

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

B. VOLÚMENES
VOLUMEN 1: BASE TEÓRICA

B.V1



INDICE

01.01 INTRODUCCIÓN	27
01.02 LO EXISTENTE	31
02.01.01 INTRODUCCIÓN	31
01.02.02 EVOLUCIÓN DE LA FÁBRICAS	34
01.02.03. EVOLUCIÓN DEL HUECO EN FACHADA	39
01.02.03.a. <i>La ventana como elemento arquitectónico</i>	39
01.02.03.b. <i>Tipologías de ventanas</i>	41
La ventana rural.....	41
La ventana del Renacimiento	44
La ventana en los siglos XVII y XVIII	45
La ventana en los siglos XIX y XX	49
01.02.04. EVOLUCIÓN DE LOS ESPACIOS EXPOSITIVOS	51
01.02.05 CONFORMACIÓN DE TIPOS: FÁBRICAS REHABILITADAS	54
01.03 QUE ALCANZAR	57
01.03.01 INTRODUCCIÓN	57
01.03.02 LA NATURALEZA DE LA LUZ	60
01.03.03 LA LUZ NATURAL	65
01.03.03.a <i>Parámetros de diseño con luz natural</i>	78
01.03.03.b <i>Cálculo de la luz natural</i>	82
- <i>Métodos de cálculo</i>	82
- <i>Herramientas de simulación para el cálculo</i>	88
01.03.03.c <i>La ventana como elemento de captación de luz natural. Parámetros de diseño.</i>	95
01.03.03.d <i>El Vidrio</i>	98

03.04 LUZ ARTIFICIAL	108
01.03.05 LA LUZ EN LOS ESPACIOS EXPOSITIVOS	111
01.04 MANERAS DE INTERVENCIÓN	125
01.04.01 INTRODUCCIÓN: CÓMO TRATAR LA LUZ NATURAL EN LOS ESPACIOS EXPOSITIVOS.....	125
01.04.02 PROYECTOS DE REHABILITACIÓN: FICHAS Y ANÁLISIS.....	131
01.04.03 CONCLUSIONES DE LOS PROYECTOS ESTUDIADOS	145
01.05 CONCLUSIONES.....	148

01.01 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la arquitectura la luz natural ha sido uno de los factores más importantes en los espacios arquitectónicos. Los ilumina, los modifica y los llena de vida. Han sido muchos los arquitectos que en sus obras han intentado controlar esta luz para poder adecuarla a las necesidades lumínicas en su interior trabajando el hueco.

La importancia de la luz en la arquitectura ha trascendido incluso a otras artes como la pintura. Vermeer en muchas de sus obras repetía un mismo esquema compositivo: una ventana que deja entrar la luz natural a lado izquierdo de la escena, un rico mobiliario, uno o dos personajes, normalmente femeninos, con vestimentas ricas vestimentas y joyas.



Fig.1 Johannes Vermeer, 1650.
Girl reading a letter



Fig.2 Johannes Vermeer, 1665.
Young woman with a water Pitcher

Como decíamos en muchas ocasiones, la protagonista de la pintura es una mujer, tratada de forma muy delicada, sensual y detallista. Esa mujer, siempre se ve desarrollando una actividad, ya sea cosiendo, leyendo o elaborando comidas, recibiendo clases o conversando. Pero a pesar de la presencia de estos personajes y el detalle con el que se muestran, lo verdaderamente importante es el espacio y la luz.

Vermeer convierte la luz en un elemento mágico, que dibuja las sombras, le da volumen, dinamismo, y calidez a los espacios. Cuando miramos sus cuadros, podríamos llegar a imaginar que percibimos las motas de polvo que flotan en el aire, debido a la gran realidad que esta luz muestra.

Estas obras pueden ser una metáfora de la importancia que tiene la luz natural en los espacios, como los modifica y cómo les da vida, poniendo en valor el hueco, las ventanas como elemento que deja pasar la luz, elemento que el arquitecto debe dominar para dominar la luz natural en el espacio interior.



Fig.3. Johannes Vermeer, 1650.
Girl writing a letter with her maid



Fig.4 Johannes Vermeer, 1665.
Woman with a pearl necklace

Para poder comprender de qué manera ha evolucionado el tratamiento de la luz, en las distintas épocas históricas de la arquitectura, debemos centrarnos en la evolución del hueco en los edificios. Al hacerlo, podemos observar que uno de los momentos más importantes para este elemento arquitectónico ha sido La Revolución Industrial. Los avances tecnológicos en materiales y sistemas constructivos permitieron que los huecos fuesen más grandes, y tuvieran mejores características para conseguir aumentar la iluminación y la ventilación naturales, que favorecían unas mejores condiciones para el trabajo.

Fig. 5 Fábrica de Tabacos de San Sebastián.



Fig. 6 Matadero municipal de Madrid



Fig. 7 Matadero municipal de Madrid



Fig. 8 Fábrica de Lápices de Ferrol.



B.V1

Siendo la Revolución Industrial el momento en el que se producen estas mejoras, no es de extrañar que sean las construcciones fabriles las que experimentasen con estos nuevos huecos. Como veníamos diciendo, motivados por la búsqueda de una buena iluminación y ventilación para los espacios de trabajo, las fábricas se convierten en edificios donde los espacios diáfanos son espacios de luz. Estas mejoras en las condiciones interiores de los edificios, tanto en luz natural como en ventilación, permiten que estos edificios sean más sostenibles desde un punto de vista energético, debido a que utilizan menos luz artificial.

En la actualidad, el patrimonio industrial comienza a ponerse en valor, no sólo como memoria arquitectónica, donde el edificio aglutina una serie de rasgos arquitectónicos o sistemas constructivos, sino como una memoria social para nuestros días, lo que motiva a las instituciones privadas y públicas a recuperar estos edificios con nuevos usos.

Dentro del patrimonio industrial, son las fábricas, los edificios que más se recuperan con un nuevo uso. La relación del arte con la industria a lo largo de su historia, ha conseguido que esta tipología edificatoria del patrimonio industrial, se reutilice y se rehabilite para espacios expositivos.

Si observamos y analizamos la mayoría de las intervenciones de rehabilitación en las fábricas, aquellas que se realizan para su conversión en espacio expositivo, podemos ver que se dan diversas formas de actuación con respecto a la luz. En la mayoría de los casos de rehabilitación, los huecos se tapien o se simplemente no se actúan en ello. Esto se hace para controlar la luz natural o para eliminarla totalmente, perdiendo así la gran oportunidad que en estos edificios viene dada, una gran fuente luz para la iluminación de los espacios.

01.02 LO EXISTENTE

02.01.01 Introducción

Cuando hablamos de "lo existente" debemos entender aquello que es objeto de rehabilitación. Debemos comprender que es aquel espacio, edificio, lugar, etc., que se quiere reutilizar. Es un concepto que podríamos aplicar a cualquier tipo de rehabilitación. Para saber cómo usar, como "reciclar", algo que nos viene dado, que tiene unas características concretas. Para extraer una historia y una esencia de un edificio, tenemos que observarlo, estudiarlo y entenderlo.

"LO EXISTENTE" = FÁBRICA

"Las ventanas permiten la iluminación de las estancias a las que se abren. Son fuentes de luz hacia el interior y una participación del espacio exterior desde éste. Las ventanas establecen con el exterior una doble relación de visión e iluminación, en sentidos opuestos. Puede decirse que la ventana convencional establece una comunicación real, de simpatía con el exterior"¹

Def. Fábrica

*"Establecimiento dotado de la maquinaria, herramienta e instalaciones necesarias para la fabricación de ciertos objetos, obtención de determinados productos o transformación industrial de una fuente de energía."*²



Fig.09

¹ Elías Torres (Luz cenital)

² (Real Academia Española)

La arquitectura industrial, dentro de la historia de la arquitectura, ha sido siempre muy importante ya que materializado muchos de los avances que se iban haciendo en los sistemas constructivos y en los materiales, siendo el laboratorio de los mismos. La fábrica, a lo largo de evolución de la arquitectura industrial, ha sido siempre su tipología principal.

Los cambios conceptuales, las necesidades de sus usuarios y los materiales, así como la evolución de los sistemas constructivos, han ido configurando las características de la arquitectura industrial y de las fábricas y por lo tanto su historia.

El proceso evolutivo de la industria, entendido como un concepto más global, se divide en tres fases fundamentales:

1. La manual
2. La manufactura
3. La fabril

- La **fase manual** comienza en las más primitivas civilizaciones, la producción manual el hombre aplica herramientas. Su característica esencial es que exige al hombre una condición básica: habilidad; era un artífice consumado que debía asimilar las enseñanzas del oficio.

Esta fase se caracteriza por una producción reducida y limitada. El artesano tiene la propiedad de las herramientas y no existe una arquitectura específica para estas actividades, más allá de talleres que tengan el espacio suficiente para desarrollar la actividad requerida.

- La **fase de manufactura** surge la elaboración común: factor humano; máquinas y herramientas.

- La tercera fase, **la fabril**, se caracteriza por la organización sistemáticamente de máquinas y hombres para la producción a gran escala.

Las primeras fábricas pueden situarse en el final del Siglo XVIII y comienzo del Siglo XIX, pero desde ese momento hasta nuestros días, ha habido un largo recorrido evolutivo de esta tipología, por lo que para identificar, clasificar y estudiar las fábricas, que hoy en día se mantienen como patrimonio y que pueden ser objeto de una rehabilitación, debemos hacer un estudio de este proceso que nos lleve a la **conformación de los tipos de fábricas**.

“Una fábrica puede ser una casucha anodina o una construcción ejemplar, en el sentido más amplio posible. Desde el siglo XVIII en adelante, las fábricas han sido buenos indicadores de diversos aspectos: de la revolución (técnica y social), de la innovación (en el diseño y en los procesos) y de su momento (político y económico) Como tales, las fábricas son esencialmente efímeras, pues reflejan con cierta precisión las circunstancias exactas de cada momento y cada lugar.

En sí misma tan amenazante como estimulante, la fábrica ha ofrecido imágenes tan negras o tan blancas como exigiese el argumento. Ningún otro tipo de edificio ha plasmado mejor esas ideas, siempre fugaces, de la modernidad; y sus posibilidades radicales se han exagerado más allá de lo imaginable.”³



Fig. 10. Fábrica de cervezas “El Águila”

³ Darley, Guillian. *“La Fábrica como arquitectura .Facetas de la construcción industrial “prólogo y epílogo,* Rafael García ; traducción y edición, Jorge Sainz, Barcelona, 2010 Editorial: Reverté, nº ISBN: 978-84-291-2119-3.

01.02.02 Evolución de las fábricas

La arquitectura industrial podemos definirla como la arquitectura de la era de la mecánica, y por tanto, producto de cambios provocados por la revolución industrial. Estos cambios no corresponden, únicamente, al campo de la técnica, construcción o industria, sino también en el campo del pensamiento.

Partiendo de la primera definición y según los ensayos clásicos de Pevsner, Frampton, Gideon, Benévolo o Collins, podemos concluir que estamos definiendo la arquitectura de una época concreta, iniciándose ésta a mediados del siglo XVIII y que finaliza hacia 1960.

En este período se desarrollan diferentes tipologías donde se recogen las nuevas técnicas, los nuevos materiales o las nuevas necesidades- socioeconómica. Esto supone que, estos edificios son memoria de la sociedad, técnicas y materiales de un momento de la historia.

Mediante el análisis del espacio del trabajo, es más fácil reconocer una sociedad y su economía.

Siendo, como apuntábamos, la Revolución Industrial el momento en el que se aceleraron los procesos de innovación de los materiales y los sistemas constructivos, se entiende que es en su propia arquitectura donde los cambios se experimentaban antes que en cualquier otra arquitectura.

La arquitectura industrial, por lo tanto, iba siempre por delante en la aplicación de las nuevas técnicas y materiales, lo que le aporta mayor interés a su conservación en nuestros días para su recuperación, como ejemplos de la arquitectura innovadora de cada momento de la historia.

A lo largo del siglo **s. XVIII** conviven 3 tipos de modelos de industrial:

- 1. Los molinos, batanes y astilleros:** Estos edificios se definen todavía con un lenguaje específico de la industria, arquitectura anónima, meramente funcional y siempre vinculada claramente con la arquitectura rural.
- 2. Manufacturas Reales:** Posteriormente se desarrollan las manufacturas reales que son producto de una organización económica y cultural muy concreta. Tiene unas características lingüísticas basadas en los modelos clásicos del Barroco y el Renacimiento, de axialidad, simetría y relación entre los volúmenes. Desarrollando siempre un cuerpo central y alas laterales dispuestas alrededor de un patio, dejando

ver una estructura jerárquica de espacios. La producción en estos edificios estaba vinculada al orden y al espacio institucionalizado.



Fig.11

3. Fábrica de pisos: Viene determinada por las innovaciones técnicas, los mecanismos de motor único de rueda hidráulica o máquina de vapor determinarían la necesidad de diferentes alturas para mantenerlo y albergarlo.

Además de cambiar su lenguaje arquitectónico, también cambia su ubicación con respecto a la ciudad. Mientras anteriormente la industria siempre se situaba alejada de los núcleos urbanos, esta tipología arquitectónica, conocida también como las de imagen rígida: **estética Manchesteriana**, se situará en centro de las ciudades.

Esta característica le da ventajas a la hora de ser edificios que se reutilicen hoy en día, con usos que dan servicio a la ciudad en su núcleo, como pueden ser museos o centros de artes. Su posición y condiciones de espacios diáfanos y de grandes superficies, dentro de núcleos colmatados de las ciudades, va a ser un gran atractivo para situar, en ellas, este tipo de espacios para las exposiciones.

Estas fábricas, en muchas ocasiones, tendrán una planta rectangular y muy alargada. Es en este tipo de fábricas, el hueco, comienza a ser un elemento para la introducción de luz muy importante. Este elemento marca en las fachadas de estas arquitecturas un ritmo muy rígido, disponiendo todos los huecos de las mismas medidas, formando hileras.



Fig. 12 Colonia Güell. Sta. Coloma de Cervelló

En el **s.XIX y XX** se produce un cambio en el pensamiento y la aparición del Hormigón Armado.

Este cambio de pensamiento, en el entendimiento de la arquitectura industrial, modifica los espacios de trabajo y la imagen de la fábrica, teniendo un valor comercial de identidad, adquiriendo carácter estético próximo a la arquitectura monumental.



Fig.13 Fábrica de Sans con Parque de Deportes anexo

Este proceso desembocará en un claro lenguaje arquitectónico donde técnica, tipología y lenguaje forman una unidad estilística.

Es en este período donde la ventilación y la iluminación comienzan a ser más importantes. LUZ, VENTILACIÓN Y RACIONALIDAD DISTRIBUTIVA será siempre el prontuario del buen empresario.

Se produce en este período un momento clave para la nueva imagen de la industria: APARICIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO.

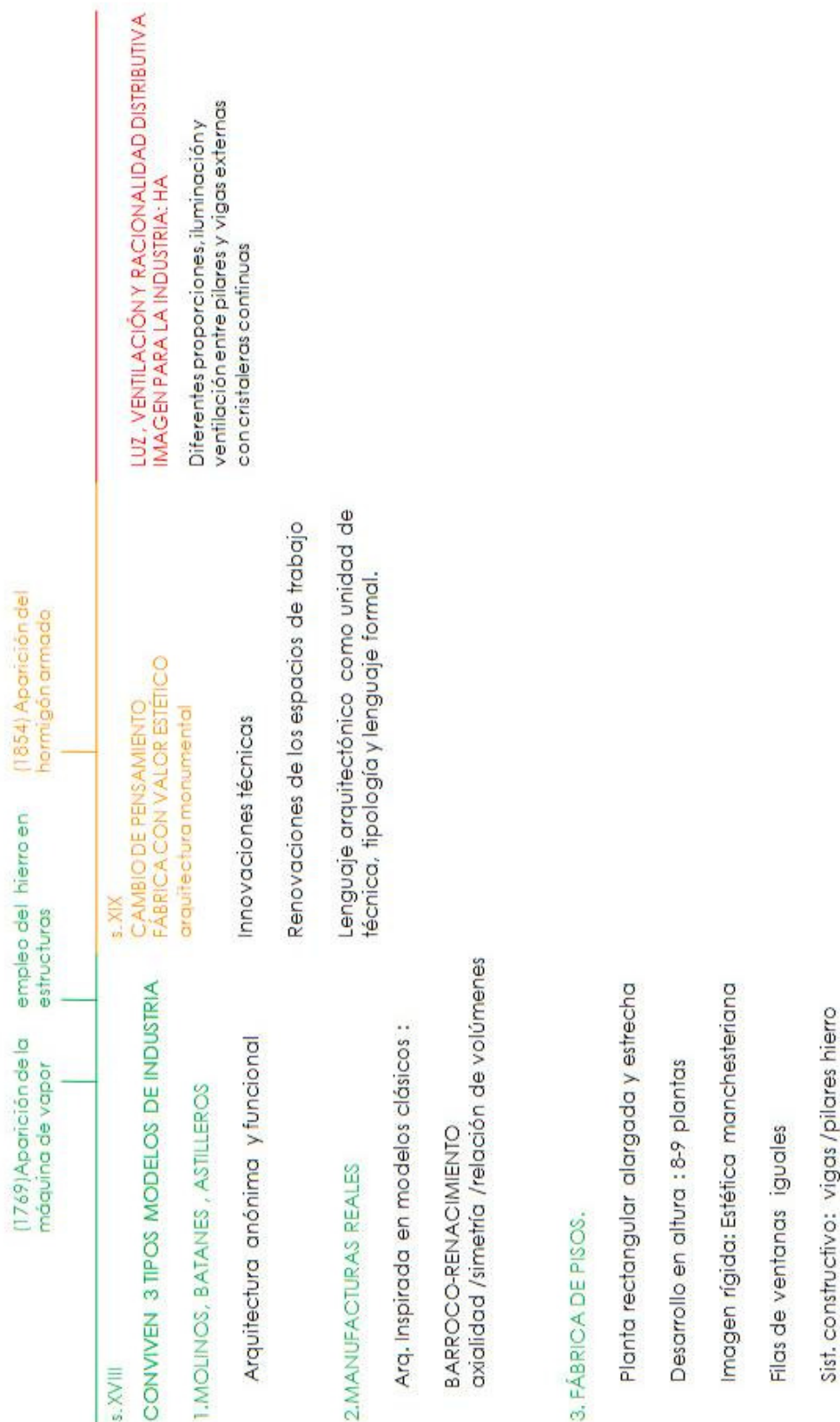
La aparición de este material y sistema constructivo, le otorga mayor ligereza a los elementos básicos.

Diferentes proporciones, iluminación y ventilación, al rellenar los espacios entre los pilares y vigas con cristalerías continuas. Estas características son asimiladas por los maestros del Movimiento moderno (Behrens y Gropius) aplicándolas así en su obra industrial.

Es con el hormigón armado con el material con el que se obtiene una magnífica síntesis entre forma y función en la arquitectura industrial.

Fig.14 Packard Motor Car Company. Khan.





(1769) Aparición de la máquina de vapor

empleo del hierro en estructuras

(1854) Aparición del hormigón armado

s. XVIII

CONVIVEN 3 TIPOS MODELOS DE INDUSTRIA



molino sobre el río Uxia



Salinas reales de Arc et Senans de Ledoux



Colonia Güell. Sta Coloma de Cervelló

s. XIX

CAMBIO DE PENSAMIENTO
FÁBRICA CON VALOR ESTÉTICO

gratificarse por el espectáculo



Fábrica de L'España Industrial



Almacén de naranjas de los Hermanos Peris

s. XX

LUZ, VENTILACIÓN Y RACIONALIDAD DISTRIBUTIVA
IMAGEN PARA LA INDUSTRIA: HA



Fábrica Gal



MODELO
FÁBRICA
DIAFANA

Fabrica de coche. Khan



01.02.03. Evolución del hueco en fachada

01.02.03. A. La ventana como elemento arquitectónico

Entendemos como ventana, un elemento de carpintería compuesto por un bastidor y un acristalamiento a través del cual entra la luz pero, inicialmente, las ventanas eran aberturas sin acristalar en los muros que dejaban entrar la luz y ventilaban los espacios interiores.

Las ventanas vidriadas las introdujeron los romanos hacia el año 65 d. C, pero el vidrio no se usó extensivamente hasta el siglo XIII en las iglesias, y hasta el siglo XVI en las casas. La importante contribución estética se refleja en la cantidad de estilos que se desarrollaron. A través de la historia, el diseño de ventanas vitrificadas ha sido dictado por los avances en la producción de cristal. Las primeras ventanas, con pequeños vidrios sujetos mediante plomo. Fueron posteriormente sustituidas, en los siglos XVII y XVIII, por ventanas con marcos de madera conocidos como bastidores. Para los años 1840, el desarrollo tecnológico permitió que el vidrio plano (más fino, más barato y más grande que su predecesor) se empleara para permitir vistas tanto en el interior como en el exterior de los edificios.

La ventana, como hueco, plantea una relación entre la parte maciza del edificio en sus aspectos geométricos, de materiales, formales y estilísticos que siempre se han aprovechado en la composición arquitectónica.



Fig. 15.

“Cuando veo una ventana en la fachada de una casa, en general, no pienso en su función; pienso en un significado-ventana que se basa en la función pero en el que la función ha quedado absorbida hasta el punto de que puedo olvidarla y mirar la ventana en relación con las otras, como elementos de un ritmo arquitectónico; de la misma manera que se lee una poesía sin cuidar del significado de las palabras, y fijando solamente la atención en el juego formal del acercamiento contextual de los significantes. Hasta el punto de que un arquitecto pueda elaborar ventanas falsas, cuya función no existe, y tales ventanas (que denotan una función que no funciona pero que comunica) funcionan como ventanas en el lenguaje arquitectónico y se perciben desde el punto de vista comunicativo (y en la medida en que el mensaje pone en evidencia su función estética) como ventanas”⁴

La ventana expresa el carácter de sus habitantes. Los niños cuando representan una casa ponen las ventanas como los ojos. (fig. 16)

B.VI



Fig.16 Dibujo de un niño

A un nivel más plástico, la ventana, forma desde el interior de la casa un marco que subdivide el campo visual de las imágenes y el paisaje varia mientras el marco permanece fijo, creando como un cuadro viviente.

⁴Humberto Eco. “La estructura ausente”

01.02.03. b. Tipologías de ventanas

La ventana rural

Antiguamente, y principalmente en la cultura rural, se daba una gran proximidad entre el usuario y su casa. Para ornamentar, remarcar u ocultar las ventanas se emplean diversos elementos arquitectónicos yuxtapuestos o superpuestos.

Los frontones, que en realidad son vierteaguas, pueden ser triangulares, semicirculares o de medio punto.

Los marcos son molduras de distintos materiales, que bordean el hueco para darle más superficie aparente. Los marcos pueden ser lisos o moldurados.

Los antepechos dan un juego compositivo que, es necesario utilizar cuando los forjados son altos y el hueco se perdería en la fachada. En la arquitectura tradicional se divide en elementos menores formando recuadros que van labrados o lisos.



Fig. 17 Parladioiro

Los huecos en las ventanas gallegas, en ocasiones se traducían interiormente en un lugar en el que hablar, en un espacio de relación, dando mayor importancia a este elemento arquitectónico. Un espacio en relación con el exterior y en el que relacionarse, lo que se denomina "parladioiro" (fi.18) Este espacio nos hace ver la importancia que se le daba al hueco y a la relación entre el interior y el exterior en las viviendas gallegas de la época.

La ventana gallega

Cuando observamos la ventana gallega, vemos que, habitualmente, aparece sobre esa pieza vierteaguas, sobre la ventana, otro pequeño hueco, que sirve para la entrada de luz al espacio, manteniendo la privacidad del espacio con las contraventanas. Esta entrada de luz por la zona más alta del hueco, proporciona luz hacia la zona más profunda de la sala que ilumina, al estar en esta posición.



Fig. 19 Ventana gallega



Fig. 18 Tipología de vivienda gallega

Además de intentar percibir luz por estos huecos, en otras partes de España, se intentaba percibir luz con otros sistemas.



Fig. 20 Imagen del Raval Barcelona



Fig.21 Imagen del Raval de Barcelona

La ventana canaria

Podemos observar, mediante estas fotografías, que ocurre algo similar en las ventanas canarias, donde se cierran los huecos mediante contraventanas, pero se mantiene un hueco con vidrios en la parte superior para la entrada de luz.

Este tipo de apantallamiento en el que se mantiene la luz en la sala, y la intimidad del espacio, que además conseguirá que la luz entre pero, no de una manera incidente, pero si como gran cantidad de luz por la posición del hueco.

Esta solución, será un modelo a seguir para el control de la luz para espacios expositivos que veremos posteriormente en el caso práctico.

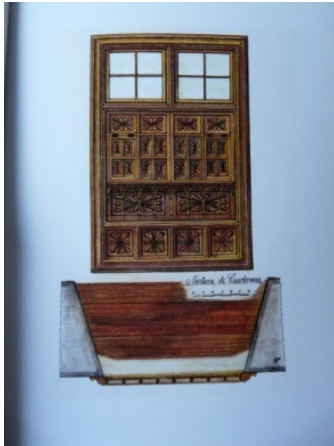


Fig. 22. Ventana Canarias



Fig. 23 Ventana Canarias



Fig. 24 Ventana Canarias

B.VI

La ventana del Renacimiento

En el Renacimiento, en los edificios, las plantas eran muy altas, lo que provocaba que hicieran huecos muy largos, con arcos para rematar los huecos repartir las cargas.



Fig. 25 Palazzo Vecchio, Florencia.

En las construcciones urbanas de entramado de madera, los huecos son rectangulares, pero en los casos donde eran piedra, el dintel se abocinaba, con maineles de piedra y flanqueados con bancos laterales en el interior.

Los postigos o contraventanas se colocan en el interior, adecuándose más a necesidades de confort que de seguridad.

La primera ventana renacentista se conformaba a partir de una hoja móvil con cerco directo sobre la fábrica. Al igual que las ventanas rurales, se compartimentaba estas ventanas en un cuerpo superior acristalado con postigo y otro inferior opaco.

Se empiezan, además, a utilizar ciertas piezas, como la peana, que consiguen mayor estanqueidad en las ventanas. El chasis o cerco, que está formado por dos montantes verticales y dos tres travesaños, ensamblados a caja y espiga.

El cerco tiene doble galce y el cuerpo inferior, de las ventanas opacas, se conforma con empanelado de tablas.

Las hojas pueden ser fijas o practicables, y los ensamblajes a caja y espiga, se consigue, en este momento menos, sección por la mejora de las herramientas.

El renacimiento inglés se realiza unas ventanas similares a la francesa, ventanas con acentos góticos, en maineles de piedra y acristalamientos de vidriera. Su gran aportación es la BAY WINDOW, un balcón cerrado o mirador de forma semi-octogonal o hexagonal que se ve en toda la fachada. Este tipo de ventana crea en su interior un espacio recogido. Llamada también isabelina, es una mezcla entre el gótico y el renacimiento y sus principales características son, su configuración vertical, su gran tamaño y estar muy adornada.

Por otro lado, las ventanas en los Países Bajos, como podíamos apreciar en los cuadros de Vermeer, se conformaban a partir un cuerpo inferior practicable, con mainel vertical y hojas abisagradas, y otro superior fijo. El primer cuerpo se protege con contraventanas exteriores y el superior se puede tapar mediante cortinas interiores, pero nunca llega a cerrarse de todo. El hecho de que nunca se pueda cerrar del todo garantiza que siempre habrá una entrada de luz natural.

Las ventanas del renacimiento español, sustituye el mainel por el sistema de solapado de la hojas, mediante una *Cremona*, que mejora la estanqueidad de las hojas.

En cuanto a las contraventanas, en Francia dominan los empanelados interiores, en España los cuarterones también interiores y en Italia los de las lamas exteriores, siguiendo con la tradición palladiana.

La ventana en los siglos XVII y XVIII

En el siglo XVII, se producen en las ventanas dos cambios fundamentales: Se sustituye el mainel por un cerco de madera y por otro lado aparece el vidrio de mayor superficie, que desplaza progresivamente al vidrio emplomado.

Aparecen en este momento las ventanas que separan iluminación de ventilación. Aunque más simple su concepción, se adapta bien a sus fines. Estilísticamente combina influencia occidental y oriental.

La parte inferior es un antepecho opaco y fijo mientras la parte central, móvil está formada por postigos de hojas apeinazadas o celosía.

La tercera es un capialzado vidriado para iluminación.

La cristalera superior puede tener un tapaluces o postigo interior para proporcionar el oscurecimiento total.

