



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Luz cenital desde el Movimiento Moderno

Autor/es

Inés Villarroya Martínez

Director/es

Belinda López Mesa

ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Año 2018



**DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD**

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Inés Villarroya Martínez

con nº de DNI 73018643Z en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)
Luz cenital desde el Movimiento Moderno

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 18 de Septiembre de 2018

Fdo: _____

LUZ CENITAL DESDE EL MOVIMIENTO MODERNO

RESUMEN

El Trabajo de Fin de Grado se plantea como un ejercicio de investigación acerca de la importancia de la iluminación natural cenital como generador de proyecto a través de varios edificios de distintos arquitectos.

Se analiza la importancia y el uso de la luz natural a lo largo de historia de la arquitectura, centrándonos en las cualidades de la iluminación cenital y diferenciamos entre captación solar horizontal y vertical a través de la cubierta, estudiando las ventajas e inconvenientes que plantea cada tipo de lucernario.

Las obras y los arquitectos elegidos tienen en común el uso de luz natural cenital como elemento fundamental de proyecto. No sólo es interesante por el ahorro de energía que supone la reducción de la necesidad iluminación artificial sino que también utilizan estos elementos de la cubierta como instrumentos para mejorar la eficiencia energética al integrarse en el funcionamiento térmico del edificio. De esta forma los edificios se proyectan teniendo en cuenta los cambios lumínicos tanto diarios como estacionales.

Inicialmente se estudian tres museos distintos de Renzo Piano en los que mediante la filtración de la luz del cielo a través de las diferentes capas de sus cubiertas de cristal logra unos espacios interiores de luz homogénea que permite ver las obras de arte bajo luz natural pero sin comprometer la conservación de las mismas.

A continuación se describen las soluciones utilizadas por Glenn Murcutt en tres de sus proyectos, y cómo mediante estos lucernarios verticales introduce también ventilación en sus edificios.

Ambos arquitectos han mostrado a lo largo de todas sus obras la preocupación por la energía, la luz y el clima y por el impacto de la arquitectura en el entorno.

Palabras clave: luz cenital, luz natural, lucernario, diseño pasivo, sostenibilidad, eficiencia energética.

LUZ CENITAL DESDE EL MOVIMIENTO MODERNO

01 PUNTO DE PARTIDA	8
02 OBJETIVOS	9
03 METODOLOGIA	10
04 ILUMINACIÓN NATURAL	12
05 ILUMINACIÓN CENITAL: CRITERIOS DE DISEÑO	16
06 Renzo PIANO: ILUMINACIÓN HORIZONTAL	20
Colección de Menil	22
Fundación Beyeler	26
Ampliación museo Kimbell	30
07 Glenn MURCUTT: ILUMINACIÓN VERTICAL	35
Casa Magney	37
Vivienda y estudio Murcutt-Lewin	40
Mezquita Newport	43
08 CONCLUSIONES	46
09 BIBLIOGRAFIA	48
10 WEBGRAFIA	50
11 CRÉDITOS ILUSTRACIONES	51

01 PUNTO DE PARTIDA

El tema del presente TFG surge tras una clase teórica de la asignatura de Construcción 4A sobre la integración de sistemas en el museo de Menil en Houston de Renzo Piano. En las teorías de la asignatura nos explican a través de diferentes proyectos de arquitectos contemporáneos cómo la integración de los distintos sistemas necesarios en el edificio (centrándose en los sistemas estructural, energético y envolvente), desde las fases iniciales de diseño genera proyectos en los que los distintos elementos funcionan de forma enlazada dando lugar a una mayor eficiencia energética y también a una mayor coherencia en cuanto al aspecto o la formalización del edificio.

En el edificio que alberga la colección de Menil la cubierta es el elemento característico que realiza múltiples funciones para el correcto funcionamiento del edificio. Asegura la estanqueidad del edificio, introduce la iluminación natural necesaria pero protege de la luz directa, funciona como elemento estructural e integra en su diseño elementos de ventilación o de iluminación eléctrica suplementaria.

La premisa inicial del proyecto era la creación de un museo de arte iluminado completamente por luz cenital natural, de forma que todas las etapas de diseño se orientaron hacia la investigación de la mejor manera de captar y difundir esa luz hacia el interior de los espacios expositivos.

Después de estudiar otros proyectos de Piano, observamos que esta preocupación por la manera de tratar la luz, especialmente captándola a través de la cubierta, se convirtió en algo fundamental en las posteriores galerías de arte del arquitecto.

Tras analizar las ventajas de la iluminación natural, tanto como medida de ahorro energético como por los beneficios que supone en cuanto a la salud humana, se decidió basar el tema en las estrategias de iluminación natural, centrandonos en la luz cenital por su gran calidad.

02 OBJETIVOS

El TFG tiene como objetivo el análisis de distintas estrategias de iluminación natural a través de la cubierta y su incorporación en el proyecto mediante ejemplos concretos de la arquitectura moderna. Se estudiará cómo se capta esa luz solar y los mecanismos utilizados para conducirla al interior de los edificios.

Con los edificios descritos se pretende analizar los distintos enfoques para el aprovechamiento lumínico y su idoneidad para diferentes situaciones y usos. Demostrando cómo mediante el estudio exhaustivo de los ángulos de sol según la latitud y la época del año y las necesidades climáticas de cada zona, la luz cenital se puede utilizar como mecanismo de aprovechamiento energético.

También se pretende hacer un recorrido a través de la historia de la luz natural como elemento esencial en la arquitectura a lo largo de la historia de la humanidad y cómo ha ido perdiendo importancia en el proceso de diseño debido al exagerado uso de la luz eléctrica, llegando a utilizarse las aperturas o huecos hacia el exterior más como un elemento de composición formal que como aquello que ilumina el espacio interior. Y cómo con la actual preocupación por el cambio climático y siendo la industria de la construcción una de las más contaminantes, es importante fijarse en arquitectos que han sentido una preocupación por la energía y la luz natural a lo largo de sus trayectorias profesionales.

Además los proyectos elegidos hacen de estos mecanismos captadores de luz su elemento más representativo, demostrando que es posible hacer una arquitectura más sostenible, ligada al clima y a las necesidades del entorno, que reduce su impacto en el medioambiente, integrando cuestiones relacionadas con la eficiencia energética en el diseño, y que a la vez suponen una mejora en cuanto a las cualidades estéticas de los edificios dotándoles de un lenguaje formal contemporáneo.

03 METODOLOGIA

La metodología a seguir en el estudio es analizar cómo se ha utilizado la luz natural en la arquitectura desde la prehistoria hasta la época actual y en qué momento pierde su relevancia y por qué. Además de los beneficios que supone frente a otro tipo de iluminación interior.

Posteriormente nos centraremos en los distintos tipos de iluminación cenital natural, basándonos en la diferenciación que realiza Norbert Lechner¹ en su libro “Heating, cooling, lighting: design methods for architects”² entre luz horizontal y luz vertical. Poniendo el énfasis en cómo deben diseñarse para aprovechar las ventajas de cada solución y de qué manera se pueden solucionar los inconvenientes que plantea su uso.

Una vez establecida esta diferenciación se analizarán distintas obras arquitectónicas de diversos arquitectos que utilicen por un lado la luz cenital vertical y por otro iluminación natural horizontal. Se estudiarán varios arquitectos y aquellas obras que utilizan la luz cenital como motor esencial del proyecto, pero siempre prestando atención a su preocupación por la sostenibilidad y por el uso de estos lucernarios como mecanismos energéticamente eficientes y no sólo como elementos meramente formalistas.

