Investigación Hábitat y Energía, FADU-UBA. Experiencia en consultoría y asesoramiento en eficiencia energética, normativas de acondicionamiento natural, diseño bioclimático, auditorías energéticas e iluminación eficiente. Formación a nivel posgrado en diseño bioclimático, uso racional de energía y arquitectura sostenible. Actualmente a cargo de la Materia Energía en Edificios en la FADU- UBA, profesora a cargo del módulo Construcción Sustentable en la Maestría en Tecnologías Urbanas Sustentables de la FI-UBA y docente en el Módulo Energía en el Hábitat Construido de la Maestría Interdisciplinaria en Energía (CEARE-UBA), además de dictar diversos cursos de actualización profesional sobre temas de iluminación natural y eficiencia energética en arquitectura.

CONTENIDO

El tomo se organiza en dos capítulos:

Capítulo 1: Iluminación natural en arquitectura.

Capítulo 2: Diseño de iluminación. Iluminación natural sustentable.

CAPÍTULO N°1

ILUMINACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA

Contenidos

- Iluminación natural, requisitos en edificios y optimización del recurso.
- Confort visual.
- Diseño para el aprovechamiento de la luz natural.
- Elementos para redireccionar y optimizar la luz natural.
- Sistemas de control de la iluminación natural y sistemas de protección solar.
- Luz natural y eficiencia energética.
- Conclusiones.

Iluminación natural, requisitos en edificios y optimización del recurso

El uso racional y sustentable de la energía es un tema fundamental en el mundo en que vivimos y el medio construido presenta una importante posibilidad de contribuir a mejorar las condiciones de uso de esos recursos. El aprovechamiento de luz natural es uno de ellos: la naturaleza lo ofrece sin costo alguno, el ser humano lo utiliza permanentemente para su propia regulación fisiológica y, desde el punto de vista de la calidad de la luz que provee, resulta óptima teniendo en cuenta que el sistema visual de los seres humanos responde evolutivamente a entornos con luz natural: la iluminación artificial es un recurso “nuevo” (poco más de 100 años desde el descubrimiento de la lámpara eléctrica) en la historia de la humanidad.

El poder contar con luz independientemente de las condiciones exteriores permitió desarrollar nuevas ideas y proyectos en el campo de la arquitectura: aislarse del exterior pareció en su momento un logro importante, que sólo requería de energía. Hoy se reconoce el alto precio que se debe pagar por esto: uso excesivo de energía proveniente de fuentes no renovables, necesidad de producir energía de otras fuentes no siempre limpias (energía térmica o nuclear) y emisiones de gases efecto invernadero que alteran el equilibrio natural a nivel planetario.

Hasta hoy, en muchos casos, para calcular la superficie de una abertura, el profesional de la arquitectura utiliza dos criterios: uno estético, en relación con la imagen arquitectónica que busca para su obra, y el otro, meramente “formal”, de cumplir con una indicación normativa que señala que la superficie de iluminación (natural) es una cierta proporción o porcentaje matemático

respecto a la superficie total de un espacio. Esto está cambiando poco a poco, apareciendo y tomando fuerza nuevos criterios vinculados a la calidad de la iluminación interior y al bienestar de los ocupantes de los espacios.

La luz natural es una fuente de iluminación de excelente calidad y amplia disponibilidad, que permite iluminar espacios interiores, ahorrando energía de origen fósil, reduciendo impactos ambientales negativos y contribuyendo al uso racional de recursos no renovables. En la arquitectura es utilizada para realizar la calidad de los espacios diseñados y, en general, responde a las preferencias de los usuarios, cuyo sistema visual responde fisiológicamente mejor al espectro físico de la luz natural.

Confort visual y arquitectura

El confort térmico y visual de los espacios donde desarrolla sus actividades el ser humano es fundamental para su bienestar físico y mental, además de promover un adecuado rendimiento en las actividades que lleva a cabo, algo que resulta fundamental en edificios de uso no residencial como educacionales, de oficinas o industriales. Por ejemplo, se ha investigado y demostrado una asociación entre la iluminación natural y el rendimiento de los estudiantes a través de los resultados de exámenes estandarizados para nivel primario en los Estados Unidos (Herschong, 1999). Las conclusiones obtenidas muestran que la calidad ambiental de los espacios influye facilitando o no el desarrollo de las actividades que se realicen en ellos.

Muchos profesionales del campo de la arquitectura piensan que el diseño de la luz natural es simplemente cuestión de experiencia y sentido común; se considera que tiene que ver con cuestiones de composición de las fachadas de edificios y se recurre a ejemplos, antecedentes e inclusive modas o reglas de estilo como apoyo en el proceso de diseño. Y siempre se puede recurrir a la iluminación artificial para compensar deficiencias o errores, más aún con la amplia variedad de luminarias eléctricas disponibles.

Las nuevas tendencias globales relacionadas con la necesidad de solucionar problemas vinculados con el consumo de energía de fuentes no renovables y al calentamiento global, han impulsado la revisión crítica del diseño de la luz natural, con el fin de promover el ahorro de energía; además se han comenzado a investigar también diversos aspectos relacionados con el confort visual. Si bien se busca iluminar de manera eficiente y económica, basándose en mediciones físicas y fotométricas más que en respuestas emocionales a la luz, las nuevas investigaciones están orientadas a valorizar aspectos subjetivos, incluyendo también aspectos psicológicos, es decir, aportar al diseño los factores humanos. Se ha señalado la necesidad de orientar las investigaciones al desarrollo de nuevas tecnologías en iluminación, incluyendo luz natural (J. Veitch

(2000, 2001), al diseño y la arquitectura, y al conocimiento sobre los factores humanos, incluyendo aspectos biológicos y psicológicos y sus efectos.

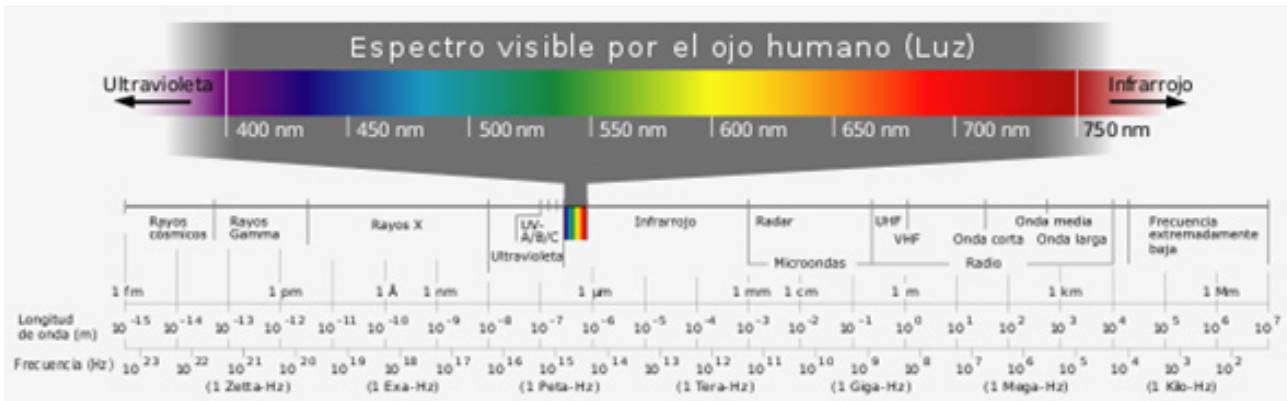
Desde épocas prehistóricas, la luz del sol fue la fuente primaria para la información para los seres humanos, a partir de los ciclos día – noche. Las aberturas en la arquitectura primitiva han evolucionado en modernas ventanas, que aún mantienen ese rol primario de proveer luz natural en los espacios interiores de los edificios. La luz natural fue la principal fuente de luz hasta el siglo XX, cuando el desarrollo de las lámparas y la disminución de costos, sumado a la disponibilidad de energía, permitieron generalizar el uso de la iluminación artificial.

La envolvente de un edificio constituye un verdadero filtro de las influencias exteriores, aprovechando las favorables o controlando aquellas que producen impactos negativos con el objetivo de optimizar las condiciones interiores con el fin de lograr confort para sus ocupantes. La luz natural se incluye entre los factores externos que modifican las condiciones interiores de un edificio; si bien depende de las condiciones exteriores, el proyectista puede controlar o aumentar su transmisión y mejorar su distribución mediante un adecuado diseño edilicio.

El aprovechamiento de la luz natural es una importante estrategia para mejorar la eficiencia energética de un edificio, minimizando el consumo de energía destinado a iluminación artificial. Entre sus ventajas se pueden mencionar: mejora la calidad de la iluminación, reduce el consumo de energía destinado a la iluminación artificial, disminuye también el costo económico que implica esa energía adicional, reduce el aporte de calor proveniente de las lámparas, mejora saludablemente las condiciones de vida y trabajo en los espacios interiores (considerando tanto el confort visual como aspectos psicológicos); permite vistas, conexión con el exterior y la referencia temporal durante el día.

Luz natural

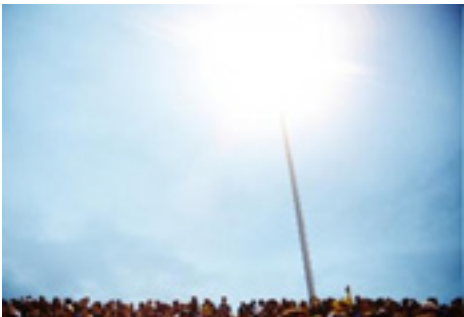
Físicamente, la luz es una radiación electromagnética proveniente del sol, que se encuentra dentro de lo que se denomina rango visible, y no existe todavía ningún tipo de iluminación artificial que pueda replicar su variación espectral en los distintos momentos del día o épocas del año. Esta radiación electromagnética tiene longitudes de onda en el rango entre 400 a 800 nm (nanómetros) aprox., comprendida entre ultra-violeta (300-400 nm) e infrarroja cercana (800-2100 nm). Esta radiación incide sobre la retina del ojo humano generando una señal que se transmite al cerebro, permitiendo la sensación que se denomina visión, y permite recibir información sobre el mundo que nos rodea.



Espectro de la radiación solar. Fuente: Wikipedia

Fuentes de luz natural

La disponibilidad de luz natural está directamente relacionada con la posición del sol en el cielo, está condicionada por la latitud y el clima del sitio, que favorecen o no la cantidad de luz exterior en un sitio determinado. Las características de la luz diurna cambian según el sector de cielo desde el cual proviene:



Luz Solar Directa

Recibida directamente desde el sol directo; los rayos llegan prácticamente paralelos; es de una luz blanca, de alta intensidad, que puede producir problemas de disconfort visual por exceso de luz.



Luz difusa proveniente del cielo claro

Es una luz difusa de baja intensidad, más pareja aunque se recibe mayor luz de los sectores del cielo a baja altura.



Luz difusa proveniente del cielo nublado

Luz difusa de baja intensidad; se recibe algo más de luz desde el sector de cielo a mayor altura, aunque la cantidad total de luz depende del tipo de nubes (que presentan distinta permeabilidad al pasaje de luz solar).



Luz reflejada proveniente del entorno

La luz llega reflejada desde el suelo y el entorno. Tiene gran influencia el albedo de las superficies circundantes. En la imagen se puede ver la incidencia de la presencia de nieve, agua y sectores con vegetación en la luz reflejada.