La Ventana de Guillotina

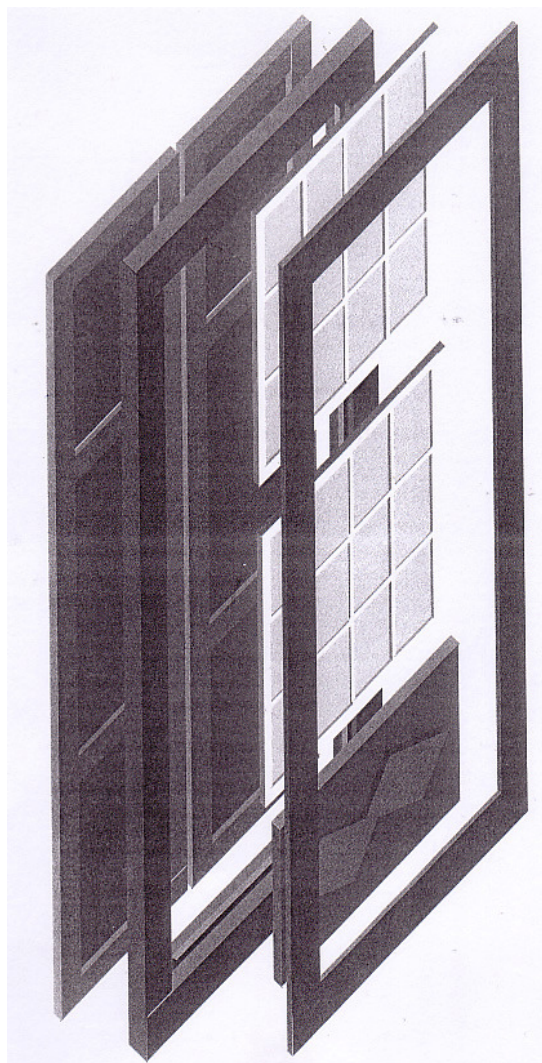
La ventana de guillotina puede considerarse la primera ventana moderna, ya que posee un diseño muy depurado que no necesita herrajes. Consiste en dos hojas: una superior fija y otra inferior móvil de trayectoria vertical. Los cristales se disponen entre varillas o listones de madera, formando un enrejado al que se fijan con puntas y una masilla de ges.

Esta ventana proporciona el máximo de luz y resiste bien las embestidas del viento aunque tiene poca estanqueidad.

Los orígenes de este tipo de ventana parece que han sido franceses, aunque su mayor desarrollo se alcanza en Portugal, desde donde salta a Canarias.

El uso de contraventanas interiores es, también, bastante frecuente para tamizar la entrada de calor y de la luz, así como para frenar las infiltraciones de aire.

Fig. 26 Ventana de guillotina



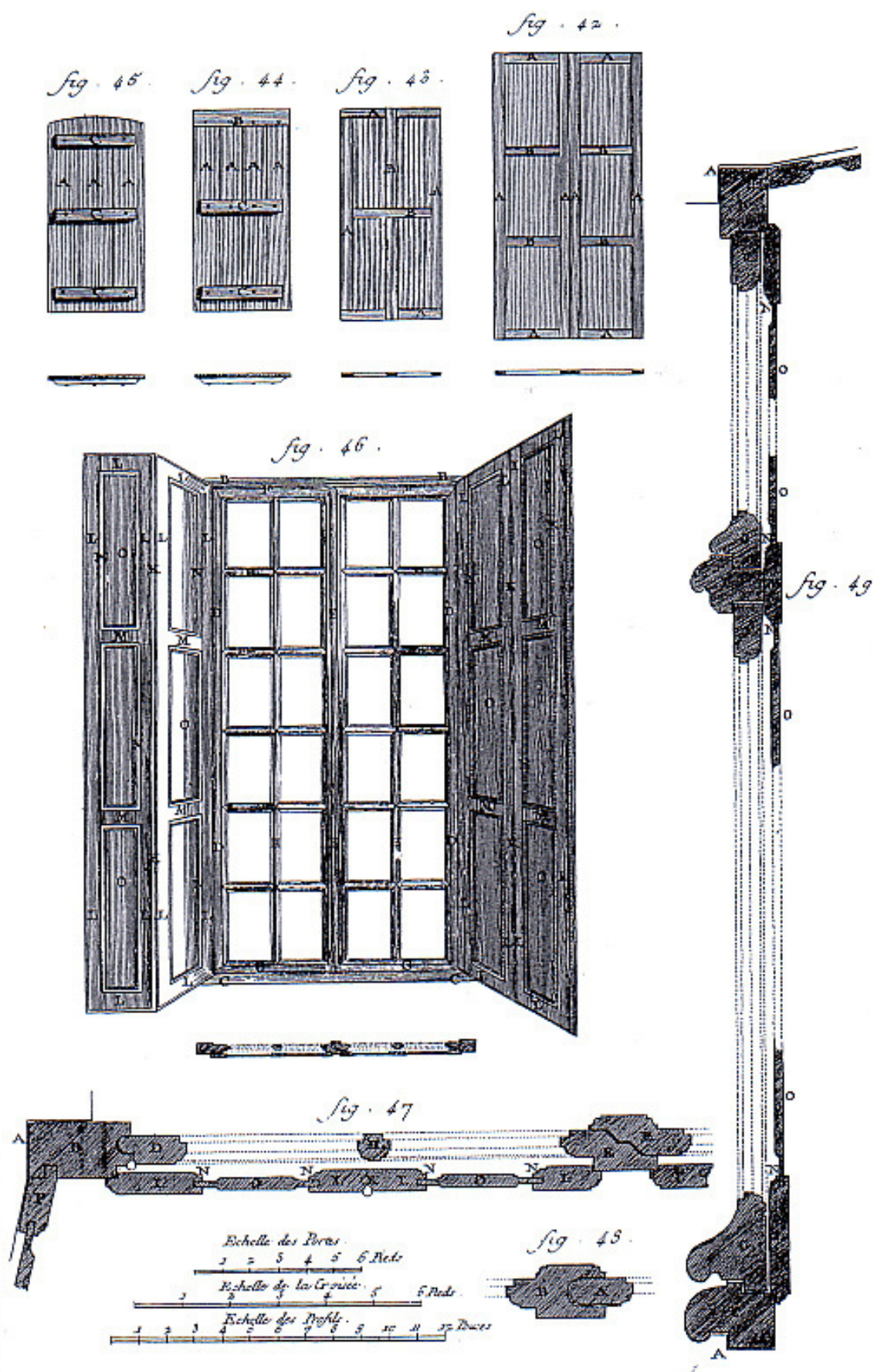


Fig. 28 Ventana francesa

La ventana en los siglos XIX y XX

Las ventanas en el siglo XIX siguen las pautas del siglo anterior, pero propone, ofrecer mejoras tecnológicas, y con medidas de cristales cada vez mayores.

Para mejorar el aislamiento se refuerza el papel de las contraventanas y los postigos. Las contraventanas, por su gran tamaño necesitan ganar en escuadría y vuelven a colgarse, no con bisagras, sino con pernios de palas. Además, como decimos, mejoran la protección térmica, durante la noche en invierno, y durante el día en verano.

En este momento se empiezan a introducir el metal en las carpinterías.

En el siglo XX los estilos vanguardistas, como el Art Decó el Art Nouveau o Constructivismo, crean una decoración en las ventanas que recupera las carpinterías tradicionales, para poder hacer carpinterías más orgánicas con formas menos ortogonales.

Pero también en este siglo se produce la ventana industrializada. Sufre una transformación radical desde mediados de siglo XX por la aparición de los nuevos materiales: perfiles, sellantes, vidrios mejorados y herrajes más seguros. A nivel formal se impone la ventana corredera.

En España la carpintería de madera comienza a perder su fuerza, y la industria del hierro y la del aluminio comienza a adquirir importancia, pudiendo satisfacer, sobre todo el aluminio, los estándares de confort.

La ventana industrializada se desarrolla los requerimientos de confort, aislamiento, y ahorro energético dando comienzo a ensayos de laboratorio que permitirá a los fabricantes de maquinaria afinar sus diseños y la mecanización de las ventanas.

En este momento de la evolución de la ventana, la manera de ventilar y de introducir luz, no se hace de una sola manera.

Los materiales y la industrialización permiten hacer diferentes formas de llevar a cabo estos requerimientos de las ventanas. Tener como referencia un tipo de apantallamiento o de entrada de luz o solución para ventilación no es tan fácil, ya que hay muchas más posibilidades, que además en nuestros días se multiplican.

Por lo que esta evolución de las ventanas, nos puede indicar cuáles son las formas importantes de ventilar y entrar luz de una manera poco costosa y sencilla, sin tener que apoyarnos en tecnologías complejas o grandes despliegues técnicos.

Un ejemplo de los muchos arquitectos que se preocupaban por el control de la luz mediante las el diseño de las ventanas, y los apantallamientos, es el trabajo que realizó Gaudí en una de sus obras.

Ventanas de Gaudí

Gaudí diseñaba las ventanas de las habitaciones (fig. 29) para controlar la cantidad de luz que podía entrar en ellas, a través de un elaborado mecanismo interno de persianas. Las ventanas son tan grandes que habría ingresado demasiada luz, motivo por el cual Gaudí incorporaba los vidrios de colores en la mitad superior de las ventanas, para suavizar la luz y reducir su intensidad.

Las ventanas fueron diseñadas para abrirse por completo si se lo requería, brindando a los ocupantes de la casa una vista de la calle casi sin bloqueos.



Fig. 29 Vista exterior de ventana de la Casa Batlló 1875. Gaudí (Barcelona)

01.02.04. Evolución de los espacios expositivos

“Sin ella, la LUZ los espacios resuenan a vacío y no se revelan ante nosotros en modo alguno la existencia de un entorno y de los objetos que éste contiene.”

“La labor del iluminador consiste en la modificación de los espacios y de las formas, la revelación de sus colores y texturas, en la descripción de éstos, en el descubrimiento de los objetos y en la narración de los hechos visuales que configuran la historia de una visita a cualquier exposición.”⁵

Los espacios expositivos han variado mucho a lo largo de la historia. Para establecer el comienzo de las primeras muestras de interés por agrupar, reunir y mostrar objetos tenemos que irnos a la época romana o griega, donde se exponían los tesoros que se traían de las conquistas del territorio.



Fig. 30 Foro Romano

En la Edad Media la Iglesia mostraba su patrimonio, objetos tanto de rituales como artísticos. Es en el Renacimiento cuando, en Italia, los mecenas exponían las obras que sus beneficiarios hacían.

Estas exposiciones no tenían carácter abierto, eran exclusivas para unas clases sociales, y principalmente se trataban de pintura en su mayor parte, y aún no había la

⁵ Rico, Juan Carlos. “Los conocimientos Técnicos. Museos Arquitectura arte” Madrid, 2009. Editorial: Silex, nº ISBN 978-84-7737-218-9.

preocupación, que hay hoy en día, por su iluminación, ya que, la mayor parte de estas obras, estaban pensadas para que se vieran en condiciones óptimas en el lugar que se iba a exponer.



Fig.31 Retrato de Lorenzo el Magnífico, uno de los principales mecenas del Renacimiento.

En el siglo XVII se abren en Gran Bretaña varios museos, pero es en el siglo XVIII cuando se produce una mayor apertura de Museos, incluida la apertura de algunos espacios del Vaticano como espacios expositivos de su patrimonio, que hoy han llegado a ser los museos vaticanos que conocemos.



Fig. 32 Museos Vaticanos

El control tan estricto que se hace hoy en día de la luz, en estos museos no se producía en sus edades tempranas, las obras se protegía de las inclemencias del tiempo, pero no de algunos efectos de la luz.

Hasta el siglo XIX, no se produce la apertura a los espacios expositivos de la gente de manera generalizada.

Surgen en este siglo los gabinetes de curiosidades. Estos espacios de exposición eran desordenados, con criterios de distribución de la persona que los montaba y sin ningún rigor científico o técnico.

Posteriormente, el campo de la exposición toma referencias de las Exposiciones universales que se llevan a cabo por distintas ciudades Europeas. Es en el siglo XX, y a raíz de las exposiciones universales mencionadas, cuando se comienza a establecer una teoría sobre la organización de las exposiciones y sus características.

La evolución de los espacios expositivos nos interesa en tanto en cuanto entendemos, cómo han cambiado los requerimientos que tienen estos espacios sobre la luz.

B.V1

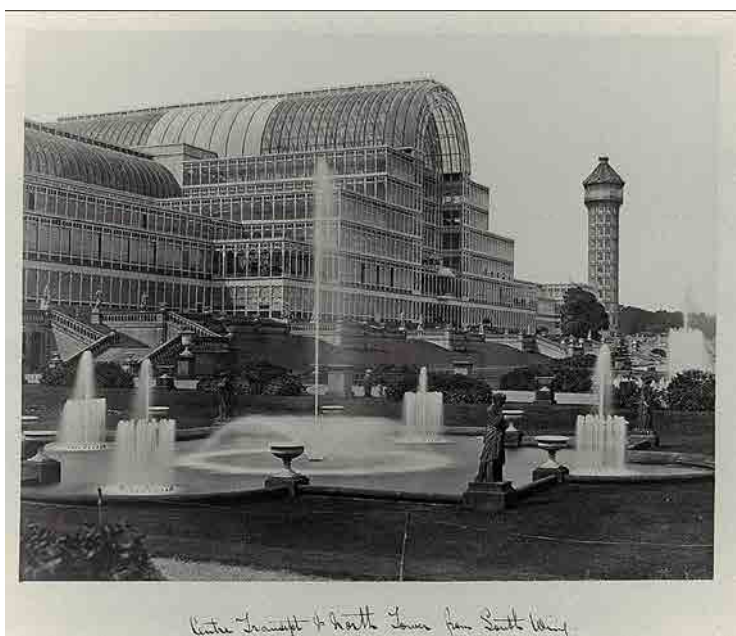


Fig. 33 Cristal Palace. Paxton.
Exposición Universal Londres
1851

Cuando el elemento expuesto era tesoros que se habían ganado en guerras, no parecía ser el objeto la importancia de la exposición, si no el significado que tenía el tenerlo en aquella sala para observarlo.

Hoy en día, los espacios expositivos deben ser lo más neutros posible, para albergar todo tipo de exposiciones, para adecuarse a cualquier tipo de obra, eso en los primeros museos no ocurría de esta forma, ya que las exposiciones solían ser permanentes, por lo que adecuar la sala únicamente se realizaba una vez y se hacía para ese objeto, esa obra de arte en concreto.

Los objetos expositivos y el arte, ha evolucionado, existen infinidad de tipos de obras distintas. Además de la pintura, la escultura u objetos de coleccionista, existen obras que exponen a partir de sistemas tecnológicos, exposiciones que muestran sonidos, que muestran luz, performance a las que hay que adecuar las salas, la iluminación de una manera muy concreta.

01.02.05 Conformación de tipos: Fábricas rehabilitadas

“... las últimas tendencias con la propia vida, con los objetos cotidianos, con la propia industria, ha llevado a que los artistas hayan buscado a su vez estos espacios industriales para ubicar su taller, hábitat o espacio expositivo.[...] En la década de los años ochenta muchos edificios industriales fueron rehabilitados para albergar distintas actividades artística[...] Es interesante esa clara relación entre espacio industrial y espacio artístico en la actualidad, entre arte e industria, entre arte y técnica. [...]”⁶

La relación del arte con la industria ha conseguido que el patrimonio industrial, y sobre todo las fábricas, se reutilicen y se rehabiliten como espacios expositivos actualmente con intervenciones de muy diversa índole.

A continuación se toman varios ejemplos de fábricas rehabilitadas como referencias para la conformación de tipos de fábricas a rehabilitar en nuestros días.

⁶ Aguilar Civera, Inmaculada. “El Patrimonio arquitectónico industrial” Madrid, 1998 Cuadernos del Instituto Juan de Herrera, Escuela de Arquitectura nº ISBN: 84-89977-81-X.

Estas referencias, nos ejemplifican los tipos de intervenciones que se realizan sobre el patrimonio industrial, dándonos una idea de la intención de control o no de la luz natural en este tipo de espacios.

En este apartado únicamente se hace una presentación de los proyectos que más adelante en el apartado de MANERAS DE INTERVENCIÓN, se estudiarán, para poder elaborar una idea del estado del arte con respecto a este tipo de proyectos, como se están haciendo, si se sigue alguna pauta, o únicamente cada arquitecto sigue sus propias reglas.

Viendo el listado de proyectos que se toman como referencia podemos ver, que su mayor parte los proyectos son sobre fábricas de pisos. Con una representación de las manufacturales reales, o al menos fábricas de características similares, y una representación de naves-talleres.

La Fábrica de Tabacos de San Sebastián se toma como ejemplo, por ser un edificio industrial que, en cierta forma aúna parte de los rasgos de varios tipos de fábricas, por un lado es una fábrica de pisos por su configuración, pero tiene las características propias de una fábrica Real, con una identidad propia, buscando además una arquitectura que se acerca a lo monumental, de la misma manera que lo hacen las manufacturas reales.

Por todo lo anteriormente explicado creemos por tanto que es un buen paradigma para la aplicación de este método de trabajo, y que ilustrará la forma en la que llevar a cabo este tipo de proyecto.

	Caixa Forum (Puig i Cadafalch) Antigua Fábrica Textil Casaramona		Matadero. Madrid Antiguo Matadero Municipal de Madrid		Caixa Forum Madrid (Herzog y De Meuron) Antigua Central eléctrica de Mediodía (1899-1902)		Museo ABC. Madrid (Araguren y Gallegos) Antigua Fábrica de Cerveza Mahou (1900)		104-Centquattro
	Tate Liverpool Antiguos Docks Liverpool		Caixa Sabadell Madrid Antigua Escuela Industrial de Artes y oficios de Sabadell		Tate Modern London Bankside Power Station (Central eléctrica de Bankside)		Tabakalera. San Sebastián Antigua Fábrica de Tabacos de San Sebastián		Nueva Sede del MUHBA. Barcelona. (Bass Arquitectes) Antiguo Nave-taller Oliva Artés
	Madrid Regional Documentary Center (Tuñon y Mansilla) Antigua Fábrica de cerveza "El Aguila"		Fundación Vila Casa, Cam Framis. Barcelona. (Bass Arquitectes) Antigua Nave Industrial del Barrio de Poble Nou						

Manufacturas reales

Fábrica de pisos

Naves-Talleres

01.03 QUE ALCANZAR

01.03.01 Introducción

Con la aparición de la luz artificial, se desencadenó un olvido de la luz natural en la iluminación de los espacios interiores y un rechazo a su aprovechamiento en los espacios expositivos y museos.

Antiguamente las obras, como por ejemplo, la pintura, se realizaban sabiendo el lugar en el que se iba a exponer, y se adecuaban sus características a la luz natural que entraba en dicho espacio. Hoy en día, las obras expuestas en espacios museísticos, han variado mucho y son las obras quien establece los parámetros lumínicos que tienen que iluminarlas. Por este motivo, la luz natural ha quedado en un segundo plano. Su carácter dinámico hace que se compleje su control, mientras que la luz artificial es mucho más fácil de calcular y dominar. La luz artificial, no cambia, no se altera por agentes que no podemos gestionar, como el clima o el tiempo, por lo tanto, es más fácilmente amoldable a las necesidades específicas de las obras, pero más costosa, energéticamente y económicamente. La luz artificial es más "cómoda".

Como consecuencia, sólo el 19% de los museos aseguran tener un control sobre la luz natural.⁷

Podemos deducir, por tanto, que la gran mayoría de los espacios expositivos no aprovechan la luz natural. Al no aprovechar la luz natural, hay un mayor consumo de energía del que sería necesario. Además de este elevado coste energético, y consecuentemente económico, se entiende que la mayor parte de los espacios expositivos se desvinculan del exterior.

Al no permitir el paso de la luz natural a sus estancias, en los museos, las personas no puede percibir el paso del tiempo, ni ser consciente del entorno exterior que les rodea, lo que desencadena sensaciones de incomodidad dentro de las salas. Esto supone que en muchas ocasiones, psicológicamente se asocien los museos a espacios incómodos. El privar a las personas de luz solar no tiene únicamente unos efectos psicológicos sobre ellas, sino efectos fisiológicos que veremos más adelante.

⁷ *Museos españoles: Datos estadísticos*

La luz natural, además de permitir a la persona orientarse en cuanto al tiempo horario y climatología, consigue una buena reproducción cromática al ser un radiador completo.

Una de las ventajas que tiene la luz natural es que tenemos gran cantidad de ella y es gratuita y proporciona confortabilidad además de un efecto psicológico positivo sobre las personas. La luz natural permite describir la ordenación arquitectónica del espacio y la distribución en él de los objetos, de una forma más natural.

Lo que se debe alcanzar en los espacios expositivos, es la utilización de la luz natural y la luz artificial, de una manera conjunta, utilizando al máximo las posibilidades de la natural.

Se debe pensar en la luz natural como la luz principal para la iluminación general de los espacios hasta la medida de lo posible, y después complementarla con la luz artificial, optimizando los porcentajes en los que se utiliza cada una, se puede llegar a conseguir ahorros energéticos muy importantes para los edificios museísticos, cualquier tipo de edificio que tenga como uso el expositivo, o cualquier edificio en general.

B.VI

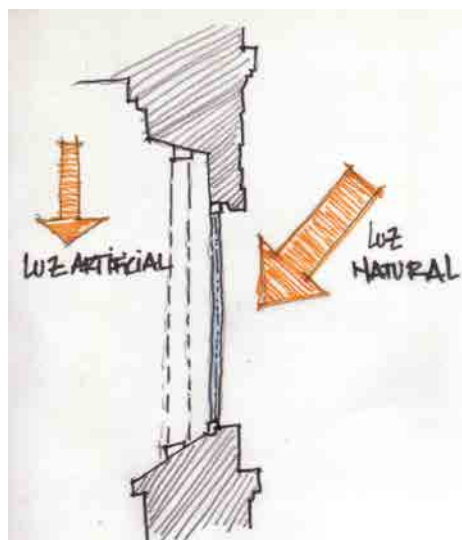


Fig.34

El objetivo de la tesis es el conseguir esta optimización del uso de la luz natural a través del estudio del elemento de captación de luz natural, **la ventana: el hueco.**

Es importante comprender que el elemento que regula la entrada de luz natural en un espacio interior, la ventana, en un edificio a rehabilitar como lo son las fábricas, tiene ya unas características implícitas, que se han de controlar, alterar, modificar y adecuar para conseguir el control necesario de la luz exterior.

“Las ventanas permiten la iluminación de las estancias a las que se abren. Son fuentes de luz hacia el interior y una participación del espacio exterior desde éste. Las ventanas establecen con el exterior una doble relación de visión e iluminación, en sentidos opuestos. Puede decirse que la ventana convencional establece una comunicación real, de simpatía con el exterior”⁸

Para conseguir un control sobre la luz natural en los espacios rehabilitados, se debe comprender, en primer lugar, la naturaleza de la luz, tanto de la luz natural como artificial.

Como decíamos, el objetivo es conseguir sacar el mayor rendimiento de la luz natural en este tipo de espacios. La luz natural será objeto de un estudio más exhaustivo que la luz artificial.

Se pretende conseguir comprender sus características, cómo se calcula y que parámetros debemos cuidar para su control y utilización, pudiendo aplicarlo a un estudio empírico posterior, objeto de la tesis, el diseño de apantallamientos para ventanas de un edificio existente.

Por otro lado, se deberá estudiar la luz artificial, como luz que complementa a la natural, y que tiene una función más específica.

Como conclusión a este apartado, se desarrolla un tercer punto, **la luz en los espacios expositivos**.

Las necesidades lumínicas de estos espacios son muy específicas y concretas, ya que pueden alterar la naturaleza de la obra expuesta, por eso es muy importante conocerlas y entenderlas, para poder adecuar la luz exterior a las mismas, optimizando su uso.

⁸ Torres Tur, Elías. “Luz cenital” Barcelona, 2005. Editado por Colegio de Arquitectos de Cataluña. Nº ISBN: 84-96185-29-X.

01.03.02 La naturaleza de la luz

La luz es la parte de la energía radiante evaluada, energía que al ser reflejada o transmitida hacia el sistema visual, produce una respuesta de la foto receptora, dotando al ser humano del sentido de la visión.

La luz se ha estudiado desde hace miles de años, pero en los últimos 400 años ha sido cuando se han desarrollado teorías sobre su naturaleza.

Según Newton la luz tiene una naturaleza corpuscular, es decir un conjunto de partículas que proceden del exterior y al incidir sobre el ojo impresionan la retina produciendo la sensación luminosa. Huygens defendía una teoría distinta, decía que la luz tiene un carácter ondulatorio, que se transmite por medio de ondas que se propagan en un medio, el éter.

Por otro lado según los estudios en Electromagnetismo de Maxwell, se concluye que la luz es una perturbación electromagnética.

Posteriormente Einstein, aunando las diversas teorías, llega a la conclusión de que la luz es una manifestación de la energía, un conjunto de radiaciones visibles para el ojo humano.

Pero la luz no hay que estudiarla únicamente desde sus características físicas, sino también considerando la influencia psicológica y fisiológica que tiene sobre el ser humano, y saber que su función no es únicamente la de asegurar que se vean los objetos.

Las fuentes de luz emiten, en forma de ondas electromagnéticas, energía. Energía medida con las magnitudes radiométricas. Dentro de éstas, se consideran importantes para este estudio, las magnitudes fotométricas.

Las magnitudes fotométricas son aquellas magnitudes que miden la radiación a la que es sensible el ojo humano.

La luz corresponde a una parte del espectro electromagnético comprendido entre las longitudes de onda de 380nm y 760 nm, esta energía es absorbida por las fotos receptores del ojo humano para provocar el fenómeno de la visión.

El ser humano tiene dos sistemas de foto receptores para la percepción de la luz, los **conos**, que opera en condiciones de de iluminación altos (condiciones fotópicas) y los **bastones**, que opera en condiciones de iluminación bajos (condiciones escotópicas). (Ver fig.35)

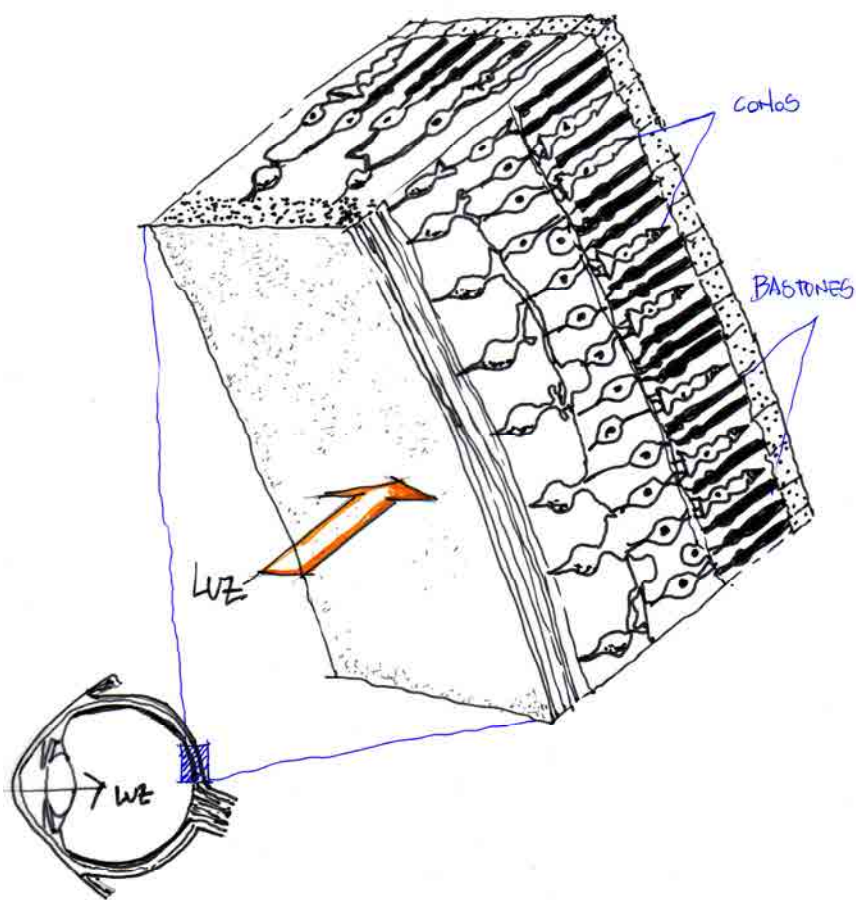


Fig. 35

Debido a que la sensibilidad espectral varía en función de las condiciones y los individuos, se ha establecido unas curvas como referencia en las que se obtiene los siguientes datos.

El ojo tiene su mayor sensibilidad para 555 nm en condiciones fotópicas y 507nm en condiciones escotópicas.

Se considera que son necesarios más 30 minutos, generalmente, para una buena adaptación del ojo para cambiar de la luz a la oscuridad, en comparación con sólo 30 segundos más o menos, para adaptarse de la oscuridad a la luz.

Para cuantificar la luz que percibimos en un espacio, ya sea luz natural o luz artificial, debemos conocer las magnitudes fundamentales mediante las que se cuantifica.⁹

1. **Flujo luminoso:** Es la energía por unidad de tiempo que llega a la retina del ojo y produce sensación luminosa. Se mide en lumen (lm). Esta unidad es fundamental en luminotecnia. Para aplicaciones prácticas el flujo luminoso debe cuantificarse en ocasiones en una dada dirección, y es lo que llamamos Intensidad luminosa.

2.

3. **Intensidad luminosa:** Flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección del espacio. Se mide en candelas (cd).

4. **Iluminancia (nivel de iluminación):** Flujo luminoso recibido en la unidad de superficie. Se mide en luxes (lux).

En general la Iluminancia se mide sobre el plano horizontal, lo que denominamos Iluminancia Horizontal, aunque si se hace sobre planos verticales, se denomina Iluminancia vertical y su aplicación práctica es cuantificar la cantidad de luz que llega a una superficie.

5. **Luminancia:** Intensidad luminosa emitida, por la fuente o la superficie, en la dirección del observador, dividida por el área de la fuente o la superficie vista por el observador, es decir, por unidad de área proyectada. Se mide en candelas/m². La luminancia al igual que la intensidad luminosa varía según la dirección.

En el siguiente cuadro se muestran las fórmulas que definen cada magnitud:

⁹ Rico, Juan Carlos. "Los conocimientos Técnicos. Museos Arquitectura arte" Madrid, 2009. Editorial: Silex, nº ISBN 978-84-7737-218-9.