Elegimos a Renzo Piano como ejemplo de iluminación horizontal, centrándonos en sus proyectos de cubiertas de cristal a lo largo de los años. Se optó por tres proyectos separados en el tiempo de manera que se puede apreciar la evolución de la investigación llevada a cabo en la búsqueda de una forma eficiente de captar y controlar esa luz natural. De esta forma, el diseño y la construcción de la colección de Menil se desarrolló entre 1981 y 1986, la fundación Beyeler entre 1991 y 1997 y la ampliación del museo Kimbell entre 2010 y 2013. En este sentido el propio arquitecto comparaba los dos primeros edificios en una entrevista en 1999:

“La sostenibilidad se preocupa por el futuro tratando de asegurar el mantenimiento de materias primas, riquezas y energías del planeta. Desde que comencé a preocuparme por la luz y la energía, mis trabajos han evolucionado, y así, de la Galería Menil de Houston a la reciente Fundación Beyeler de Basilea, el sentido ecológico y sostenible de mis edificios se ha desarrollado. Beyeler posibilita un ahorro energético cuatro veces mayor al de Menil. No sólo he cambiado yo, lo han hecho la industria, los políticos, la gente. La sostenibilidad es tan necesaria como peligrosa porque afecta al planeta tanto como a la economía. En América, por ejemplo, es la propia cultura consumista la que a veces no resulta sostenible. Allí la preocupación por la sostenibilidad se ve como algo moralista, casi religioso, y es mucho más caro construir con criterios sostenibles. Hasta que la sociedad no esté

¹ Catedrático de arquitectura en el departamento de Ciencias de la Construcción de la Universidad de Auburn, Alabama. Estudia en su libro *Heating, cooling, lighting: design methods for architects* distintas estrategias de iluminación natural.

² Traducción: “calentamiento, enfriamiento, iluminación: métodos de diseño para arquitectos”.

preparada los arquitectos sólo podrán hacer propuestas. La sostenibilidad es un camino a realizar poco a poco, entre empresarios, arquitectos, ingenieros, políticos y ciudadanos.”³

Al tratarse de una serie de proyectos para espacios de exposición, las exigencias lumínicas son muy concretas: deben ser adecuadas para la correcta visualización de las obras pero a su vez impedir su deterioro debido a la radiación solar.

En cuanto a la elección de un arquitecto como ejemplo de luz cenital vertical, se optó por Glenn Murcutt por su preocupación constante por el diseño pasivo relacionado con el clima y los condicionantes del entorno. Analizando su uso de elementos de tipo lucernario observamos que le sirven para introducir tanto luz como ventilación en las distintas estancias. De nuevo cada obra corresponde a una etapa diferente, desarrollando la casa Magney entre 1983 y 1984, su propia vivienda y estudio entre 2000 y 2003 y el centro islámico de Newport entre 2008 y 2016. Se trata de una serie de proyectos de bastante menor escala comparándolos con las obras elegidas de Piano, lo que responde no sólo a la línea general de los proyectos de Murcutt sino que resultan más apropiados para el uso de lucernarios verticales. Hablando de su arquitectura y su relación con la luz y entorno, el propio arquitecto comenta:

“Quiero que mis edificios usen la luz y la ventilación naturales en la mayor medida posible, y por eso adapto su orientación para aprovechar al máximo la ventilación cruzada debida a las brisas dominantes, y varío las líneas y las inclinaciones de la cubierta para obtener el máximo sol invernal y minimizar el sol estival [...] En Australia, la luz es tan intensa, tan clara y nítida, que separa y aísla los elementos del paisaje con un riguroso contorno. El efecto tanto físico como visual de esa luz sobre el terreno es extraordinario. En algunas partes del desierto australiano, las hojas de los árboles – a diferencia de las hojas templadas de Europa y Norteamérica, que se ondulan y se vuelven de cara al sol – dan la espalda a la luz directa, colgando para reducir la evaporación de la humedad superficial. Y el borde de la hoja capta el recorrido del sol y lo sigue durante todo el día. [...] Si entendemos [...] por qué una cosa tiene el aspecto que tiene, o por qué funciona como lo hace, entenderemos el principio, y ese principio –no la forma que produce– es transferible.”⁴

³ Entrevista a Renzo Piano “*La arquitectura debe ser comprometida*” Anatxu Zabalbeascoa.

⁴ Glenn Murcutt en *La arquitectura moderna desde 1900*. Pág. 640.

04 ILUMINACIÓN NATURAL

A lo largo de la historia de la humanidad la luz natural ha sido utilizada como la principal fuente de iluminación de los espacios interiores y ha sido una parte fundamental en la arquitectura.

Tanto es así que, tal y como dice Norbert Lechner, “la historia de la iluminación natural y la de la arquitectura eran la misma”⁵. Los cambios de las tipologías y de los sistemas estructurales de cada momento histórico se correspondían, en parte, al interés por conseguir una mayor entrada de luz en el interior de los edificios. En numerosas civilizaciones y religiones por todo el mundo ha habido también una relación entre lo divino o transcendental y los fenómenos luminosos o la manera de tratar la luz.

Partiendo desde la prehistoria, con emplazamientos megalíticos como Stonehenge (siglo XX a. C), que se vincula con rituales religiosos relacionados con el movimiento del sol, las estrellas y la luna y cuya distribución se orienta hacia la luz. (4.1)

En cuanto a la arquitectura romana, en el Panteón de Agripa (118-125 d. C) la luz entra en el interior del templo a través de un oculus situado en el centro de la cúpula, atravesando todo el espacio. Actúa como un gran reloj solar mostrando el movimiento del sol a lo largo del día. (4.2)

En la arquitectura bizantina, tomamos como ejemplo la cúpula Santa Sofía (532-537), donde mediante el uso de una sucesión de ventanas se produce el efecto de que la cúpula parece que flota, además de inundar de luz natural el espacio interior. (4.3)



4. 1 Stonehenge

4. 2 Pantheon

4. 3 Santa Sofía

En la Edad Media, comparando el románico (4.4) con el gótico (4.5), se observa que el cambio de la bóveda de cañón a la bóveda de arista permitió la introducción de muros realizados completamente de vidrio de colores en las iglesias góticas debido a la presencia de arbotantes que aligeraban la estructura frente a los pequeños huecos que permitían los gruesos muros de carga románicos.

⁵ Revista tectónica Nº 26 iluminación (II) natural pág. 4 (2007).



4. 4 Iglesia del Salvador de Sepulveda



4. 5 Saint Chapelle

En el Renacimiento la luz natural, sin modificaciones de color a través de vidrieras, recobra su importancia mediante un orden de huecos siguiendo unas estrictas proporciones. El interior de las iglesias se llena de una luz difusa. Mientras que el Barroco se caracterizó por utilizar la luz natural para lograr efectos visuales y como decoración ornamental mediante reflejos y contrastes.

Esta búsqueda de mejoras a partir de la tecnología del momento continuó avanzando hasta que en el siglo XIX, debido a la aparición de los nuevos sistemas constructivos desarrollados con el uso de hierro y vidrio y basados en la prefabricación y el diseño modular, fue posible la realización de edificios completamente acristalados como el Palacio de Cristal de Paxton⁶ con motivo de la Gran Exposición mundial en Londres, de 1851. (4.6)



4. 6 Interior Palacio de Cristal

En los primeros años de la arquitectura moderna, finales del siglo XIX y principios del siglo XX, el soleamiento, la iluminación y la ventilación se consideraban fundamentales.

En los años 20, la evolución del sistema Dom-ino desarrollado por Le Corbusier y la liberación de la planta de la estructura, y por tanto la liberación de la fachada, dio como

⁶Joseph Paxton (1803-1865) fue un arquitecto y paisajista inglés reconocido por el Palacio de Cristal, inspirado en los grandes invernaderos que había construido como jardinero.

resultado la aparición de la ventana corrida⁷, que, atravesando la fachada en toda su longitud mejoró la iluminación natural de los espacios interiores.

Para algunos de los mayores exponentes de la arquitectura moderna del siglo pasado, como Le Corbusier, Louis Kahn, Frank Lloyd Wright o Alvar Aalto, la luz natural estaba tan intrínsecamente relacionada con la arquitectura que llegaron a afirmar:

"La arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes bajo la luz" (Le Corbusier)

"Nosotros nacimos de la luz; las estaciones del año son reconocidas por la luz y la luz natural es la única que convierte a la arquitectura en arquitectura" (Louis Kahn)

En esta fascinación por la luz natural destacó el finlandés Alvar Aalto. La luz es uno de los elementos más importantes de la arquitectura y el diseño nórdicos debido a su escasez. Se trata de una luz difusa, tamizada por las nubes. Aalto realiza en todas sus obras un minucioso estudio para el aprovechamiento del sol hasta el punto de tratar de no dejar ningún espacio interior sin luz natural. Por este motivo, en muchas de sus obras utiliza la iluminación cenital para poder llevar la luz exterior al interior de sus edificios.