Fuente de las fotografías: <http://www.ehowenespanol.com, /es.123rf.com>

La luz natural varía continuamente, con una variación total de luz útil de entre 10 a 10.000 lux, según las condiciones de cielo y la posición del sol:

- Diariamente: durante las horas de luz en un día típico, según altura angular del sol
- Estacionalmente: invierno – verano según altura y orientación
- Condiciones climáticas: sol directo, cielo claro, cielo nublado
- Condiciones atmosféricas: polución, polvo y humedad
- Localidad: varía según la altura sobre el nivel del mar

Confort visual

La calidad de la iluminación se ha convertido en un objetivo fundamental del diseño y está determinada por el juicio relativo que depende del contexto de uso, el bienestar de las personas y su integración con condicionantes arquitectónicas y económicas. Las nuevas investigaciones en el campo de la iluminación focalizan crecientemente el interés de sus estudios en los aspectos subjetivos y los efectos no-visuales de la luz natural sobre procesos biológicos y el sistema circadiano humano, con el fin de lograr no sólo una mejor calidad de iluminación en el interior de los edificios sino también incluir en el proceso las necesidades biológicas, visuales, expectativas y preferencias de los ocupantes para promover el diseño de espacios saludables para su bienestar.

Cuando la luz pasa a través del ojo, las señales no llegan solamente a las áreas relacionadas con la visión, sino también a las partes del cerebro encargadas de la regulación hormonal. Así, el estímulo de la luz comprende funciones físicas (aspecto energético), fisiológicas (transformación del flujo de energía en estímulos nerviosos) y psicológicas (interpretaciones a nivel neuronal de ese estímulo), que informan sobre el medio ambiente y contribuyen al funcionamiento del organismo humano.

La variación espectral de la luz natural envía “señales” al organismo en todas las partes del espectro visible, determinando la regulación del reloj biológico; la vida humana siempre ha estado regulada en función del ritmo de la luz natural: actividad durante el día, descanso por la noche. La dinámica de estos cambios de intensidad y variación espectral durante el día tiene fuerte influencia en los ritmos del cuerpo humano y en el metabolismo de la producción de hormonas.

Un estímulo que llega al sistema visual se puede describir mediante cinco parámetros: tamaño, contraste de luminancia, color, calidad de imagen en la retina, e iluminación en la retina. Estos parámetros son importantes para que el sistema visual pueda detectar e identificar claramente el estímulo (Pattini, 2005). La forma de la performance visual es una función de comprensión, en la cual para un amplio rango de medidas, contrastes e iluminancias hay pequeños cambios en la performance.

El *desempeño humano* depende de tres sistemas (Boyce, 2003):

- **sistema visual** (imagen del mundo exterior)
- **sistema perceptual** (relación con el confort visual y el “mensaje” que procesa el cerebro, más allá del mero estímulo visual)
- **sistema circadiano** (la iluminación regula el ritmo de la fisiología del ser humano y casi todos los seres vivos; implica la variación de ritmos hormonales a través del núcleo supra-quiasmico (del Sistema Nervioso Central, vinculado a la retina).

El sistema óptico humano capta la imagen y el sistema de registro interno conduce el estímulo hacia el cerebro. Los procesos que realiza el ojo al realizar la actividad visual son:

- **Adaptación a la luz y la oscuridad** (3 fases: rápida -proceso neuronal-intermedia -ajuste del tamaño de la pupila- y lenta -procesos fotoquímicos)
- **Acomodación** (nitidez para ver objetos cercanos y lejanos)
- **Campo visual** (extensión angular del campo de visión)
- **Movimiento ocular** (muestreo de la imagen y mejora de su calidad en la retina).

Estos procesos ocurren de forma permanente e inconsciente; cualquier alteración de los parámetros visuales hace que la ejecución de estos procesos se altere y se generen situaciones de disconfort visual, que pueden manifestarse en forma de dolores de cabeza o irritación ocular, por ejemplo.

Los requerimientos indispensables para el procesamiento de la información visual son:

- percepción de claridad
- percepción de formas (proximidad, semejanza, continuidad, etc.)
- percepción de profundidad

Los problemas que pueden presentarse en relación con la iluminación del espacio son:

- **Deslumbramiento fisiológico:** efecto de enmascaramiento de la visión debido a la dispersión de la luz, proveniente de cualquier parte del campo visual; reduce el contraste de luminancia de la imagen.
- **Deslumbramiento psicológico:** produce molestia o incomodidad, y provoca distracción sobre la tarea en el campo central-foveal debido a fuentes luminosas en campo periférico; no implica cambios en el rendimiento visual umbral pero causa disminución del confort visual.

Las causas de disminución del confort visual son:

- **Problemas asociados a la iluminación** (distribución de la luz, relación de luminancias, rendimiento de color)
- **Variación temporal de la iluminación** (cambios en la intensidad de iluminación)

- **Deslumbramiento**
- **Sombras** (proyección sobre áreas de interés)
- **Problemas asociados a la tarea visual** (Por ejemplo si el tamaño de la letra implica mecanismos de acomodación para poder leer que generen cansancio visual)
- **Información insuficiente o excesiva** (Por ejemplo, lo que sucede con un vehículo en la niebla –sub estimulación, no hay referencias- o texto sobre fondo con información similar –sobre estimulación)
- **Causas de distracción** (por ejemplo la presencia de objetos con altos valores de luminancia en movimiento, ya que ignorarlos puede ser estresante)
- **Elementos de confusión perceptual:** aparecen dentro del entorno visual patrones de luminancia que entran en conflicto con el del campo visual asociado a la tarea, provocando confusión.
- **Reflexiones de velo:** reflejo especular sobre una superficie: cambia el contraste de luminancias (una reducción de hasta un 20 % no afecta el confort visual); puede generar posturas incómodas que adopta el ocupante para evitar reflejos molestos. Los factores que intervienen son: especularidad del material, geometría entre el observador, el objeto y la fuente de luminancia. Se puede reducir: reduciendo la componente especular de la reflectancia de la superficie, produciendo cambios en la geometría del objeto, la superficie observada y la zona afectada o bien aumentando las interreflexiones de luz en el ambiente.

Para favorecer el confort visual es necesario eliminar en el diseño los aspectos de la iluminación que pudieran causar molestias visuales y que tienen que ver con TODO el espacio iluminado.

Las normativas o estándares establecen recomendaciones de valores de iluminancias en puestos de trabajo, considerando dos grados de confort: un máximo cuando el sistema visual trabaja confortablemente y mínimo si el sistema visual opera en su límite. El confort visual presenta una zona de respuesta óptima respecto del nivel de iluminancia; más luz no es necesariamente equivalente a mayor confort. Además, una variación del 10 % en la iluminancia no tiene mayor influencia en la performance de una tarea.

Grados de confort:

- máximo: el sistema visual trabaja confortablemente
- mínimo: el sistema visual opera en su límite. Pueden aparecer problemas visuales al menor cambio del nivel de iluminación.
- El confort visual presenta una zona de respuesta óptima respecto del nivel de iluminancia: más luz no es necesariamente equivalente a mayor confort

Los niveles de iluminación recomendados según estándares y normativas son:

Áreas de circulación, corredores	100 lux
Escaleras	150 lux
Talleres	300 a 750 lx según tarea
Tareas de precisión	1000 a 1500 lx
Oficinas	300 a 750 lx
Escuelas	300 a 500 lx
Comercios	300 a 750 lx
Viviendas	100 a 500 lx
Hospitales	Salas de examen 500 lx General quirófanos 1000 lx Focal quirófanos 100.000 lx Sala autopsias 5000 lx

Los niveles de iluminación requeridos para una tarea según códigos y estándares están directamente relacionados con el contexto económico y con valores sociales; en los últimos 50 años del siglo XX, a medida de que el costo real de la iluminación fue decreciendo, los valores mínimos de iluminancia han ido aumentando.

Con respecto a la luz natural, debido a su variabilidad y a la capacidad de adaptación del ojo, es común que los ocupantes acepten niveles menores a los establecidos para iluminación artificial durante períodos reducidos. Las normas no establecen valores máximos ya que el ojo humano puede adaptarse a valores muy superiores a los mínimos sin problemas, excepto en el caso de luz solar directa muy intensa y superficies muy claras (Evans, en AAVV, 2001, Cap. 6).

Psicológicamente, la luz natural y las vistas son deseables. La performance de la tarea visual está directamente relacionada con la claridad del estímulo sobre el sistema visual; la luz natural mejora esa performance debido a su composición espectral y rendimiento de color. Si bien en ciertos casos la luz natural puede causar discomfort visual por presencia de reflejos,

esto también es posible cuando se utiliza luz artificial.

En general, los ocupantes tienden a reducir las superficies de iluminación natural si se percibe discomfort, aunque resultados de evaluaciones post-ocupación muestran que, aún con estos inconvenientes, prefieren trabajar con luz natural. Las ventanas que permiten las vistas, pueden reducir el estrés y los problemas de salud derivados de la percepción en lugares cerrados, aislados visualmente del exterior. Normalmente se asocia a las ventanas con ambientes más saludablemente iluminados y ventilados; las ventanas dan información sobre el mundo exterior: clima, hora del día, sonidos, variación de la luz, y enriquecen el entorno espacial.

Los aspectos psico-fisiológicos pueden incrementar la tolerancia a niveles extremos de luz natural, por encima o debajo de los niveles establecidos en estándares internacionales, reduciendo inclusive la necesidad de operar sistemas de oscurecimiento o protección solar que podrían reducir la disponibilidad de luz natural en los espacios, y además tener una influencia negativa en la percepción de bienestar (Altomonte, 2008).

Las recomendaciones para una “iluminación saludable” deben considerar más factores que aquellos que se encuentran incluidos en los estándares o normativas (que hacen referencia a aspectos físicos como cantidad y distribución de la luz), incorporando criterios de confort y bienestar visual, que conducirán al bienestar psíquico y biológico de los ocupantes.

Aprovechamiento de la iluminación natural

El aprovechamiento de la luz natural es una importante estrategia para mejorar la eficiencia energética, minimizando el consumo de energía destinado a iluminación artificial y las ganancias de calor emitido por las lámparas, reduciendo consecuentemente la carga de refrigeración. Sus aspectos favorables son:

- mejora la calidad de la iluminación
- reducción del consumo de energía destinado a la iluminación artificial
- disminución del costo económico que implica esa energía adicional
- reducción del aporte de calor
- mejora saludablemente las condiciones de vida y trabajo en los espacios interiores, considerando tanto el confort visual como aspectos psicológicos.
- permite vistas, conexión con el exterior y referencia temporal

Las estrategias para iluminación natural están directamente relacionadas con el diseño edilicio. Las características de la iluminación natural en un local dependen principalmente de los

tres aspectos:

- la geometría y proporciones del local
- la ubicación y orientación de ventanas y aberturas
- las características de las superficies internas

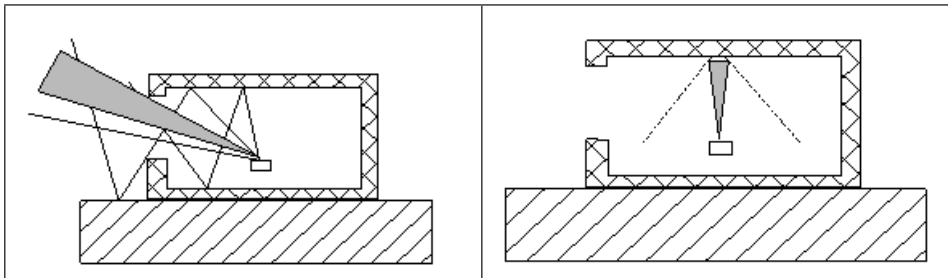
Las estrategias para un adecuado diseño del aporte de luz natural comprenden distintas escalas de diseño que es necesario contemplar para obtener un óptimo nivel de iluminación natural:

- **A escala del edificio:** es importante tener en cuenta la disponibilidad de luz natural, las obstrucciones del entorno, características de diseño del edificio mismo (techos, patios, disposición de bloques)
- **Características del local:** sus aberturas (unilateral, bilateral, cenital), proporciones y geometría y la reflectancia de las superficies interiores.
- **Ventanas:** su diseño, forma, dimensiones, divisiones, orientación, ubicación en el local y sistema de protección solar a incorporar
- **Sistema de iluminación natural:** cuando se incluyen dispositivos o diseños específicos para optimizar la luz natural, es indispensable conocer sus principios de funcionamiento, la cantidad de luz provista, cómo es el re-direccionamiento de la luz, la protección solar en épocas cálidas, y cómo evitar deslumbramiento y contrastes dentro del campo visual.