Magnitud fotométrica	Definición	Unidades
Flujo luminoso	$\phi_{lum} = K_m \int_{-\infty}^{\infty} V_{\lambda} I_{rad} d\lambda$	lumen (lm)
Intensidad fotométrica	$I = d\phi_{lum} / d\lambda\omega$	candela (cd)
Iluminancia	$E = d\phi_{lum} / dS$	lux (lumen/m ²)
Luminancia	$L = d\phi_{lum} / d\lambda\omega dS \cos \alpha$	cd/m ²

Fig. 36

6. **Coefficiente de absorción:** Relación entre el flujo luminoso absorbido por una superficie y el flujo luminoso incidente sobre ella. Se expresa en valores porcentuales.
7. **Coefficiente de transmisión:** Cociente entre el flujo luminoso transmitido por la superficie y el flujo luminoso incidente en ella. Se mide en porcentaje al igual que el coeficiente de absorción.
8. **Coefficiente de reflexión:** Cociente entre flujo luminoso reflejado por una superficie y el flujo luminoso incidente en la misma. Se mide en porcentaje.

Cuando se produce la incidencia sobre una superficie de un flujo luminoso, parte se transmite, parte se absorbe y el resto se refleja.

Cualquier material tiene por lo menos dos de los coeficientes, es decir, que tiene una absorción, transmisión o reflexión, ya que no existe ningún material que sólo realice un solo mecanismo, es por eso que es muy importante los cerramientos, tanto constructivamente como acabados y color, de un espacio para poder estudiar la luz que se absorbe, la que resulta reflejada y cual se transmite, para así adecuarla a las necesidades de la obra que se va a exponer, en el caso de un espacio expositivo.

Podemos ver en la fig. 37 la dirección que toma la luz tanto reflejada como la absorbida, así como la transmitida con un material.

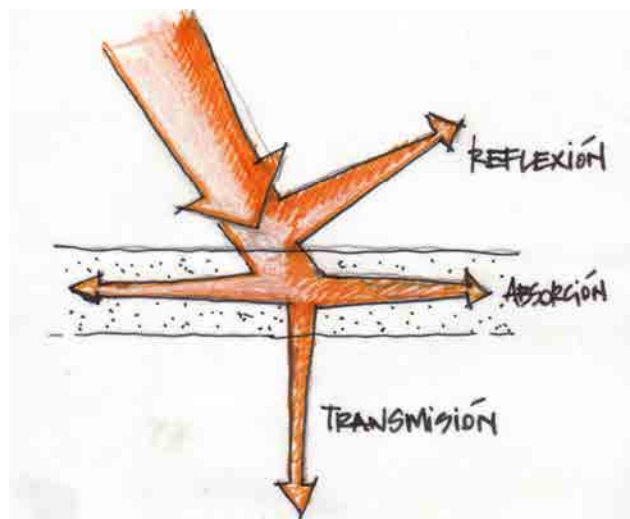


Fig. 37

9. **Contraste:** Se cuantifica la diferencia de luminancias que el ojo percibe para ver los objetos. El contraste depende de la diferencia que existe entre la luminancia del fondo y la luminancia del objeto, cuando esa diferencia es demasiado grande el observador pierde precisión en la percepción de las texturas y los colores.
10. **Deslumbramiento:** Debido a un exceso de luz se produce una excesiva excitación de una parte de la retina anulándose la percepción del campo visual de menor luminancia.

“En el diseño del alumbrado de museos ha de tenerse un especial cuidado con el deslumbramiento tanto el directo como el indirecto ya que puede ser la causa que no permita percibir bien las obras expuestas y más aún cuando estos se encuentran en subcontenedores con superficies acristaladas como es el caso de las vitrinas”¹⁰

B.VI

Debemos apuntar que, el deslumbramiento, se puede producir tanto por la luz artificial como por la luz natural, la segunda es objeto de estudio en esta tesis para el caso práctico específico.

Entendida la naturaleza de la luz y sus conceptos básicos, así como las magnitudes que la cuantifican, podemos proceder a explicar la luz natural de una manera más concreta, comprendiendo los parámetros que debemos gestionar para su control.

¹⁰ Rico, Juan Carlos. “Los conocimientos Técnicos. Museos Arquitectura arte” Madrid, 2009. Editorial: Silex, nº ISBN 978-84-7737-218-9.

01.03.03 La luz natural

Como decíamos al introducir el tema de la tesis, la luz natural en la arquitectura ha sido muy importante para los arquitectos. Se ha estudiado, se ha manejado y modificado con un objetivo en cada caso.

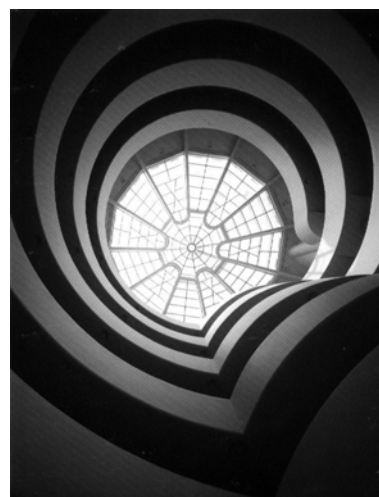
Conseguir introducir luz en un espacio, de una manera perfecta, en donde la geometría del espacio, perfecta, se ponga de manifiesto.

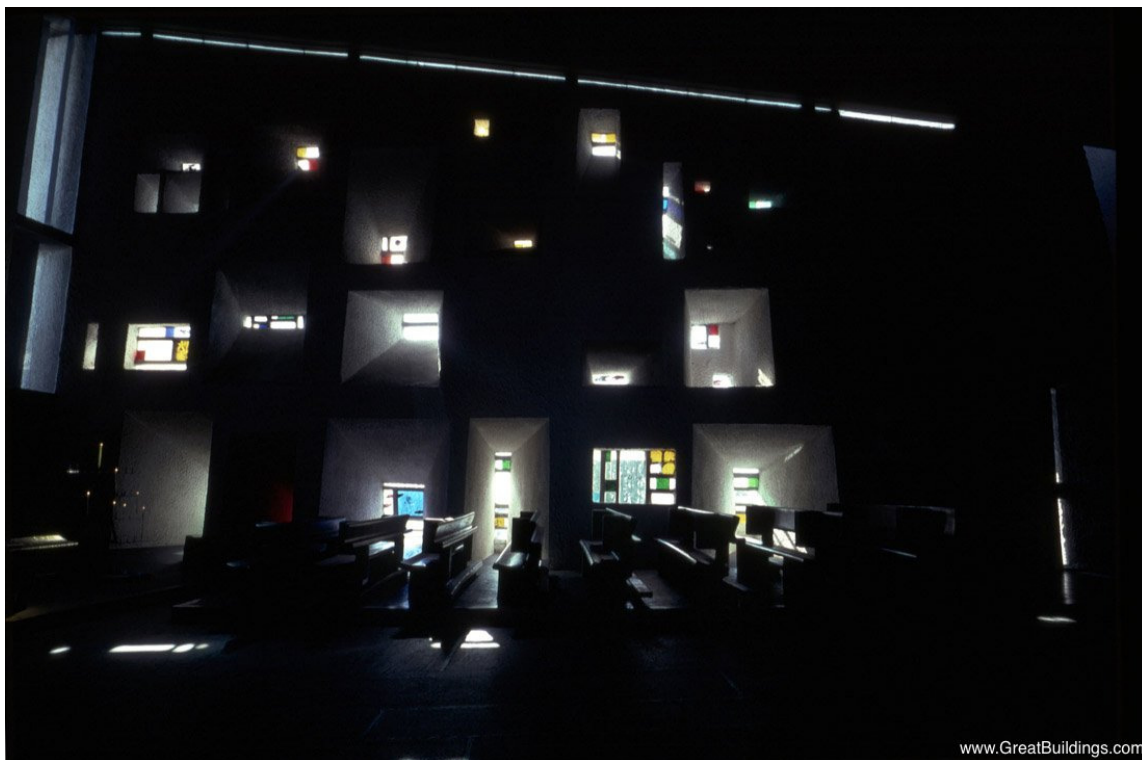


Fig. 38 Panteón 27 A.C. Roma.

Conseguir que el dinamismo de una rampa continua, se vea acentuada con el dinamismo de la luz cambiante que los baña todo.

Fig. 39 Museo Guggenheim. New York, 1937. Frank Lloyd Wright





B.VI

Fig. 40. Capilla de Ronchamp. Ronchamp, 1950. Le Corbusier

Con seguir que la luz entre en un espacio, y lo convierta en un espacios espiritual, jugando con el color.



Fig. 41. Museo de la Luz. Portugal 2000. Pedro Pacheco



Fig. 42. Central Station. Nueva York, 1871.



Fig.43. Capilla brotherklaus. Alemania, 2007. Peter Zumthor.

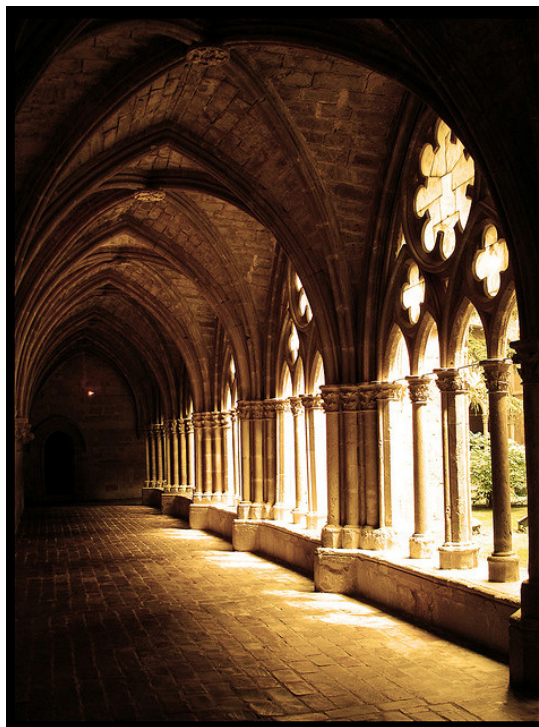


Fig. 44. Monasterio de Veruela, Zaragoza

B.V1

Hay muchas formas de introducir la luz natural en los espacios, muchas maneras de tratarla, de controlarla y de utilizarla, pero para comprenderla y saber cómo manejarla debemos empezar por comprender su naturaleza, sus efectos sobre el ser humano, y sus características físicas, con el fin de poder adecuarla al espacio y las necesidades que tenemos.

“La luz visible es una región del espectro electromagnético cuyas ondas electromagnéticas tienen una longitud de onda que va desde el rojo (780 nm), al violeta (380 nm). Esta pequeña región del espectro es la energía el ojo humano y nos permite ver los objetos: el espectro visible.

La luz natural es una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, que proporciona un rendimiento de colores perfecto, con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias, con una dirección variable de la mayor parte de la luz incidente.”¹¹

¹¹ “Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios” Madrid, 2005. IDEA, nº ISBN: 9788486850920

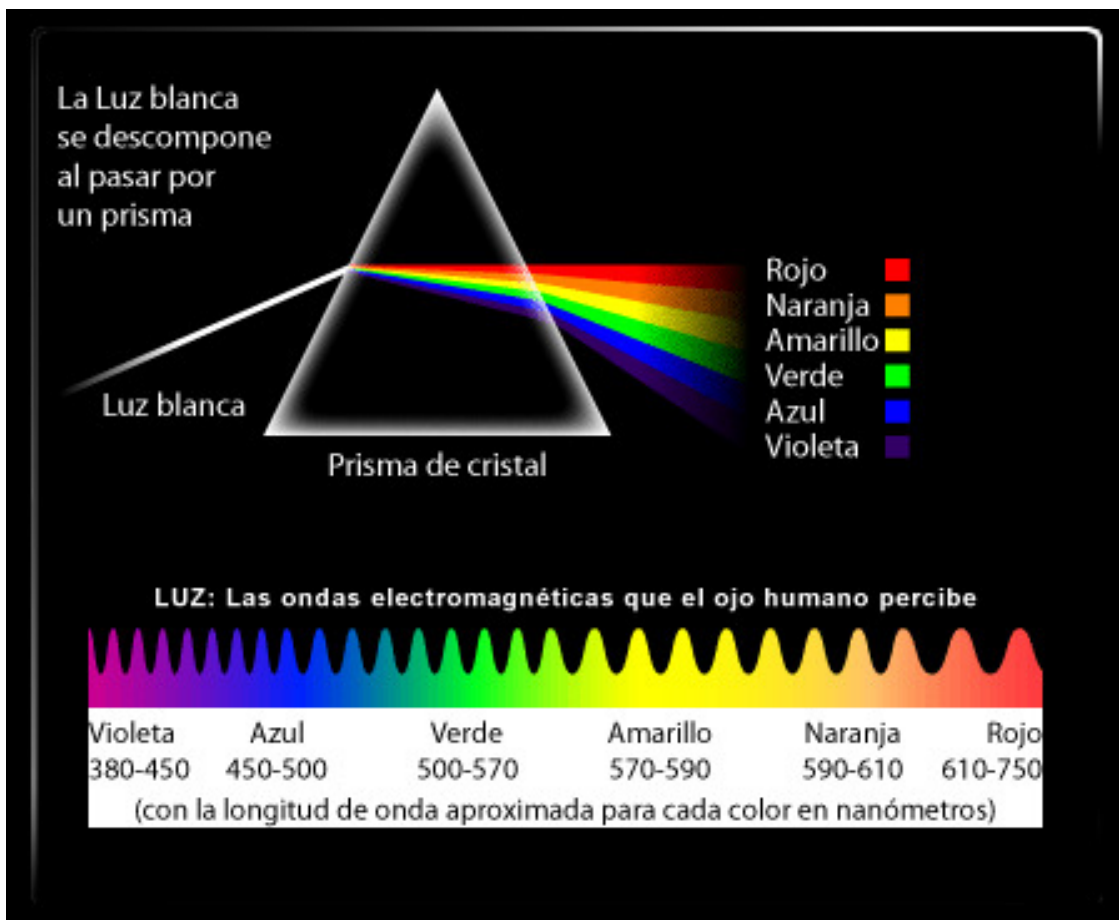


Fig. 45

La luz directa del sol alcanza valores de entre 60.000 lux y 10.000 lux., lo que quiere decir que es extremadamente intensa para que pueda utilizarse en espacios interiores en muchas de sus actividades.

Por ese motivo, generalmente se prefiere eliminar su uso, sobre todo en espacios expositivos.

La luz natural depende de varios factores, como son la latitud, la meteorología, la época del año e incluso la cercanía a la costa.

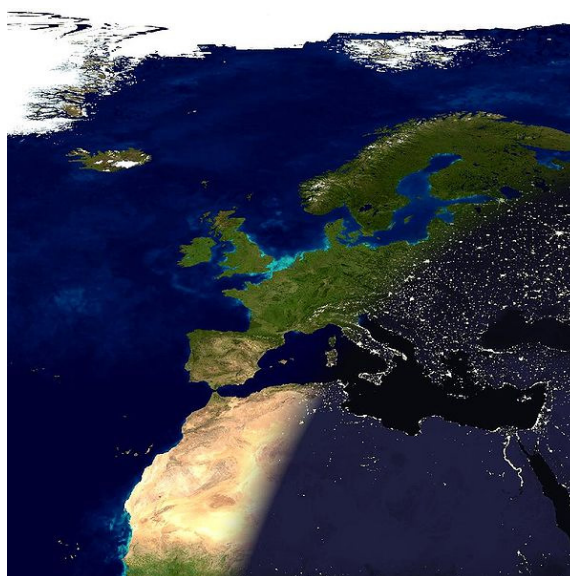


Fig. 46

B.VI

Dependiendo del clima la luz varía hasta ser impredecible la cantidad y calidad de luz que habrá en una época del año.

Como apuntábamos, la luz natural cambia con la posición geográfica, aun así, estando en el mismo meridiano, tiene una luz natural muy distinta.

Además la luz natural se ve afectada por el clima y por las épocas del año. De esta forma en invierno tenemos menos horas de luz y suele estar nublado, mientras que en verano tenemos además de más horas de luz, mayor incidencia solar, al estar el cielo despejado.

Dentro de un mismo clima, afectan los accidentes geográficos, que puedan formar nieblas. También influye la vegetación que varía la radiación solar en un lugar, modifica la iluminancia de la bóveda celeste y provoca menos luminancia en los espacios exteriores.

Además de estos elementos que modifican la luz natural y las condiciones en las que la percibimos, la contaminación puede ser un factor muy influyente en la intensidad de luz natural que entra en un espacio. Lo hace de la misma forma que puede afectarle un cielo nublado. Este hecho ha pasado ya en el pasado con la expulsión de los humos desde las fábricas(fig. 47), de la misma manera que pasa hoy en las ciudades, que además de la industria le afecta la cantidad de contaminación que se expulsa desde los coches. (Fig. 48)



Fig. 47 1831 Uk Cámara de los Comunes de la Comisión de Fábrica



Fig. 48 Lifen, China

La luz natural influye de una manera muy directa sobre el ser humano, **PSICOLÓGICA Y FISIOLÓGICAMENTE**

La humanidad se ha adaptado a todo el rango del espectro solar durante toda su evolución. Hoy en día estamos expuestos la mayor parte del día a luz artificial que contiene únicamente un rango muy restringido del espectro solar. Una de las muchas consecuencias que puede tener es que no sintetizamos la vitamina D.

La mala iluminación tiene efectos tan nocivos como la malnutrición en nuestro organismo.

Otra de las consecuencias de la falta de luz solar en las personas es el trastorno afectivo estacional.

El **trastorno afectivo estacional** o depresión invernal o sus siglas en español (TAD o DI), es un trastorno emocional cíclico que ocurre durante la estación de invierno, causado por la insuficiencia de luz solar.

Este padecimiento es más común en los lugares de mayor latitud, donde persisten los inviernos prolongados y que tienen pocas horas con luz diurna. El principal síntoma que presenta es la depresión mayor, en cuya transición existe el riesgo del suicidio. Su origen puede estar relacionado con la regulación de la temperatura del cuerpo y el cambio hormonal, derivado del estímulo de la glándula pineal y la consecuente variación de melatonina.

La luz solar regulada además **el ritmo circadiano**. El sistema circadiano es el conjunto de elementos que controlan los ritmos biológicos de naturaleza circadiana. Estaría integrado por tres elementos:

- El oscilador endógeno o marcapasos, capaz de generar una señal circadiana (puede no ser único).
- Las vías aferentes al marcapasos, que permitan la llegada al mismo de las señales de sincronización procedentes del medio externo.
- Las vías eferentes desde el marcapaso hacia los efectores que exhiben la ritmicidad circadiana. (Ver fig. 52)

Aplicamos el término ritmo biológico a toda oscilación, regular en el tiempo, de una variable biológica.

La luz solar regula estos ritmos, el privar al cuerpo de la misma a lo largo del día, provoca alteraciones en el mismo.

Regulación del ritmo circadiano

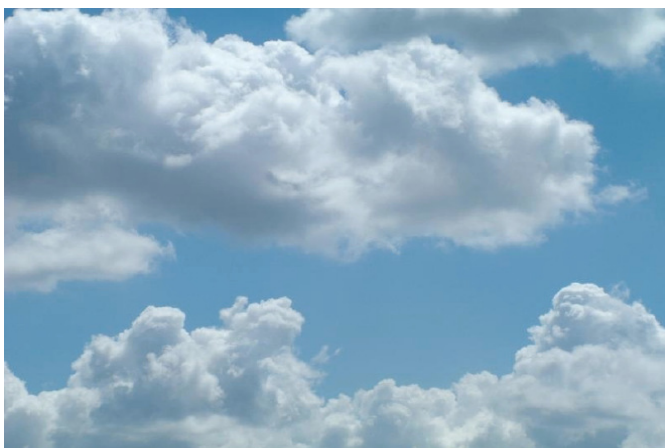


Fig. 49

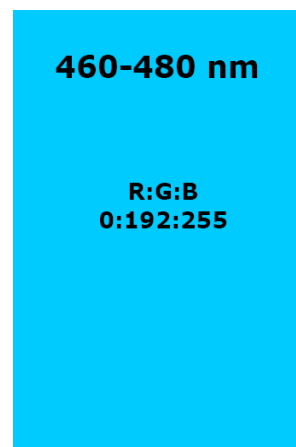


Fig. 50

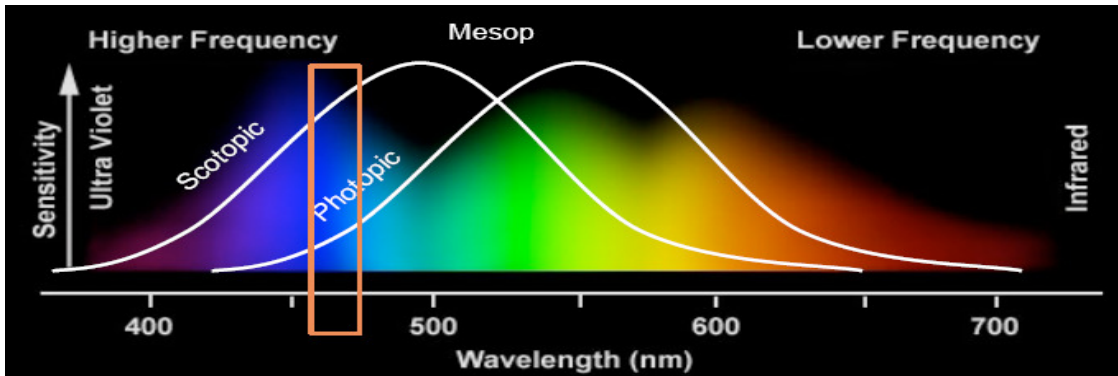
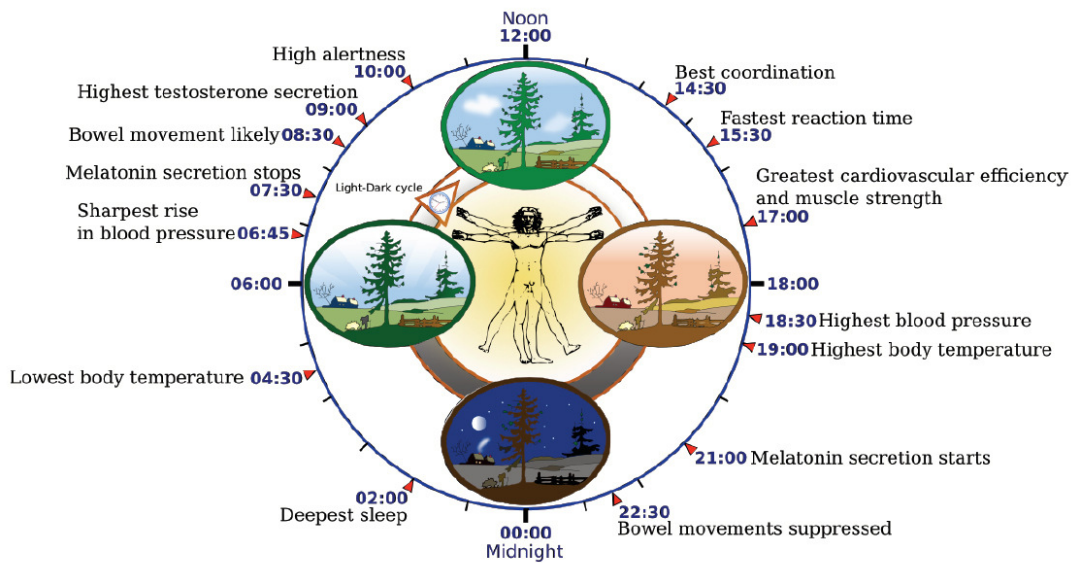


Fig. 51

B.VI



Circadian Rhythm

Fig. 52

Por otro lado debemos comprender la forma en la que la luz solar, natural nos llega.

De la misma manera que las lámparas son los distintos tipos de fuentes que tiene la luz artificial, la luz natural también tiene distintos tipos de fuentes.

Fuentes de la luz natural: (fig. 53)

1. **Luz solar directa:** Haz directo procedente del sol.
2. **Luz solar indirecta:** La luz procedente de reflexiones.
3. **Luz natural difusa:** Luz natural difundida en la atmósfera.

Por lo tanto “**la luminaria natural**” son los edificios colindantes, las superficies de la Tierra, las plantas, etc. Todos estos elementos contribuyen a la modificación de la luz natural y a su difusión o reflexión, antes de su entrada en un espacio interior.

Incluso, podríamos llegar a entender que la bóveda celeste, es una parte más de esta luminaria, ya que refleja a la Tierra la luz emitida por el sol, siendo la componente difusa de la luz incidente del sol.

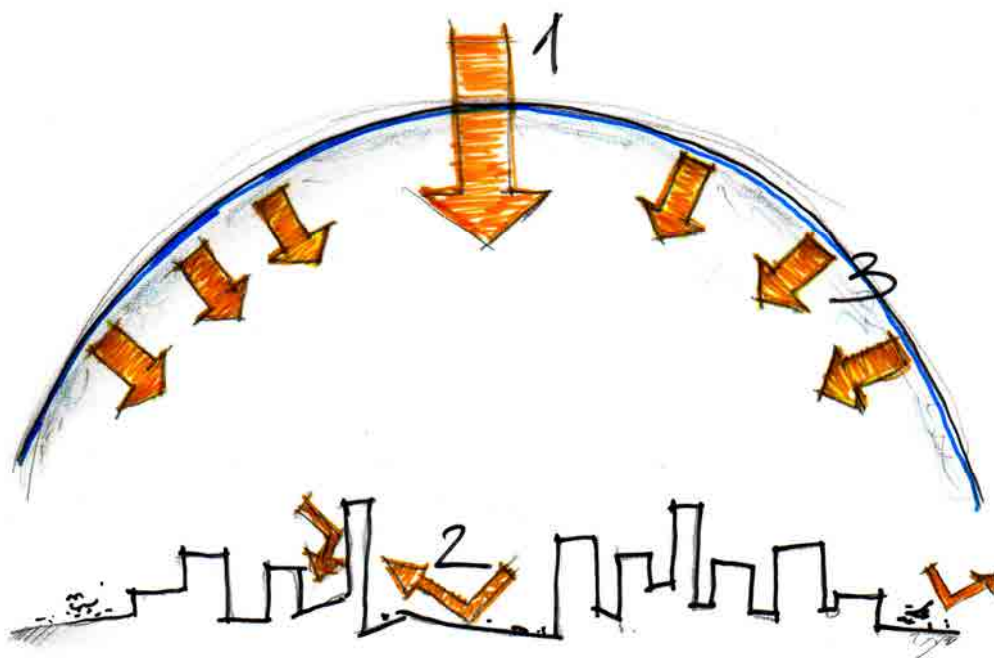


Fig. 53

Podemos decir que la luz natural tiene **dos componentes diferenciadas:**

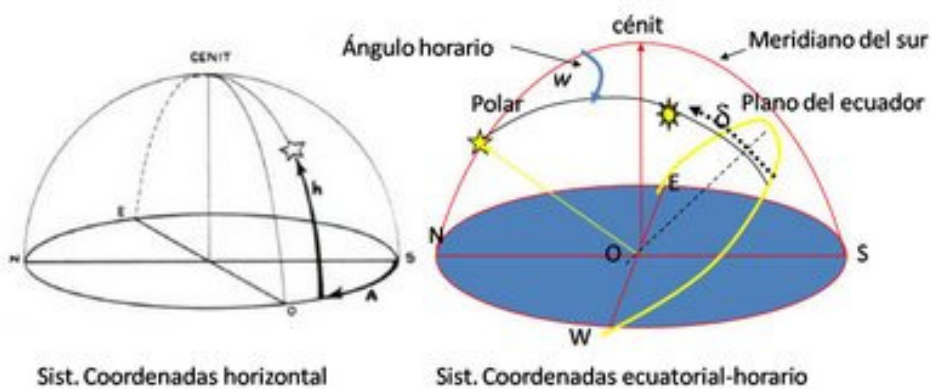
1. Luz difusa de la Bóveda celeste
2. Luz directa de incidencia del sol

El sol es el que determina las características de la luz natural. Dado nuestro movimiento con respecto a él, se determinan las horas de día, los cambios estacionales, o los cambios a lo largo de un mismo día, de la luz natural.

La luz natural que tenemos a primera hora del día, no es la misma que la luz por la tarde, no solamente por la diferencia de luminancia sino que cambia incluso la **temperatura de color de la luz**, pudiendo pasar en casos de 2000 Kelvin a más de 10.000 K.

A la Tierra desde el sol, llega, a través de la atmósfera, únicamente la radiación visible de 380 nm a 780 nm.

A continuación vemos unos gráficos que nos indican los ángulos básicos que se han de conocer para hacer un estudio de la luz natural.



B.VI



Fig. 54

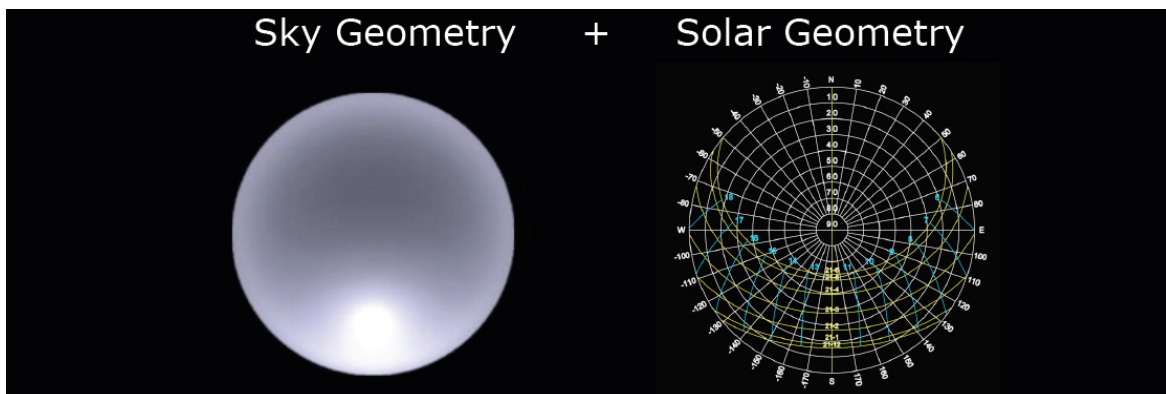


Fig. 55

Tal y como antes apuntábamos existen 3 tipos de fuentes de luz natural:

1. Luz solar directa:

Es la componente de la luz natural que procede directamente del sol. S

Se caracteriza por su continuo cambio de dirección, su temperatura de color y la gran iluminancia que produce en su incidencia en un espacio interior o exterior.