En la sala de lectura de biblioteca de Viipuri (1933 - 1935) Aalto diseñó 57 claraboyas circulares dispuestas modularmente en la cubierta que difundían la luz del sol, una vez atravesado el lucernario, la luz rebota contra las paredes del hueco, produciendo miles de líneas de reflexión, creando un espacio homogéneamente iluminado perfecto para su uso como espacio de lectura. (4.7)



4.7 Biblioteca de Viipuri

Sin embargo, la aparición de las lámparas fluorescentes y la reducción del coste de la energía de origen fósil en la segunda mitad del siglo XX, además de la confianza en las nuevas tecnologías, llevó a la concepción de la iluminación artificial como superior, de forma que la luz natural fue perdiendo importancia hasta el comienzo de los años 70, con la crisis del petróleo, cuando por razones energéticas y económicas, se tuvo que "redescubrir" la iluminación natural de edificios.

⁷ Constituye uno de los *cinco puntos de la arquitectura moderna* desarrollados por Le Corbusier.

La luz no sólo es necesaria para realizar determinadas actividades sino que es una necesidad fisiológica de los seres vivos ya que regula los ritmos circadianos⁸ del organismo. Actualmente existen numerosos estudios que demuestran la necesidad humana por la luz natural ya que mejora la salud y produce beneficios como aumentar la productividad y mejorar el confort.

Además, debido al tremendo impacto del calentamiento global y el efecto invernadero, es fundamental un control y un estudio detallado de los consumos energéticos de los edificios. No sólo asegurándonos de que se consuma la menor cantidad de energía derivada de combustibles fósiles sino también tratando de reducir este consumo hasta niveles cercanos al cero.

La luz eléctrica supone el principal consumo energético en los edificios⁹ a pesar de que las nuevas luminarias de alta eficiencia suponen un considerable ahorro de energía. Es imposible eliminar completamente la necesidad de luz artificial, especialmente por la noche, sin embargo, sí que se puede aprovechar la luz natural durante el día, que corresponde con la franja horaria en la que se utilizan la mayoría de los edificios públicos. Además, el aire acondicionado ocupa el segundo lugar en consumo de energía (especialmente en verano ya que se utiliza más energía para refrigeración que para calefacción), en este sentido, el aprovechamiento de la iluminación natural reduce el consumo ya que puede ser más fría que la luz artificial en verano y, también, puede permitir el calentamiento pasivo del edificio en invierno.

Para lograr un correcto funcionamiento, es fundamental un diseño cuidadoso en cada apertura de luz para su correcto aprovechamiento: captación solar máxima en invierno para reducir el consumo en calefacción y protección del hueco en verano para evitar ganancias térmicas indeseadas pero permitiendo el paso de la luz necesaria para el desarrollo de las actividades.

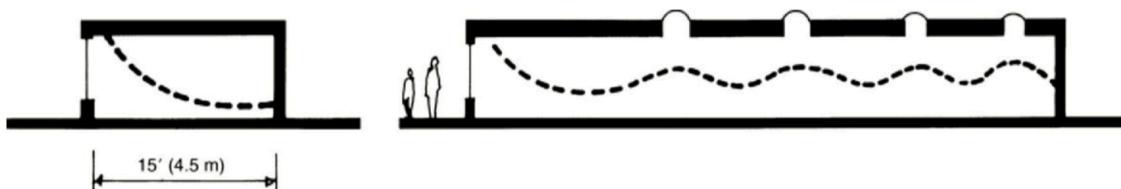
⁸ Ciclos diarios biológicos de los seres vivos.

⁹ Buchanan, Peter. Ten shades of green. Pág. 30.

05 ILUMINACIÓN CENITAL: CRITERIOS DE DISEÑO

En cuanto al presente TFG, nos vamos a centrar en el estudio de la luz cenital y sus ventajas e inconvenientes. Los elementos que introducen luz natural a través de la cubierta captan una mayor cantidad de luz a lo largo del día frente a las ventanas convencionales, en las que habitualmente la cantidad de luz es excesiva en su proximidad y, sin embargo, insuficiente en la parte más alejada (5.1). Además, excepto aquellas situadas en la fachada sur¹⁰, el resto de ventanas sólo recibe la luz del sol a lo largo de unas pocas horas al día.

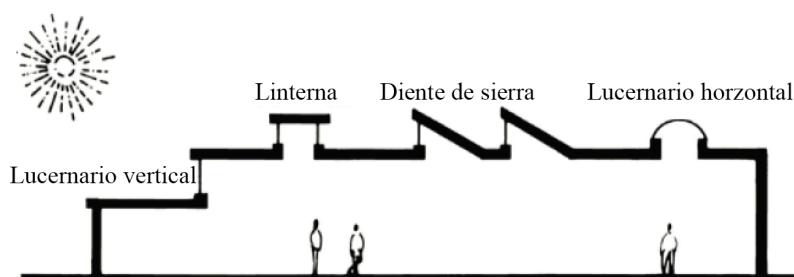
Por otro lado la iluminación cenital no es una solución que se pueda utilizar en edificios de muchas plantas.



5.1 Comparativa del alcance de la luz natural: ventana frente a lucernarios. [Norbert Lechner]

En cualquier proyecto de luz natural es fundamental el diseño cuidadoso del hueco, evitando la captación de luz directa y estudiando la manera de difundir la luz para evitar fuentes excesivamente luminosas, mediante elementos de tipo pantalla que la reflejen y distribuyan. También hay que reducir deslumbramientos, sombras, excesivos contrastes o reflejos que dificulten la actividad visual. En los huecos cenitales es fundamental diseñarlos de manera que se evite la perdida energética en el caso de grandes aperturas en invierno o la posibilidad de favorecer el efecto invernadero en verano.

La clasificación que se realiza a continuación en cuanto a tipos de iluminación cenital se basa en la que hace Norbert Lechner en su libro “*Heating, cooling, lighting: design methods for architects*”, en el que define además una serie de estrategias de control solar.



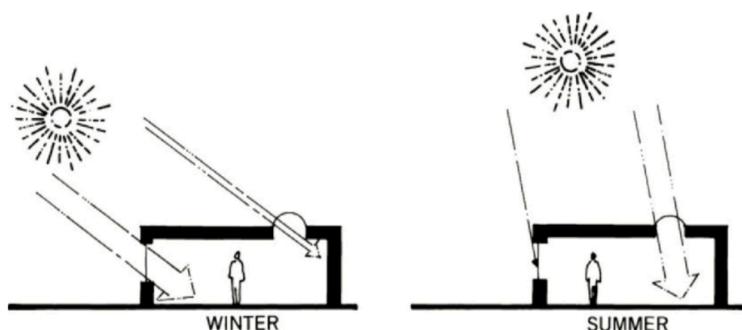
5.2 Tipos de aperturas cenitales [Norbert Lechner]

¹⁰ Haciendo referencia a aquellas obras situadas en el hemisferio norte, en caso de tratarse de un proyecto localizado en hemisferio sur, la mejor orientación sería la norte en cuanto a captación solar.

Diferenciaremos entre iluminación cenital horizontal e iluminación cenital vertical, ya que se comportan de manera muy diferente.

Los lucernarios horizontales o con ligerísimas pendientes o claraboyas, se encuentran abiertos al cielo, por lo que la principal ventaja es la gran cantidad de luz que reciben a lo largo del día y la homogeneidad de la iluminación que proporcionan al interior.

Su mayor inconveniente son las ganancias térmicas indeseadas, que son mayores que en el caso de los lucernarios verticales ya que la zona de la cubierta recibe mayor incidencia solar en verano que en invierno frente a las ventanas o elementos verticales orientados a Sur, que funcionan mejor en esta situación ya que reciben mayor cantidad de sol en invierno que en verano debido al cambio en la inclinación a lo largo del año (5.3).



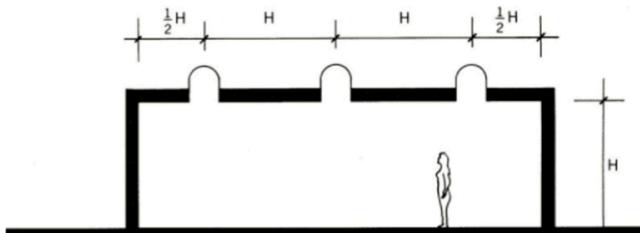
5.3 Comparativa de huecos en invierno y en verano [Norbert Lechner]

Como ya hemos dicho, debido los altísimos niveles de iluminación es fundamental difundir esta luz de alguna manera. Pudiendo utilizarse reflectores o pantallas exteriores que mejoren el funcionamiento verano/invierno de manera que protejan del sol en las épocas de calor pero aumenten la captación solar en las épocas frías. También se pueden utilizar elementos interiores que reflejen la luz hacia el techo. En general hay que tener en cuenta que este tipo de huecos son más difíciles de sombrear que una ventana o un lucernario vertical.