Considerando el diseño de la arquitectura, es entonces fundamental aprovechar la iluminación natural para reducir uso de energía convencional (contribución energética de la luz natural), evitar contrastes excesivos o fuentes directas en el campo visual, mejorar la distribución de la luz mediante control de reflejos internos, con colores claros por ejemplo; controlar el ángulo de incidencia de la luz sobre planos de trabajo y la variación del nivel de servicio según actividad del local.

El siguiente esquema muestra las diferencias en la forma de incidencia de la luz en el interior del edificio y sobre el plano de trabajo:

Luz natural	Luz artificial
Luz lateral: la mayor parte de la luz proviene de altos ángulos de incidencia respecto al plano de trabajo horizontal.	Luz vertical: con artefactos en el cielorraso; incidencia directa sobre el plano de trabajo.



Diferencias en la distribución de la luz en el interior de un local

Luz natural	Luz artificial
Luz proveniente de ventanas laterales: fuerte variación con valores levemente inferiores al nivel mínimo de diseño, según la distancia a la abertura.	Objetivo de diseño: distribución pareja, con leves variaciones sin valores inferiores al nivel mínimo de diseño.

Fuente de los gráficos: material didáctico CIHE-FADU-UBA

Para poder diseñar apropiadamente la luz natural en un espacio arquitectónico, es indispensable conocer las características de la fuente de luz natural (difusa, directa) y los requerimientos de luz sobre el plano de trabajo (calidad, cantidad, distribución); diseñar y controlar el efecto modificador del edificio mismo (proporción de luz, ángulos de incidencia) y posteriormente realizar la verificación de resultados mediante simulaciones numéricas o físicas, u otros métodos de evaluación.

Luz natural en arquitectura

Un adecuado diseño permite disponer de una iluminación de excelente calidad que además puede ser utilizada para realzar la calidad ambiental y estética de los espacios arquitectónicos.



Biblioteca en Rovaniemi – Alvar Aalto – Foto archivo CIHE – FADU – UBA
Instituto de Arte de Chicago. Foto: <http://renzopianoanalysis.blogspot.com.ar/p/luz.html>

Un diseño que no tiene en cuenta factores que afectan al confort visual puede resultar en problemas en la etapa de ocupación y uso del edificio, que pueden ser particularmente graves si los ocupantes de los espacios bloquean la luz natural y utilizan luz artificial para evitarlos (y se utiliza energía eléctrica al mismo tiempo que el recurso de la luz natural está disponible sin costos adicionales).



Oficina de instituto de investigación en Tucumán. Foto archivo CIHE – FADU – UBA

El diseño de la iluminación natural tiene relación directa con todos los aspectos arquitectónicos del edificio y su entorno. Los factores externos (edificios cercanos, vegetación, solados exteriores) afectan la incidencia de la luz natural hacia el interior de los espacios mientras que los factores internos (tamaño y orientación de aberturas y elementos como aleros, parasoles, mosquiteros, vidrios, cortinas, rejas, toldos; tamaño y dimensiones de los locales en relación con las aberturas y colores y texturas interiores), afectan la calidad de la iluminación natural en el interior de los espacios. Teniendo en cuenta que la disponibilidad de luz y el confort visual tienen relación directa con el diseño del espacio y sus límites, los aspectos involucrados son:

I	Nivel general de iluminación	Depende de: Disponibilidad de luz exterior Ubicación, forma y dimensiones de la abertura Orientación Presencia de elementos de protección solar
II	Distribución de la luz en el espacio (uniformidad)	Depende de: Forma y dimensiones del espacio Ubicación, forma y dimensiones de la abertura Tipo de abertura Color y textura de superficies interiores reflectantes Elementos para redireccionar la luz (estante de luz, por ejemplo)

Algunos de los principios que deben ser contemplados en las estrategias para optimizar las condiciones de confort visual son:

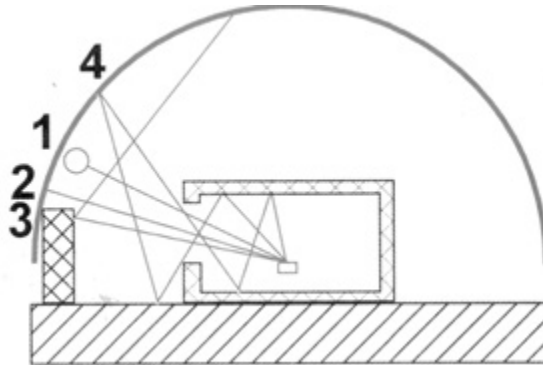
- Proveer una iluminación suave y uniforme en todo el espacio
- Evitar fuentes de reflejos y deslumbramiento
- Evitar la penetración de los rayos del sol en los sectores del espacio sensibles desde el punto de vista visual (escritorios, pantallas, superficies de trabajo).
- Permitir a los ocupantes el control del acceso de luz natural mediante persianas u otros dispositivos de oscurecimiento.
- Diseñar el uso del espacio (y ubicación del equipamiento) de manera de optimizar las ventajas de las condiciones de iluminación natural.

Diseño para el aprovechamiento de la luz natural

La iluminación natural en los espacios interiores es tan buena como el arquitecto la haya diseñado. La luz en un espacio se puede caracterizar en función de tres aspectos: cantidad, espectro y distribución de la luz. Las estrategias para iluminación natural están directamente relacionadas con el diseño edilicio; sus características en un local dependen principalmente de su geometría y proporciones, de la localización y orientación de ventanas y aberturas, y de las características de las superficies internas.

La iluminación natural que llega al interior de los edificios se divide en cuatro componentes, que deben ser manejadas en el proceso de diseño:

- luz solar directa (los rayos que llegan directamente desde el sol)
- luz difusa (proveniente de la bóveda celeste)
- luz reflejada exterior (reflejada por el suelo, paredes y objetos exteriores)
- luz reflejada interior (reflejada por paredes, cielorrasos, objetos y superficies interiores)



Esquema de componentes de la luz natural: directa (1), difusa del cielo claro o nublado (2) y reflejada desde elementos exteriores (3) y superficies interiores (4). (Autor J.M.Evans. Fuente: Luz, Visión, Comunicación. Tomo I. Cap. 6., AAVV.)

Para el diseñador es importante conocer los dos principales componentes de la luz natural: el rayo de sol (componente directa) y la luz difusa proveniente de la bóveda celeste, que serán las fuentes que proveen luz al edificio. La cantidad de luz que llega a un cierto punto en un espacio depende primariamente de la cantidad de cielo visible desde ese punto: cuanto mayor es el ángulo de visibilidad, mayor iluminancia, que también tiene relación con el ángulo de incidencia de la luz.

La performance del sistema de iluminación natural dependerá de:

- La disponibilidad de luz natural considerando la envolvente edilicia, que determina el potencial de luz natural en el espacio.
- Las propiedades geométricas y físicas de la/s ventana/s / abertura/s (forma, dimensiones, marcos, tipo de vidrio u otros materiales de cerramiento).
- Las propiedades geométricas y físicas del espacio iluminado (forma, dimensiones, colores, texturas).
- La función de la ventana u abertura (sólo iluminación, vistas, ventilación).

Las soluciones y ubicación de aberturas se pueden clasificar en dos grandes conjuntos:

- **Cenital** (aberturas ubicadas en los techos, la luz llega desde el cielorraso) y las aberturas horizontales ubicadas por encima de la línea de visión de los ocupantes: cubiertas vidriadas, linternas superiores, aberturas verticales en cúpulas, linternas, atrios y aberturas inclinadas hasta 30 °.
- **Aberturas verticales:** aberturas verticales en paredes de cerramiento de locales, muros vidriados, pueden estar a la altura de la línea de visión de las personas o por encima o debajo de éste.

Aberturas cenitales

En las aberturas cenitales la luz llega desde arriba, iluminando el espacio. La fuente de luz queda fuera del control directo de los ocupantes. La iluminación cenital puede ser aportada desde cubiertas vidriadas, aberturas horizontales, claraboyas o linternas verticales y la luz ingresante puede ser filtrada y controlada mediante un cuidadoso diseño, que inclusive contemple la posibilidad de limpieza de los vidrios.

El grupo de aberturas cenitales incluye aberturas horizontales, superan la línea de visión de las personas, cubiertas vidriadas, linternas superiores, aberturas verticales en cúpulas, linternas, atrios y aberturas inclinadas hasta 30 °.

Este tipo de aberturas brindan la posibilidad de lograr una distribución pareja de la iluminación, iluminando uniformemente el espacio; se pueden lograr niveles de iluminación confortables sin deslumbramiento, evitando además reflejos molestos a nivel de visión de las personas. Además permiten un buen aprovechamiento de luz en superficies horizontales debido a que la luz proviene de arriba. Entre las posibles desventajas se pueden mencionar la dificultad para proporcionar protección solar en épocas cálidas, las pérdidas de calor nocturnas en invierno, la ganancia solar excesiva en épocas cálidas (el ingreso de mayor radiación solar coincide con la hora de mayor temperatura); además las fa-

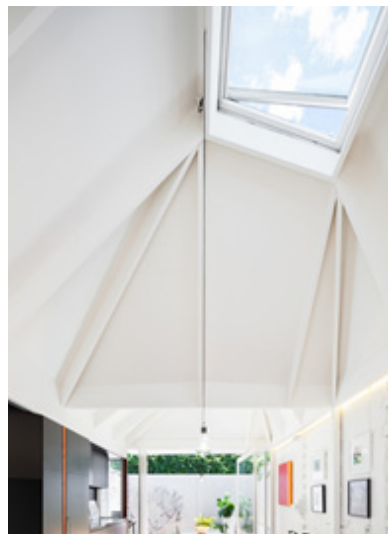


Foto: https://images.adsttc.com/media/images/592d/7787/e58e/ce5d/f700/02b6/medium_jpg/Light_Cannon_House__Carterwilliamson_Architects_©_Katherine_Lu.jpg

lencias en el diseño constructivo pueden ocasionar filtraciones (problema de sellado respecto al agua de lluvia) y pueden aparecer problemas de mantenimiento y limpieza de vidrios si no están previstas buenas condiciones de accesibilidad.

Las linternas superiores y aberturas laterales en atrios, al estar ubicadas en posición vertical tienen la ventaja de permitir incorporar fácilmente sistemas de protección solar y térmica móviles, como aleros o postigos.