2. Luz solar indirecta:

Esta luz es la que proviene de la reflexión de la luz incidente solar en los muros, pavimentos, elementos urbanísticos, vegetación o elementos orográficos, y entran en los espacios arquitectónicos. Este tipo de luz natural es un verdadero aporte de luz natural, ya que se utilizan para potenciarla, en el entorno de los edificios elementos reflectantes que la dirijan al interior de los edificios sin que sea incidente.

3. Luz natural difusa:

Es aquella que procede de la bóveda celeste.

En la mayoría de los proyectos de iluminación, la luz directa del sol no se cuantifica y se cuenta únicamente con la luz difusa. La luz directa se excluye porque se debe evitar su entrada en los espacios de actividad. Genera contrastes excesivos y causa deslumbramiento.

Para poder estudiar la luz natural difusa, debemos comprender los tipos de cielos estandarizados que existen para los estudios lumínicos y sus distribuciones lumínicas.

Los datos de cielos básicos nos proporcionan la información sobre las condiciones relativas de las posibles aportaciones de luz natural que, el edificio en su interior, va a poder tener.

La diferencia entre cielos del sur y cielos del norte, ya suponen un parámetro a tener en cuenta en el diseño y el análisis de la luz natural incidente en un espacio. También necesario conocer una información climática y temporalmente exacta y fácilmente disponible para el análisis y diseño.

Una de la instituciones encargadas de establecer estos parámetros, **La Comisión Internacional de Iluminación** - también conocido como el **CIE** de su título francés, la Comisión Internationale de l'Eclairage - se dedica a la cooperación mundial y el intercambio de información sobre todos los asuntos relacionados con la ciencia y el arte de la luz, la iluminación, color visión, fotobiología y tecnología de la imagen.

CIE ha publicado la norma "CIE distribución espacial de la luz del día S003 - cielo nublado CIE estándar y cielo despejado" en 1996. Desde entonces se han estudio muchos tipos de cielos, y se ha llegado a un consenso internacional en el que se validan sus luminancias y normalizaciones para el cálculo de la iluminancia exterior.

La distribución de la luminancia del cielo depende de la meteorología y el clima, y los cambios durante el transcurso de un día por la posición del sol.

Esta norma enumera una serie de distribuciones de luminancia y establece modelos de cielo según una amplia gama de condiciones, desde un cielo muy nublado hasta un cielo completamente despejado.

Se establece con dos propósitos:

1. Ser una base universal para la clasificar la medida de distribución lumínica del cielo.
2. Para proporcionar un método de cálculo de la luminancia en el cielo para los procesos de diseño.

Esta norma incorpora tanto el cielo despejado CIE, como el cielo cubierto CIE, que se tratan como casos particulares de los cielos en general.

La explicación del cometido de esta comisión y de los parámetros que ha estandarizado se debe, a que en muchas ocasiones y en muchas publicaciones se hace referencia a cielos CIE, por lo que es necesario conocer los estándares que establecen y como se ha realizado.

Tipos de cielos

1. **Cielos cubiertos:** Aquellos que tienen una distribución de luminancia homogénea. Existen varias clasificaciones para este tipo de cielo. Mientras la estandarización Británica, CIBSE, establece un cielo cubierto, como aquel cielo que tiene un 90% de cielo cubierto por nubes, y el sol no está visible, otras clasificaciones establecen el porcentaje ya en un 70%.

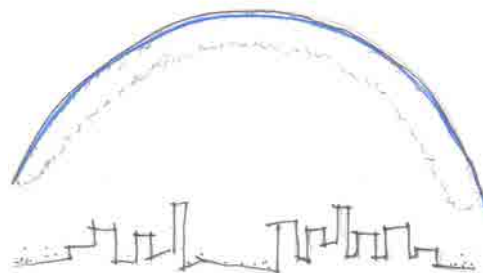


Fig. 56

2. **Cielos claros:**

Se establecen dos criterios para la definición de este tipo de cielo, por un lado aquel que no está obstruido por nubes, según la estandarización CIBSE, mientras que la Norteamericana, IESNA, establece que un cielo es claro cuando menos de un 30% de su superficie esta obstruido por nubes.

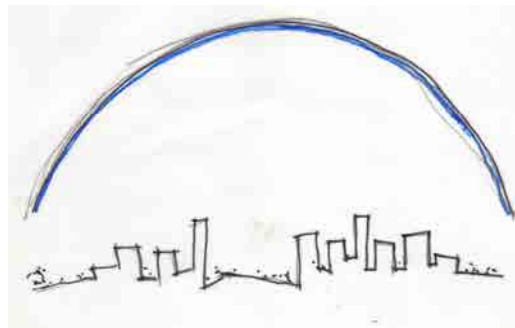


Fig. 57

3. **Cielos nubosos-cielos reales:**

Es aquel que tiene una presencia estacional del sol alternada por períodos de nubosidad variable. Es un cielo muy variable por lo que puede pasar de una iluminancia de 100.000 lux, sin nubes, a 10.000lux. Al ser tan variable no se dispone de un modelo específico simple.

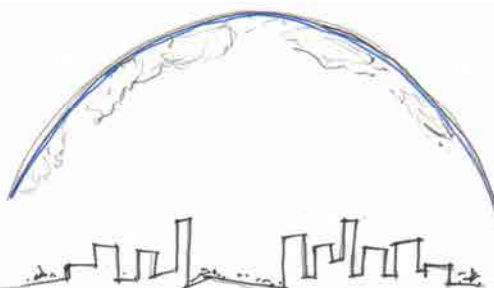


Fig. 58

01.03.03. a Parámetros de diseño con luz natural

A la hora de diseñar un edificio para el aprovechamiento de la luz natural, se han de resolver unas premisas básicas.

1. Se ha de resolver la incidencia directa del sol: Puede provocar en ocasiones deslumbramientos o malestar dentro de las salas, obteniendo zonas de luz y sombra, originando contrastes molestos y que distorsionen la visión de los espacios.
2. La iluminación mediante luz natural debe conseguir que los usuarios del edificio, puedan orientarse en espacio y tiempo, debiendo, además, crear una sensación adaptada a las necesidades de las personas en ese espacio, facilitando la percepción y reconocimiento del entorno y las personas.
3. Los materiales de revestimiento interior deben tener unos coeficientes de absorción, reflexión y transmisión, de la luz natural que permita su mayor aprovechamiento en el interior, adecuando esta luz a las necesidades de la actividad que se va a realizar en ese espacio.

Para conseguir estas condiciones de iluminación dentro de un edificio:

Por un lado, es fundamental la selección de la abertura de penetración de la luz natural y su orientación, es decir **el hueco**. Es el factor esencial para el control de la calidad y cantidad de luz natural que entra en el edificio.

Por ejemplo un hueco abierto a norte tiende a una luz con tonos azules procedentes de la parte de cielo sin sol, ya que la luz indirecta de la bóveda celeste tiene una mayor temperatura de color que el haz solar.

Para proceder a un adecuado diseño de la abertura, se deben conocer con rigor las **condiciones lumínicas exteriores al edificio**, lo que supone conocer los **cálculos para el estudio de la luz natural** en diferentes entornos y condiciones.

Se debe tener en cuenta también los **materiales de los edificios o espacios colindantes**, ya que estos influyen en la modificación de los parámetros de luz natural reflejada desde los mismos, que entra en el edificio, pueden modificar la temperatura de color de la luz reflejada, su dirección, así como la luminancia que reflejada, según sea más o menos absorbentes.

Estos son alguno de los parámetros que se han de tener en cuenta para el diseño del aprovechamiento de luz natural en un edificio de nueva construcción.

El caso que nos ocupa es de rehabilitación, por lo que, la mayor parte de los parámetros susceptibles de diseño para el aprovechamiento de la luz natural, vienen dados.

Aun siendo un proyecto de rehabilitación, el estudiar como diseñar un edificio para el óptimo aprovechamiento de la luz natural, nos da premisas para estudiar los espacios existentes en el edificio y la luz natural que tienen. De esta forma podemos tener pistas de como modificar los huecos, para conseguir que se utilice en menor medida la luz artificial.

Las condiciones para el diseño, son aplicables en vez de como parámetros de diseño, como parámetros de análisis.

En el diseño de un edificio de nueva construcción, se ve condicionado por dos tipos de relaciones:

- La relación entre edificio y entorno
- La relación entre edificio y espacio interior.

En cuanto a la **relación que el edificio mantiene con el entorno**, se ha de tener en cuenta la ubicación del edificio con respecto a grandes obstáculos que lo rodean. P Estos elementos pueden tener un gran impacto tanto, en la cantidad, como la calidad de luz que entra al edificio por sus huecos.

También afecta a la entrada de luz en el edificio si este está situado en una pendiente o no. Cuanto mayor sea la pendiente, menor será la cantidad de luz que entra por los huecos. Si se sitúa en una pendiente orientada al sur tendrá mayor incidencia, así como mayores temperaturas.

La iluminación lateral en un edificio establece un límite a la profundidad que pueden tener las salas o los espacios, para que la luz natural pueda cubrir en mayor medida las necesidades lumínicas. Esta limitación puede contrarrestarse mediante el uso de ventanas altas relacionado con espacios altos.

Para establecer la profundidad que puede tener una sala se utilizaría la siguiente fórmula:

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{H_w} < \frac{2}{(1-R_b)}$$

L = Profundidad de la sala

W= anchura de la sala

Hw=altura de la parte superior de la ventana desde el nivel del suelo

Rb= Reflectancia promedio de las superficies en la mitad posterior de la sala. ¹²

Con esta fórmula, y sabiendo el ancho que nos viene establecido por el edificio, podemos saber si las salas van a tener luz en su parte más profunda.

En caso de la entrada de luz por paredes opuestas, la profundidad que se puede dar a la sala es el doble del valor L.

En el caso de lucernarios, conseguimos iluminar espacios centrales a los que no llega la luz lateral por profundidad, la luz cenital, además, evita deslumbramientos, y según el diseño del lucernario, puede ser una luz difusa y homogénea.

*“Lo que denominamos **línea sin cielo** es aquella línea a partir de la cual no se recibe luz del cielo directa. Si un área significativa del plano de trabajo se encuentra más allá de ésta, distribución de la luz natural en la sala parecerá pobre y se requerirá alumbrado artificial suplementario”¹³*

En el trazado de la línea sin cielo, los puntos importantes son las esquinas superiores de las ventanas.

En un edificio de nueva construcción, podríamos variar el punto de altura de la ventana, con el objetivo de conseguir mayor profundidad en la llegada de la luz natural a la sala. Lo que nos ocupa son proyectos de rehabilitación, por lo tanto; este análisis nos sirve para determinar, de una manera experimental, hasta dónde llegará la luz natural, según el ángulo de incidencia. Este ángulo nos viene marcado por la época del año, la orientación y la hora del día. Si ya existe el edificio y los obstáculos exteriores, la línea sin cielo se calcula como vemos en la siguiente figura.

¹² “Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios” Madrid, 2005. IDEA, nº ISBN: 978848685092

¹³ “Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios” Madrid, 2005. IDEA, nº ISBN: 9788486850920

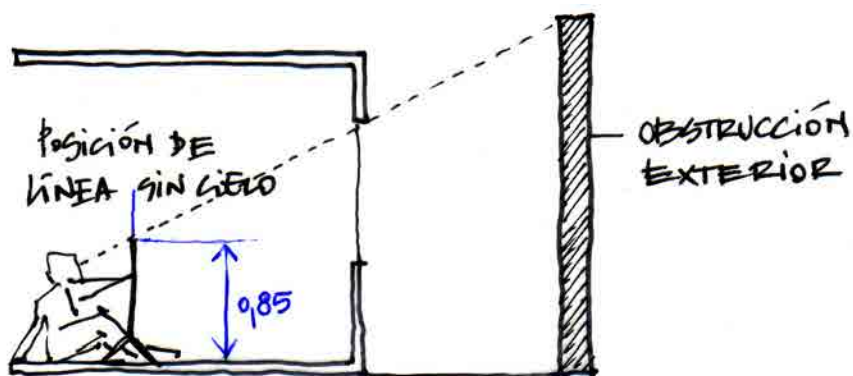


Fig. 59 Modo de media la línea sin cielo teniendo en cuenta situación de ventana y obstáculo exterior.

En cuanto a la orientación del edificio hay dos aspectos importantes:

- El recorrido del sol.

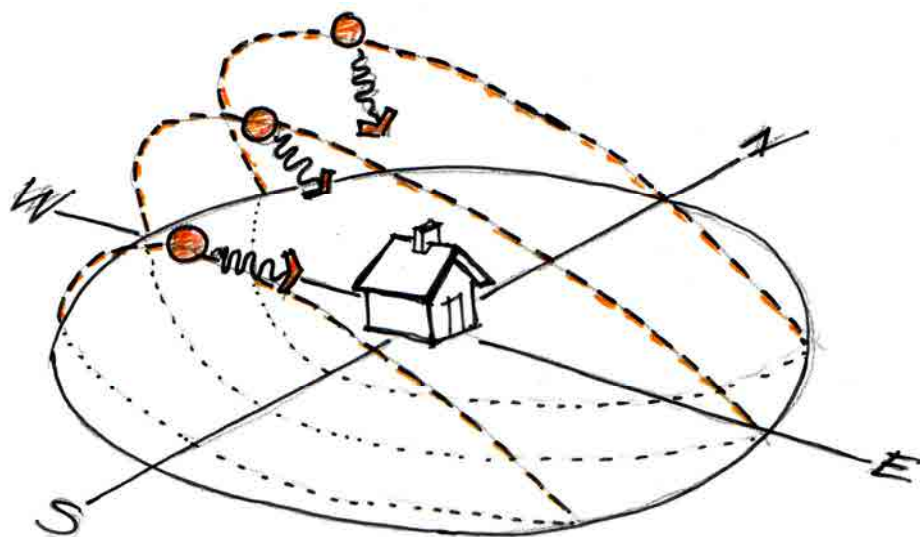


Fig. 60

- Permitir que la gente conozca donde se encuentra en el interior del edificio.

La orientación de los huecos en el edificio en relación al recorrido del sol varía mucho la luz que entra en el edificio.

Mediante una carta estereográfica podemos saber la altura y azimut para una posición geográfica específica, lo que nos permite sacar los ángulos que utilizaremos para trazar la sombra que se produce en el interior de los espacios.

01.03.03. b Cálculo de la luz natural

Para realizar el estudio de la luz natural en un espacio, necesitamos una serie de datos, estos valores los podemos obtener de dos formas:

1. **Métodos de cálculo** que nos explican en que parámetros y que unidades se utilizan para determinar los valores medidos de luz natural y
2. **Herramientas de simulación para el cálculo:** Manera en la que podemos recrear el espacio de estudio a una escala o en sistema manejable para nosotros, cuando las medidas no se puede medir físicamente en un espacio. Cuando lo que estamos haciendo es proyecto un nuevo edificio, el utilizar estas herramientas es inevitable ya que no existe el espacio que estamos estudiando, pero no es así cuando se trata de una rehabilitación, ya que el espacio es preexistente y sí tenemos la posibilidad de estudiar el espacio real que vamos a modificar. Pero en muchas ocasiones no es posible experimentar con el espacio real, o muy costoso, por lo que nos apoyamos también para el estudio en estas herramientas de simulación:

- a. Maqueta real + Heliodon.
- b. Maqueta virtual + programa informático de simulación.

- **Métodos de cálculo**

- Los métodos para calcular la iluminación en un espacio interior se pueden clasificar en dos:

1. *Método que proporcionan **iluminación relativa** (valores expresados en porcentajes) **Factor medio de luz natural:** Permite saber la iluminación con luz natural que tiene una sala con un cielo cubierto con nubes, la iluminancia relativa es frecuentemente percibida como una constante que no varía con la hora del día ni con la orientación de la abertura.*

2. *Métodos que proporcionan **valores absolutos de iluminación** interior de un local. La iluminancia absoluta varía con el tiempo, hora, mes estación, con la orientación y con las **condiciones del cielo**, ya sea claro, parcialmente nublado o cubierto.*

Factor de luz natural (factor de iluminancia natural)

Para cuantificar la cantidad de luz natural que hay en una superficie interior, como decimos, existen varios métodos, pero el más exacto y recomendado por el CIE, es el factor de iluminación natural o factor de luz natural.

Determina la luz en una serie de puntos de esa superficie y de ahí su mayor exactitud.

$$D = \left[\frac{E_{\text{entrada}}}{E_{\text{salida}}} \right]$$

También es importante tener en cuenta el factor promedio de la distribución de luz, ya que aun teniendo un factor de luz natural alto puede ser que en partes de la sala no llegue la suficiente luz, ya que la entrada no es de la manera homogénea, y zonas de la sala puede quedar en penumbra o incluso a oscuras, por ser espacios demasiado grandes.

Para determinar el factor de luz natural promedio (D) debemos utilizar la siguiente expresión matemática:

$$D = \left[\frac{E_{\text{entrada}}}{E_{\text{salida}}} \right] \times 100\%$$

dónde:

E_{entrada} es la iluminancia interior media

E_{salida} es la iluminancia exterior horizontal sin obstáculos.

Para el cálculo de la luz natural procedente de una ventana lateral el procedimiento de cálculo se hará a partir de la siguiente expresión matemática:

$$D = \frac{0.85 \times T \times A_w \times 0}{A(1 - R^2)} \%$$

dónde:

T es la transmitancia difusa visible del acristalamiento

Único cristal transparente: $T = 0,9$

Triple acristalamiento: $T = 0,8$

A_w es el área acristalada neta de la ventana (m^2)

A es el área total de las superficies de la sala:

Techo, suelo, paredes y ventanas (m^2)

R es la reflectancia media

θ es el ángulo del cielo visible, en grados (ver esquema de sección)

Suponiendo que no exista una iluminación artificial interior en un espacio el factor de luz natural deberá ser como mínimo del 5%.

El factor de luz natural se obtiene a partir de **3 componentes básicos**:

1. Componente del cielo
SC
2. Componente Reflejada
exteriormente **ERC**
3. Componente Reflejada
Interiormente **IRC**

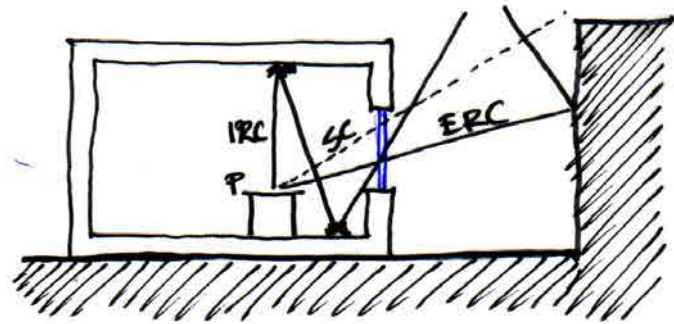


Fig. 61

Este factor cuantifica en un punto interior determinado, todos los efectos tanto exteriores como interiores de la iluminancia, como son:

1. Las dimensiones del espacio
2. La reflexión de los materiales interiores
3. El hueco: forma, posición y orientación
4. Los elementos exteriores de obstrucción

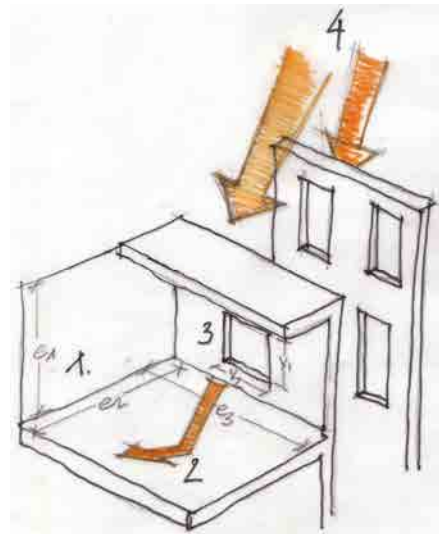


Fig.62

Hay tres valores diferenciados para el *factor de luz natural*:

5. Factor de luz natural PROMEDIO
6. Factor de luz natural MÍNIMO
7. Factor de luz natural UNIFORME (FLN_{\min} / FLN_{prom})

Según el lugar geográfico del que estemos hablando, podremos hablar de datos interesantes de Factor de iluminación natural.

Dado que este valor es un valor porcentual de una luz natural exterior, si estamos en un país en el que lo habitual es que el cielo este nublado, su factor de iluminancia natural, de un 2%, es bueno para el uso dentro de edificios como museos, ya que el 2% supone unos 60 lx, o 150 lx si estuviésemos hablando de un 5%.

Pero cuando hablamos de países como España la mayoría de los días disponen de 10.000 lx y hay días que puede llegar a alcanzar los 100.000 lx, por lo que un 2% de este valor sería, 2000 lx, un valor de luminancia excesivo para el interior de un edificio, por ejemplo para museo.

De esta forma, concluimos que, los valores recomendables de Factor de luz natural, varía según el lugar donde se esté midiendo.

El factor de luz natural **únicamente es válido para cielos cubiertos**, es decir, cuando la luz natural es independiente de la orientación y de la posición del sol durante el día, ya que al permanecer el cielo cubierto, las nubes consiguen homogeneizar la dispersión de la luz solar. Si queremos saber la iluminación interior que va a tener un espacio que no está cubierto, debemos utilizar los métodos de valores absolutos de iluminancia en función de las condiciones de cielo.

Modelos de cielo:

Según hemos definido anteriormente en la introducción de este apartado existen tres modelos de cielos normalizados.

1. Cielo cubierto
2. Cielo claro
3. Cielo parcialmente despejado

1. CIELO CUBIERTO

Muchos cálculos de luz natural están basados en el cielo cubierto de la CIE. Éste representa la distribución de luminancias del cielo en condiciones de cielo muy cubierto. Es simétrico en acimut y su luminancia, L, aumenta con la altitud, en el cielo según la fórmula:

$$L_{\gamma} = \frac{L_z (1 + 2 \operatorname{sen} \gamma)}{3}$$

La luminancia del horizonte es sólo un tercio de la luminancia del cenit, L_z .

Se producen dos efectos que afectan al cálculo de la luminancia emitida por el cielo cubierto.

1. El horizonte será más brillante de lo que se predice
2. El área de cielo próxima al sol será más brillante, por lo que en salas orientadas al sur, existirá una mayor cantidad dentro de ellas.

Esto quiere decir que además de utilizar la fórmula, debemos aplicar los siguiente

Orientación	Factor
Norte	0.97
Este	1.15
Sur	1.55
Oeste	1.21
Horizontal	1.00

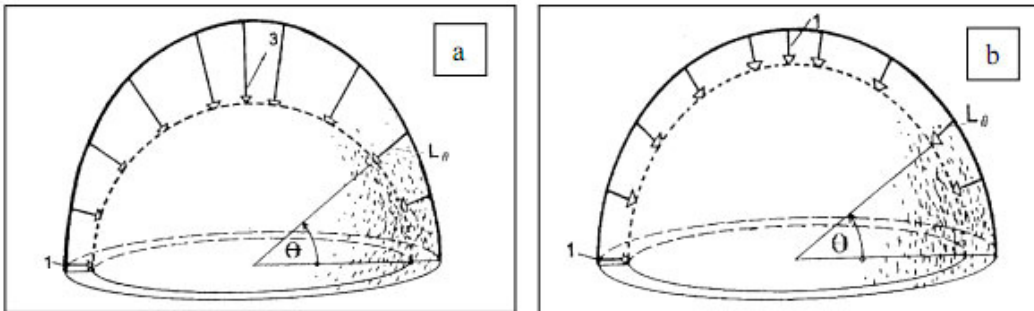
coeficientes en función de la orientación de los huecos, ya que a pesar de que en teoría no debería depender de ello, si se producen estos cambios.

Fig.63

Fig.63 Existe una simplificación de este tipo de cielo, el CIELO UNIFORME: que supone que existe una capa de nubes constantes en el cielo, con una atmósfera de turbidez constante. Su distribución de luminancias se puede ver en esta gráfica con respecto a las del cielo cubierto antes descrito.

2. CIELO CLARO

$$L(\theta) = \text{constante}$$



a) distribución de luminancias del cielo nublado. b) distribución de luminancias del cielo uniforme.

La CIE también describe el cielo claro. Será aquel que tiene más brillante su horizonte que su cenit, por lo que las salas iluminadas lateralmente serán las más luminosas.

El cálculo para la distribución de luminancias de cielo claro, es mucho más compleja que para un cielo nublado, porque se consideran los ángulos con respecto al sol.

Podemos concluir de estos métodos de cálculo, las siguientes premisas básicas para el control de la luz natural.

1. El cenit es 3 veces más luminoso que el horizonte en cielos nublados.
2. Cuando para el cálculo se escoge la versión simplificada del cielo nublado, que es el cielo uniforme, se ha de entender que los datos de luminancias son iguales independientemente de la dirección de donde proviene.
3. Siempre que utilicemos para el cálculo un cielo claro, la parte más brillante del mismo será en punto donde se localice el sol, por lo que en ocasiones el horizonte puede ser incluso más luminoso que el cenit.

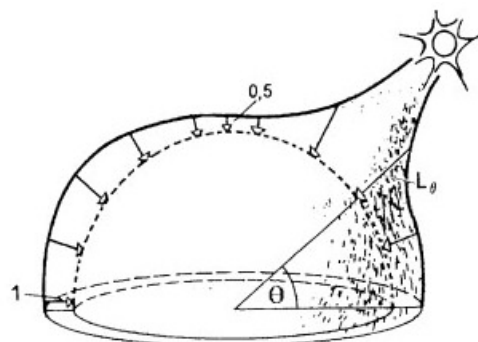


Figura 4. Distribución de luminancia de un cielo claro.

La ecuación de la distribución de luminancias del cielo claro es:

$$L_{\theta} = L_z \frac{1 - e^{-0,32 \frac{\text{sen } \theta}{0,274(0,91 + 10e^{-3k} + 0,45 \cos^2 \kappa)}}}{0,274(0,91 + 10e^{-3ZEN} + 0,45 \cos^2 ZEN)}$$

donde L_z es la luminancia del cenit, θ es el ángulo de altitud del punto considerado, k es la distancia angular de este punto desde el sol y ZEN es el ángulo cenital del sol.

- **Herramientas de simulación para el cálculo**

1. Maqueta real y el Heliodón.

Se realiza una maqueta a escala del espacio que se quiere estudiar. Esta maqueta debe simular, además de las dimensiones de los huecos, los grosores de muros y dimensiones del espacio que iluminan esos huecos, debe representar lo más fielmente posible las texturas y colores de los paramentos interiores del espacio que queremos estudiar, ya que estos afectan a los valores de iluminación que se midan en el interior de la maqueta.

Además de la construcción de la maqueta como elemento de verificación se debe realizar para la simulación de la luz solar un Heliodon.

El **Heliodon** o simulador de trayectoria solar, es un dispositivo mecánico que permite la simulación de la disposición del sol, o de su trayectoria, para una determinada condición espacial y temporal. El dispositivo sirve para evaluar el efecto que tendrá la trayectoria solar en modelos físicos arquitectónicos o urbanísticos de un proyecto de estudio. El simulador solar permite una visión tridimensional del comportamiento del sol frente a los edificios. Como apuntábamos anteriormente. Este sistema implica la construcción de modelos o maquetas, a escala.

Cualquier modelo de heliodón implica la construcción de una fuente de luz artificial que simula la acción solar. Esta fuente, fija o móvil, se relaciona con el resto de la instalación destinada a ubicar las tres variables de la geometría solar: La latitud (que determina los ángulos de posición solar en relación al lugar); el día del año (que determina el ángulo de declinación solar en ese día) y la hora del día (que determina los ángulos de posición solar para cada hora del día).

Existen una gran variedad de tipos, prototipos y modelos de simuladores de trayectoria solar, los cuales se suelen clasificar de manera general en los 3 siguientes tipos:

1. De fuente luminosa fija y modelo arquitectónico móvil
2. De fuente luminosa móvil y modelo fijo
3. De fuente luminosa y modelo móviles.

Existen por tanto muchos tipos de Heliodes con ligeras variaciones entre sí, por únicamente nombraremos los principales:

Heliódón de eje vertical:

El heliódón de eje vertical está formado por una plataforma con mecanismos giratorios horizontal y vertical, sobre la cual va fija la maqueta. El movimiento vertical inclinará a la plataforma simulando la latitud geográfica, mientras que el giro horizontal figura ángulos horarios. El simulador se completa con un poste vertical con una lámpara de reflector parabólico a fin de proyectar rayos de luz paralelos y lograr más veracidad en la simulación.

Helioscopio. Heliódón de eje circular

Los helioscopios son dispositivos similares al heliódón de eje vertical, donde los mecanismos de movimiento se dan en la lámpara, dejando a la maqueta fija horizontalmente.

Los helioscopios son más ilustrativos, ya que la lámpara, en sus distintos movimientos describe, con sus trayectorias circulares, la ruta aparente del sol sobre una bóveda celeste imaginaria; Lográndose así una simulación más precisa.