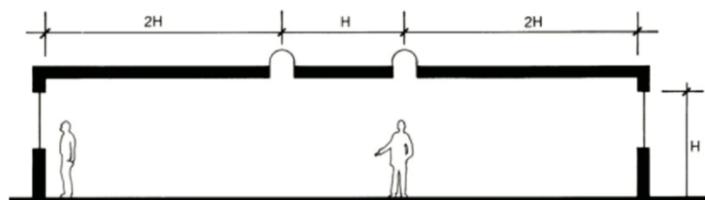
Siempre es deseable el uso de algún elemento sombreador de tipo lamas móviles que permita regular la iluminación interior para adaptar a las necesidades y usos.

Para evitar el deslumbramiento directo en los lucernarios horizontales se puede difundir la luz mediante el uso de cristales translúcidos, que en otra situación no serían apropiados porque imposibilitarían tener vistas del exterior. También se puede evitar mediante la colocación de la apertura en la zona más alta de la cubierta de forma que la alta claridad de la claraboya se sitúa fuera del campo de visión. Abocinar el hueco es otro mecanismo para obtener mejor distribución de la luz y menor deslumbramiento.

Para lograr la iluminación uniforme en el interior de los espacios es fundamental la distribución homogénea de los huecos de forma proporcionada a partir de la altura libre del espacio interior. También hay que tener en cuenta si se trata de un espacio cerrado en los laterales (5.4) o sí, además, existen aperturas verticales (5.5), en este caso, la separación en las zonas cercanas al perímetro podrá ser mayor manteniendo la homogeneidad de la iluminación interior.



5.4 Distancias recomendadas para claraboyas sin ventanas [Norbert Lechner]



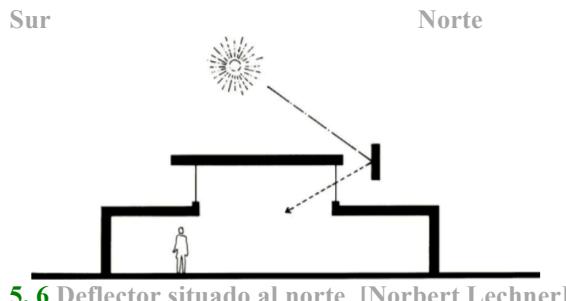
5.5 Distancias recomendadas para claraboyas con ventanas [Norbert Lechner]

Los lucernarios verticales y las linternas son zonas que se elevan por encima de la cubierta proporcionando iluminación al interior del edificio. Su funcionamiento es muy similar al de las ventanas comunes.

Por tanto, su principal desventaja es que captan una menor cantidad de luz que un hueco horizontal a lo largo del día.

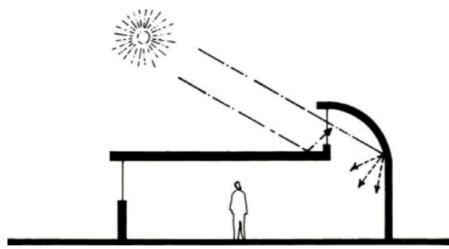
En cuanto a la posición, como ya hemos dicho, en aquellos huecos orientados al sur se produce una mayor captación de luz en invierno que en verano lo que disminuye la necesidad de calefacción (5.3). Además la orientación norte también resulta interesante ya que proporciona una luz indirecta con prácticamente ningún deslumbramiento. Las orientaciones este y oeste resultan poco recomendables por corresponderse con los rayos más bajos del sol.

Por otro lado, los lucernarios verticales son más fáciles de proteger mediante elementos de tipo voladizo de la radiación solar directa en las épocas en las que no resulta conveniente que los horizontales. También se pueden instalar deflectores de luz solar en la orientación norte para aumentar la captación (5.6).



5.6 Deflector situado al norte [Norbert Lechner]

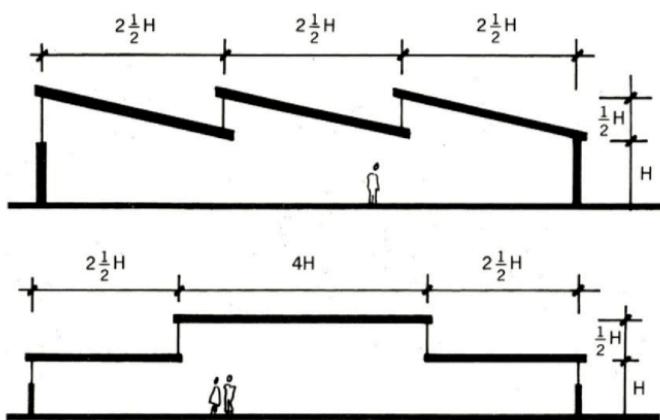
De nuevo la manera de difundir la luz juega un papel importante, el uso de un color claro en el techo hace que la luz que se introduce en el interior del edificio sea reflejada creando una iluminación difusa. Además las superficies interiores como las paredes pueden funcionar como elemento difusor de luz (5.7).



5. 7 Lucernario sur que refleja en la pared [Norbert Lechner]

Es interesante la introducción de parasoles o lamas regulables que permitan cambiar la iluminación interior según las necesidades y dirigir la luz hacia el techo o disminuir la posibilidad de deslumbramiento.

En cuanto a la distribución de los huecos para conseguir la iluminación adecuada del interior debe ser proporcionada con su altura libre (**5.8**).



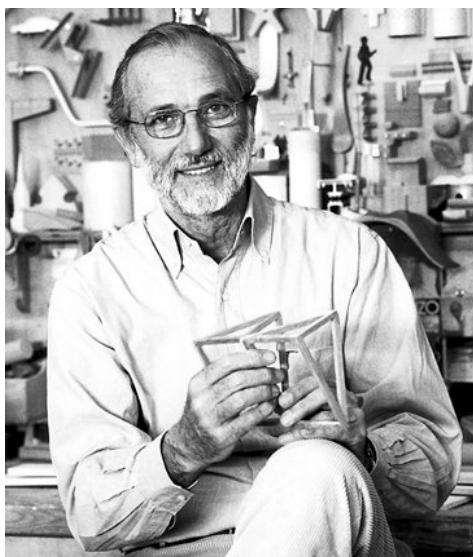
5. 8 Proporciones recomendadas [Norbert Lechner]

06 Renzo PIANO

Iluminación horizontal



Renzo Piano



6. 1 Renzo Piano

Nació en Génova, Italia. Estudió en la Facultad de Arquitectura de Florencia y se graduó en la Universidad Politécnica de Milán en 1964. Fue asistente de Marco Zanuso. Ejerció como profesor en el Politécnico de Milán y en la Architectural Association School of Architecture de Londres. Se asoció con Richard Rogers y crearon la oficina Piano & Rogers en 1970. Desde 1977 trabajó con Peter Rice en el L'Atelier Piano and Rice. En 1981 fundó Renzo Piano Building Workshop (RPBW) que, actualmente, tiene sedes en París, Génova y Nueva York.

Desde la década de los 80 Renzo Piano Building Workshop ha diseñado y realizado distintos museos en por todo el mundo. La mayoría de estos edificios poseen la característica común del tratamiento y aprovechamiento de la luz natural a través de la cubierta como motor generador de proyecto. Además, se trata de un arquitecto que siempre ha mostrado una clara preocupación por el estudio y aplicación de criterios relacionados con la sostenibilidad y el aprovechamiento energético, pero integrándolo en el diseño de los propios edificios.

“Creo que un enfoque sostenible en lugar de disminuir el potencial poético de un edificio debe aumentarlo al reforzar aspectos como la transparencia, la luz, la relación con el paisaje...”¹¹

El primero de esta serie de proyectos de museos fue la colección de Menil en Houston. Posteriormente ha realizado otros, como la fundación Beyeler en Suiza o la ampliación del museo Kimbell en Fort Worth.

“El nexo de unión entre todos estos proyectos es la luz natural y la decisión de que en un museo la emoción contemplativa debe prevalecer por encima de cualquier otro concepto. Un museo es un espacio para la contemplación.”¹²

Los proyectos elegidos coinciden en el uso de cubiertas horizontales de cristal para introducir luz natural al interior, sin embargo, los dispositivos de filtro o los diferentes estratos que forman estas cubiertas son muy diferentes en cada uno de los ejemplos. El objetivo de sus proyectos es utilizar los materiales y las tecnologías, tanto tradicionales como novedosas, que mejor se adapten a cada proyecto en particular. El diseño final depende de los contactos con el cliente o los consultores, pero también del programa, la localización o el lugar.