Abertura cenital mediante linterna. Museo Larreta. Foto: Archivo CIHE- FADU-UBA



Sala de las Dos Hermanas – Alhambra de Granada
Foto: <http://legadonazari.blogspot.com.ar/2014/12/sala-de-las-dos-hermanas.html>

Aberturas verticales

Son las aberturas ubicadas en paredes laterales del espacio arquitectónico: ventanas y muros vidriados que pueden estar a la altura de la línea de visión de las personas o por encima o debajo de ésta. Tienen las ventajas de permitir mayor contacto del usuario con el exterior a través de las visuales, la posibilidad de complementar sistemas sencillos de ventilación natural y de incorporar y accionar sistemas de protección solar y aislación nocturna. Sin embargo, y aunque son el tipo de abertura más común en la arquitectura, aparecen dificultades para lograr una iluminación interior uniforme, ya que el nivel de iluminación decrece rápidamente al alejarse de la ventana, apareciendo posibles situaciones de deslumbramiento en áreas cercanas a las ventanas y falta de iluminación en las zonas más alejadas.



Foto: <https://proyectos.habitissimo.com.ar/proyecto/como-ganar-luz-en-espacios-oscuros>



Foto de un local desde la ventana y esquema de distribución del nivel de iluminación en planta. Archivo CIHE – FADU – UBA. Autoras M. Kralj y M. González Martterson.

La ubicación de las aberturas en las paredes laterales tiene influencia directa en la distribución de la luz en el espacio:

Elevada contra el cielorraso

Se maximiza el ingreso de luz que llega a mayor profundidad. Dificulta las vistas.



Horizontal o vertical

Cambia el sector del espacio que recibe luz. Las aberturas verticales permiten que llegue luz a mayor profundidad.



Ventanas continuas

Tienden a uniformar el nivel de iluminación del espacio.

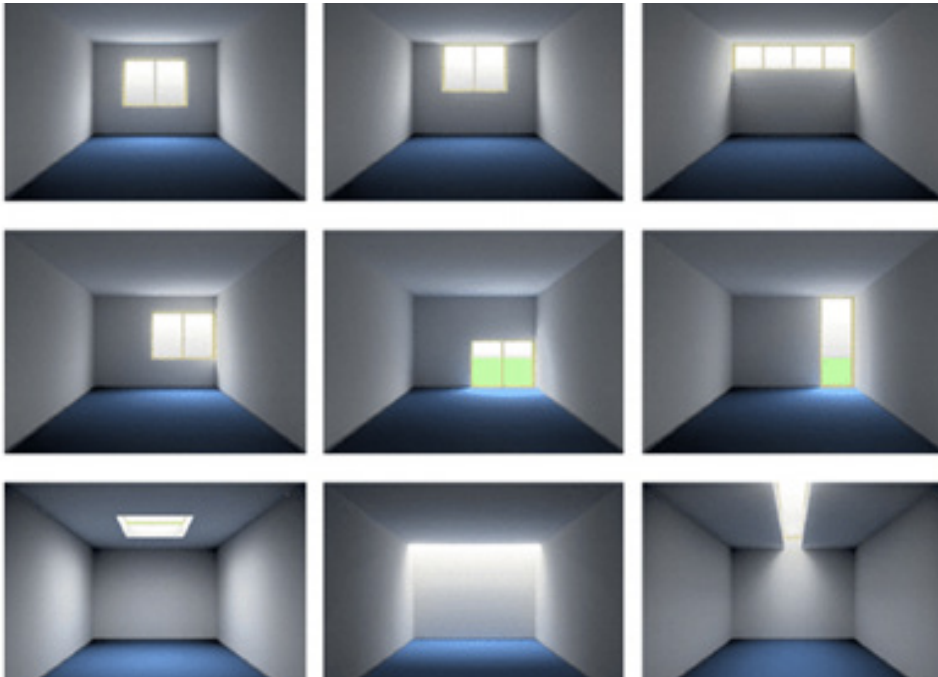


Aberturas ubicadas justo por encima del plano de trabajo

Permite recibir una buena proporción de luz desde el cielo visible (componente directa)



Fuente fotos: <http://2030palette.org/daylighting-from-multiple-sides/> www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv, <http://www.washington.edu/news/2013/01/02/let-there-be-daylight-new-book-illustrates-use-of-natural-light-in-design/>, <http://www.lutron.com/en-US/Residential-Commercial-Solutions/Pages/SolApp/Corporate/OpenOffice/ESB/ESB.aspx>



Fuente: <https://ovacen.com/iluminacion-natural-en-arquitectura/>

Atrios

Los atrios o patios con iluminación cenital son una buena alternativa en grandes edificios en los cuales la profundidad de las plantas hace que resulte muy difícil obtener adecuados niveles de luz natural en los sectores más alejados de las ventanas. En estos casos, los atrios pueden proveer iluminación natural en esos espacios alejados de las fachadas del edificio, que no cuentan con aberturas al exterior.



Esquema de aporte de luz natural a través de atrios. Fuente: http://squi1.org/wiki/Daylight_Strategies



Además de proveer luz natural en espacios profundos lejos de ventanas, los atrios pueden resultar espacios muy agradables en un interior, con vistas internas atractivas, particularmente si existen elementos vegetales. Son elementos que pueden contribuir al ahorro de energía, ya que reducen las pérdidas de calor comparado con las paredes de un patio abierto equivalente, resultando además las superficies interiores protegidas de la intemperie.

Greenland Group Suzhou Center / SOM. Fuente: <http://arki-mend.blogspot.com.ar/>

Elementos para redireccionar y optimizar la luz natural

Existen nuevos y diversos sistemas que tienen como objetivo mejorar u optimizar las condiciones de iluminación natural en espacios interiores; su principio de funcionamiento es re-direccionar la luz natural incidente en el edificio a través de dispositivos ubicados en aberturas laterales o cenitales, llevándola más profundamente al interior de los espacios. De este modo se obtiene una sensible mejora en la calidad y cantidad de la luz natural dentro de un edificio y la reducción del consumo de energía destinada a su acondicionamiento lumínico y térmico. Estos sistemas se utilizan para:

- proveer la luz necesaria para llevar a cabo determinada actividad
- proveer confort visual
- re-direccionar la luz hacia zonas menos iluminadas
- proporcionar protección solar y control térmico

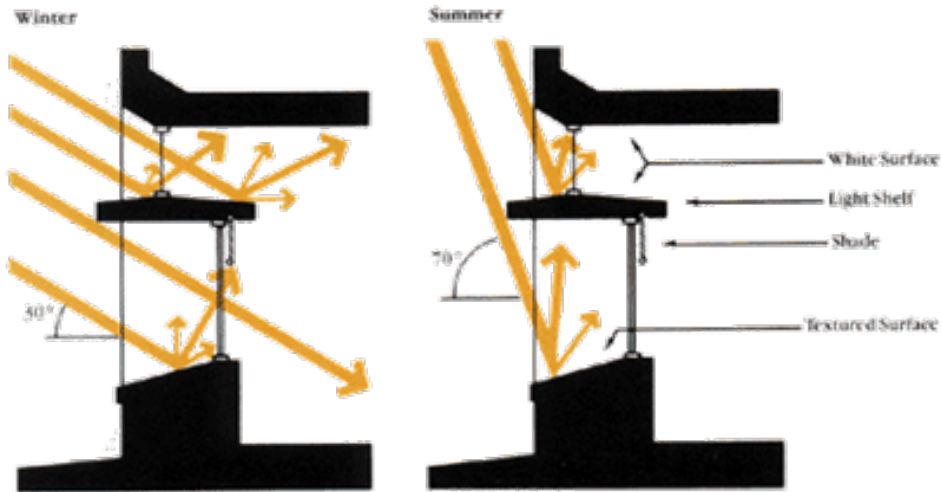
Estantes de luz

Los estantes de luz son dispositivos que actúan distribuyendo la luz natural mediante reflexiones desde una abertura, aumentando el nivel de iluminación hacia el interior de un local mejorando la uniformidad de la distribución de luz en el espacio. Al mismo tiempo que reflejan luz hacia el interior del local, pueden proporcionar sombra en las zonas próximas a las aberturas. Son superficies horizontales o ligeramente inclinadas, reflejantes, ubicadas por encima del nivel de la línea de visual, y dividen en dos partes un aventanamiento vertical; redirigen los rayos de luz que inciden sobre su parte superior hacia el cielorraso para que resulte reflejada hacia el interior del local, mejorando así la distribución de la iluminación natural.



Estante de luz. Fuente: https://www.designing-buildings.co.uk/wiki/Light_shelf

Se ubican en el interior y/o exterior del local y sus dimensiones dependen de las características y dirección de los rayos solares, que varían según la latitud del sitio. Pueden estar contruidos en diversos materiales (hormigón, aluminio, pvc) y su superficie superior debe tener una terminación con un alto índice de reflexión (espejo, aluminio, etc.).



Esquema funcionamiento de estantes de luz en invierno y verano. (Fuente: Benton, 1986)

Los estantes de luz cumplen con una o más de las siguientes funciones:

- protección respecto al exceso de luminosidad y brillo de la luz directa proveniente de la bóveda celeste;
- protección respecto a la radiación directa en las zonas próximas a las ventanas
- re-direccionamiento de la luz hacia el interior del local mediante la reflexión de la luz exterior hacia el cielorraso y desde allí al interior del local.

El diseño del estante de luz afecta el diseño arquitectónico y la estructura edilicia y debe ser propuesto desde las etapas preliminares del diseño, ya que la altura del cielorraso del local se corresponde con el diseño del estante para optimizar la iluminación recibida.

Los componentes del sistema son:

- abertura (ventana): dimensionada de acuerdo a requerimientos de iluminación, ventila-

ción, vistas, etc.

- una o más bandejas horizontales o levemente inclinadas, planas o levemente curvadas, exteriores y/o interiores con respecto al plano de la fachada.
- cielorraso: es un importante componente secundario que actúa re-reflejando la luz reflejada inicialmente por el estante de luz. Sus características (terminación superficial, rugosidad, color, inclinación) afectan las características de la iluminación natural del local y la penetración de la luz depende de su inclinación.
- dispositivos de protección solar para evitar ganancias de radiación en épocas cálidas y evitar problemas de deslumbramiento y contrastes en el local.

Se posicionan sobre el nivel del ojo humano y dividen la ventana en dos sectores: superior para iluminación e inferior que permite también visuales a exterior. Se deben ubicar de manera de evitar deslumbramientos y su posición definitiva depende del diseño del local. Puede estar ubicado en el exterior, fuera de la ventana; en el interior del local o la combinación de ambos. La parte exterior es la más expuesta a la bóveda celeste y tiene mayor efecto en la distribución de la luz y el nivel de iluminación; la parte interior reduce la componente celeste y contribuye a mejorar la calidad de la iluminación.



Estantes de luz interiores. Fuente: <https://www.amshades.com/category/12/light-shelves>



Estantes de luz exteriores. Fuente: <http://2030palette.org/intermediate-light-shelves/>

Los estantes interiores redirigen y reflejan la luz aunque pueden reducir ligeramente el nivel de iluminación con respecto a una ventana normal en las zonas más próximas a las aberturas; los estantes exteriores puede incrementar el total de luz recibida con respecto a una ventana convencional, ya que aumenta la exposición de la superficie reflectora hacia la zona de mayor iluminancia cerca del cenit.