Thermoheliodon

El Thermoheliodon es un dispositivo de modelo fijo y fuente luminosa móvil desarrollado en la universidad de Princeton. Este heliódón, junto con una serie de dispositivos adicionales está conectado a una computadora, de tal forma que, además de establecer la posición celeste de sol también simula las condiciones climáticas ambientales.

A través de este mecanismo pueden analizarse:

- Sombras y penetraciones solares
- Radiación directa incidente sobre los distintos elementos arquitectónicos
- Temperaturas ambiente e interiores
- Efectos del flujo laminar de viento sobre el edificio.
- Flujos convectivos de aire debidos al calentamiento
- Efectos del terreno sobre el patrón del viento, tanto laminar como convectivo.
- Conducción térmica de los materiales.
- Etc.

Además de estos tipos de heliodón, existe un tipo de heliodón más sencillo y accesible, el Heliodon portátil.



Fig. 64



Fig. 65

Definición

El Heliodon portátil, que podemos ver en la figura 65, es un dispositivo de accionamiento manual destinado a utilizar el cielo real y el sol, para llevar a cabo estudios de iluminación natural en modelos a escala.

Una vez montado, el tablero de la mesa en la que los modelos a escala están asegurados tiene la capacidad para inclinar y girar en cualquier ángulo y orientación.

Los tiempos y las fechas específicas de la localización que se quiere estudiar se puede replicar ayudándose de las cartas solares, inclinando la plataforma con la maqueta con el fin de replicar su orientación con respecto al sol, que en el caso de este heliodón se utiliza como fuente de luz.

Este tipo de Heliodon podríamos llegar a entenderlo como uno en el que la fuente de luz esta fija, y el modelo arquitectónico móvil.

Las diferentes piezas de la heliodón portátiles están montadas en un soporte autónomo en el que se fija el modelo a escala del espacio o edificio objeto de estudio. Para hacer frente a un movimiento continuo aparente del sol, la plataforma tiene tres grados de libertad: la rotación de la base, la rotación de la mesa, y la inclinación de la mesa.

Los transportadores asociados a cada eje de rotación permiten al usuario ajustar los ángulos con precisión, incluso bajo condiciones nubladas. Se utilizan un conjunto de gráficos de sol: estereográficas y cálculos aritméticos simples para deducir los ángulos de inclinación correspondientes de la tabla.

Funcionamiento y construcción del heliodón.

Se colocan las patas (fig. 68) a la base redonda (fig. 67) con los cuatro tornillos de la máquina.

Alinee los puntos rojos durante el montaje. (Fig.66)



Fig. 66



Fig. 67



Fig. 68

Se coloca la base redonda de la base rectangular mediante la colocación de un perno a través de los agujeros del centro de ambos. Se aprieta una rosca negra en el tornillo.

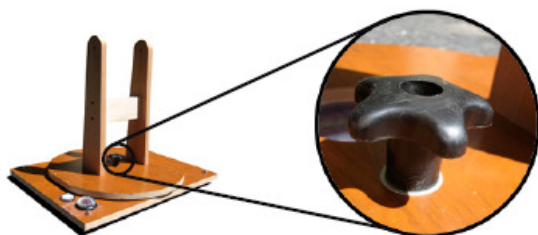


Fig. 69

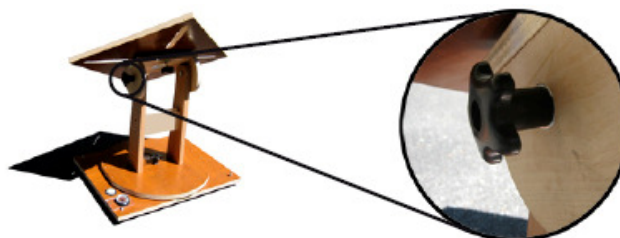


Fig. 70

Se monta ahora la tapa de la mesa giratoria a las patas mediante la inserción de un perno de carro a través de cada agujero. Se aprieta una rosca negra en el tornillo.

La base de la heliodón gira alrededor de su normal. Una brújula, así como un nivel de burbuja se fijan en él a fin de permitir una orientación precisa y nivelación. Estos ajustes son críticos para condiciones nubladas como ángulos de inclinación de los modelos se calculan sobre la base de las condiciones de referencia asumidas.



Fig. 71

El tablero de rotación tiene dos grados de rotación: en torno a un eje horizontal y en torno a su normal. Mediante las abrazaderas se ancla la maqueta a esta plataforma.



Fig.72

Se selecciona la latitud más aproximada a la ubicación del proyecto y se utiliza el diagrama o carta solar para la inclinación de la plataforma, basándose en la sombra arrojada sobre la misma de la pieza de referencia.

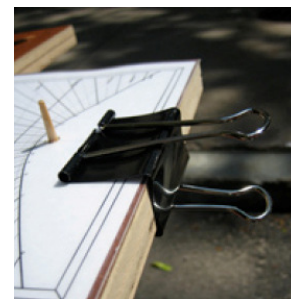


Fig. 73

B.VI

Los efectos de la luz del sol (la luz del día) se puede observar en los modelos a escala que utilizan el sol real y las condiciones del cielo actuales. Si una secuencia de imágenes se realiza durante un mismo día simulando la localización de estudio, el diseñador puede tener una idea de cómo la luz va cambiando a lo largo del día.

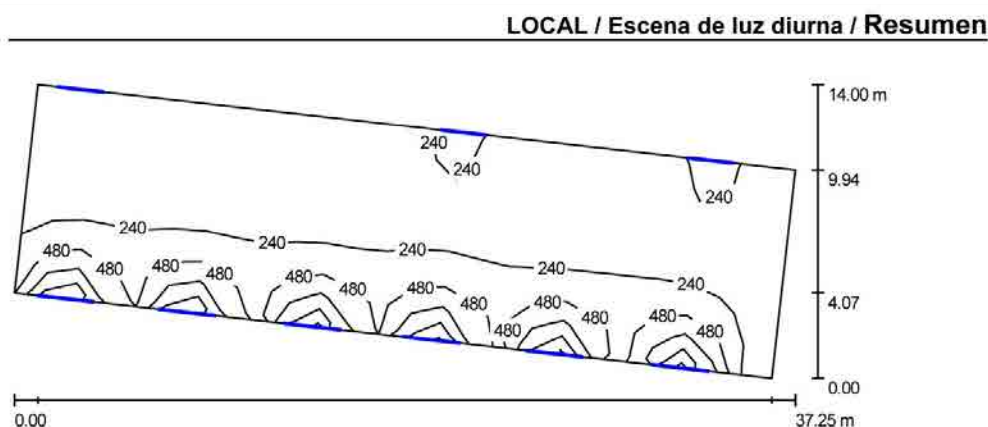
Se pueden también hacer uso de luxómetros pequeños colocados dentro y fuera de la maqueta y anotando los diferentes niveles de iluminación y fuera de la maqueta y anotando los diferentes niveles de iluminación según las orientaciones, momentos del día.

Las vistas del interior son útiles para describir el efecto de la luz del sol y la luz del día y el impacto de las decisiones de diseño como los colores de la superficie interior, las opciones de sombreado, las dimensiones de apertura y de apantallamiento. Cuestiones tales como el deslumbramiento y los riesgos de sobrecalentamiento también pueden comprobar y controlar, así como testar las estrategias establecidas para el control lumínico y térmico en el interior del espacio.

2. Maqueta Virtual

Se crea una maqueta virtual del edificio objeto de estudio. Introduciendo en el programa los datos que hemos recogido de las inclinaciones de incidencia del sol en su localización, así como las horas de insolación del edificio obtenemos diferentes entradas de luz natural, según sea cielo nublado, cielo despejado o cielo parcialmente nublado.

Aquí podemos ver un ejemplo de los datos que proporciona la maqueta virtual:



Altura del local: 5.300 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:267

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	272	45	1201	0.164
Suelo	20	247	52	789	0.212
Techo	70	93	44	186	0.470
Paredes (4)	50	79	12	357	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
Trama: 25 x 7 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Escena de luz diurna pura, sin participación de luminarias.

LOCAL / Escena de luz diurna / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 0 lm
Potencia total: 0.0 W
Factor mantenimiento: 0.80
Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades luminicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad luminica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	201	71	272	/	/
Suelo	172	75	247	20	16
Techo	0.00	93	93	70	21
Pared 1	0.02	80	80	50	13
Pared 2	20	77	97	50	15
Pared 3	7.18	54	61	50	9.72
Pared 4	43	83	126	50	20

Simetrías en el plano útil

E_{min} / E_m : 0.164 (1:6)
 E_{min} / E_{max} : 0.037 (1:27)

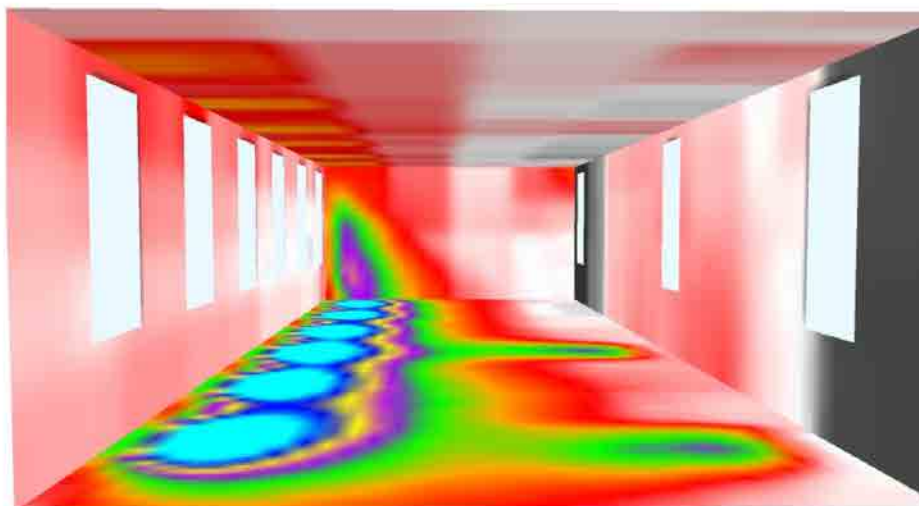
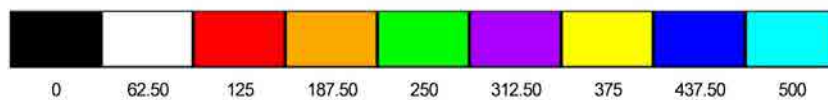
Valor de eficiencia energética: $0.00 \text{ W/m}^2 = 0.00 \text{ W/m}^2 / \text{lx}$ (Base: 363.60 m^2)

LOCAL / Escena de luz diurna / Rendering (procesado) en 3D



B.V1

LOCAL / Escena de luz diurna / Rendering (procesado) de colores falsos



01.03.03. c La ventana como elemento de captación de luz natural. Parámetros de diseño.

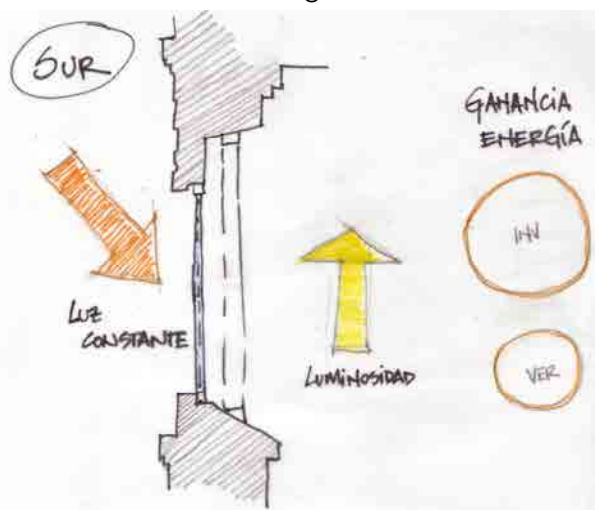
Los huecos en fachada, las ventanas, tienen muchas funciones, la visión al exterior, la ventilación, aislamiento térmico y acústico, pero sobre todo, el aprovechamiento de la luz solar. Cuando hablamos de la relación de las personas con el exterior del edificio, hablamos de una función muy importante desde el punto de vista psicológico para los usuarios del edificio, ya que el ser humano necesita relacionarse con el entorno exterior, como ya hemos dicho anteriormente, para ser consciente del espacio y el tiempo, en este sentido, en el diseño de una ventana debe ser importante la posición de la ventana y el tamaño de la abertura.

Por otro lado hablamos de la función de ventilar, tanto para conseguir una temperatura interior óptima para la actividad que se desarrolle, o simplemente para conseguir una renovación del aire viciado que existe en el interior del edificio. Ha de controlarse, también, la pérdida térmica o ganancia térmica que supone una ventana, que aumenta en relación al tamaño.

Si únicamente tenemos que pensar en la entrada de luz al espacio, deberíamos establecer el tamaño de la ventana y la posición, por ejemplo, cuanto más alta esté mayor será la entrada de luz.

Por lo tanto, y según hemos dicho, la ventana depende de la forma, de la posición de la orientación y de su acristalamiento. En cuanto a su forma, si una ventana es muy horizontal, se consigue una iluminación mucho menos cambiante a lo largo del día, mientras que si la ventana es muy vertical, la distribución de la luz en la sala será muy variable a lo largo de la horas de la jornada.

Este tipo de huecos, ofrece mejor iluminación a la parte más alejada de la sala pero produce mayores deslumbramientos. Las ventanas proporcionan diferentes ganancias y condiciones lumínicas según su orientación.



Ventana en el sur:

- Nivel luminoso alto
- Luz constante
- Ganancia de energía alta en invierno, media en verano.

Fig. 74

Ventana en el este-oeste:

- Nivel luminoso medio
- Luz variable
- Ganancia de energía baja en invierno, alta en verano.

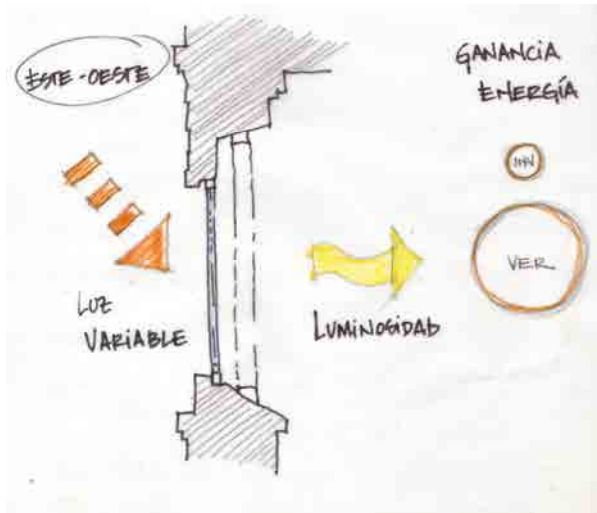


Fig.75

B.VI

Ventana en el norte:

- Nivel luminoso bajo
- Luz constante
- Ganancia de energía muy baja siempre.

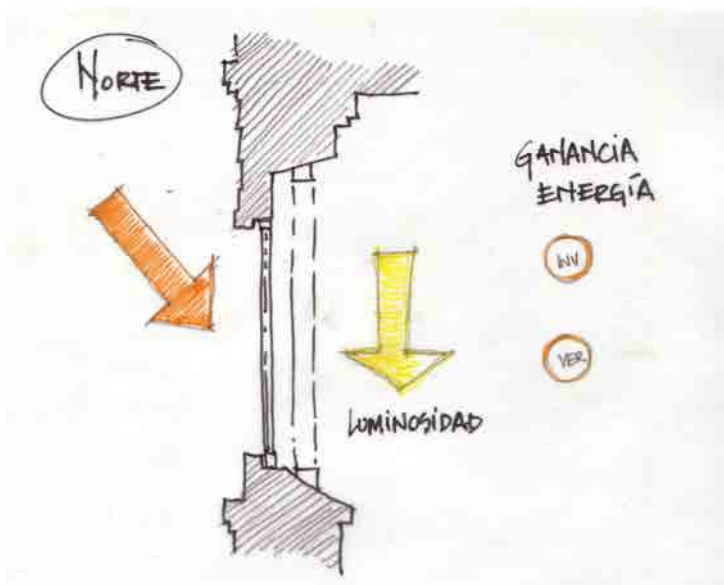


Fig. 76

Para el control de la cantidad y la distribución de la luz natural en un espacio, existen dos tipos de elementos:

- Elementos estáticos: brisolei.
- Elementos dinámicos: como cortinas, contras, acristalamientos, etc.

En un proyecto de rehabilitación la forma, posición y la orientación de los huecos vienen dados, por lo que en este caso, no se trata de diseñarlos, si no de analizarlos para conocer las condiciones que estos huecos nos ofrecen y como poder moldearla y adaptarla a un espacio expositivo, o a cualquier uso que necesite o quiera tener un control lumínico.

Dado un edificio para rehabilitar, el control lumínico pasa por el diseño de un óptimo elemento dinámico de apantallamiento, que proporción, a los usuarios del edificio, una flexibilidad de utilización para diversas actividades distintas, o varias maneras de desarrollar la misma.

A lo largo de la historia, todos estos parámetros han ido cambiando, las posiciones, el tamaño de los huecos, el acristalamiento, y los elementos de apantallamiento: las “contraventanas”.

Analizando la evolución de las contraventanas y los distintos tipos de apantallamientos, podemos sacar conclusiones de la mejor manera de utilizarlos, y trasladar soluciones a los casos actuales.

Además del apantallamiento, es muy importante para el control lumínico el acristalamiento. Según el tipo de vidrio y sus condiciones se pueden variar también la entrada de luz y su incidencia, así como la transmisión de calor que es importante tener en cuenta para la conservación de las piezas de arte expuestas en un espacios museístico.

01.03.03. d El Vidrio

“El vidrio se obtiene fundiendo sílice y, en menor proporción otros ingredientes y enfriándolos cuidadosamente de forma que se mantiene en estado amorfo, sin estructura cristalina y por ello transparente. Permite el paso de la radiación solar en un 90%, aunque su comportamiento varía respecto a las diferentes longitudes de onda, siendo más transparente en el tramo que corresponde a la luz visible y a los infrarrojos de onda corta.”¹⁴

El vidrio es un líquido sobre-enfriado, después de alcanzar su punto de fusión y al ser enfriado lentamente no solidifica forman cristales.

El vidrio es transparente a la luz solar en un 90%, y de esta luz solar se puede reflejar, radiar o absorber. Esta transparencia es efectiva para las componentes de radiación visible de la luz y la infrarroja, pero es opaco para la componente ultravioleta de la luz.

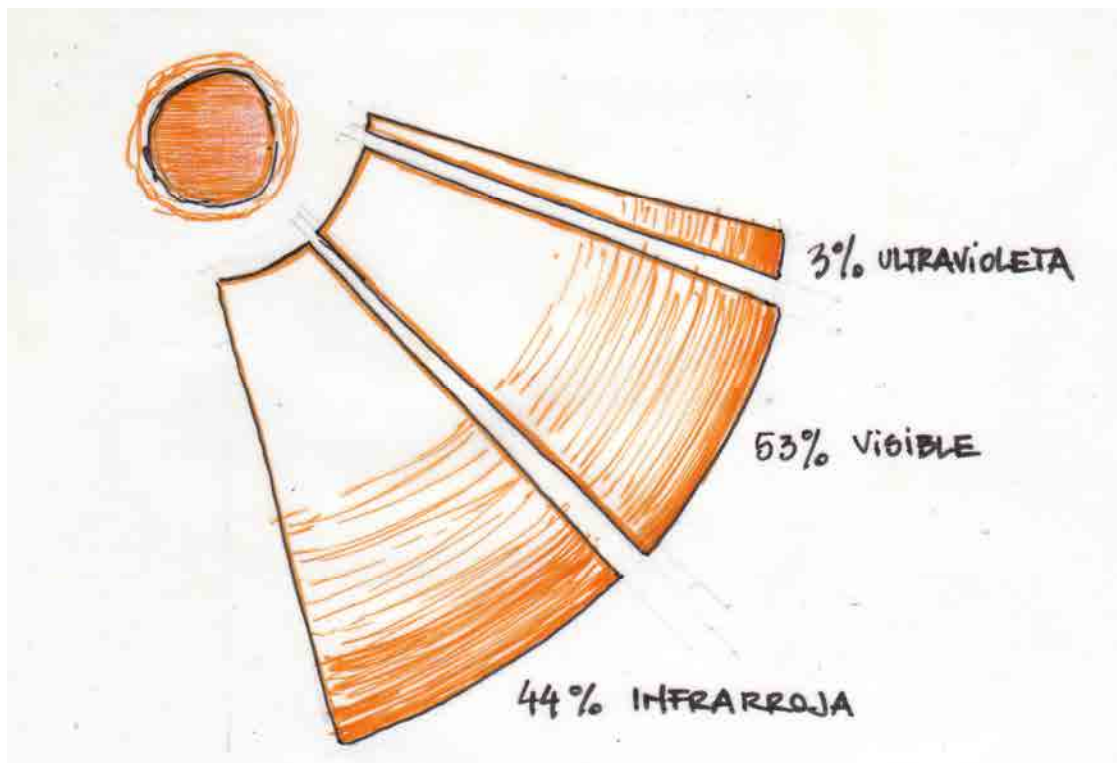


Fig. 77

La reflexión un vidrio depende de su color y el ángulo de incidencia de los rayos sobre su superficie.

¹⁴ Revista Tectónica. Nº 10 "Vidrio (I).

Existen dos tipos de vidrios, según la respuesta a la absorción de la luz:

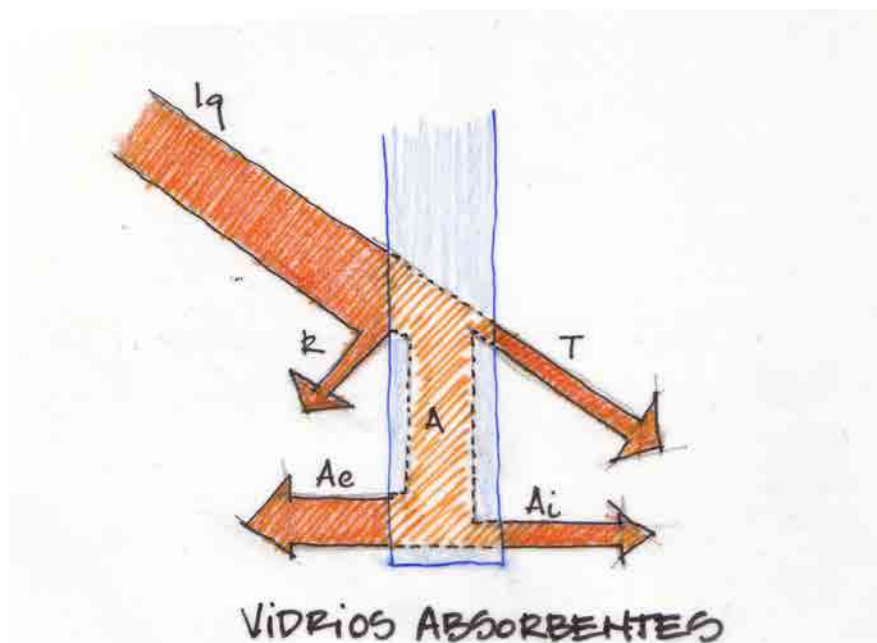


Fig. 78

B.V1

Dónde:

I_q = Energía solar incidente

R = Radiación reflejada

T = Radiación absorbida

A = Radiación absorbida

A_e = La radiación absorbida por el vidrio enviada al exterior

A_i = La radiación absorbida por el vidrio enviada al interior

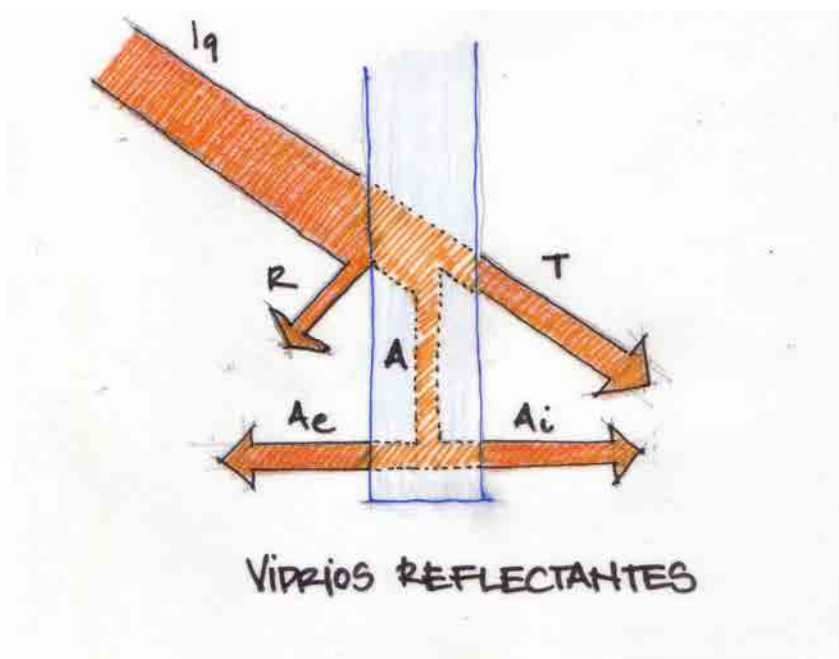


Fig. 79

Existe una gran cantidad de magnitudes que describen las características de los materiales de acristalamiento, ya que aunque normalmente el vidrio es el material de

acristalamiento que se utiliza, también se utilizan plásticos especialmente desarrollados, en forma transparente o tintada.

- Transmitancia espectral
- Reflectancia espectral
- Transmitancia luminosa para un iluminante estándar
- Reflectancia luminosa para un iluminante estándar
- Transmitancia radiante para radiación global
- Transmitancia a los UV para radiación global
- Transmitancia de energía total.
- Color de la luz natural transmitida/reflejada.
- Índice de rendimiento cromático de la luz natural transmitida. ¹⁵

Pero las dos características a las que debemos prestar atención, para una buena elección de un vidrio, según los requerimientos de los espacios, son:

B.VI

La **transmisión luminosa del vidrio** y el **factor solar**.

Estas dos características son importantes porque nos dan la cantidad de luz que el vidrio transmite, y cuanta cantidad de calor deja pasar al interior. Normalmente lo que se busca en un vidrio es que haya una máxima transmisión de luz y poca transmisión de calor, pero esto depende de las necesidades que tenga los espacios interior y las condiciones climáticas del exterior.

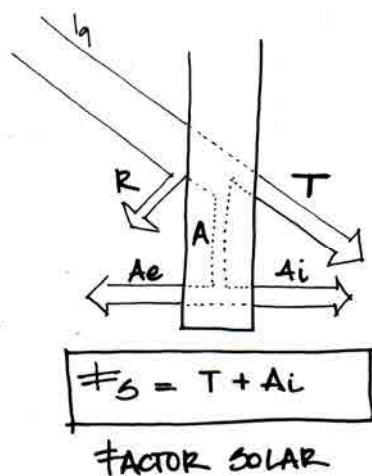


Fig. 80

Factor solar: Es la relación expresada en % entre la energía total que entra en un local a través de un acristalamiento (suma de la energía que entra por transmisión directa más absorbida y reenviada hacia interior por el acristalamiento) y la energía solar que incide sobre el mismo.

^{15/9} "Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios" Madrid, 2005.

IDEA, nº ISBN: 9788486850920

En el siguiente cuadro podemos ver una serie de vidrios con sus coeficientes de transmisión y el factor solar, mediante estos parámetros podemos seleccionar que tipo de vidrio es adecuado.

Grupo	Tipo	Espesor Vidrio (mm)	Espesor Cámara Aire (mm)	Coefficiente Transmisión luminosa	Factor solar	Transmitancia (W/m ² .K)
Simple	Claro	3		0.90	0.89	5.85
		4		0.89	0.85	5.8
		6		0.89	0.85	5.7
Doble	Claro-Claro	4	6	0.79	0.77	3.3
		4	12	0.79	0.77	2.9
		4	18	0.79	0.77	2.7
		6	6	0.88	0.72	3.4
		6	8	0.88	0.72	3.2
		6	12	0.88	0.72	3.0
Doble reflectante	Claro	6	12	0.55	0.30	1.8
	Plata	6	12	0.30	0.32	1.8
	Verde	6	12	0.23	0.21	1.8
	Verde oscuro	6	12	0.20	0.18	1.8
	Bronce	6	12	0.18	0.23	1.8
	Azul	6	12	0.16	0.20	1.8
	Gris	6	12	0.14	0.21	1.8
Doble Bajo emisivo	Claro	4	6	0.77	0.65	2.5
		4	12	0.77	0.65	1.8
		4	18	0.77	0.65	1.5
		6	6	0.67	0.52	2.4
		6	8	0.67	0.52	2.3
		6	12	0.67	0.52	1.8
	Reflectante	4	6	0.75	0.54	2.5
		4	12	0.75	0.54	1.6
		4	18	0.75	0.54	2.4
		6	6			2.4
Triple	Claro	6	8			2.3
		6	12			2.2
		6	12			2.2

Fig. 81

"Durante siglos, los procesos de fabricación del vidrio se basaron en técnicas de soplado y rotación. El primer avance revolucionario, el vidrio modelado, que eliminaba el problema del tamaño, y de templado, que dotaba al vidrio de una mayor resistencia mecánica, no se pusieron en práctica hasta comienzos del siglo XX."



Fig. 82 Ventanas de los cuadros de Vermeer

Existen varios **tipos de vidrios** para colocación en ventanas:

Transparentes:

Permite una gran entrada de luz, es decir tiene una alta transmisión, pero también un alto factor solar.