¹¹ Renzo Piano: arquitecturas sostenibles pág. 61.

¹² Renzo Piano: arquitecturas sostenibles pág. 62.

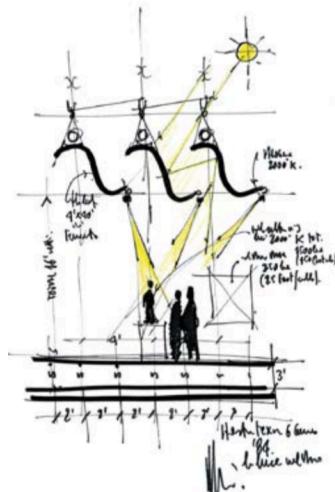
MENIL COLLECTION (1981-1986)

Houston, Texas. Estados Unidos

Situación Houston, Texas,
en el Sur de EE.UU.

Clima cálido y templado
En verano unos 27° con
máximas de 33°

En invierno alrededor de
11° con mínimas de 6°



6. 2 Boceto iluminación

La Fundación de Menil acoge la colección de arte antiguo, africano y surrealista de Dominique y John de Menil. Además de los espacios dedicados a las galerías de arte, el edificio también contiene un taller y un espacio de trabajo para restauración y estudio de las obras. Una de las directivas principales de la Sra. De Menil era que las galerías se debían iluminar de forma natural, predominantemente desde arriba, y que la luz de la galería debía reflejar los cambios lumínicos y climáticos a lo largo de las estaciones y del día.

Debido a la gran cantidad de obras que forman la colección se decidió que esta no sería expuesta al público de forma completa, sino que las obras irían rotando. Después de esta decisión surgió la idea de la “casa del tesoro”, un pequeño volumen cerrado que parece que flota por encima del cuerpo principal del edificio (6.3), un espacio seguro con condiciones ambientales estables donde guardar aquellas obras que no se estuvieran exhibiendo para su óptima conservación, de esta manera, se permitió una exposición solar mayor de lo que se los expertos consideran aceptable, cuando las obras se exhiben al público en las galerías inundadas por luz natural los niveles de iluminación pueden llegar a alcanzar los 800 luxes en aquellas zonas cercanas a las ventanas en los días más soleados.

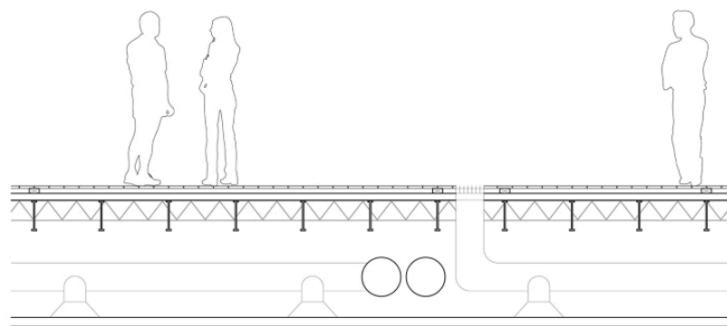
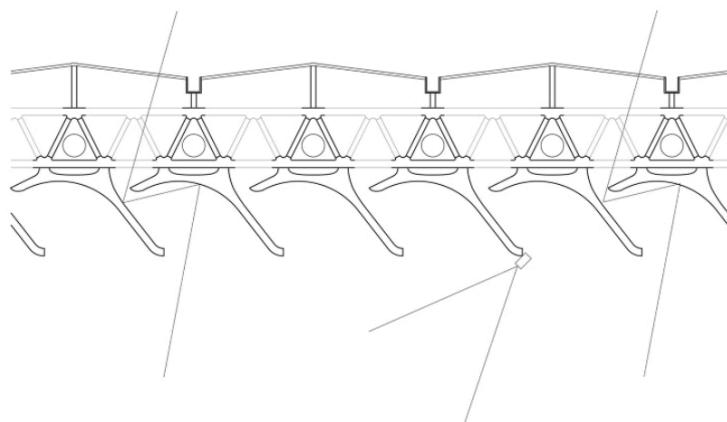


6. 3 Vista exterior del conjunto

Siendo la cubierta el principal elemento del proyecto, al comenzar con su diseño se definieron las principales funciones que debería realizar: control lumínico, control de ganancias térmicas, función estructural y soporte de componentes adicionales.

Basándose en estándares internacionales el nivel de iluminación para una colección permanente en principio se fijó en 150 luxes. A partir de esta cifra se calculó un máximo de horas anuales de exposición a la luz¹³. Como ya hemos dicho, puesto que la mayoría del tiempo las obras se encuentran recogidas en el ambiente controlado y oscuro de la “casa del tesoro”, es posible exponer las obras a una cantidad mayor de 150 luxes en los cortos períodos en que son exhibidas al público.

La cubierta alcanza un espesor de casi dos metros y se encuentra dividida en tres capas. **(6.4)**



6. 4 Detalle sección

La capa más exterior se corresponde con el cerramiento de paneles de vidrio reflectante que contienen un filtro ultravioleta y se encuentran ligeramente inclinados para favorecer la evacuación del agua hacia el canalón de acero inoxidable intermedio, consiguiendo la estanqueidad del museo.

¹³ Revista Arup Journal 1983.

En el interior del edificio se sitúa un entramado triangular de tubos de hierro dúctil¹⁴ diseñados lo más esbeltos posible para evitar peso innecesario y minimizar sombras no deseadas o pérdidas de luz. Estos elementos funcionan como soporte de las capas superior e inferior y constituyen el estrato intermedio. En su interior se sitúan mecanismos de ventilación. (6.4)

La tercera capa, situada más al interior, se compone de una serie de lamas de ferrocemento¹⁵ con doble curvatura, que se denominaron “hojas de luz”¹⁶, cuya función es filtrar o difundir la luz. Las piezas, de un canto aproximado de un metro, se repiten de forma longitudinal, con una separación de 1,15 metros entre ejes. Además sostienen otros elementos como las luces artificiales. Las “hojas” se solapan de manera que se admite el paso de la luz del sol pero no permiten la visión del cielo. Se diseñó cuidadosamente de manera que se evitara la entrada de luz directa pero que, sin embargo, reflejassen la luz del sol hacia el interior de las galerías. El lado mayor de la “hoja” se sitúa en oposición a la orientación sur, de forma que bloquea la radiación directa y transmite al interior la luz difusa del Norte. La radiación incide sobre la cara exterior del ala de fibrocemento y se refleja sobre la cara cóncava interna que actúa como difusor que introduce la luz en el interior.



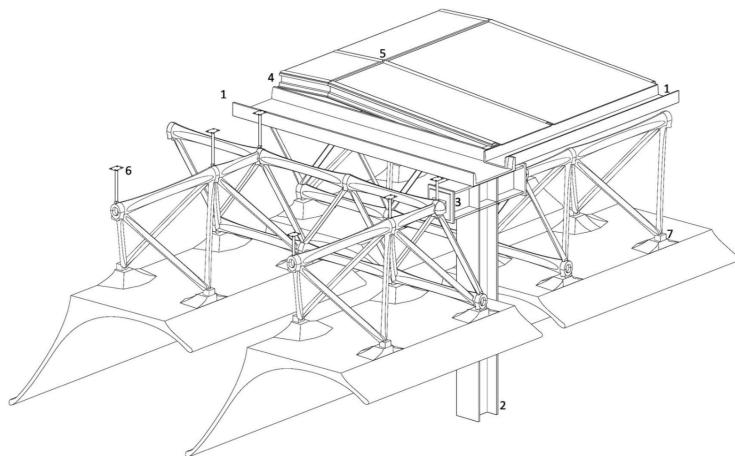
6. 5 Espacio interior galerías

¹⁴ Material cuya ventaja frente al acero fundido y otros metales fundidos es que es más fluido cuando se está moldeando por lo que se adapta de manera más fácil a formas irregulares. No necesita ser tratado con calor como otros materiales fundidos lo que significa que no se deforma ni distorsiona después del moldeado. (Revista Arup Journal summer 1987)

¹⁵ Material muy pesado, usualmente utilizado en la construcción de barcos. Consiste en una serie de fibras de acero mezcladas con mortero con alto contenido en cemento. (Revista Arup Journal 1983)

¹⁶ Traducción de “light leaves”

Debido a la oposición de las inclinaciones¹⁷ de los paneles de cristal de la primera capa, los reflectores alternos reciben una luz ligeramente más cálida o más fría ya que la luz se difracta al atravesar los diferentes paneles de vidrio y de esta forma reflejan estas variaciones al interior de las galerías. Este sutil efecto, como dice Reyner Banham¹⁸ en *Art in America* “es suficiente para transformar la iluminación perfecta en luz viviente”. (6.5)



6. 6 Perspectiva con detalle de las distintas capas

Las hojas de fibrocemento no son móviles de manera que la cantidad de luz natural en el interior de las galerías dependerá de la cantidad de luz en el exterior. De ahí la gran importancia de la “casa del tesoro” y la rotación regular de obras ya que la cantidad de luz en Houston es considerable.