Estantes de luz interiores y exteriores. (Fuente: www.schorsch.com)

Para óptimas condiciones de iluminación, se puede diseñar un estante combinado interior - exterior. En todos los casos, es indispensable verificar que no se produzcan reflejos a nivel del campo visual de los ocupantes del local. Los estantes pueden ser horizontales o presentar una ligera inclinación. Pattini (2002) sugiere para estantes blancos:

Orientación Norte inclinación = $40^\circ - 5 \times \text{latitud}$

Este, Oeste y Sur = 15°

La terminación de la superficie del estante influye en la eficiencia y la dirección de la luz redirigida hacia el cielorraso: una superficie mate produce reflexiones difusas sin control de dirección y gran parte de la luz puede ser reflejada hacia el exterior, mientras que una superficie especular produce una reflexión hacia el cielorraso con un ángulo igual al de incidencia aunque pueden aparecer problemas de reflejos en el campo visual. En la práctica, una superficie semi-especular es la mejor desde el punto de vista de la eficiencia del dispositivo.

En general, se deben ubicar a una altura mínima de 2 metros respecto al suelo; para su mejor funcionamiento, la altura mínima del cielorraso es de 3 metros. El ancho del estante responde a una situación de compromiso entre la calidad y el nivel de iluminación y las características de la protección solar deseada. Al ser utilizado con luz directa y difusa, la parte exterior influye en el nivel general de iluminación y la interior contribuye a mejorar la calidad de la iluminación en el interior del local. Un aspecto importante es que se debe mantener la superficie reflejante limpia, libre de polvo, para su óptimo funcionamiento.

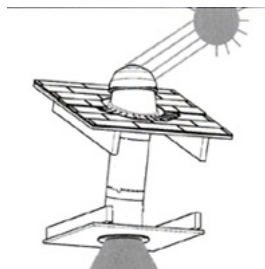
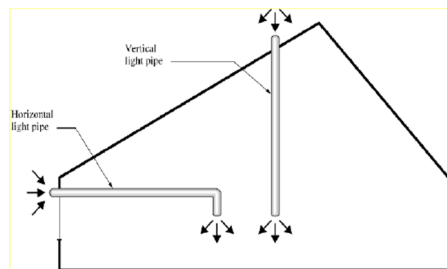
Es importante elegir diseños sencillos, factibles de ser contruidos sin mayores complicaciones ni conocimientos técnicos demasiados específicos por parte del proyectista y el constructor de la obra. Las pautas para el diseño del dispositivo deben ser: disponibilidad de materiales, de mano de obra calificada, facilidad de ejecución y sencillez de diseño, acorde a las característi-

cas edilicias, constructivas y disponibilidad de materiales en el marco del contexto socio-económico de la Argentina.

Los estantes de luz se pueden combinar con otros sistemas innovadores para optimizar las condiciones de iluminación natural en el interior de un local. Estos sistemas están diseñados para resolver dos problemas básicos: la mala calidad de la iluminación lateral sin tratamiento y la luz solar directa causante de problemas de deslumbramiento y contrastes.

Lumiductos

Este sistema captura y re-direcciona la luz incidente sobre la cubierta del edificio, la transporta a través de un tubo lumínico, cuya superficie es altamente reflejante, y la esparce suavemente en el interior de los locales. Permite llevar luz natural a espacios donde la luz solar no llega por ventanas o es limitada y escasa, como pasillos. También se utiliza en naves industriales para uniformar el nivel de iluminación interior.



Esquema de funcionamiento de los lumiductos.

Fuente: <http://www.spri.eus/euskadinnova/es/innovacion-tecnologica>

Tiene tres componentes: colector de luz solar, conductor y difusor de luz al ambiente. Es el único de los nuevos sistemas para luz natural que tiene una guía o normativa para su dimensionado: la CIE TC-3-38: Tubular daylight guidance system. El captador se ubica sobre la cubierta del edificio, para maximizar la captación de la componente celeste de la luz; puede ser pasivo, es decir, una abertura protegida que capta luz, o bien tener un sistema activo (heliostato), que cambia su orientación de acuerdo a la posición del sol, aunque requiere de energía y cálculos precisos en relación con la trayectoria solar para su funcionamiento.

Zona de CAPTACIÓN

La luz es captada por el domo y dirigida hacia el interior a través del tubo.

Zona de TRANSFERENCIA

La luz solar se direcciona, sin apenas pérdida, hacia el difusor.

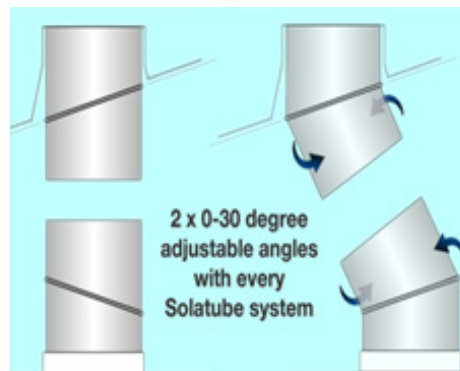
Zona de DISTRIBUCIÓN

La luz solar se distribuye por la habitación gracias al difusor.



El transporte de la luz se lleva a cabo mediante un tubo altamente reflejante que lleva la luz al interior del edificio; no necesita tener demasiado diámetro pero si debe ser altamente especular y estar sellado para evitar pérdidas de luz en el trayecto. Requiere de espacio entre la cubierta y el cielorraso adonde llega la luz.

Lumiductos. Fuente: https://fotos.habitissimo.es/foto/esquema-tubo-solar_878453



Componentes de lumiducto: captador y tubo reflejante.

Fuente: <https://ar.pinterest.com/calgaryskylight/polycarbonate-calgary-skylights/> y <http://www.solatube.co.uk/blog>

La última parte del sistema es el emisor / difusor de la luz en el espacio interior. Generalmente se utiliza una luminaria de tipo más decorativo, y el efecto final es similar al de una luminaria de luz artificial.



Ejemplos de difusores en lumiductos. Fuentes: <http://www.solatubescotland.co.uk/rpl-why-solatube/index.html>, <https://www.just-rooflights.com/solatube-daylighting-system-overview/solatube-ceiling-diffuser-overview.html>, <http://solatubetdd.blogspot.com.ar/2010/12/not-just-for-home-renovation-projects.html>, <http://luznaturalsevilla.blogspot.com.ar/2012/09/porque-utilizar-la-luz-natural-solatube.html>

Los lumiductos son un sistema bastante versátil, adaptable a distintos usos: residencial, naves industriales y edificios patrimoniales, entre otros.

Otros sistemas para redireccionar luz natural

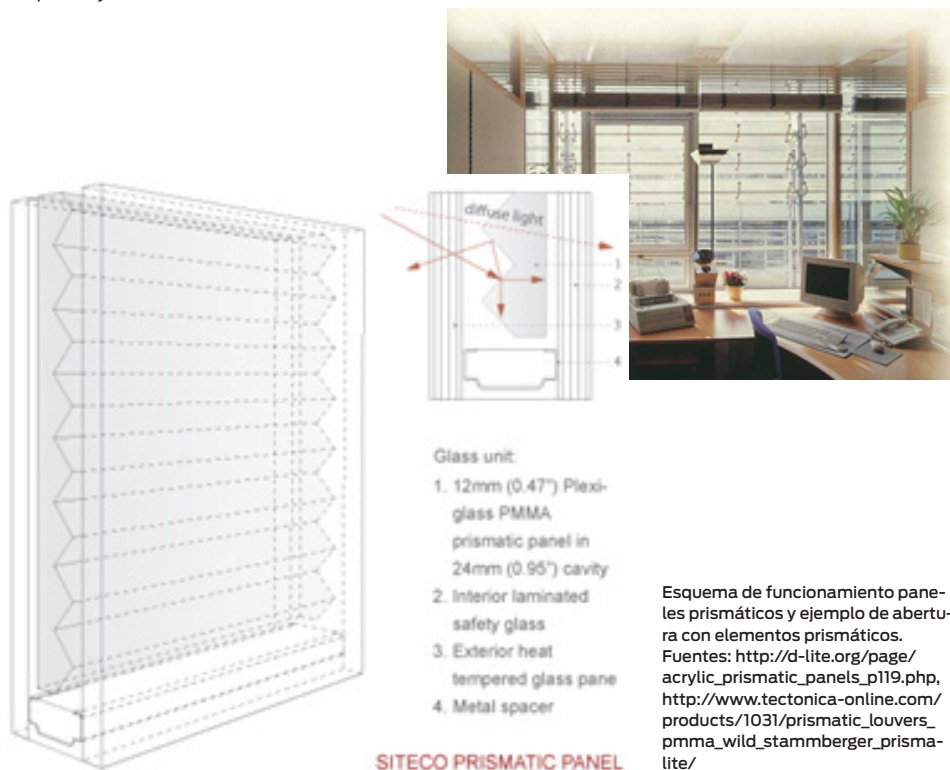
Sistemas de celosías, persianas o louvres

Es un sistema compuesto por múltiples tablas horizontales, verticales o inclinadas, planas o

curvadas que re-direccionan la luz. Pueden obstruir, reflejar, absorber o transmitir la radiación solar al interior del local. El sistema se debe diseñar de acuerdo a los requerimientos y condiciones del clima. Se fabrican con diversos materiales: aluminio, acero galvanizado, PVC y se ubican en el interior o exterior de la abertura, o bien entre 2 paneles de vidrio para preservarlas de la acumulación de suciedad y polvo, por lo cual pueden obstaculizar las vistas.

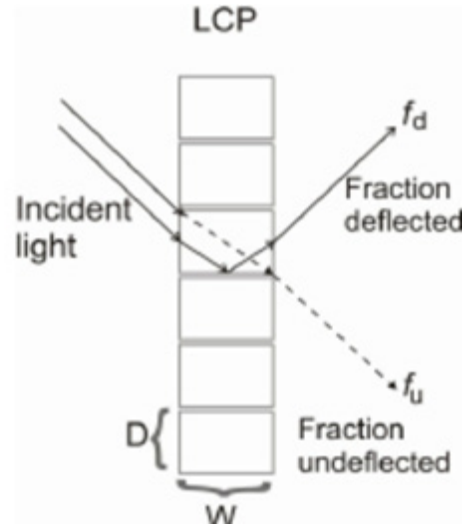
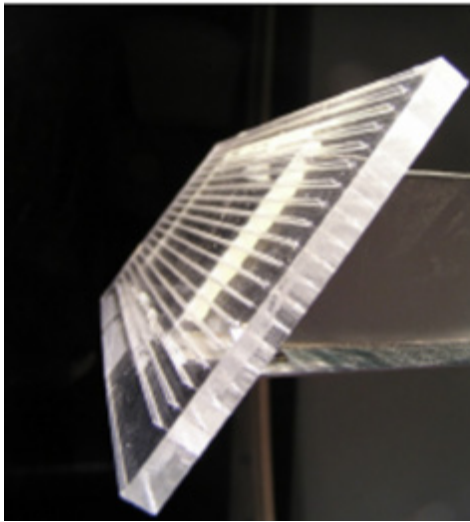
Paneles prismáticos

El sistema consiste en un conjunto de prismas, generalmente de acrílico, y se aprovechan sus propiedades ópticas para redirigir o excluir la luz solar directa. Suelen presentar dos ángulos de refracción del rayo de luz y generalmente se localizan entre dos vidrios para eliminar su limpieza y mantenimiento.