Tintando en la masa:

Se trata de un vidrio transparente al que se añade pequeñas cantidades de otro material, para conseguir variaciones en la transmisión de luz y factor solar, en función del color que toman, según el material empleado.

Los colores más habituales: verde, gris y azul.

Con tratamiento superficial:

Se modifica la superficie añadiéndole capas de óxidos metálicos, modificando las condiciones de reflexión del vidrio, eliminando así la transmisión de calor al interior.

Armado

El vidrio armado no modifica en vidrio en relación a los parámetros de transmisión de calor y luz, sino al parámetro de resistencia y la visión a través del mismo, y por ello la dirección de la luz que entra a través de él.

Laminado

Su sistema constructivo se hace a partir de varias láminas de vidrio con una lámina plástica entre ellas que le proporciona mayor resistencia, dentro de este tipo vidrios podemos englobar los vidrios de protección contra la radiación ultravioleta, ya que se hacen la misma forma.

Si los vidrios laminados se combinan con láminas de color, que controlen la luz solar, se podrá llegar a un vidrio que consigue evitar la entrada de luz directa y evita la entrada del calor en la estancia.

Acristalamiento prismáticos

Controla la luz transmitida por refracción y puede ser utilizado para volver a dirigir o excluir la luz solar. Se modifica la dirección de la luz al pasar por los prismas del interior del acristalamiento, y podemos conseguir reducir por tanto el deslumbramiento, siendo útil para el cometido que tenemos.

Son más caras que los vidrios o acristalamiento convencionales, por lo que a pesar de tener estas cualidades no se utiliza mucho.

Existen multitud de tipos de vidrios por sus **propiedades:**

VIDRIOS AISLANTES TÉRMICOS Y ACÚSTICOS

VIDRIOS DE BOROSILICATO: Vidrios con un coeficiente muy bajo de expansión térmica

VIDRIOS DE CONTROL SOLAR: Son vidrios que unen la transparencia con un grado variable de protección contra la radiación solar directa. Puede ser vidrios coloreados en masa que siempre tienen que ir templados y/o con tratamientos superficiales, que crean unas capas (incolores, coloreadas y reflectantes) sobre una de las superficies del vidrio. Estas capas pueden estar producidas por pirolisis o por pulverización catódica.

VIDRIOS CURVADOS

VIDRIOS DECORATIVOS

VIDRIOS CICRÓNICOS: Que descomponen la luz en los colores del espectro.

VIDRIOS ESMALTADOS.

VIDRIOS EXTRACLAROS

VIDRIOS RESISTENTES AL FUEGO

Existen además una gran cantidad de **vidrios de transmisión variable**, que puede ser útil para el tipo de intervención que hacemos:

VIDRIOS DE TRATAMIENTO ANGULAR SELECTIVO: Este vidrio se crea a través de una estructura metálica de lamelas microscópicas directamente sobre la superficie del vidrio por depósito magnético. Regulando su espesor, separación y ángulo de inclinación se establece el nivel de control solar.

VIDRIOS CON MÓDULOS: Permiten la transformación de energía solar en energía eléctrica.

VIDRIOS ELECTROCRÓMICOS: Tienen la capacidad de transmitir la luz según los cambios en su estructura química que se produce al someterlos al paso de corriente eléctrica. Estos sistemas de vidrios son bastante costosos, por lo que no son comúnmente utilizados.

VIDRIOS FOTOCRÓMICOS: Reaccionan oscureciéndose o aclarándose en función a los químicos que se producen con su exposición a la radiación ultravioleta. Son sistemas pasivos de control de la luz¹⁶

¹⁶ Revista Tectónica nº 10, "Vidrio (I) "

01.03.03. e Materiales de revestimientos interiores

Cuando hablamos de la iluminación que tiene un espacio interior, debemos saber que las características de los materiales que revisten tanto paredes, como suelo, como paños verticales, influyen en la luz natural que entrada en una sala, ya que la puede modificar en cuanto a intensidad, dirección, etc. por las propiedades de absorción, transmisión o reflexión de los distintos materiales que estas partes de la sala se pueden utilizar.

Fotometría de las superficies

Para estudiar de qué manera pueden influir los materiales es importante conocer las siguientes características de los mismos: ¹⁷

1. *Coeficientes de reflexión o transmisión difusa iluminados con luz difusa (luz uniforme)*
2. *Coeficientes de reflexión o transmisión difusa iluminados con luz directa (depende del ángulo de incidencia)*
3. *Reflexión o transmisión especular en función del ángulo de incidencia*
4. *Forma de la curva de distribución de intensidad, que determinará la apariencia del material: mate, brillante, especular o complejo.*
5. *Cambio de color de la luz después de reflexión o transmisión.*

Son pocas las casas comerciales que especifican estas características en las descripciones de sus materiales, pero estas influyen en el cálculo del factor de iluminación si se hace a través de la suma de sus tres componentes, SC, IRC, ERC. Los materiales afectarán a la IRC, componente reflejada interior.

Según la "Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural den la iluminación de edificios" Madrid IDAE(2005), existen tres parámetros necesarios para describir la mayor parte de las superficies corrientes:

1. *La Reflectancia difusa*

¹⁷ "Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios" Madrid, 2005. IDEA, nº ISBN: 9788486850920

2. La Reflectancia especular
3. La Reflectancia difusora o dispersa

Niveles de dispersión:⁷

1. La reflexión especular permite ver la imagen exacta de la fuente.
2. Una dispersión baja permite la percepción de un punto brillante correspondiente a una fuente luminosa; la imagen no puede verse.
3. En caso de una dispersión elevada, no puede verse un punto brillante y la luz es reflejada de una manera no muy uniforme.

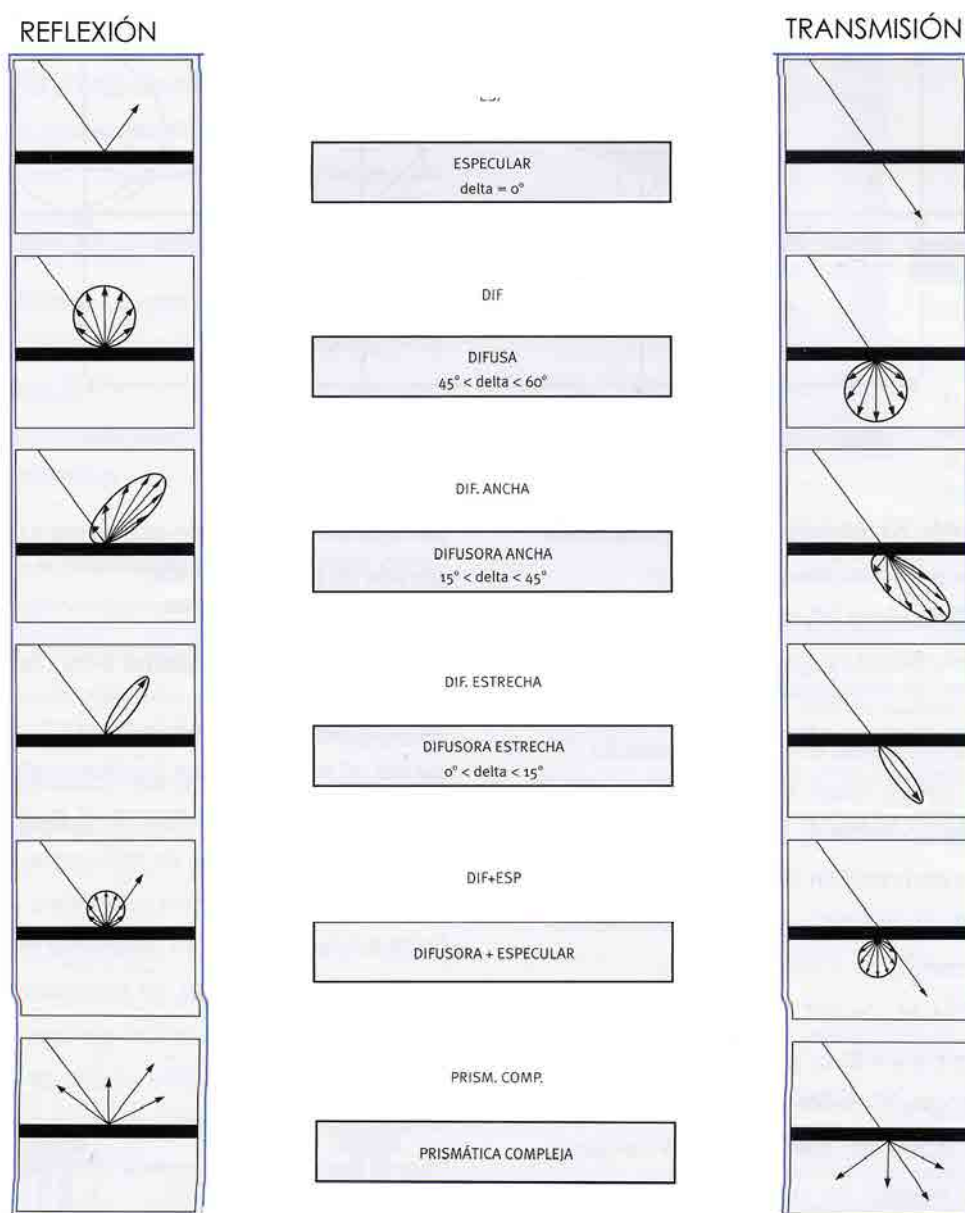


Fig. 83

Según estos datos podemos concluir que las superficies de baja dispersión reflejan la luz suavemente, y que las de alta dispersión permiten poco control lumínico pero evitan los deslumbramientos.

El ángulo de dispersión es el ángulo formado por la dirección de intensidad máxima de la luz transmitida o reflejada.

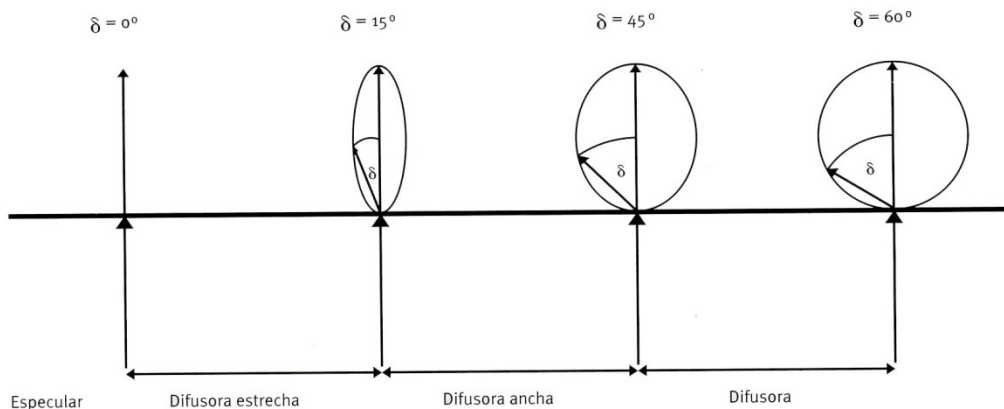


Fig. 84

Habiendo explicado los distintos tipos de dispersión que pueden tener de la luz, los materiales, haremos ahora una relación del tipo de dispersión que tiene cada material.

La siguiente relación se extrae de la " Guía técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios" antes mencionada y referenciada.

DIFUSA:

1. Moqueta
2. Terciopelo
3. Paneles de fibra de mineral
4. Hormigón poroso o granular
5. Césped

DISPERSIÓN O DIFUSIÓN ANCHA:

La mayor parte de los materiales que se colocan en los edificios corresponden a este grupo.

1. Pinturas mate
2. Tejidos de poliéster
3. Hormigón
4. Todas las superficies mate.

DISPERSIÓN O DIFUSIÓN ESTRECHA:

1. Pinturas satinadas

2. Algunso revestimientos plásticos

ESPECULAR Y DIFUSA:

Son aquellas superficies que pueden reflejar sin ser consideradas material reflectante.

1. Superficies lacadas
2. Superficies barnizadas
3. Superficies pulidas
4. Algunos tipos de superficies estratificadas

PRIMÁSTICA COMPLEJA

Materiales con superficies ni uniformes que son reflectantes

1. Superficies corrugadas
2. Superficies reflectantes irregulares
3. Metal martilleado
4. Superficies prismáticas

Influye además de los tipos de dispersión, que los materiales hagan con la luz, los colores que tienen, ya que por ejemplo el techos y paredes de color claro se mejora notablemente la penetración de luz natural y además reduce los contrastes y deslumbramientos.

03.04 Luz artificial

La condición variable de la luz natural hace que, para realizar su aprovechamiento, sea necesario apantallamientos adaptables. Además hace necesario prever un sistema de luz artificial que garantice la buena iluminación de los espacios en caso de que la luz natural no sea suficiente.

La ventaja que nos proporciona la luz artificial sobre la natural es que podemos controlarla absolutamente, que no es cambiante a lo largo del día y de las estaciones y por lo tanto, aunque las lámparas se degraden nunca van a efectuar cambios drásticos en su aportación lumínica.

En ocasiones por el día en días de inviernos, nublados, debemos conseguir, que ya que la luz natural no es suficiente, la luz artificial debe ser capaz de aportar el nivel de iluminación necesario para la realización de la tarea visual.

Como veníamos diciendo en los apartados anteriores la combinación de la luz natural y luz artificial influye en el equilibrio energético de un edificio. Si se realiza una óptima combinación de la luz artificial y la luz natural, se podrá disminuir en gran parte el consumo energético.

Cuando hablamos de óptima combinación, hablamos de que la luz artificial sólo se active en caso de que la luz natural no pueda cumplir las necesidades del espacio, y sólo en ese caso.

El uso de la luz natural y la luz artificial también hace que varía la energía utilizada para el acondicionamiento térmico del edificio.

Aparición de la luz artificial

Desde que en 1650, Otto von Guericke de Alemania, descubriera que, la luz podía ser producida por excitación eléctrica, se produjo una evolución en los estudio para conseguir luz eléctrica. Es Thomas A. Edison, quien finalmente produjo una lámpara incandescente con un filamento carbonizado que se podía comercializar. Aunque esta lámpara producía luz constante durante un periodo de dos días, continuó sus investigaciones con materiales alternos para la construcción de un filamento más duradero. Su primer sistema de iluminación incandescente la exhibió en su laboratorio en 21 de diciembre de 1879.

Con la aparición de la Luz artificial, como ya hemos dicho, se provoca un olvido de la luz natural en la iluminación de los espacios, y más concretamente en los espacios expositivos. El objetivo de esta tesis es recuperar el uso de la luz natural en los espacios expositivos, a través de la investigación para el control de la luz natural en espacios rehabilitados para este uso. La luz artificial estar presente, ya que la luz natural sólo puede abastecer en parte la necesidades lumínicas de un espacio.

Por ello y para poder aplicarlo en el entendimiento del apartado siguiente, debemos hacer un breve repaso por los tipos de iluminación artificial y las características de las mismas.

Tipos de luz artificial

Existen dos tipos de iluminación artificial, la de **Incandescencia** y la de **descarga eléctrica**.

Incandescencia

Los materiales sólidos y líquidos al aumentar en temperatura, emiten radiación visible a temperaturas superiores a 1000 K lo que recibe el nombre de incandescencia.

Este tipo de lámparas se basan en el calentamiento de los filamentos para emitir la luz, por lo que tienen una emisión de temperatura alto, convirtiéndolas en elementos que se utilizan para la calefacción.

Descarga eléctrica

La producción de luz por este tipo de lámparas es más eficaz. Una corriente pasa a través de un gas excita los átomos y moléculas para emitir radiación, para la emisión de luz. Normalmente se utilizan el sodio y el mercurio, dos metales, ya que las radiaciones que emiten se encuentran dentro del espectro visible.

Este tipo de lámparas se dividen en lámparas de baja o alta presión.

Tipos de luminiscencia

La luminiscencia es la emisión de rayos luminosos sin elevar la temperatura, visible casi únicamente en la oscuridad.

Existen dos tipos:

5. **Fotoluminiscencia:** Se produce cuando la radiación es absorbida por un sólido y remitida en una longitud de onda diferente.
6. **Electroluminiscencia:** Se produce cuando la luz generada por una corriente eléctrica que pasa a través de ciertos sólidos, como los materiales fosfóricos.

Los criterios a tener en cuenta para el rendimiento de las lámparas son:

- Coloración y reproducción del color
- Vida útil de la lámpara
- Eficiencia
- Rendimiento lumínico

En el apartado siguiente podremos ver qué criterios son más importantes a la hora de seleccionar un lámpara para un espacios expositivo.

Tipos de lámparas

- Lámparas de incandescencia
- Lámparas halógenas de tungsteno
- Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión
- Lámparas fluorescentes tubulares
- Lámparas fluorescentes de tamaño reducido
- Lámparas de inducción
- Lámparas de mercurio de alta presión
- Lámparas de haluro metálico
- Lámparas de sodio de baja presión
- Lámparas de sodio de alta presión

Tipo (código)	Potencia normal (vatios)	Reproducción del color	Temperatura colorimétrica (K)	Vida útil (horas)
Lámparas fluorescentes de tamaño reducido (FS)	5-55	buena	2.700-5.000	5.000-10.000
Lámparas de mercurio de alta presión (QE)	80-750	correcta	3.300-3.800	20.000
Lámparas de sodio de alta presión (S-)	50-1.000	de incorrecta a buena	2.000-2.500	6.000-24.000
Lámparas incandescentes (I)	5-500	buena	2.700	1.000-3.000
Lámparas de inducción (XF)	23-85	buena	3.000-4.000	10.000-60.000
Lámparas de sodio de baja presión (LS)	26-180	color amarillo monocromático	1.800	16.000
Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión (HS)	12-100	buena	3.000	2.000-5.000
Lámparas de haluro metálico (M-)	35-2.000	de buena a excelente	3.000-5.000	6.000-20.000
Lámparas fluorescentes tubulares (FD)	4-100	de correcta a buena	2.700-6.500	10.000-15.000
Lámparas halógenas de tungsteno (HS)	100-2.000	buena	3.000	2.000-4.000

Fig. 85

Con la enumeración de los tipos de lámparas nos es suficiente, ya que no es objetivo de esta tesis el diseño de la iluminación de un espacio expositivo a partir de la luz artificial, pero si es interesante conocerlas, para poder saber, en el siguiente apartado, como afectan a los espacios expositivos y qué ventajas tiene la luz natural frente a ellas en algunos casos. Además, y como ya hemos apuntado, la luz artificial será la que complemente la luz necesaria para estos espacios, por lo que se debe conocer para complementarse con ella.

Se muestran a continuación algunos factores de deterioro de algunas fuentes de iluminación en relación a la luz natural, a través de un vidrio de 4 mm de grosor.

Este cuadro nos avanza la importancia que tiene el conseguir la mayor iluminación de los espacios con luz natural, ya que afecta en menor medida a los elementos expuestos, además de las ya conocidas ventajas de mejor reproducción cromática, ahorro energético, etc.

En el apartado siguiente, se aplicarán los conocimientos básicos de la luz artificial, para comprender los criterios de selección y, en qué medida deben ser utilizados y con qué fines, dentro de los espacios expositivos.

FACTOR DE DETERIORO	
0.43 a 0.6	luz natural
0.15	incandescente
0.20	halógena abierta
0.10	halógena cerrada
0.10	sodio blanco
0.50	halógeno met. abierto
0.25	halógeno met. cerrado
0.70 a 0.24	fluorescencia

Fig.86

01.03.05 La luz en los espacios expositivos

La luz es un elemento muy importante en el campo de la exposición, puede modificar, deformar o mostrar fielmente las piezas exhibidas.

Existen muchos tipos de espacios expositivos, y por lo tanto muchos tipos de iluminación distintos, debemos comprender que la luz depende más que del tipo de exposición o el tiempo que

Tipos de espacios expositivos

Existen muchos tipos de exposiciones, según el tipo de criterios con los que se agrupan:

- Por tiempo de permanencia | Permanentes
| Temporales
| Itinerantes

- Por la forma de la exposición | Temáticas
| Atemáticas

- Por la participación de público | Pasivas
| Interactivas

- Por el contenido | Retrospectivas
| Didácticas

B.VI

Pero la iluminación no depende del tipo de exposición que se esté realizando, sino del tipo de objeto que se esté exponiendo, como comentábamos anteriormente, según las necesidades de temperatura de color, la intensidad, la sensibilidad a la luz que tenga el objeto y a qué tipo de fuente sea más sensible, ya sea luz natural o luz artificial.

Estudio de la iluminación en los espacios expositivos

Debemos comprender como se puede llegar a estudiar la luz que necesita un espacio expositivo en función o no de lo que se exponga, para poder llegar a un criterio de diseño. Este criterio debe permitir proyectar un apantallamiento que consiga controlar la luz natural que pueda adecuarse a cualquier tipo de exposición que se quiera hacer en el espacio a modificar.

La versatilidad y la flexibilidad son la clave para un buen espacio expositivo, cuando no sabemos qué es lo que se va a exponer, pero comenzaremos por conocer el proceso a seguir para diseñar la iluminación de un espacio expositivo del que

conocemos los se va a exhibir en él, para poder extrapolar el proceso algo menos concreto.

Para poder desarrollar un **“guión de iluminación”** debemos basarnos en un concepto expositivo desarrollado.

Existen dos fases

Analítica
Creadora

En la fase analítica se han de estudiar por un lado los elementos pormenorizadamente:

- La luz natural existente en el museo
- Análisis morfológico del espacio expositivo y su relación con la luz natural a través de los elementos de interacción con el exterior.
- Los efectos de incidencia, difusión y difracción de la luz a partir de los elementos exteriores naturales y artificiales.
- Los HUECOS: Espacios naturales del discurrir de la interrelación de la luz natural con el espacio interior.

El estudio de la entrada de la luz natural por los huecos es la base para desarrollar la iluminación de un espacio expositivo.

“Es a través de los vanos en los muros por donde la luz natural ejerce su influencia en el interior del edificio, actúan como fulcro de giro de las trayectorias de la luz natural. Podemos considerar estos vanos como superficies reemisoras del flujo luminoso y por lo tanto, tendremos datos objetivamente materiales para los cálculos luminotécnico necesarios en cuanto a su acción sobre el interior. Es también en estos espacios vacíos y permeables donde podemos disponer los elementos mecánicos necesarios para de un modo u otro controlar la cantidad y las características de la luz procedente de la naturaleza o del exterior artificial en el que se encuentra situado nuestro museo.”¹⁸

Por otro lado se debe analizar el “ideología de las sensaciones”. Las ideas deben conformarse como imágenes, y su conjunto debe ser relatado “literariamente” en el proyecto de iluminación.

¹⁸ Rico, Juan Carlos. “Los conocimientos Técnicos. Museos Arquitectura arte” Madrid, 2009. Editorial: Silex, nº ISBN 978-84-7737-218-9.

Se debe conceptualizar las sensaciones con la luz, ya sea natural o artificial. Variación e intensidad, el objetivo es contar la historia de los que vamos a ver y cómo lo vamos a ver.

El diseñador de la iluminación, deberá estudiar el programa expositivo para poder prever la iluminación.

El esquema de un proyecto de iluminación debe tener las siguientes partes:

- A. **Guión literario:** Donde se desarrollara la filosofía visual que se quiere transmitir mediante el adecuado uso de la luz.
- B. **Guión de iluminación:** Análisis previo exhaustivo sobre la incidencia de la luz natural.

Dentro de este apartado debemos tener:

- Memoria descriptiva.
- Cartografía con:
 1. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ
Sobre superficies y alzados del espacio.
 2. PLANOS DE CURVAS DE ISOILUMINACIÓN.
Diferentes intensidades de la luz a lo largo y ancho del espacio.
 3. Conocimiento de la distribución del mobiliario y las piezas de exposición
 4. Conocimiento de la luz artificial (si es que existe en la sala).

LA COMBINACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LOS 4 PUNTOS: NOS DA COMO RESULTADO

EL CONOCIMIENTO VISUAL DEL ESPACIO Y LAS PIEZAS CONTANDO CON LA ILUMINACIÓN NATURAL

Definir conceptos que van a definir los tipos de luz necesarios en cada caso, tratando de especificar la calidad, volumetría y direccionalidad de esta luz para cada una de las piezas exhibidas.

C. Proyecto luminotécnico: Nos define aquellas luminarias aparatos capaces de recrearnos las fuentes de luz que hemos decidido en el apartado anterior.

Este estudio se englobaría en el proceso del proyecto constructivo de la sala, en el caso de que no esté construida ya, durante el período de ejecución de la obra.

El objetivo último que debe tener todo proyecto de iluminación de un espacio expositivo, es que la pieza pueda ser visualizada en toda su plenitud, y cuando hablamos de pieza nos referimos al objeto expositivo, ya sea un cuadro, una escultura, una grabación, una fotografía, etc. En la iluminación de un espacio expositivo existen varios tipos de iluminación que han de compaginarse entre sí, para conseguir la armonía de la luz y la buena percepción de la obra, sea cual sea.

Cuando estamos iluminando un elemento, una pieza de la obra se denomina **MICROILUMINACIÓN o ILUMINACIÓN A PEQUEÑA ESCALA**

Es importante que cada una de estas iluminaciones tenga una personalidad propia, que se adecue concretamente a la pieza que ilumina, haciéndose servidora de esa pieza, adecuándose a lo que necesite.

Por otra lado tenemos cuando la iluminación trata de iluminar grandes espacios, formas y volúmenes, hablamos de una **MACROILUMINACIÓN.**

Por lo tanto el conjunto de la iluminación se compone de la:

MACROILUMINACIÓN +MICROILUMINACIÓN= CONJUNTO DE ILUMINACIÓN

Aunque hablamos de una iluminación personalizada y una iluminación concreta para cada pieza expositiva, debemos entender que los objetos no están aislados en un espacio negro, en un espacio oscuro, y que se debe relacionar y se verá afectado por su entorno.

Todos los sistemas de iluminación tienen las siguientes luces, ya sea un sistema artificial o natural, es decir, así se luz natural o luz artificial.

1. LUZ PRINCIPAL

Se caracteriza por ser el elemento emisor. Cualquier iluminación del sistema está subordinada a esta luz.

2. LUZ DE RELLENO

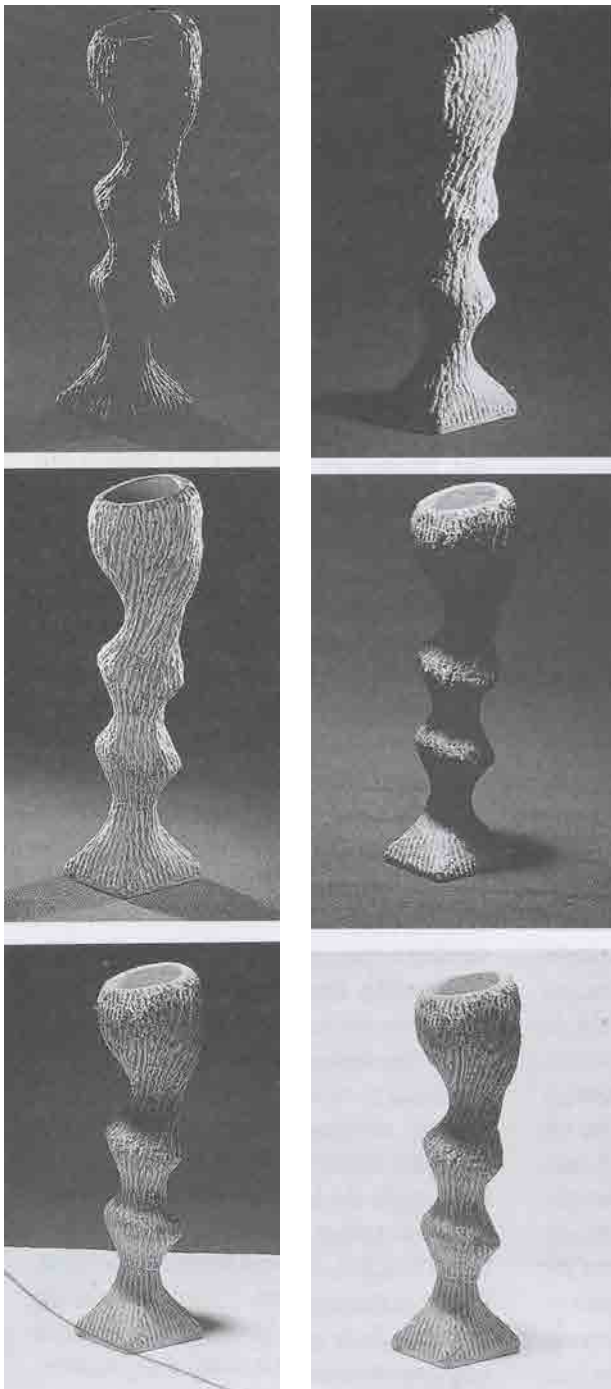
Esta luz se caracteriza por no incidir en el objeto con la misma intensidad que la luz principal

En el caso de intercambiarse aparecerá la ILUMINACIÓN A CONTRALUZ.

Las dos puede desempeñar la función de **LUZ DE PERFILADO O DE CONTORNO**, que es aquella que consigue separar el objeto del fondo o del entorno.

También pueden cumplir las dos la función de incidir en una parte del objeto, siendo así la **LUZ DE ZONA**.

En la siguiente imagen (fig. 87) podemos ver la experimentación con los distintos tipos luz que hemos hablado:



Podemos ver según la posición en donde se coloque la luz y la cantidad de rayo de luz que ilumina la pieza, ésta se muestra de maneras muy distintas, sin dejarnos ver en ocasiones partes de ella, en otras ocasiones, ver únicamente algunas partes acentuando sus formas. En este ejemplo podemos ver lo importante que puede llegar a ser la iluminación de una pieza, hasta el punto de mostrarla distinta a como el artista la creó, u ofreciendo una visión de ella, que no es la que él quiere mostrar.