La principal debilidad del diseño es el sobrecalentamiento en verano debido al uso de lucernario horizontal ya que la capa exterior de la cubierta de cristal recibe luz directa a lo largo de todo el día y con mayor incidencia en los calurosos días de verano. Además la presencia del elemento difusor, las “hojas” de ferrocemento, en el interior del edificio, por debajo del cristal, hace que se introduzca el calor del sol.

En los museos posteriores, algunos de los cuales se describen a continuación, Piano introduce elementos sombreadores por encima del cristal, de manera que se evite este sobrecalentamiento.

Para mejorar su eficiencia el sistema de ventilación se basa en aprovechar la ventilación natural y suplementarla con un sistema de ventilación mecánica. El circuito consiste en introducir aire renovado desde el suelo a muy baja velocidad, de manera que progresivamente, por efecto de la estratificación, vaya ascendiendo el aire caliente hasta llegar a la parte superior de las galerías, donde además se produce un sobrecalentamiento debido a la propia presencia y disposición del lucernario. Entre la estructura triangular se sitúan los conductos de extracción de aire caliente, que posteriormente es conducido hasta canales en las paredes por donde desciende para ser renovado y volver a ser recirculado desde el suelo. (6.4)

¹⁷ En las primeras etapas de diseño todos los paneles tenían la misma dirección.

¹⁸ Reyner Banham (1922-1988) fue un escritor y crítico de la arquitectura británico

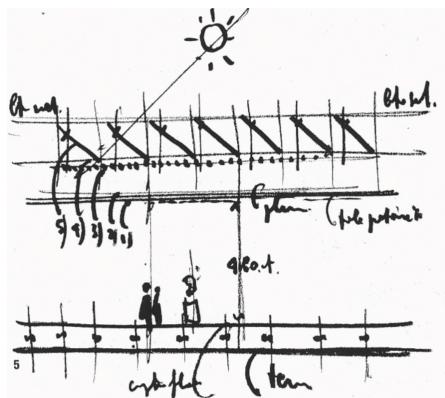
FUNDACIÓN BEYELER (1991-1997)

Riehen, Basilea. Suiza

Situación Riehen, Basilea, en el norte de Suiza

Clima fresco
En verano unos 20° con máximas de 24°

En invierno alrededor de 2°



6. 6 Boceto de iluminación

La fundación Beyeler en Basilea alberga de forma permanente la colección de Ernst y Hildy Beyeler, compuesta por obras de finales del siglo XIX y todo el siglo XX, además de esculturas de África, Alaska y Oceanía. El edificio se construyó en el parque de la histórica villa Berower del siglo XVIII, en la que se sitúan las oficinas del museo y un restaurante. Beyeler encargó el proyecto a Renzo Piano en vez de convocar un concurso tras visitar algunas de sus obras como el museo de Menil o el centro Pompidou en París. La premisa fue crear un museo completamente iluminado por luz natural inmerso en la vegetación circundante.

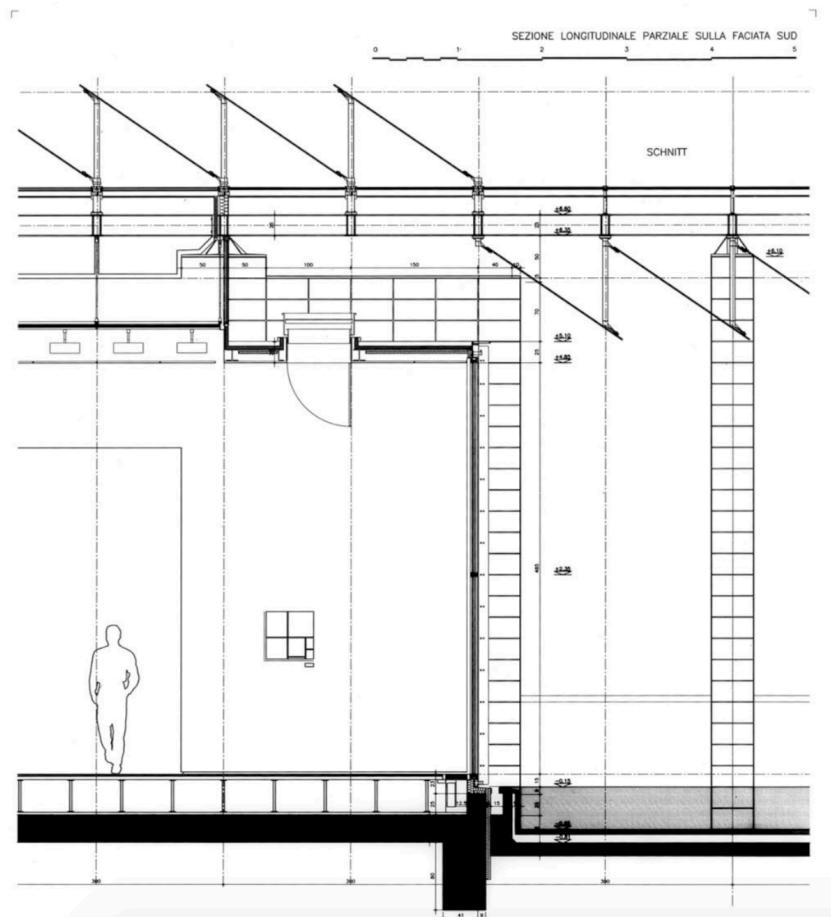
Los bocetos iniciales se asemejaban a un gran invernadero en el parque de la villa. De estas ideas preliminares siempre se mantuvo la cubierta acristalada. En el proyecto final esta ligera cubierta parece flotar (6.8) sobre los cuatro gruesos muros paralelos de pórfido rojo¹⁹ con alineación Norte-Sur. Además el edificio se acristala hacia el parque estableciendo una relación directa entre el interior y el exterior.



6. 7 Vista exterior

¹⁹ El material que reviste los muros se trajo desde Argentina, ya que era lo más parecido a la piedra arenisca, utilizada en la catedral de Basilea, pero menos resistente a las condiciones ambientales.

La cubierta alcanza un espesor de 2,85 metros y se divide en cinco estratos, realizando una filtración de la luz más controlada que la del museo de Menil. Los niveles de iluminación interior no exceden los 300 lux²⁰ por motivos de conservación, ya que en este caso, la colección al completo, siendo en su mayoría pinturas, se exhibe de forma permanente. La cubierta ilumina de forma suficiente las galerías excepto en los días nublados, cuando es necesario el uso de luz artificial para conseguir la iluminación adecuada. (6.9)



6.8 detalle sección cubierta

La capa exterior se compone de una sucesión de paneles inclinados de vidrio blanco opaco templado de 12 mm de grosor. Estos elementos filtran el 30% de la luz directa y se encuentran fijos a 34° respecto de la horizontal de manera que captan la luz de la orientación Norte mientras bloquean el paso de la luz directa del sur. Los parasoles se conectan mediante tubos de acero con la estructura primaria de acero de la cubierta. (6.10)

²⁰ Self, Ronnie. Roof structures and lighting concepts in four museums by Renzo Piano Building Workshop. Pág. 50.



6. 10 detalle parasoles exteriores

El segundo estrato consiste en una doble capa de vidrio transparente aparentemente plana, pero con una ligera pendiente hacia los canales de desagüe situados por encima de los gruesos muros, además incorpora un filtro ultravioleta que elimina las partes más dañinas del espectro electromagnético.