Paneles con corte láser - (Laser Cut Panels - LCP)

Es un sistema de re-direccionamiento de la luz producido por cortes realizados con láser en un panel delgado de acrílico claro. Los cortes del láser dividen el panel en una serie de elementos rectangulares; la superficie de cada corte láser se convierte en un pequeño espejo interno que re-direcciona el rayo de luz que pasa por el panel. Por sus características, una alta proporción de luz es redirigida y tiene como ventaja que se mantienen las vistas a través del panel. De acuerdo al diseño, pueden presentar interesantes posibilidades para el filtrado de luz con ciertos ángulos de incidencia, pudiendo ser utilizados también como un sistema de protección de radiación solar en ciertas épocas del año.



Esquema de funcionamiento de paneles con corte láser. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Laser-cut-panel-left-and-Light-deflection-through-a-mirror-light-pipe-right_27483162

Sistemas por difracción holográfica

Los elementos holográficos transmiten la luz por difracción. Una ventana con una película holográfica puede difundir la luz solar directa en un ángulo definido. El sistema puede redireccionar o redirigir los rayos de luz directa transmitiendo los de luz difusa. Presentan el problema de que pueden causar dispersión de color en presencia de luz solar directa, por lo tanto se aconseja utilizarlos en fachadas que no se encuentren expuestas a la radiación solar directa.

Vidrios electrocromáticos o electrocrómicos / vidrios dinámicos

Estos vidrios utilizan películas de baja emisividad espectralmente selectivas para filtrar longitudes de onda específicas, seleccionando la transmisión de luz solar visible, reflejando la radiación infrarroja y bloqueando el 99% de la radiación ultravioleta. Permiten contar con grandes superficies vidriadas evitando posibles problemas de exceso de luz y ganancia de calor. Los materiales reflectivos son depositados sobre el vidrio mediante distintos procesos y se pueden utilizar en vidrios claros o tonalizados, sin requerir protección adicional ante posibles daños de la película reflectiva. El inconveniente que presentan es su alto costo debido al proceso de fabricación.



Vidrios electrocrómicos. Fuente: <https://www.businesswire.com/news/home/20130516005167/en/Innovative-Glass-Corp-Launches-SolarSmart%E2%84%A2-%E2%80%93-Sunlight>

Sistemas de control de la iluminación natural y sistemas de protección solar

Los dispositivos de protección de la radiación solar, como aleros, salientes, pérgolas o parasoles tienen influencia en la cantidad de luz que llega al interior de un espacio. Están diseñados para excluir la radiación solar y eso incluye parte del espectro de la luz visible. A veces pueden disminuir demasiado la iluminación en la profundidad de los espacios, resultando necesario compensar con luz artificial las deficiencias de diseño, con el consecuente gasto energético adicional. Los sistemas de protección interiores como persianas o cortinas controlan y/o redireccionan la iluminación, y a la vez proveen protección solar; son sistemas móviles que se pueden accionar de acuerdo a las necesidades del momento, resultando más flexibles para ser regulados por los ocupantes de acuerdo a sus necesidades.



Protección solar interior. Fuente: <http://www.allianceshading.com/green/>



Protección solar exterior. Fuente: <http://2030palette.org/shading-devices/>

Los sistemas de protección exteriores como toldos y postigos controlan la radiación que llega a las aberturas, y por lo tanto la cantidad de luz que llega desde el exterior; si son sistemas móviles, pueden ser regulados de acuerdo a las condiciones de cielo y el nivel de luz requerido.

Las galerías o aleros profundos evitan el sol directo, disminuyen problemas por deslumbramiento en áreas cercanas a las ventanas y pueden dar mayor uniformidad a la iluminación del espacio aunque, dependiendo de las características del espacio exterior y de la zona geográfica, pueden disminuir considerablemente los niveles de iluminación resultando insuficientes.



Galería y protección solar. Fuente: <http://www.dailytonic.com/naturally-cool-why-passive-shading-and-ventilation-will-change-the-future-of-facades/>

Luz natural y eficiencia energética

El aprovechamiento de la luz natural es una importante estrategia para mejorar la eficiencia energética, minimizando el consumo de energía destinado a iluminación artificial y las ganancias de calor, reduciendo consecuentemente la carga de refrigeración. Si bien en el uso residencial el consumo en iluminación es sólo un 7% del total aprox., se puede lograr un ahorro de hasta un 40% en ese consumo. Los objetivos principales para el empleo de sistemas de control de alumbrado artificial en respuesta a la luz natural son ahorro de energía, economía de costos y confort del usuario.

El ahorro total posible de energía en un edificio utilizando luz natural es una combinación de ahorros de energía “directos” sobre el alumbrado artificial:

- Reducción del flujo cuando hay bastante luz natural disponible.
- Disminución de los niveles iniciales de iluminación en nuevas instalaciones de alumbrado,

“sobredimensionadas” (10-25%, anticipando la depreciación normal)

- Reducción de la carga de refrigeración, (ahorro de energía en refrigeración si el edificio está equipado con un sistema de enfriamiento y acondicionamiento de aire), ya que se produce menos calor como consecuencia de reducción de la potencia consumida en los componentes de la instalación de iluminación.

Lograr mayor eficiencia energética con control de la calidad lumínica en el diseño arquitectónico implica:

- Utilizar iluminación natural para reducir uso de energía convencional (contribución energética de la luz natural).
- Evitar contrastes excesivos o fuentes directas en el campo visual.
- Mejorar la distribución de la luz mediante control de reflejos internos, con colores claros, por ejemplo.
- Control del ángulo de incidencia de la luz sobre planos de trabajo.
- Variación del nivel de servicio según actividad.
- Integrar sistemas de control para luz artificial y sistemas de sensores para luz natural permitiendo lograr ahorros de energía significativos durante el tiempo de funcionamiento del edificio.
- Regulación de los niveles de iluminación a través de dimerización o apagado parcial.

Los sistemas de control incluyen sensores de movimiento, automatización para programación de diferentes escenarios de iluminación durante el día, respaldando el ciclo circadiano, y escenarios nocturnos con variación del color de la luz a blanco cálido; sensores de luz natural en espacios de trabajo o en fachadas y control de persianas internas. Los sistemas de control de presencia posibilitan el ahorro de aproximadamente el 18% del consumo energético en un proyecto (Midwest Energy Efficiency Alliance).

Conclusión

Para controlar la cantidad y distribución de la luz natural que ingresa a un espacio y garantizar un ambiente confortable y saludablemente luminoso, una buena estrategia de diseño de luz natural deberá estar compuesta de algo más que una simple abertura en una fachada (ventana) o el techo (cenital); dependiendo del clima, la orientación, las actividades y necesidades, podrán inclusive implementarse soluciones que combinen varios sistemas.

Entre las recomendaciones generales de diseño para iluminación natural se pueden mencionar:

- Localizar actividades según requerimientos de iluminación y de confort.
- Incrementar la exposición a la luz natural.
- Mantener y no obstaculizar el acceso a la luz natural. Evitar sombras proyectadas.

- Las reflectancias aconsejadas para superficies interiores: cielorrasos > 80 %, paredes 50 a 70 %, piso 20 al 40 %, mobiliario 25 - 45 %.
- Elegir superficies mate o semi-mate, no brillantes que pudieran producir reflejos.
- Utilizar paredes para re-direccionar la luz recibida.

El rango de sistemas para optimizar el aporte de luz natural abarca sistemas simples y fijos (estantes de luz, aleros, elementos re-direccionadores de la luz) y sistemas dinámicos y adaptables (persianas, elementos móviles, elementos ópticos holográficos) y/o la combinación de varios sistemas. La variedad disponible es amplia y continuamente aparecen innovaciones en la práctica del diseño para incrementar la penetración de luz natural en los espacios interiores, mejorando la distribución y uniformidad, controlando la radiación solar directa y reduciendo problemas de deslumbramiento o contrastes. Las estrategias para optimizar la luz natural comienzan con la exploración de soluciones simples (ubicación y dimensiones de las ventanas, aleros existentes) para luego incorporar elementos más avanzados si es necesario.

La luz natural presenta propiedades únicas para la salud, y en general está disponible en abundancia, asegurando un buen rendimiento de color y, simultáneamente, garantizando una variación en su contenido espectral que actúa como una efectiva estimulación del sistema metabólico. Además, las ventanas son deseables en los espacios cerrados porque proveen vistas, favoreciendo la necesidad psicológica de los ocupantes de contacto con el contexto circundante, ofreciendo un estímulo ambiental que beneficia la sensación de bienestar, la motivación e inclusive la concentración, y que también incrementa la tolerancia del sistema visual al discomfort producido por deslumbramiento o adaptación a contrastes.

Glosario de términos específicos

- **Unidades y magnitudes de iluminación**
- **Flujo luminoso:** energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad de medida: lumen (lm).
- **Intensidad luminosa:** flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme. Unidad de medida: candela (cd).
- **Iluminancia o nivel de iluminación:** cantidad de luz incidente sobre una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen. Unidad de medida: lux = lm/m².
- **Luminancia o brillo fotométrico:** se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por un observador situado en la misma dirección (superficie aparente). Unidad de medida: cd/m². Lo que realmente percibimos es el espacio iluminado; no la iluminación total sino la diferencia de luminancias entre los objetos y el entorno, debido a la capacidad de adaptación del ojo. Para tareas visuales en interiores la diferencia de luminosidad no debe superar la relación 3/1

y en exteriores lo adecuado es una relación de 10/1.

- **Contraste:** diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de un objeto.
- **Reflectancia:** proporción de la luz que es reflejada por una superficie. En la iluminación de espacios interiores, la reflectancia influye en la calidad y en el confort visual; la luz que se dispersa al chocar con las superficies de los objetos contribuye a la iluminación difusa del entorno.
- **Rendimiento visual:** término que se utiliza para describir la velocidad de funcionamiento del ojo y la exactitud con la que se lleva a cabo una tarea. Para el logro de una buena visibilidad, el factor más importante está relacionado con la luminancia de la tarea y su entorno. Las propiedades del sistema visual afectadas por adaptación a la luminancia son: agudeza visual (capacidad para discriminar entre detalles u objetos que están muy juntos), sensibilidad al contraste (capacidad para distinguir las pequeñas diferencias de luminancia relativa) y eficiencia de las funciones motoras oculares para la acomodación, convergencia, contracción pupilar, movimientos del ojo, etc.
- **Satisfacción visual:** término utilizado para describir la aceptabilidad de las condiciones visuales. En espacios interiores, la satisfacción visual está relacionada con la facilidad para desarrollar la tarea y con lo agradable que resulte el ambiente visual. Está afectada por el ambiente luminoso y por las preferencias individuales. Está afectada por el ambiente luminoso y por las preferencias individuales.

CAPÍTULO N°2

DISEÑO DE ILUMINACIÓN. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL SUSTENTABLE

Para comenzar a hablar de iluminación, es imposible no hablar de INSPIRACION. La Iluminación natural nos define, nos emociona y nos determina. Y la iluminación artificial no hace más que tratar de imitarla.



Los colores que nos definen la luz artificial están 100% conectados con lo que nosotros, los humanos sentimos en diferentes horarios del día, el cansancio que tenemos, la temperatura que siente nuestro cuerpo o lo que las emociones nos inspiran.

El horario que vivimos en horas de la noche cada vez se extiende más en las grandes ciudades y por eso, más se ha desarrollado las sensaciones que se quieren generar en esas horas.



La iluminación urbana de los espacios públicos e interiores define la vida que tendremos allí.

Los grandes arquitectos de la arquitectura contemporánea como Le Corbusier y otros han entendido cabalmente estos conceptos y han analizado todo lo que tiene que ver con iluminación natural y/o iluminación artificial de manera muy acabada.