Fig.87

B.VI

Existen varios tipos de luces según la procedencia de la fuente, como está reflejada o la atmosfera que generan:

<i>Directa - Indirecta</i>	<i>Extensa - Localizada</i>	<i>Clave alta - Calve baja</i>
<i>Dura - Suave</i>	<i>Frontal - De contorno</i>	<i>Modulada - Plana</i>
<i>Localizada - Difusa</i>	<i>Plana - Volumétrica</i>	<i>Dispersa - Direccional</i>
<i>Ambiental - Puntual</i>	<i>Constante - De claro-oscuro</i>	<i>Enfocada- Gene</i>
<i>Intensiva - Envolvente</i>	<i>Fuerte - delicada</i>	

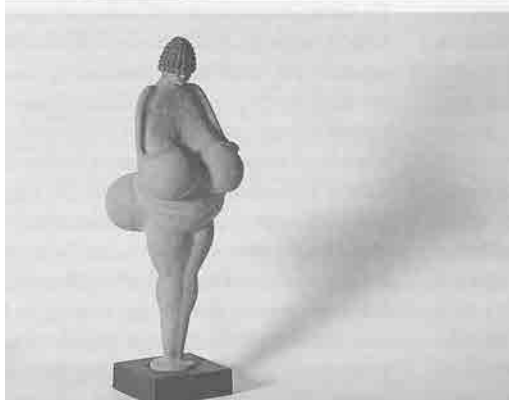
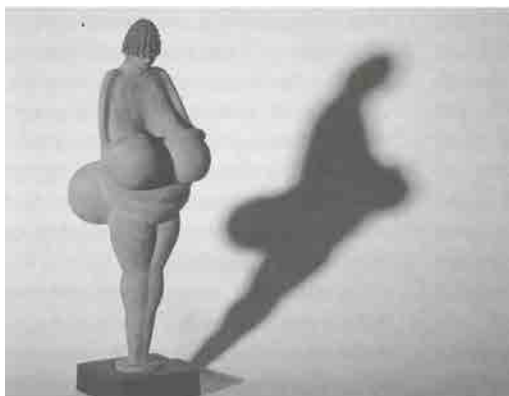


Fig.88/Fig.89. Museo Soumaya. México, 2011. Fernando Romero

La **sombra** se produce por la opacidad del objeto frente a la luz dirigida hacia él, se produce en el sentido contrario al objeto y permite que el objeto pueda relacionarse con el entorno que lo rodea. Los objetos, cuando lo que los ilumina es la luz natural, cobran vida, los objetos inanimados, inertes, se vuelven vivos y dinámicos, ya que según la posición del sol, la luz que incide sobre ellos es variable, por lo tanto también lo es la sombra que arroja sobre el entorno inmediato. En la mayoría de las ocasiones no es posible utilizar la luz natural para iluminar de manera puntual una obra, pero si el espacio que la rodea y la alberga por lo que es en este momento cuando la podemos volver mínimamente dinámica sin alterar su visión.

Un objeto sin sombra pierde su capacidad de expresión, ya que al perder la sombra pierden parte de lo que nos hace percibir su volumen, por eso están importante las sombras, en determinadas exposiciones. El contraste que se produce entre el objeto y su sombra, nos permite definir si la luz que utilizamos es dura o blanda, siendo las blandas las que menos contraste producen entre el objeto y su sombra.

La sombra es muy importante en la iluminación de las exposiciones, porque debemos comprender que no existe nada en nuestra realidad que sea plano, que sólo tenga dos dimensiones, porque hasta un cuadro tiene una profundidad en el grosor de las pinceladas, por lo tanto importará la luz que la ilumine.



La sombra como elemento que otorga volumen a la pieza iluminada.

Según el ángulo con el que la luz incide en el objeto, así será la sombra que se cree. Si la luz tiene 45 grados de altura sobre el objeto se define todo su volumen sin deformarlo por su sombra. Cuando más rasante sea la luz que ilumina el objeto, mejor se apreciarán sus texturas. Pero por el contrario no mostraran bien su color.

Fig. 90

“Además de conseguir que la pieza iluminada se observe correctamente en relación a las necesidades o pretensiones que tenga el artista, debemos procurar también de que el elemento con su iluminación no invada el “espacio vital” de otra obra.

La continuidad entre las dos imágenes, especialmente si comparten un mismo espacio expositivo, se deberá crear a base de sistemas similares de iluminación o a través de la utilización de un fondo común para el conjunto de las piezas que compartan un mismo nicho visual deberemos ser especialmente cuidadosos con la creación de este espacio de respeto.”¹⁹

¹⁹ Rico, Juan Carlos. “Los conocimientos Técnicos. Museos Arquitectura arte” Madrid, 2009. Editorial: Silex, nº ISBN 978-84-7737-218-9. Juan Carlos Rico “Los conocimientos técnicos. Museos, arquitectura, arte”

Hay que tener en cuenta, además, que los usuarios, los observadores, puede interrumpir el flujo luminoso para ver la pieza, creando sombras, por lo que hay que tener en cuenta desde donde se va a ver la obra y procurar evitar introducir iluminación que pueda ser interrumpida por la manera lógica de recorrer el espacio y posición para verla.

Cuando hablamos de iluminar un espacio expositivo hay una serie de premisas que se han de tener en cuenta para conseguir una iluminación de calidad y homogénea. Se ha de conseguir:

- Igualar las calidades de la luz irradiada por las fuentes luminosas
- No mezclar fuentes luminosas de diferentes características, esto facilitará la iluminación.
- Iluminación homogénea

Como hemos ido viendo existen diversos tipos de iluminaciones, y varios tipos de luces, con lo que se consiguen diferentes objetivos de iluminación de exposición.

Existen además tres tipos de iluminación según lo que se quiere iluminar del edificio expositivo o museo.

Nivel A: Iluminación ambiental y de tránsito

Nivel B: Iluminación de módulos y elementos expositivos

Nivel C: Iluminación o micro-iluminación de piezas.

El objetivo de la tesis es conseguir aprovechar la luz natural para resolver la iluminación ambiental de los espacios expositivos, ya que las iluminaciones más concreta como la de nivel B o nivel C, no deberían ser cambiantes.

Por ejemplo si iluminamos la pieza de la fig. 87, en la que según la incidencia de la luz se resaltaban distintas cosas de la obra, si ilumináramos esta pieza con luz natural como micro iluminación, la percepción sería diferente según a la hora del día que la viésemos.

Conociendo los objetivos concretos que ha de cumplir la iluminación ambiental y de tránsito de un espacio expositivo, podremos utilizarlos como premisas o condiciones que ha de cumplir el apantallamiento para el control de la luz natural, en los huecos del edificio a rehabilitar.

NIVEL A: Iluminación ambiental y de tránsito.

Este tipo de iluminación debe alcanzar los siguientes objetivos:

- *Conseguir una iluminación que resalte la arquitectura del edificio.*
- *Permitir una fácil visión en la entrada a un espacio expositivo.*
- *Realzar el volumen, diseño y colores de los grandes elementos expositivos.*
- *No interferir en ningún momento dificultar la lectura Y observación de carteles,*



Fig. 91 Museo Orsay. París, 1986

monitores u objetos. La visión de las vitrinas o contenedores, e impedir la creación de sombras inapropiadas sobre piezas o elementos expositivos.

A continuación se presentan los requerimientos exigibles a los otros niveles de iluminación. Esta información nos servirá para saber con qué parámetros de iluminación, la luz natural no debe estar en conflicto.

NIVEL B: Iluminación de módulos y elementos expositivos.

- *Acceso visual localizado y ordenado hacia los elementos de la exposición*
- *Correcta lectura de objetos que representen imágenes o dibujos. Lectura homogénea.*
- *Deberá evitar los reflejos e imágenes fantasmas sobre pantallas, objetos metálicos o superficie, para disminuir la fatiga visual.*



Fig. 92 Museo Acropolis. Atenas, 2009. Bernard Tschumi.

NIVEL C: Iluminación o microiluminación de piezas.

Esta iluminación es muy importante para definir el volumen de la pieza, con esta iluminación se consigue además eliminar la monotonía luz-objeto-espacio, porque se centra únicamente en la pieza. Y varían los objetivos de la iluminación la función del objeto que se quiera iluminar.



Fig. 93y 94. Museo Acrópolis. Atenas, 2009. Bernard Tschumi .



“El conjunto de las tres iluminaciones se deberá armonizar en cuanto a las características del espectro emitido, temperatura de color, estabilidad y duración de los elementos luminosos, en orden a facilitar su mantenimiento.”²⁰

En general en una iluminación se deben evitar que en los objetos se produzcan brillos y reflejos, para que no se produzca deslumbramientos.

Debemos tener en cuenta el tipo de espacio que se debe iluminar para poder saber la intensidad de luz que necesita y en función de ello ajustar la entrada de luz natural:

- 600 a 950 LUX en los espacios generales de recepción, tránsito y descanso.
- 300 LUX en los espacios expositivos.

²⁰ Rico, Juan Carlos. “Los conocimientos Técnicos. Museos Arquitectura arte” Madrid, 2009. Editorial: Sílex, nº ISBN 978-84-7737-218-9.

Estos datos son genéricos. Según la exposición que se coloque en las salas, se deberá hacer un estudio lumínico.

La luz natural es muy variable, pero presenta menos de un 10% de UV, y alrededor de un 45% de la luz visible e infrarrojo.

El control de todos estos componentes depende esencialmente de la forma en que la luz incide en el interior del recinto.

Se debe hacer una evaluación de la luz que llega al interior de los espacios desde el exterior, es en este contexto en el que se utilizan los cálculos de luz natural presentados en apartados anteriores según la información que necesitemos, por ejemplo el FACTOR DE ILUMINACIÓN NATURAL EN EL INTERIOR.

La necesidad de luz natural en el espacio interior.

La luz natural en el interior de los espacio expositivos es necesaria por que

1. Permite la orientación de las personas en cuanto al tiempo horario y climatología.
2. Buena reproducción cromática al ser un radiador completo
3. Efecto psicológico positivo sobre la persona.

La luz debe ser su guía, dirige su atención y muestra las características del objeto expuesto; igualmente debe crear un ambiente confortable y estimulante.

“La luz es una de las herramientas privilegiadas dentro de la exhibición de bienes culturales. Desde el momento en que estos objetos se encuentran en el interior de un contenedor, la luz natural dependerá esencialmente del modo en que éste la module y la luz artificial cómo se haya diseñado. [...]”

La imagen de la obra, la que impresiona nuestra retina es lo esencial, y por ello es posible afirmar categóricamente que si hay que jerarquizar los elementos museográficos en orden a su importancia, el soporte que posibilita la imagen, la luz, ha de situarse en primer término”²¹

²¹ Rico, Juan Carlos. “Los conocimientos Técnicos. Museos Arquitectura arte” Madrid, 2009. Editorial: Silex, nº ISBN 978-84-7737-218-9.

Cuando hablamos de elementos expositivos y su iluminación en todo momento hemos hablado de cómo iluminarlo correctamente para que se pudiera percibir según los objetivos del artista, pero cuando hablamos de iluminación también es importante como afecta está a la conservación de la pieza.

Según el tipo de iluminación que se haga y el tipo de fuente de la que proceda, dañará más o menos el elemento.

FACTORES DETERIORANTES DEBIDOS A LAS LUZ Y RELACIONADOS	
directos	Iluminancia Tiempo de exposición Composición espectral Fuente de luz
indirectos	Humedad relativa Temperatura Gases en atmósfera
intrínsecos	Natural del material Capacidad para absorber agua

CLASIFICACIÓN DE LAS OBRAS DE ACUERDO A SU SENSIBILIDAD A LA RADIACIÓN LUMINOSIDAD	
insensibles	materiales inorgánicos
sensibles	Pintura: óleo y temple Lacas Madera y marfil decorados
muy sensibles	Acuarelas Textiles Libros y manuscritos Dibujos, pastel, mapas Papiros Cuero teñido Colecciones historia

Fig. 95 Factores deteriorantes debidos a la luz Fig. 96 Clasificación de las obras por su sensibilidad

De esta forma y según el material, o características del elemento a exponer, depende la sensibilidad de la radiación luminosa, como podemos ver en este cuadro.

De manera general los objetivos que se deben cumplir para la conservación de los elementos expositivos son los siguientes:

- *La eliminación de los componentes dañinos de la luz (IR y UV) que no influyen en el proceso de la visión.*
- *La regulación del flujo de los sistemas de iluminación, para un control sencillo de la iluminación.*
- *Controlar el tiempo de exposición.*

B.V1

funciones museográficas de la luz				
objetivas		subjetivas		
conservacion bienes culturales		percepción visual	sensaciones extravisuales	
iluminancia ultravioleta infrarrojo tiempo de exposición	Reproducción color Visualización objeto Comodidad visual	Percepción del espacio y las formas	Lectura estética	Físicas Psicológicas

Fig. 97

MATERIAL	TIPOS DE OBRA	RANGOS DE LUX
PAPEL	Estampas, gráficos, dibujos, collage	Hasta 50 LUX
TEXTILES	Sedas, linos, algodón, yute, lana	Hasta 50LUX
MATERIALES COLORANTES	Acuarela, gouache, tinta	Hasta 50LUX
MUEBLES		Hasta 50 LUX
OLEOS, ACRÍLICOS, OLORES		
NATURALES , SOPORTES		Hasta 50LUX
TRIDIMENSIONALES	Bronce, aluminio, hierro	No afectados por la luz

Fig. 98

Cómo hemos dicho en el apartado de luz artificial, a la aparición de esta, la luz natural dejó de incluirse en el programa de la iluminación en los espacios expositivos, son mucho museos y espacios expositivos de nueva creación, los que no se preocupan por su iluminación y mucho de los que sí la estudian y la cuidan, no utilizan la luz natural.

Es preocupante que más del 70% de los museos, no utilicen la luz natural, ya que en términos de sostenibilidad, es un consumo energético incensario, el problema es que la luz natural es demasiado compleja para ser estudiada, pero no por ello se debe descartar por completo.

Como hemos dicho, no se podrá utilizar en microiluminación, o en la iluminación concreta de piezas, pero si para la iluminación de los espacios de manera general y ese debe ser el objetivo de cualquier arquitecto cuando proyecta un edificio para ser un museo, ya sea un proyecto de rehabilitación o uno de nueva construcción.

01.04 MANERAS DE INTERVENCIÓN

01.04.01 Introducción: Cómo tratar la luz natural en los espacios expositivos.

El arquitecto puede predecir el comportamiento y acción de la luz en el interior de los edificios. La luz puede ser absorbida, reflejada o cualificada en su intensidad. Los cristales y otros materiales pueden cambiar su color e intensidad, como ocurre en las vidrieras góticas, donde se utiliza como signo de efusión espiritual o en *Hagia Sofía (Estambul)* con fines teatrales o la iglesia Gaviota de Miguel Fisac que controla la luz a través de las estructuras de hormigón aligerando su pesadez.

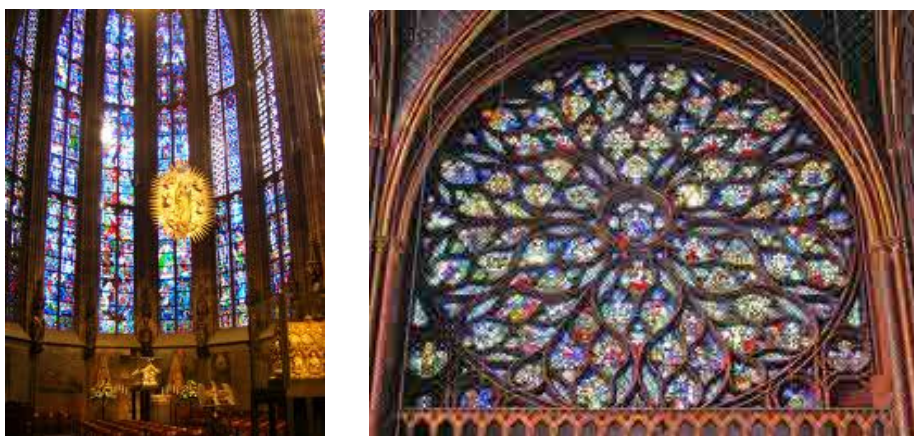


Fig.99 Vidrieras góticas

Fig. 100 Iglesia Gaviota.
Madrid. 1955. Miguel Fisac

Fig.101. Instituto árabe. Paris, 1987. Jean Nouvel

Otros ejemplos interesantes son las variadas celosías que tamizan la luz. Desde cabañas nativas de las selvas tropicales sudamericanas y del sudeste asiático, adornadas por tramas vegetales, hasta las celosías de adobe y piedra de Malí y

Yemen, o de madera en el Magreb y Arabia, pasando por los vidrios diafragmados del instituto árabe de Jean Nouvel en París. La ventana no busca solo defenderse de los rigores atmosféricos sino también protegerse de la intimidad.

“Mientras se envolvía en el velo pareció sentirse apremiada y se dirigió hacia la puerta de celosía, la abrió y penetró en ella. Luego se detuvo ante la reja cerrada y volvió repetidamente el rostro a derecha e izquierda, lanzando miradas a la calle a través de las pequeñas aberturas redondeadas de los postigos. La celosía estaba situada frente a la fuente de Bayn el Qasrayn”²²

La manera de intervenir en los huecos que se practican en los muros para la ventilación y la entrada de luz, como decimos, no siempre tiene el propósito único de modificar la entrada de la luz, muchas otras veces su carácter va más allá y se trata de la sensación que le ofrece al usuario, e influyen en como las personas que viven esos espacios y como lo perciben.

Un hueco se cubre con una cortina, para conseguir la luz y evitar la falta de intimidad, se cierra con unas contraventanas, para conseguir además la oscuridad, la intimidad absoluta, se cierra con vidrios de colores buscando la espiritualidad, se hace al borde de un plano para conseguir una sensación de tensión en un espacio.

Hemos llegado al punto en el que vemos que no sólo se hace el hueco para conseguir la luz o la ventilación sino para provocar unas determinadas sensaciones de los usuarios del espacio, una determinada relación entre el interior y el exterior.

Tadao Ando en sus obras, realiza huecos estrechos y verticales para conseguir que la luz se introduzca en los espacios y los dinamice, los haga partícipes del movimiento del sol.

Cuando la luz la introduce en la Iglesia de la Luz, esa luz que describe, dibuja la cruz en el fondo del espacio, consigue una sensación de serenidad, la descripción de un símbolo, que como las vidrieras góticas persigue una espiritualización del espacio.



Fig.102 Iglesia de la Luz. Osaka, 1989. Tadao Ando

²² Naguib Mahfuz "Entre dos palacios "



Fig. 103 Koshino House. Kobe, 1984. Tadao Ando.

Cuando la luz natural la utiliza mediante huecos verticales en el desarrollo de un pasillo de la Casa Koshino (fig.104), los huecos los utiliza para dar dinamismo a ese espacio, que es de por si dinámico.

Cuando utiliza un hueco cenital, sobre un espacio, lo hace para introducir una luz que dibuje la textura de las paredes o para que otorgue al espacio una luz homogénea.

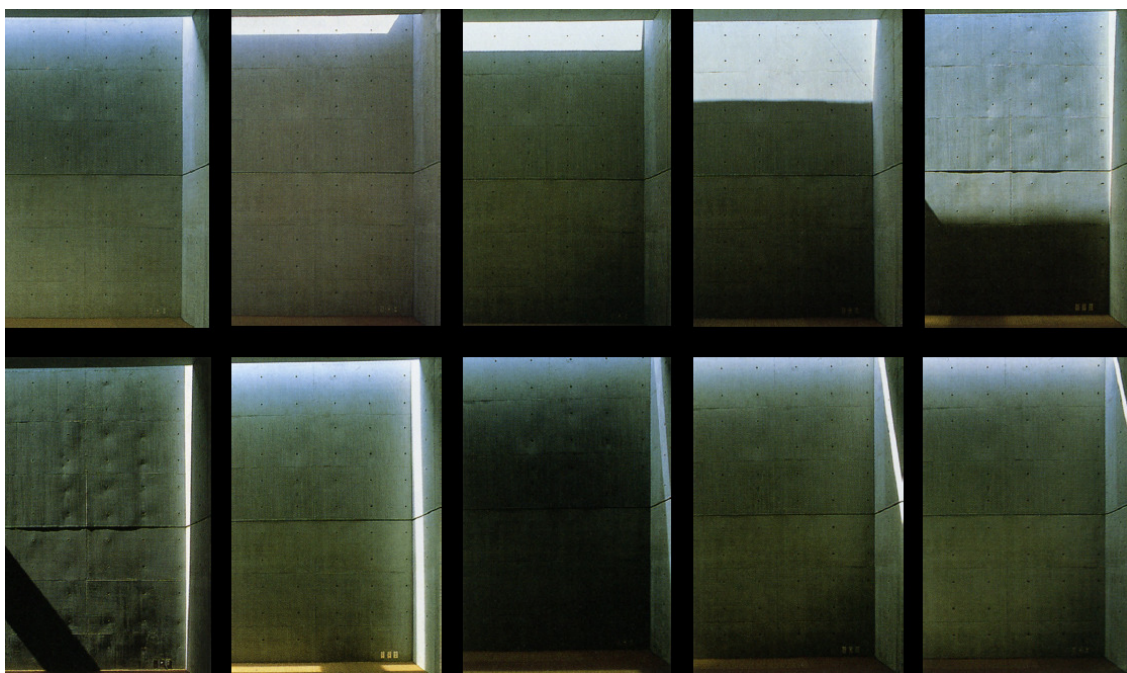


Fig. 104 Koshino House.Kobe, 1984. Tadao Ando.

Envueltas en una estética carente de ornamento, muchas de las obras de Tadao Ando basan su riqueza en la relación del edificio con la luz y la naturaleza. En ese sentido, su Iglesia sobre el agua, diseñada en 1985 y construida en 1988, es una de sus más logradas realizaciones en las que utiliza a la naturaleza como elemento involucrado en el diseño. En ella, Ando logra crear un microcosmos en el que combina de manera simple pero magistral conceptos sobre lo profano y lo sacro, lo artificial y lo natural, lo cerrado y lo expuesto, el vacío y el infinito.

Frank Lloyd Wright destruye la caja con huecos en las esquinas de los espacios que diseñaba, para conseguir desmaterializarla, para conseguir, eliminar la sensación de un espacio cerrado. Sus huecos en muchas de las casas que diseñaba se cerraban con vidrieras que cerraba las vistas al exterior introduciendo a la vez color en los espacios.



Fig. 105 Casa Robie. Frank Lloyd Wright.

A lo largo de la historia de la arquitectura, por tanto, los huecos y la intervención sobre ellos, no tiene como único objetivo el de introducir luz para iluminar un espacio o el ventilarlos, pero las dos funciones más importantes.

Cuando hablamos de rehabilitación, la colocación del hueco es algo que viene dado, por lo que en estos proyectos la manera de intervenir, es únicamente intervenir en ellos, pudiendo disminuir sus dimensiones hasta hacerlo desaparecer, pero no cambiarlo de sitio o controlar su influencia sobre el espacio interior, controlando su luz, controlando los materiales que lo cierran o colocándole delante filtros para impedir en ocasiones la visión en otros la entrada masiva de luz, etc.

El desarrollo de esta tesis comienza en el momento en que somos conscientes de que los proyectos de rehabilitaciones de edificios industriales, tapian o no intervienen en los huecos de estas construcciones, el problema, es que esta tipología arquitectónica es el ejemplo para la arquitectura, en muchos casos, de edificios que tienen como premisa principal la buena iluminación y la buena ventilación, por lo que tapiar sus huecos los desvirtúa y los modifica de tal forma, que en gran parte pierden su esencia, que es lo importante a mantener en cualquier rehabilitación, la esencia del edificio que se reutiliza.

Si reflexionamos un instante, en realidad, la reutilización de los espacios industriales como espacios expositivos es compleja, porque en realidad estamos tomando uno de los paradigmas de edificios que introduce luz natural de una manera masiva y normalmente sin controlar, y le estamos introduciendo un uso, en el que la luz natural debe estar extremadamente controlada, y en muchos casos, si se siguieran los deseos de los artistas, anulada. Esto supone que, el esfuerzo es mayor que en cualquier otro tipo de rehabilitación, si es que no queremos renunciar a la luz natural.

Hecha esta reflexión, a continuación se hace un estudio de algunos proyectos de rehabilitación de espacios fabriles o industriales como espacios expositivos o museísticos, para entender y analizar cómo se está solucionando hoy en día esta problemática, pudiendo obtener conclusiones de cuáles son las respuestas habituales y como se llevan a cabo.

En cada uno de los proyectos de rehabilitación, que se han ido recopilando para el estudio, se ha ido analizando la manera en la que se interviene en los huecos. De esta concluimos que hay tres maneras de intervención: son las de tapiar, filtrar y no intervenir.

Se procede a tapiar, cuando las necesidades de luz son muy específicas y exigentes. Se estudia la manera de filtrar la luz en muy pocos de estos proyectos y no a partir de un estudio exhaustivo de las necesidades de las exposiciones o el uso que tengan es proyecto concreto para darles solución.

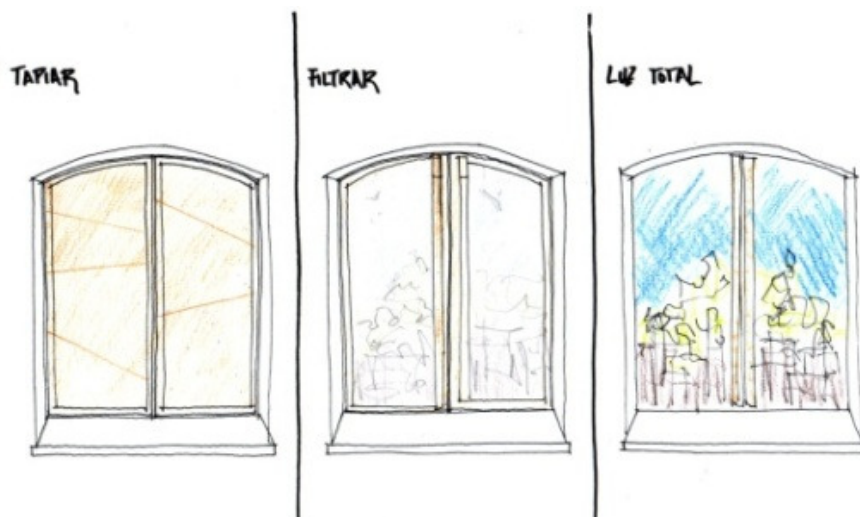


Fig. 106

Del estudio de estos ejemplos y muchos otros de rehabilitación de proyectos es de donde se genera la motivación de la tesis, al no existir casi proyectos donde la luz natural de este tipo de espacios se ponga en valor y se utilice para conseguir una mayor eficiencia energética.

B.VI

El último tipo de intervención es en el que en realidad no existe intervención, es decir, sí se cierra el hueco con carpintería y vidrio, pero la luz no se controla de manera alguna, dejando que entre en el espacio sin tamizarla, esto pasa habitualmente en proyectos de rehabilitación en los que las exigencias de luz interior no son específicas, ni exigentes.

En el siguiente cuadro podemos ver qué tipos de intervenciones hacen en los huecos cada uno de los proyectos escogidos para la formación de tipo, exceptuando el caso seleccionado para estudio de TABAKALERA.

Debido a la flexibilidad que se debe proporcionar a los espacios expositivos con respecto a la luz, el tipo de actuación no debe ceñirse a un solo sistema de control de luz, sino que se debe ofrecer un mecanismo en el que la luz pueda utilizarse de diferentes maneras y con diversas intensidades. Por lo que tomando como ejemplo cada tipo de control, el objetivo es **diseñar una carpintería en la que se unan las tres respuestas**.

01.04.02 Proyectos de rehabilitación: Fichas y análisis.

PROYECTO	TIPO DE INTERVENCIÓN EN HUECO		
	tapiar	filtrar	no intervenir
TATE MODERN. Londres			
TATE LIVERPOOL			
CAIXAFORUM. Madrid			
CAIXAFORUM. Barcelona			
CAIXA SABADELL			
MATADERO			
MUSEO ABC			
MADRID REGIONAL DOCUMENTARY CENTER			
CAM FRAMIS MUSEUM			
MUHBA			
104-CENTQUATRE			

Fig. 107

Tal y como podemos ver en la tabla de la fig. 107, en cada proyecto se ha intervenido de manera diferente.

Al estudiar cada uno de los proyectos por separado, podemos llegar a ver similitudes y diferencias, pero en el único proyecto de los que se hemos presentado, que se ha intentado diseñar un apantallamiento que permita las tres respuestas, no intervenir, tapiar y filtrar, ha sido **CAIXA SABADELL** (ficha 06).



Fig. 108

En todos los proyectos estudiados cuando los clasificamos con la intervención de TAPIAR, nos referimos a que, se ha precedido a cerrar el hueco con un tapiado permanente, pero en el proyecto de **CAIXA SABADELL**, cuando nos referimos a tapiar,

queremos decir que con una de las posiciones del apantallamiento se consigue la oscuridad total de la sala, se evita por completo la entrada de luz natural.

En este proyecto existe además una entrada de luz cenital, por lo que presenta diversas formas de entrar la luz en el espacio, lateral y cenitalmente, lo que da una idea de la flexibilidad de la utilización de la luz natural, que el arquitecto cuando pensó el proyecto, quería ofrecer.