La tercera capa corresponde a una serie de lamas móviles intercaladas entre una estructura de perfiles de acero soldado. Por encima, se sitúa una subestructura que sujeta los paneles de vidrio y por debajo, se localizan el resto de capas. El movimiento de las lamas es monitorizado por una serie de sensores de luz que se sitúan en la cubierta. Este sistema es fundamental para mantener los niveles de luz dentro de los límites predeterminados, particularmente en los días especialmente soleados del verano. Además también permite adaptar la iluminación de cada una de las distintas salas para conseguir la atmósfera deseada. Cuando el museo está fuera de las horas de visita las lamas se cierran llegando a oscurecer completamente las salas para proteger las obras de arte de exposición solar innecesaria.

El cuarto estrato se corresponde con un techo de vidrio laminado de 20 mm de grosor que delimita un espacio de 1,5 metros desde la segunda capa. Esta cámara de aire es fundamental para el comportamiento térmico del edificio ya que separa el ambiente controlado de las galerías del efecto de los cambios de temperatura del exterior. Este espacio es accesible para temas de mantenimiento de las lamas operables así como de los fluorescentes²¹ que se utilizan como luz artificial cuando es necesario.

La quinta y última capa, vista desde el interior de las galerías, es un techo suspendido realizado con paneles de aluminio perforado al 70%. Los paneles disimulan los elementos técnicos y las luminarias, además de difundir la luz natural, crean la ilusión de un techo plano, sin elementos añadidos, que irradia luz, aunque se puede percibir parte de la estructura y de las capas que se sitúan por encima e incluso tener pequeñas visuales de cielo. (6.11)

²¹ Se utilizaron luces fluorescentes para minimizar ganancias térmicas, reducir el consumo de energía y por su larga vida útil. Además de una mezcla de bombillas de luz cálida y fría para conseguir el color de la luz que se consideró adecuado.



6.11 Interior galería

Una vez atravesadas las distintas capas la luz llega a las galerías con un 9%²² de la energía con la incidió en la cubierta. Mientras que Ove Arup²³ había fijado un 4% como la intensidad recomendada después de numerosos estudios sobre la luz natural en Basilea.

Los laterales acristalados se protegen por voladizos que siguen el mismo ritmo de parasoles de la cubierta y que impiden el paso de la luz al interior en verano mientras que permiten el calentamiento pasivo en invierno. Sólo es necesario el uso de calefacción en las galerías con ventanas que dan directamente al exterior gracias a la presencia de la cubierta como “colchón térmico”.

El circuito de ventilación vuelve a basarse en un sistema mecánico de desplazamiento de aire a velocidades apenas perceptibles a través de unas rejillas lineales de madera situadas en el suelo (6.11), que son removibles para temas de mantenimiento. Al igual que en el museo de Menil, se aprovecha la tendencia natural del aire de estratificarse en capas de distinta temperatura. Debido a la gran altura libre del museo las temperaturas pueden aumentar considerablemente entre el punto más alto donde el aire caliente o viciado es extraído y la parte más baja, por donde circulan los visitantes, que se mantiene a una temperatura más constante y por donde se introduce el aire renovado. En este caso el aire es extraído a través de aperturas situados en zonas altas entre las paredes y la primera capa del techo y conducido a través de las paredes hacia la zona técnica del sótano para la extracción de su energía calorífica y su reciclado y mezcla con aire fresco del exterior. El sistema de recuperación de calor también se conecta con la cámara de aire de la cubierta para captación de energía calorífica del aire de ese espacio de grandes ganancias térmicas. Debido a la presencia de una amplia zona verde en las proximidades al oeste del museo la toma de aire del exterior se sitúa en esta orientación.

²² Sánchez Moya, María Dolores. Tesis doctoral *El pabellón de los países nórdicos en la bienal de Venecia de Sverre Fehn*. Pág. 273.

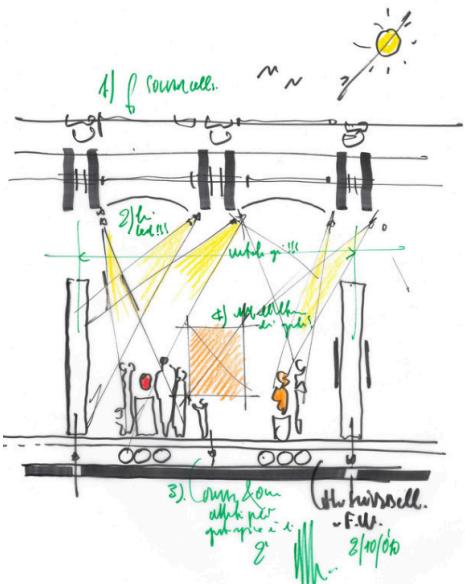
²³ Empresa de ingeniería civil y de construcción metálica fundada por Ove Nyquist Arup en 1946 que ha colaborado con RPBW en numerosos proyectos.

AMPLIACIÓN MUSEO KIMBELL (2010-2013)

Fort North, Texas. Estados Unidos

Situación Fort North, Texas, centro de EE.UU

Clima cálido
En verano unos 29° con máximas de 35°
En invierno alrededor de 7° con mínimas de 1°



6.9 Boceto iluminación

El edificio original del museo Kimbell fue diseñado por Louis Kahn en 1972. La colección y los distintos cursos impartidos en el museo aumentaron de tal manera que se hizo necesaria una ampliación. El nuevo pabellón Piano, denominado así por el dueño, aloja exposiciones temporales, salas de seminarios y aulas, un auditorio y un aparcamiento enterrado. Se trata de un edificio situado enfrente del original conectados por una pasarela bajo tierra. (6.12)

Resultaría imposible hablar del nuevo pabellón y analizar su tratamiento lumínico sin estudiar previamente el edificio de Kahn. En ambos, casos la manera de captar la luz natural se convierte en un elemento prioritario en el diseño.



6.10 Vista exterior pabellón Piano

“El pabellón está lo suficientemente cerca para mantener un diálogo: ni demasiado cerca ni demasiado lejos. Establecemos una relación discreta con el edificio de Kahn en relación a la altura, la escala, la planta enterrada y el papel de la luz natural, cuya importancia

es fundamental. Los materiales principales también son los mismos: cristal, hormigón y madera”²⁴

El museo de Kahn se compone de 16 galerías paralelas con dirección Norte-sur. Esta orientación proporciona una distribución homogénea de la luz a lo largo del día ya que el sol se mueve desde el Este hacia el Oeste. Kahn quería crear un santuario de contemplación en el que experimentar la belleza y el misterio del arte bajo luz natural. (6.13)

“Toda obra de arquitectura debería estar a la luz natural. Y esto (el Kimbell) en particular porque estás viendo obras de arte que son realmente poesía”²⁵



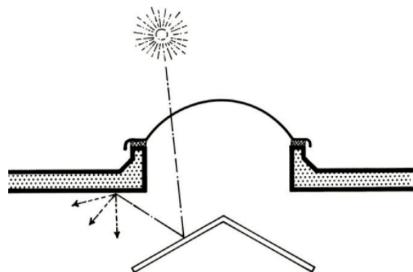
6.11 Interior galerías museo original diseñado por Kahn

Kahn quería que hubiera luz solar en las galería de exhibición. Sin embargo, debido al clima de Texas, había que ser extremadamente cuidadoso con la cantidad de luz que se introducía en el interior. Tras una profunda investigación, el equipo estableció la posición y ángulo exactos que necesitaría un reflector para situarse debajo del techo curvo de las galerías con el fin de difundir adecuadamente la luz. Se trata de un ingenioso diseño de lucernario horizontal con reflector que capta una pequeña cantidad de luz solar directa y aumenta su potencial al redistribuirla mediante múltiples reflejos. Este sistema pasivo permite que la luz ingrese al interior a través de una ranura en el techo de la bóveda de cañón y luego rebota contra la superficie principal de reflector de aluminio anodizado pulido (6.14). Una armadura extendida se suspende bajo el reflector, siguiendo la curva inversa al reflector, con dos rieles de luz para proporcionar iluminación eléctrica complementaria. La luz adicional ingresa al espacio en cada pared del extremo a través de una estrecha banda de vidrio que sigue la curva de la bóveda de cañón. El resultado de

²⁴ Traducción propia. Texto original: “The pavilion is near enough to hold a dialogue: neither too close nor too far away. We maintain a subtle relationship with Kahn in regards to height, scale, ground plan and the role of natural light, the latter of which is fundamental. The main materials of the new pavilion are also the same: glass, concrete and wood”. Renzo Piano en *Renzo Piano: The Complete Logbook 1966-2016*

²⁵ Traducción propia. Texto original: “Every work of architecture should be in natural light. And this (the Kimbell) in particular because you are seeing Works of art that are really poetry”. Louis Kahn.