Gran poesía sugiere el buen diseño de iluminación para la experiencia humana. El color, la intensidad, la posición, la distribución y el tiempo modifican nuestro entorno de manera grandiosa.



Le Corbusier



Palais des Congrès, Montreal

La iluminación artificial es un intangible que puede generar diversas emociones, y también ser sustentable. Ser sustentable, no le quita que sea emotivo.

A continuación se plantean las siguientes preguntas para ser aclaradas más adelante:

1. ¿Qué tipos de sistemas de iluminación existen en la actualidad?
2. ¿Qué es un proyecto de iluminación artificial sustentable?
3. ¿Cómo se logra una iluminación sustentable?
4. ¿Cuáles son los estándares internacionales y Normas que enmarcan la iluminación sustentable?

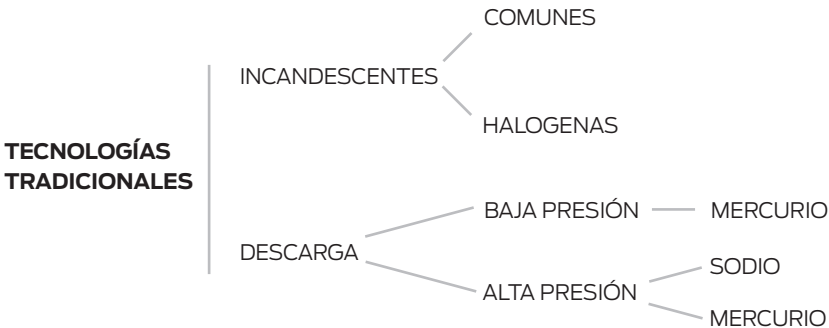
1. ¿Qué tipos de sistemas de iluminación existen en la actualidad?

Los tipos que existen en la actualidad pueden ser clasificados de diferentes maneras.

Comenzaremos por nombrarlos por su TECNOLOGÍA, en ese caso se dividen en dos grandes grupos: las tecnologías tradicionales y la tecnología LED (la última que ha salido al mercado).



Le Corbusier | La chapelle de Notre-Dame du Haut à Ronchamp | 1954



TECNOLOGÍA LED

DIODOS EMISORES
DE LUZ

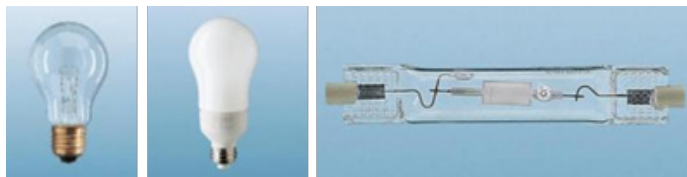
Para clasificarlas por su emisión lumínica podríamos agruparlas en FOCALIZADAS, y NO FOCALIZADAS.

FOCALIZADAS



Lámpara con reflector incorporado: el artefacto brinda protección física, conexión eléctrica y orientación.

NO FOCALIZADAS



Lámpara omnidireccional: el artefacto brinda el control óptico (desviar, concentrar, dispersar, evitar deslumbramiento, etc.)

FOCALIZADAS

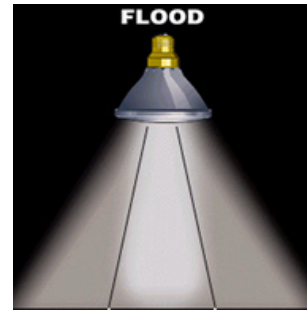
Clasificación según el ángulo de apertura del haz



Intensidad luminosa en el centro del haz



Apertura angular concentrada

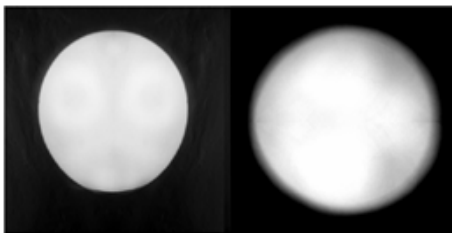


Apertura angular abierta

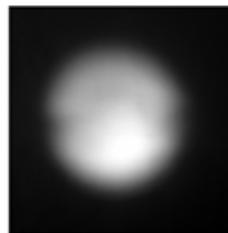
La transición de la luz a la oscuridad define el tipo de contorno o borde del haz.

Se clasifican en 5 categorías de haces K (dependiente del haz secundario, no controlado):

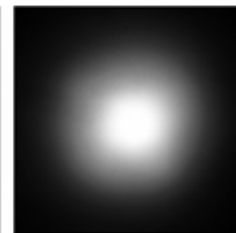
- K1 = borde totalmente definido. No hay luz dispersa
- K2 = corte nítido y mínima luz dispersa
- K3 = bordes con un anillo delgado de luz alrededor del haz principal
- K4 = bordes de muy amplia luz dispersa
- K5 = no es posible distinguir el haz de luz principal, muy uniforme



elipsoidal enfocado - desenfocado



AR111

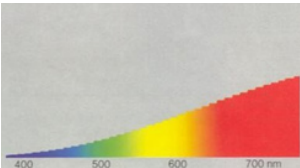


Dicroica

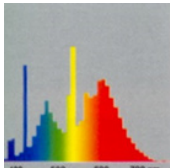
CRI | Índice de reproducción cromática

El índice de reproducción cromática o IRC (CRI con sus siglas en inglés) es la capacidad de una lámpara para reproducir los colores de los objetos iluminados. Los valores se establecen del **0 a 100** en donde 0 es la peor reproducción y 100 la mejor. El 100% se toma como referencia al sol.

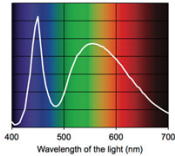
LAMPARAS
INCANDESCENTES
(100)



LAMPARA DE
DESCARGA
(de 0 a 95)



FUENTES DE LUZ
SEMICONDUCTORES
(de 70 a 92)



Temperatura de color

La temperatura de color define qué tipo de color de luz blanca emite una fuente de luz. Se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un Cuerpo Negro calentado a una temperatura determinada. Su unidad es

Unidad = Kelvin (K)



INCANDESCENTES

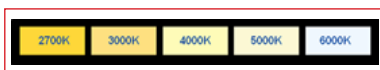


DESCARGA



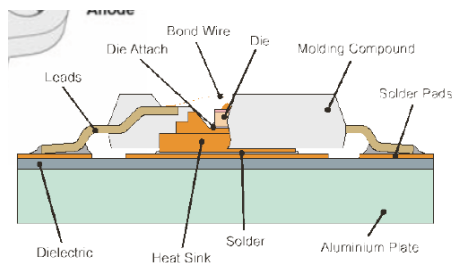


SEMICONDUCTORES



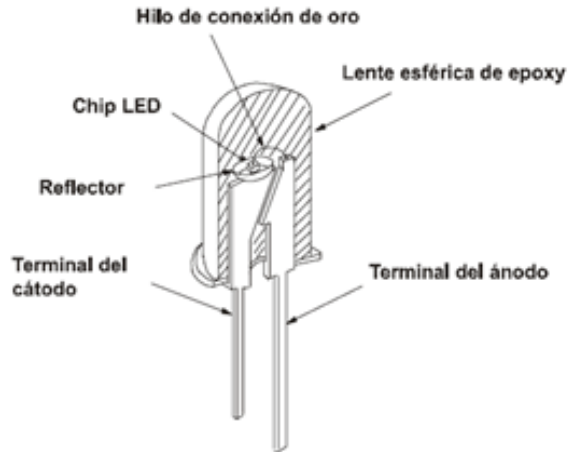
Las lámparas incandescentes pueden variar desde los 2700K y los 3000K. Las lámparas de descarga de alta y baja presión poseen toda la variedad de temperatura de color en sus opciones, al igual que las fuentes de luz de tecnología LED.

Es importante poder entender el funcionamiento de la tecnología LED para poder elegir la fuente de luz correcta para cada espacio. Es corriente que pasa a través de un CHIP que libera energía en forma de luz visible. Constructivamente posee un cátodo y un ánodo, una copa reflectora, un chip, una óptica y un dissipador de luz. Dependiendo de los materiales que existen dentro de la copa reflectora del LED, es el color de luz que emitirá el mismo.



Se presentan los dibujos de 2 tipologías de LED. LED radial y LED SMD. Los dos poseen la misma estructura básica.

Led radial (5mm)



Led SMD (superficial)

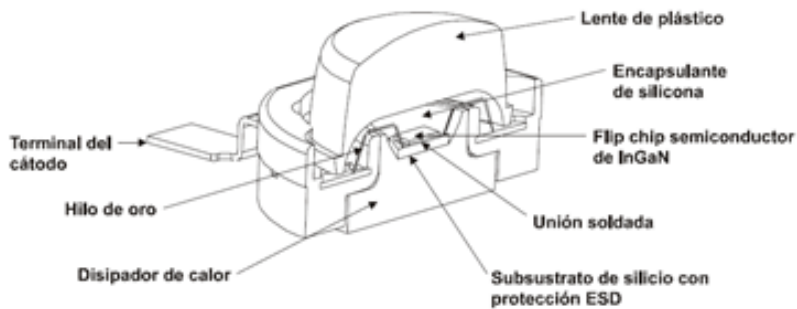


Imagen OSRAM.com

Los colores están definidos por los siguientes materiales de la lista química de materiales:

InGaN

Verde-Azul-Blancos

Indio,
Galio,
Nitrógeno

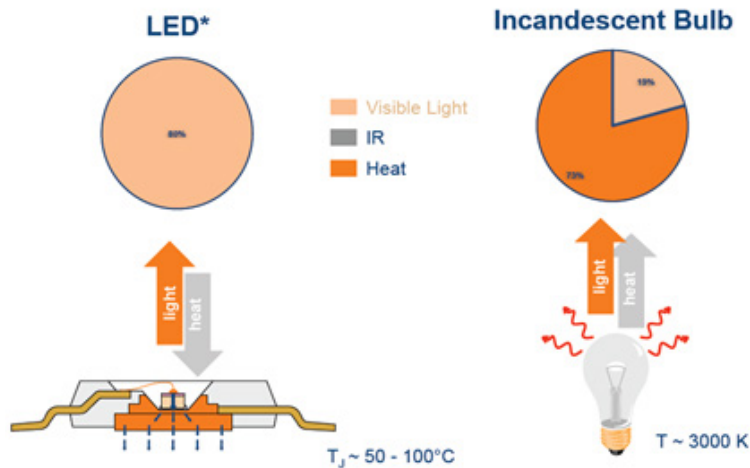
AlInGaP

Rojo-Naranja-amarillo

Aluminio,
Indio,
Galio,
Nitrógeno
Fosforo

Tanto el diseño de los disipadores de calor como las ópticas de las fuentes de luz son fundamentales en el funcionamiento de la tecnología LED. Definirá su vida útil.

Disipadores de calor:



Diseño de ópticas:



Las fuentes de luz con tecnología LED poseen un brillo muy intenso, puntual y muy pequeño, por lo que el haz de luz debe ser muy preciso. Se aprovecha el 100% del flujo a través de ópticas precisas.

Por FORMA O DISEÑO, las luminarias se pueden clasificar por PUNTUALES, LINEALES O SUPERFICIALES.

Puntuales



Lineales



Superficiales



A continuación nombramos las VENTAJAS y las DESVENTAJAS de las fuentes de luz con tecnología LED.

Ventajas

EFICIENCIA:

Luz blanca en 100 lm/w promedio
Vida útil de 100.000 horas promedio.