En el proyecto de **CAIXAFORUM MADRID** (ficha 01) la manera de proceder ha sido, quizá, más drástica que algunos de los otros proyectos. Se han tapado los huecos originales de la fábrica, y se ha creado otros huecos nuevos. En este proyecto la entrada de luz a espacios expositivos es nula, los espacios a los que puede entrar la luz natural únicamente es a espacios de tránsito o a la cafetería, las salas de exposición, son espacio completamente apartados de la luz natural.

Esta forma de intervenir, la vemos también en el proyecto de **CAM FRAMIS MUSEUM** (ficha 09) aunque se han mantenido sin intervenir alguno de los huecos existentes.

En otro de los proyectos en los que únicamente se respeta parte de los huecos, es decir, se mantienen sin intervenir en ellos, es el proyecto del **MUSEO ABC** (ficha 07). Este proyecto en alguna de sus salas, lo que hace también es o no intervenir en el hueco, o por el contrario, con contraventanas "tapiar" la luz natural, pero no existente procedimientos, ni apantallamientos diseñados que permitan, controlar la luz en diferentes medidas.

En el proyecto del **MUHBA** (ficha 10) según lo que podemos ver, la intervención que se realiza, si interviene sobre el hueco, reduciendo un poco la entrada de luz original en el espacio, pero no permite que el control de la luz sea variable y adaptable, por lo tanto se entiende como "no intervenir". De la misma manera se hace en el proyecto del **104-CENTQUATRE**. (Ficha 11)

En otro de los proyectos sobre un edificio realmente emblemático, **MADRID REGIONAL DOCUMENTARY CENTER** (ficha 08), la antigua fábrica de "El águila" se procede de la misma manera que en proyectos explicados anteriormente, se tapian algunos huecos y no se interviene en otros, entendemos que en las salas de condiciones más restrictivas, se ha decidido eliminar la luz natural, sin hacer un estudio más exhaustivo.

En el **MATADERO** de Madrid (ficha 02), lo que se hace es mantener todos los huecos que no se tapiaban, sin modificarlos, en cuanto a sus dimensiones, en muchos casos, lo que se coloca es delante del hueco una carpintería para conseguir su estanqueidad hacia el exterior, como podemos ver en la fig. 109, y otros casos se coloca un “muro cortina” de vidrio translucido que tamiza la entrada de luz natural, eliminando los deslumbramientos y atenuando el carácter cambiante de la luz, creando un “muro” de luz homogénea, como podemos ver en la imagen 110.



Fig. 109



Fig. 110

B.V1

A continuación se presentan las fichas de cada uno de los proyectos comentados, con el estado original del edificio y la intervención a la que se le ha sometido.

PROYECTO: CAIXAFORUM BARCELONA TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR / FILTRAR n° ficha 01

INTERVENCIÓN

ESTADO ORIGINAL

EDIFICIO ORIGINAL: Fábrica textil Casaramona

Datos generales:

Arquitecto: Puig i Cadafalch

Fecha de construcción: 1911

Tipología fabril: Características similares a manufacturas reales.

Sistema Constructivo: Fábrica de ladrillo visto.



PROYECTO: Edificio CaixaForum (Barcelona)

Datos generales:

Arquitecto: Arata Isozaki

Fecha de Construcción: 1999 - 2000

Uso del edificio: Centro cultural y social

Sistema constructivo: Se mantienen las fachadas originales y se introduce la piedra caliza, el acero cortén y el vidrio.



Estudio del hueco-luz:

Tamaño y posición de huecos: En las fachadas principales se presentan grandes huecos verticales que juegan con pequeños huecos rectangulares situados en las fachadas secundarias.

Solución de carpintería: Carpinterías de madera.

Tipo de iluminación natural: Entrada de luz lateral.





Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.



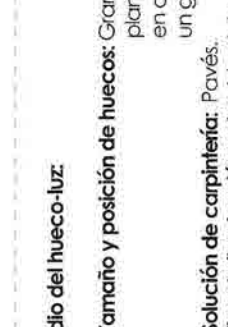
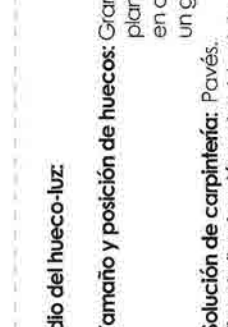


Tipo de intervención: Los grandes huecos se tamizan a través de la utilización de diferentes tipos de vidrio. En algunos casos la luz llega a desaparecer dependiendo de las características a cumplir.





Solución carpintería: Se utiliza el mismo tipo de carpintería metálica variando los tipos de vidrios.

Tipo de iluminación natural: Donde no se tapia el hueco, la entrada de luz es lateral.



<p>PROYECTO: MATADERO MADRID TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR/FILTRAR nº ficha 02</p>	<p>INTERVENCIÓN</p>
<p>ESTADO ORIGINAL</p> <p>EDIFICIO ORIGINAL: Matadero y Mercado de Ganados de Argazuela</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Luis Bellido Fecha de construcción: 1908 - 1928 Tipología fabril: Manufactura real</p> <p>Sistema Constructivo: Estructura de hormigón armado. Zócalos de piedra, ladrillo visto y mampostería descubierta al exterior.</p>  <p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: La fachada está marcada por una sucesión horizontal de pequeños huecos que se interrumpe con la aparición de los huecos de entrada. Además aparecen cuatro núcleos de grandes huecos verticales que marcan los lucernarios longitudinales.</p> <p>Solución de carpintería: Utilización de carpinterías metálicas.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Entrada de luz lateral y una importante entrada de luz cenital que marca las distintas naves.</p> 	<p>PROYECTO: Matadero Madrid</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Arturo Franco Fecha de Construcción: 2005 - 2007</p> <p>Uso del edificio: Centro de creación contemporánea</p> <p>Sistema constructivo: Hierro, vidrio, policarbonato, estructura de andamios, materiales reciclados,...</p>  <p>Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: En los huecos en los que se interviene se utiliza un sistema de filtros que dejan pasar la luz de una forma mas controlada, sin interferir en el hueco original.</p> <p>Solución carpintería: Utilización carpinterías metálicas en todos los huecos. En las zonas de exposición se utilizan vidrios translúcidos sobre estas carpinterías para tamizar la entrada de luz.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Gran iluminación lateral y cenital.</p> 

ESTADO ORIGINAL	INTERVENCIÓN
<p>EDIFICIO ORIGINAL: Bankside Power Station (Central Eléctrica de Bankside)</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Sir Giles Gilbert Scott Fecha de construcción: 1947 - 1963 Tipología fabril: Fábrica de pisos Sistema Constructivo: Estructura de acero y cerramiento de ladrillo.</p> 	<p>PROYECTO: Tate Modern London</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Herzog & de Meuron Fecha de Construcción: 1996 - 2000 Uso del edificio: Galería de arte moderno Sistema constructivo: Se mantienen los mismos materiales modernizando el sistema, creando así algo completamente nuevo.</p> 
<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Grandes huecos verticales que abarcan varias plantas, lo que implica huecos de suelo a techo en cada planta. En la nave central aparece un gran lucernario longitudinal.</p> <p>Solución de carpintería: Pavés. Tipo de iluminación natural: Luz lateral en una parte de la fábrica y luz central en la zona de máquinas.</p> 	<p>Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: Se mantienen los huecos abiertos igual que el proyecto original.</p> <p>Solución carpintería: Pavés. Tipo de iluminación natural: En las salas pequeñas no hay luz natural. En la gran sala principal se mantiene la luz central en todo momento. La entrada de luz lateral se restringe siempre que la exposición lo exija.</p> 
	

<p>PROYECTO: TATE LIVERPOOL</p>	<p>TIPO DE INTERVENCIÓN</p>	<p>NO INTERVENIR</p>	<p>nº ficha 04</p>
<p>ESTADO ORIGINAL</p> <p>EDIFICIO ORIGINAL: Almacén de muelle Albert Dock</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Jesse Hartley Fecha de construcción: 1848 Tipología fabril: Fábrica de pisos Sistema Constructivo: Fábrica de ladrillo y piedra.</p> 	<p>INTERVENCIÓN</p> <p>PROYECTO: Tate Liverpool</p> <p>Datos generales: Arquitecto: James Stirling Fecha de Construcción: 1985 - 1988 Uso del edificio: Galería de arte moderno Sistema constructivo: Se mantiene el original.</p> 		
<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Sucesión regular de huecos rectangulares a lo largo de las fachadas.</p> <p>Solución de carpintería: Antes de la rehabilitación, los huecos aparecen sin ningún tipo de carpintería.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Iluminación lateral tanto desde el noreste como desde el suroeste.</p>	<p>Estudio de solución adotada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: Se mantienen los huecos en la totalidad del proyecto. En alguna fachada se tapan para conseguir las condiciones necesarias en cada sala.</p> <p>Solución carpintería: Utilización de carpinterías metálicas.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Luz lateral prioritariamente. En alguna cubierta se abren huecos para conseguir luz cenital en las salas.</p>  		

ESTADO ORIGINAL

EDIFICIO ORIGINAL: Central eléctrica del Mediodía

Datos generales:

Arquitecto: Jesús Carrasco y Encina

Fecha de construcción: 1899 - 1901

Tipología fabril: Fábrica de pisos

Sistema Constructivo: Zócalos de sillares de granito y estructura de ladrillo macizo. Acabado de ladrillo macizo.



Estudio del hueco-luz:

Tamaño y posición de huecos: Sucesión de huecos cuadrados y curvos que se presentan a lo largo de las fachadas regularmente.

Solución de carpintería: Antes de la rehabilitación los huecos se presentan tapiados, exceptuando algunos casos en planta baja.

Tipo de iluminación natural: Iluminación lateral en todas las plantas.



INTERVENCIÓN

PROYECTO: Edificio CaixaForum (Madrid)

Datos generales:

Arquitecto: Herzog y de Meuron

Fecha de Construcción: 2003 - 2008

Uso del edificio: Centro cultural y social

Sistema constructivo: Introducción de nuevos materiales como el acero corrén y la creación de una nueva estructura de hormigón.



Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.

Tipo de intervención: Mantienen Tapiados todos los huecos.





Allí donde la entrada de luz sea necesaria se crean nuevos huecos sobre la fachada original.





Solución carpintería: Huecos tapiados mediante sistema de fábrica de ladrillo.



Tipo de iluminación natural: En la zona rehabilitada apenas existe la entrada de luz natural. Con la creación de los nuevos huecos se consigue luz lateral en espacios de tránsito.















<p>PROYECTO: CAIXA SABADELL TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR/ FILTRAR/TAPIAR nº ficha 06</p>	
<p>ESTADO ORIGINAL</p> <p>EDIFICIO ORIGINAL: Escuela Industrial de Artes y Oficios de Sabadell</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Jeroni Martorell Fecha de construcción: 1907 - 1910 Tipología fabril: Sistema Constructivo:</p> 	<p>INTERVENCIÓN</p> <p>PROYECTO: Edificio de la Obra Social Caixa Sabadell</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Esteve Bonell Costa y Josep Maria Gij Guitart Fecha de Construcción: 2007 - 2010 Uso del edificio: Centro de exposiciones Sistema constructivo: Utilización de estructuras metálicas además del sistema constructivo original.</p> 
<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Sucesión regular por plantas de huecos rectangulares y cuadrados con introducción de líneas curvas.</p> <p>Solución de carpintería: Carpinterías de madera.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Iluminación lateral y cenital en algunos puntos.</p> 	<p>Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: Por norma general los huecos se mantienen o se utilizan diferentes sistemas para tamizar la entrada de luz.</p> <p>Solución carpintería: Con un sencillo sistema de contras de madera se puede jugar con la entrada de luz lateral en la sala. Además, se utiliza una solución de carpintería metálica para lucernarios.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Entrada de luz lateral y cenital.</p> 

PROYECTO: MUSEO ABC TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR/ TAPIAR nº ficha 07	
ESTADO ORIGINAL	INTERVENCIÓN
<p>EDIFICIO ORIGINAL: Fábrica de cerveza Mahou</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: José Lopez Salaberri</p> <p>Fecha de construcción: 1900</p> <p>Tipología fabril: Fábrica de pisos</p> <p>Sistema Constructivo: Fábrica de ladrillo.</p> 	<p>PROYECTO: Museo ABC de Dibujo e Ilustración</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: Aranguren & Gallegos</p> <p>Fecha de Construcción: 2007 - 2010</p> <p>Uso del edificio: Centro de arte contemporáneo</p> <p>Sistema constructivo: Introducción de nuevos materiales como vidrio y acero pavanado.</p> 
<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Sucesión regular de huecos rectangulares por cada planta y fachada.</p> <p>Solución de carpintería: Antes de la rehabilitación algunos huecos aparecen tapiados.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Entrada de luz lateral.</p> 	<p>Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: Allí donde no es necesaria la entrada de luz el hueco se tapia, pero por norma general, no se interviene en los huecos.</p> <p>Solución carpintería: Mediante un sistema de contras la entrada de luz se puede controlar fácilmente.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Iluminación lateral de gran calidad.</p> 

PROYECTO: MADRID REGIONAL DOCUMENTARY CENTER TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR/TAPIAR nº ficha 08	
ESTADO ORIGINAL	INTERVENCIÓN
<p>EDIFICIO ORIGINAL: Fábrica de cerveza "El Águila"</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: Eugenio Jiménez Carea</p> <p>Fecha de construcción: 1912 - 1914</p> <p>Tipología fabril:</p> <p>Sistema Constructivo: Fábrica de ladrillo y soportes metálicos.</p> 	<p>PROYECTO: Archivo y Biblioteca Regional de la Comunidad de Madrid</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: Mansilla y Tuñón</p> <p>Fecha de Construcción: 1994 - 2002</p> <p>Uso del edificio: Archivo y biblioteca</p> <p>Sistema constructivo: Introducción de nuevos materiales como el hormigón blanco y la doble fachada de vidrio.</p> 
<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Sucesión de huecos verticales con diferentes tamaños en cada planta del edificio.</p> <p>Solución de carpintería: Carpinterías de madera.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Entrada de luz lateral.</p> 	<p>Estudio de solución adaptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: En los huecos en los que se interviene se tapian con un sistema de fábrica de ladrillo igual al que encontramos en fachada para continuar una misma estética.</p> <p>Solución carpintería: En los huecos en los que no se interviene aparecen carpinterías de madera.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Iluminación lateral.</p> 

PROYECTO: CAM FRAMIS MUSEUM TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR/TAPIAR n° ficha 09	
<p>ESTADO ORIGINAL</p> <p>EDIFICIO ORIGINAL: Fábrica textil en el Barrio Poble Nou</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: —</p> <p>Fecha de construcción: Finales s.XVIII</p> <p>Tipología fabril:</p> <p>Sistema Constructivo: Fábrica de ladrillo y piedra.</p>	<p>INTERVENCIÓN</p> <p>PROYECTO: Museo Cami Framis</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: Jordi Badis (BAAS)</p> <p>Fecha de Construcción: 2007 - 2008</p> <p>Uso del edificio: Museo de pintura contemporánea</p> <p>Sistema constructivo: Introducción del hormigón.</p> <div style="border: 1px dashed gray; padding: 5px; margin-top: 10px;">  </div> <p>Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: Exceptuando algún pequeño caso, mayoritariamente los huecos se tapian con una textura diferenciada para resaltar su posición en la fachada original.</p> <p>Solución carpintería: Huecos tapiados a nivel de fachada y con un tratamiento liso que se contraponen al acabado rugoso de fachada.</p> <p>Tipo de iluminación natural: En la zona rehabilitada es nula exceptuando las escasas intervenciones donde no se tapia el hueco, donde la iluminación es lateral.</p> <div style="border: 1px dashed gray; padding: 5px; margin-top: 10px;">  </div>
<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Sucesión de pequeños huecos rectangulares en posición vertical por planta.</p> <p>Solución de carpintería:</p> <p>Tipo de iluminación natural: Iluminación lateral.</p>	<div style="border: 1px dashed gray; height: 150px; width: 100%;"></div>

<p>PROYECTO: MUHBA</p> <p>TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR/TAPIAR</p> <p>nº ficha 10</p>	<p>INTERVENCIÓN</p>	
<p>ESTADO ORIGINAL</p> <p>EDIFICIO ORIGINAL: Nave - Taller Oliva Artés</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: Claudi Durán Ventosa</p> <p>Fecha de construcción: 1920</p> <p>Tipología fabril:</p> <p>Sistema Constructivo: Fábrica de ladrillo.</p>		<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Además de los grandes huecos rectangulares de fachada, aparece un gran lucernario longitudinal continuo.</p> <p>Solución de carpintería: Utilización de carpinterías metálicas.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Gran entrada de luz lateral y cenital.</p>
<p>PROYECTO: Museo de Historia de Barcelona (MUHBA)</p> <p>Datos generales:</p> <p>Arquitecto: Jordi Badia (BAAS)</p> <p>Fecha de Construcción: 2010 - act.</p> <p>Uso del edificio: Espacio cultural</p> <p>Sistema constructivo: Introducción de chapas metálicas. Fachadas originales pintadas con pintura blanca.</p>		<p>Estudio de solución adoptada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: Los huecos laterales se mantienen. La entrada de luz cenital se tamiza para conseguir una entrada mucho mas controlada en el espacio cenital.</p> <p>Solución carpintería: El tipo de carpintería respeta a la original.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Entrada de luz natural tanto lateral como cenital.</p>
		

<p>PROYECTO: 104 - CENTQUATRE</p>	<p>TIPO DE INTERVENCIÓN NO INTERVENIR</p>	<p>nº ficha 111</p>
<p>ESTADO ORIGINAL</p> <p>EDIFICIO ORIGINAL: Funerario Municipal (SMPF)</p> <p>Datos generales: Arquitecto: Delebarre y Godon Fecha de construcción: 1870 - 1874 Tipología fabril: Sistema Constructivo: Utilización de hierro, ladrillo, piedra y vidrio.</p>	<p>INTERVENCIÓN</p> <p>PROYECTO: 104 - Centquatre</p> <p>Datos generales: Arquitecto: — Fecha de Construcción: 2001 - 2007 Uso del edificio: Edificio cultural Sistema constructivo: Se mantiene el original.</p>	
<p>Estudio del hueco-luz:</p> <p>Tamaño y posición de huecos: Sucesión horizontal de grandes huecos rectangulares en cada planta. Gran lucernario longitudinal continuo.</p> <p>Solución de carpintería: Utilización de carpinterías metálicas.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Entrada de luz lateral. Gran importancia de la entrada de luz central en el espacio central.</p>	<p>Estudio de solución adotada para huecos. Aprovechamiento de luz natural.</p> <p>Tipo de intervención: Se respetan todos los huecos con el mismo tratamiento que aparece en el edificio original.</p> <p>Solución carpintería: Utilización de carpinterías metálicas.</p> <p>Tipo de iluminación natural: Espacio central muy iluminado gracias a la fuerte entrada de luz central tamizada mediante un acristalamiento translúcido, así como a la entrada secundaria de luz lateral.</p>	
  	 	

01.04.03 Conclusiones de los proyectos estudiados

Como hemos podido ver en la mayor parte de los proyectos que se han presentado, el estudio de los huecos, para dar una solución de apantallamiento que optimice la utilización de la luz artificial, aprovechando la luz natural, no se hace habitualmente.

La mayoría de las respuestas a un proyecto de rehabilitación ha sido “tapiar” la luz natural cuando el espacio tiene unas exigencias muy concretas de luz, manteniendo los huecos sin intervenir, cuando la luz natural “no molesta”.

Este apartado, nos presenta el estado del arte en cuando a las intervenciones que se llevan a cabo en el patrimonio industrial. A parte de conocer el estado del arte teórico en el cual se enmarca esta tesis, es importante conocer los ejemplos de proyectos que se han hecho, para poder utilizar aquellas soluciones o respuesta que si sean interesantes para el objetivo de la tesis, y sobre todo para poner de manifiesto que en realidad la luz natural se evita en los espacios expositivos en cualquier tipo de proyecto.

El proyecto que más ha ayudado a comprender y nos ha aportado de los que hemos analizado, es el de CAIXA SABADELL. El tipo de apantallamiento que utiliza se divide en dos partes, permitiendo la entrada de luz en cierto momento únicamente por arriba.

De la misma manera que veíamos en el apartado de evolución de la ventana, las ventanas rurales siempre dejaban un hueco por encima de la ventana practicable que permanecía abierto siempre a la luz, por tanto si tomamos la información recogida de los parámetros de la diseño para los huecos de ventanas, esta información de la evolución de ventanas y este proyecto como ejemplo de su aplicación, podemos concluir que el apantallamiento que diseñemos debe pasar por permitir en cierto momento únicamente la entrada por la parte superior del hueco, permitiendo así una iluminación de la sala sin incidencias en la misma.

Otro de los proyectos que también nos ha aportado una idea para una buena intervención, es el del MATADERO de Madrid, la utilización un “muro filtro” una pantalla translúcida que permite la unificación de la luz, conseguir una iluminación homogénea, evitando las incidencias directas.

Para resumir mínimamente las intervenciones que aquí se presentan podemos decir que tenemos 4 formas de intervenir en las que podemos agrupar los proyectos.

1. Proyectos en los que o **NO SE INTERVIENE** o **se TAPIA**:

Caixa Forum Madrid (Ficha 05), Museo ABC (Ficha 07), Madrid Regional Documentary Center (Ficha 08) y Cam Framis (Ficha 09).

En estos proyectos en los huecos que se corresponden con espacios de tránsito o menos exigentes con la luz natural no se interviene, mientras que los espacios de exposición se tapien los huecos, dejando los espacios completamente cerrados al exterior.

2. Proyectos en los que **TAPIA (permanentemente), FLITRA, O NO SE INTERVIENE**:

Matadero (ficha 02) y Caixa Forum Barcelona (ficha 01)

En estos proyectos se dan las tres respuestas, en algunos casos, pero principalmente o no se interviene o se filtra. Las intervenciones en los huecos son permanentes, es decir, hay huecos que se tapien, otros que se filtran y otros que no se intervienen, pero no se pueden conseguir varias respuestas en un mismo hueco, lo que suponen una limitación, ya que cada sala está destinada a utilizar la luz natural de una única forma, lo que le resta mucha flexibilidad a las posibilidades del edificio.

3. Proyectos en los que **NO SE INTERVIENE**

Tate Modern London (ficha 03), Tate Liverpool. (Ficha 04), 104 Centquatre (ficha 10) y MUHBA (ficha 11)

En el proyecto de Londres lo que se hace es no intervenir en el hueco, utilizando los espacios internos del edificio para las salas de exposición, espacios que ya no están en contacto con huecos, dejando las salas sin luz natural, esto les es posible debido a que la tipología fabril tiene espacios muy grandes que se puede subdividir sin que estos nuevos espacios tengan luz natural.

En los otros tres proyectos, se mantienen los huecos tal como se encuentran en el edificio original, puede que por que las salas necesarias para este tipo de proyectos, o las exposiciones que vayan a albergar no tengan unos requerimientos muy específicos.

4. Proyectos en los que **NO SE INTERVIENE /TAPIA /FILTRA:**

Caixa Sabadell (ficha 06)

Como apuntábamos anteriormente, en este proyecto la intervención que se realizar, más que una intervención sobre el hueco, podríamos decir que se diseña un apantallamiento que permite las 3 respuestas posibles.

Aunque deberíamos apuntar que existen dos formas de filtrar.

Una controlar una parte de la entrada de luz natural, y otra forma de filtrar que sería la que se realiza en el Matadero de Madrid, que es mediante unos elementos translucido, homogeneizar la entrada de luz. En este proyecto el tipo de filtro sería el primero.

Una de las apreciaciones más importantes al hacer el estudio ha sido que, en la mayoría de los proyectos, el tipo de intervención que se hace en un hueco, normalmente es permanente, sea cual sea la intervención, es decir, un hueco o permanece tapiado, o permite toda la entrada de luz natural, o está filtrado, pero no se puede controlar la entrada de luz natural de diferente forma según las necesidades de la sala en ese momento. Esta manera de intervenir, que se efectúa en la mayoría de los proyectos, consigue salas rígidas en cuanto a la utilización de la luz. Una sala que siempre permite toda la entrada de luz natural, no se podrá utilizar para una exposición que tenga unos requerimientos muy específicos de iluminación, o si una sala, siempre tiene los huecos tapiados, siempre tendrá que utilizar luz artificial aunque, la exposición que albergue, no se vea afectada por la luz natural.

Los museos o espacios expositivos, deben ser espacios neutros, que permitan modificaciones, que sean adaptables y flexibles, el condicionar cada sala a un tipo de luz natural lo que hace es rigidizarlo, lo que no es deseable. Además en cada sala los individuos siempre asociarán un mismo tipo de luz, es decir, una sala que está tapiada, la gente que la visite siempre la asociará con un lugar más incómodo donde no tiene referencias exteriores. Si permitimos diferentes formas de utilizar los huecos, conseguiremos que no se asocie una sensación a cada espacio del museo, o al museo completo, además de conseguir la flexibilidad deseada para este uso, objetivo que se pretende conseguir en esta investigación.

01.05 CONCLUSIONES

Como hemos podido ver en este último apartado los proyectos rehabilitación, que tienen como edificio a mantener un edificio industrial, cuando el uso es museístico, la entrada de luz natural no es una de las características que se suele mantener y explotar.

Debemos empezar por la teoría para comprender la importancia que tiene esa característica en cualquier edificio, ya que el aprovechamiento de la luz natural, en cualquier tipo de proyecto puede suponer hasta un 50% de ahorro energético, pero cuando el uso se trata del expositivo, donde la iluminación juega un papel realmente muy importante, y lo que hacemos es rehabilitar un espacio industrial, donde la entrada de luz natural es la de los rasgos más característicos, parece indispensable que éste tema sea uno de los temas más importantes a tratar.

Del último apartado podíamos concluir que, por lo general, las intervenciones que se hacen sobre los huecos son de carácter permanente, es decir, que cuando se interviene sobre el hueco, o se tapia (permanentemente), o se filtra, o no se interviene (se deja pasar toda la luz natural), pero no existe una respuesta en la que eso se pueda variar según las necesidades de la sala para cada momento. Concluíamos que esta manera de proyectar rigidizaba la solución del museo, haciendo menos flexibles las salas, y por lo tanto el museo.

Cuando observamos de qué manera agrupamos las intervenciones que se han realizado en los proyectos de referencia, podemos ver que, por lo general, el tipo de intervención ha asociado a la misma tipología de fabril dentro de un mismo grupo, es decir; En un primer grupo se han asociado proyectos de manufacturas reales, en otros naves o talleres y en otros las fábricas de pisos.

Esta observación nos puede dar pistas de que, cuando nos enfrentamos a una tipología fabril determinada, hay unas características que el edificio ya tiene, que nos condiciona a intervenir, a rehabilitarlo, de una determinada manera. Esta reflexión nos lleva al principio de la base teórica, donde partíamos de la importancia que tiene el estudiar "LO EXISTENTE". Cuando nos enfrentamos a una rehabilitación, no tenemos que estudiar únicamente el edificio que nos ocupa, hemos visto que el entender en que tipología está enmarcado, nos puede dar muchas pistas, para afinar más en su análisis, que nos permitirá poner de manifiesto sus características más importantes, y así rehabilitarlo de una manera más rigurosa con su realidad.

Como veíamos en el estado del arte que se presentaba en los documentos introductorios, en alguna de las citas se hacía referencia a la catalogación del patrimonio, y que no existe a día de hoy una "reglas" sobre como intervenir en el patrimonio industrial. El estudiar una tipología edificatoria en amplitud, viendo sus diferentes rasgos a lo largo de la historia y como ha ido cambiando, nos proporciona un criterio para intervenir en un edificio concreto dentro de esa tipología, porque nos da un conocimiento del tipo, nos da una "conformación de tipo".

El hecho de que hasta ahora se haya estudiado y realizado poca rehabilitación industrial, nos da un terreno sin explorar, no existen unos criterios de intervención en los que guiarnos, por lo que debemos ser nosotros mismos los que investiguemos sobre el tema, para crearnos un criterio, lo que supone un mayor esfuerzo que proyectar un edificio nuevo, que no nos requiere un estudio previo tan amplio.

Hasta este momento, la luz natural no ha sido una de las características a tener en cuenta en estos edificios, cuando el uso de rehabilitación era el expositivo. Pero gracias al estudio que hemos hecho del diseño para un óptimo aprovechamiento de la luz natural, podemos concluir que es posible intervenir en ellos y aprovechar esta característica, porque tenemos herramientas de proyecto para hacerlo, únicamente hay que saber cómo utilizarlas, para que aplicarlas, no se convierta en un arduo trabajo de investigación, que en muchas ocasiones en los proyectos no hay tiempo de afrontar.

Para utilizar las herramientas de diseño para el aprovechamiento de la luz natural, que son más "técnicas" y más conocidas por nosotros los arquitectos, debemos sumar el conocimiento de las necesidades concretas de iluminación, del uso expositivo.

Como hemos podido ver en el apartado de la luz en los espacios expositivos, la iluminación de estos espacios no es un tema sencillo de estudiar, hay muchos requisitos muy específicos para cada tipo de exposición y para cada tipo de obra, y por otro lado debemos ser los más neutros posibles en la intervención, para que cada sala sea como una hoja en blanco para cada artista que expone en ese espacio, y lo pueda adaptar a sus necesidades, y hemos visto que no es fácil. Pero también hemos visto las ventajas que supone el aprovechamiento de la luz natural, y la importancia que tiene para que la gente que visita estos espacios se sienta cómodo, y a diferencia de lo que podíamos pensar de partida, si hay una parte de la iluminación de un espacio expositivo que puede solucionarse con la luz natural, únicamente hay que estudiar como intervenir en los huecos para conseguir alcanzar el control lumínico necesario.