DISEÑO:

Emisión de varios colores en una sola luminaria. (nuevas escenas). Colores dinámicos.
Menor tamaño, mayor flexibilidad.
Regulables y 100% Programables.

Bajo Voltaje (ubicaciones comprometidas)

ALTA FIABILIDAD:

Robustos, sólidos.
Resistentes a golpes y vibración.

ECOLOGICOS:

Ahorro Energético.
Menores residuos.
Sin Mercurio.
Menor emisión de CO₂
Luz fría (sin ULTRAVIOLETAS)
Bajo costo de mantenimiento.

Desventajas

EMISION DE CALOR

Requiere de control de radiación de calor emitido en la parte posterior.

INVERSION

Valor: Alto costo de inversión inicial.
La inversión se recupera en periodos medianos y largos de tiempo.

DISEÑO:

Requiere de elementos ópticos de control (lentes, reflectores, etc.)
Requiere espacio para controlador y fuentes
Lámpara y artefacto se comercializa de manera conjunta en la mayoría de los casos.

TECNOLOGIA

El avance tecnológico avanza más rápido que la capacidad de reposición del mercado.

2 ¿Qué es un proyecto de iluminación artificial sustentable?

Un proyecto sustentable consiste en cuidar distintos aspectos de manera muy cuidadosa y eficiente y considero que podríamos mencionar los siguientes ítems:

- Respeto por el medio ambiente.

- Diseño de iluminación estéticamente acorde a los requerimientos.
- Asegura niveles de iluminación mínimos para la seguridad y para el buen desarrollo de las tareas requeridas.
- Asegura un confort visual aceptable que no genere cansancio ni fatiga visual a los ocupantes.
- Asegura el mínimo consumo energético.
- Confort visual sustentable.
- Controla los flujos de luz acorde a la hora del día.

3-¿Cómo se logra una iluminación sustentable?

Las consideraciones para lograr un proyecto de iluminación sustentable es cuidar todos los aspectos antes mencionados. Mencionaremos algunos de los aspectos a considerar para un proyecto de iluminación de interior de oficinas:

3.1. Normas: y cons. Luminotécnicas

Lighting power density (LPD) 0.9 w/ft²

Eficiencia Fuentes de luz 90 lm/w

Balastos Electrónicos dimerizables

Dimming controls for daylight harvesting (Línea de 2.4m de las ventanas: control de hasta el 50% de su potencia.)

Niveles de reflexión" 80% en cielorrasos, 70% en paredes y muros.

3.2. Diseño de iluminación

Eficiencia / Uniformidad / Incidencia luz natural

INTERIOR: Regular Contrastes / Bajo Deslumbramiento / Alto confort visual / Determinar VISUALIZACION SELECTIVA

EXTERIOR: Eficiente y bajos niveles de iluminación

0.2 ft en límite del terreno (v y h)

0.01 ft a 5m del límite del terreno

3.3. Medio ambiente

REDUCCION DE POLUCION LUMINICA:

Reducción de potencia de Iluminación interior del 50% de 23hs a 5am

3.4. Control

SISTEMAS DE ILUMINACION: controles accesibles a los usuarios.

Llaves de luz para grupos de trabajo.

Llave de luz en task lighting

Sensores ON/OFF de ocupación en baños, salas de reunión, etc.

Sensores de daylight harvesting
Apagado automático para todos los sectores del edificio
Apagado automático a través de sensor de ocupación luego de 30 min de ocupación del espacio. (Excepto vanos, salas de reunión, etc.)
Dispositivos manuales de fácil acceso.
Autonomía de sistemas de control por 10 horas.

4. ¿Cuáles son los estándares internacionales y Normas que enmarcan la iluminación sustentable?

Son varias las normas que definen a los proyectos sustentables porque son muchas las variables que están en juego. Existen normas locales de cada país, y normas que están reconocidas a nivel internacional.

4.1. Us green building council



4.2. Norma IRAM-AADL J 2006

Luminotecnia, Higiene y seguridad. Iluminación artificial de interiores (Julio de 1972) ARGENTINA.



Instituto Argentino
de Normalización
y Certificación

4.3. Norma LEED

Leadership in Energy & Environmental Design, USA



4.4. Norma ASHRAE.

Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers USA



Una de las normas reconocidas a nivel internacional y que están vigentes en nuestro país es la norma LEED del US GREEN BUILDING COUNCIL.

La US GREEN BUILDING COUNCIL es una organización estadounidense sin fines de lucro con sede en Washington, establecida en 1993.

Está integrada por compañías, organizaciones, estudios de arquitectura e ingeniería, constructores, fabricantes, profesionales, contratistas, desarrolladores inmobiliarios y entidades gubernamentales.

Es el creador y administrador del sistema de evaluación para edificios ecológicos LEED®



Las normas LEED® cuidan el medio ambiente y el ahorro energético. El proyecto suma puntos en relación a la categoría en donde se encuadre. Uno de los esquemas de créditos es el siguiente:



Créditos de certificación LEED

1. Sitios Sustentables (24 puntos)
2. Eficiencia en el Uso del Agua (11 puntos)
3. Energía y Atmósfera (33 puntos)
4. Materiales y Recursos (13 puntos)
5. Calidad del Ambiente Interior (19 puntos)
6. Innovación en el Diseño (6 puntos)



Energía y Atmósfera Debe cumplir con los requerimientos mínimos del Standard ASHRAE 90.1-2007 para un uso eficiente de la energía que utilizamos en nuestros proyectos, para esto se debe demostrar un porcentaje de ahorro energético (que va desde el 12 % al 48 % o más) en comparación a un caso base que cumple con el estándar a largo plazo.6. Innovación en el Diseño (6 puntos)

Las categorías LEED son las siguientes según los puntos que se sumen:



**LEED
CERTIFIED**

40 - 49
PUNTOS



**LEED
SILVER**

50-59
PUNTOS



**LEED
GOLD**

60-79
PUNTOS



**LEED
PLATINUM**

80+ PUNTOS

LEED New Construction:

LEED Existing Buildings:

LEED Commercial Interiors:

LEED Core and Shell: LEED Schools:
LEED Retail:
LEED HealthcareLEED Homes:
LEED Neighborhoods Developments:

Es un sistema basado en puntos; los proyectos acumulan un puntaje al satisfacer criterios específicos (prerrequisitos y créditos) dentro de cinco áreas principales.



Sitio sustentable

La elección del sitio y la gestión del mismo durante la construcción son consideraciones importantes para la sustentabilidad de un proyecto. Como parte de este tema, LEED desalienta el desarrollo en zonas que se encuentran en sus condiciones naturales; busca minimizar el impacto de los edificios en los ecosistemas y cuencas; promueve los proyectos de paisaje con especies nativas y adaptadas a la región; premia las opciones de transporte público, el control de escorrentía de aguas pluviales así como los esfuerzos por reducir la erosión del suelo, la contaminación lumínica y el efecto de isla de calor.



Eficiencia en consumo de agua

El objetivo de esta categoría es fomentar el uso racional del agua dentro y fuera del edificio. La reducción en el consumo de agua se logra comúnmente mediante muebles y grifos eficientes y sistemas de tratamiento y re utilización de aguas residuales, así como áreas verdes con bajas necesidades de riego y la captación de agua pluvial.



Energía y atmósfera

Esta categoría promueve el uso de una amplia variedad de estrategias energéticas que van desde el Commissioning, medición y verificación, monitoreo y control así como elementos de diseño y construcción enfocados a la disminución del consumo energético. Uso de iluminación natural, fuentes de energía renovable y limpia ya sea generada en el sitio o fuera del sitio. Además reconoce el manejo apropiado de refrigerantes y otras sustancias con potencial de efecto invernadero o daño a la capa de ozono.



Materiales y recursos

Tanto durante su construcción como en operación los edificios generan una gran cantidad de residuos y demandan una gran cantidad de materiales y recursos naturales. Esta categoría fomenta la selección de 7 productos y materiales pro-

ducidos, cosechados, fabricados y transportados de forma sustentable. A su vez premia la reducción de residuos así como el re utilización y reciclaje.



Calidad ambiental en interiores

Debido a que pasamos gran parte de nuestro tiempo en el interior de edificios y a que la calidad del aire en el interior de ellos puede ser muy pobre, LEED alienta la implementación de estrategias que mejoran la calidad del aire así como el acceso a iluminación natural, vistas al exterior y mejoras en la acústica. El objetivo es crear espacios confortables y saludables que permitan ser más productivos a sus habitantes.

En Abril de 2009 fue lanzado el sistema LEED Versión 3 el cual califica el desempeño de los edificios en cada una de las cinco áreas ya descritas así como en dos categorías de puntaje extra:



Innovaciones en el diseño

Otorga puntos a proyectos que demuestran el uso de estrategias y tecnologías innovadoras y que mejoran el desempeño del edificio más allá de lo requerido en alguno de los créditos establecidos o en temas que no son específicamente considerados por LEED.



Prioridad Regional

En este capítulo LEED reconoce a los proyectos que atienden de manera especial la problemática ambiental de la zona en donde se encuentran.

Bibliografía Consultada

CAPITULO N° 1

- ALTOMONTE S. "Daylight for energy savings and physio-psychological well-being in sustainable built environments", Journal of Sustainable Development, Vol. 1, nº 3, Noviembre 2008, en <http://www.ccsenet.org/journal.html>
- ALTOMONTE S., "Daylight and the occupant: visual and physio-psychological well-being in built environment", Proceedings of PLEA 2009- 26º Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec, Canada, 2009.
- AAVV Daylight in Buildings. A source book on daylight systems and components. IEA, International Energy Agency, Published by Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000, en www.iea-shc.org
- AAVV, Luz, Visión, Comunicación. Tomo I. Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL), Buenos Aires, 2001. Cap. 5: Factores humanos en iluminación; autora Dra. Colombo Elisa, y Cap. 6: Iluminación natural; autor John Martin Evans.
- BAKER N. & STEEMERS K., Daylight design of buildings, London: James & James (Science Publishers) Ltd. , 2002. ISBN 1-873936-88-5
- BOYCE P., HUNTER C. y HOWLETT O. The benefits of daylight through windows. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2003, en www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/DaylightBenefits.pdf
- BRENNAN J. Effects of light in humans, 2007, en es.scribd.com/doc/37010204/Brennan-Effects-of-light-in-humans-full-version
- CASABIANCA G. Incorporación de variables subjetivas en el desarrollo de un procedimiento para optimizar el confort visual en relación con la luz natural en aulas de edificios destinados a uso educativo. Tesis de Maestría en Metodología de la Investigación Científica. En proceso de publicación en el Repositorio Digital Institucional José M. Rosa de la Universidad Nacional de Lanús.
- COLOMBO E., O'DONNELL B. y KIRSCHBAUM C. Iluminación eficaz, calidad y factores humanos. En www.edutecne.utn.edu.ar/eli.iluminación
- GALASIU A. & VEITCH J. "Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review", en Energy and Buildings, v. 38, nº 7, julio 2006, pp 728-742, NRCC 47621, en <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>
- HERSCHONG L., WRIGHT R. "Daylight impacts on human performance: latest findings" en Human and social dimensions of energy use. 8.91 a 8.104. En eec.vcdavis.edu/ACEEE/2002
- IDEA, Guía técnica Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios, www.idae.es
- PATTINI A. Iluminación en entornos de trabajo. En www.cricyt.edu.ar



Vamos Buenos Aires

Ciudad Verde



/BACiudadVerde

buenosaires.gob.ar/agenciaambiental