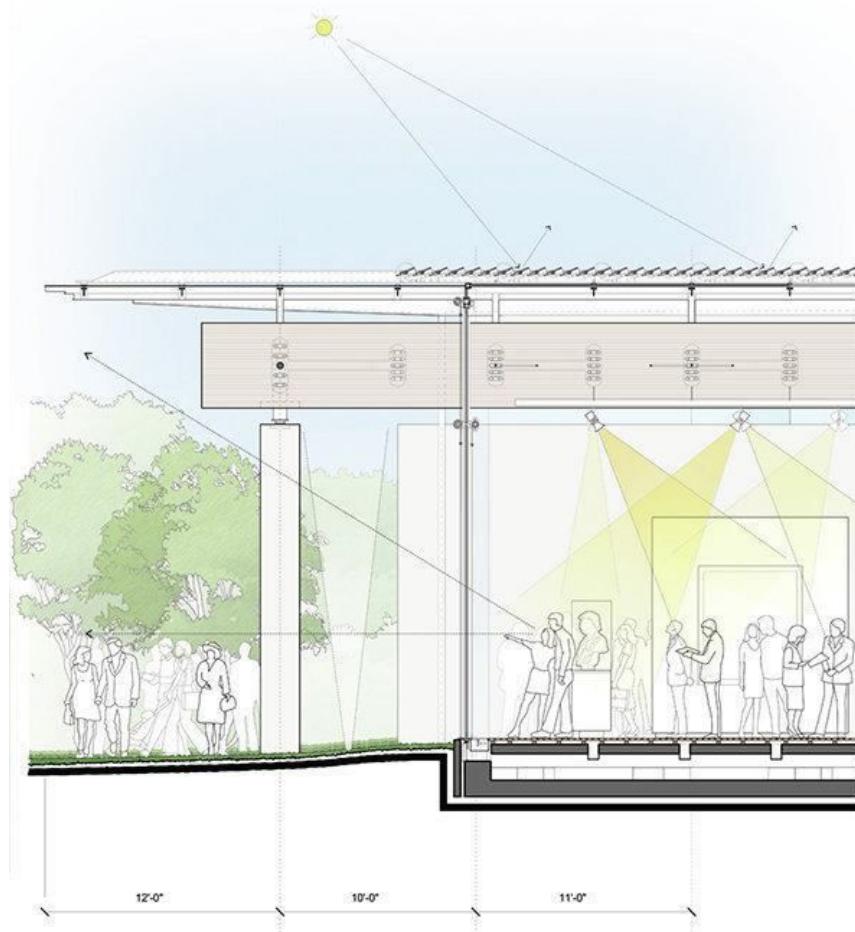
esta manipulación es una luz difusa que crea un entorno que respeta las delicadas obras de arte expuestas y conecta al visitante con el exterior.



6. 12 Esquema de funcionamiento edificio Kahn.

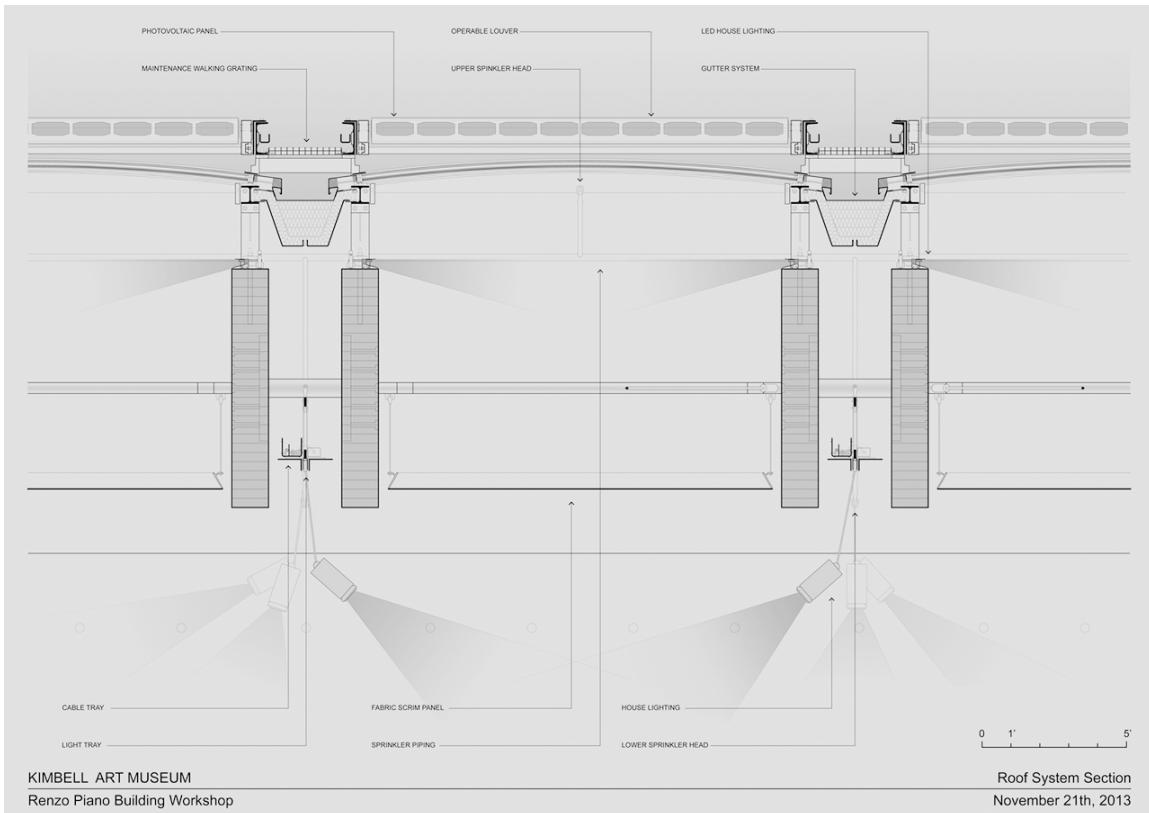
Además del diseño del lucernario y del reflector, las proporciones y tamaño de las galerías también fueron cuidadosamente estudiados con el fin de obtener la atmósfera interior deseada.

Basándose en sus experiencias en el tratamiento de la luz en museos anteriores, en el edificio de Piano se toma un enfoque diferente al decidir utilizar luz indirecta del norte en vez de luz solar directa (6.15). Tanto iluminación cenital como iluminación lateral se utilizan en ambas galerías. Sin embargo, frente al recogimiento y la atmósfera íntima de las galerías de Kahn el de Piano se cubre con un techo de cristal translúcido, que actuando como un parasol, protege del sol directo pero trámite un luz suave y difusa.



6. 15 Sección longitudinal pabellón Piano

De nuevo, se trata una cubierta de cristal formada por distintos estratos para modular la luz y adaptarla a las necesidades del momento. En este caso se utilizan 3 capas. (6.16)



6. 16 Sección transversal detalle cubierta en el pabellón Piano

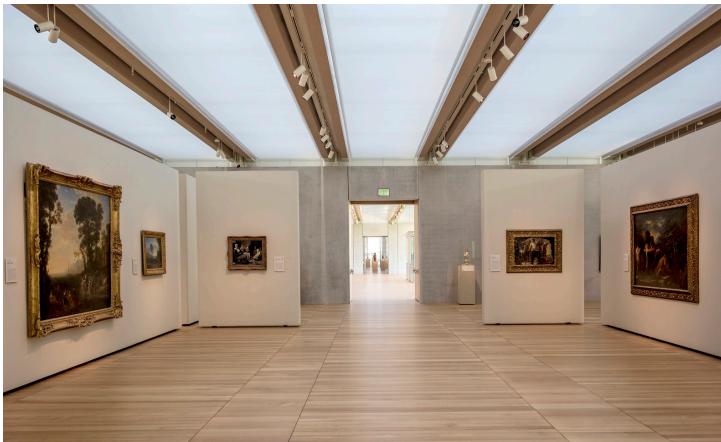
La capa exterior se corresponde con una serie de lamas mecánicas de aluminio que sirven para bloquear la luz solar del sur y captar la luz del norte necesaria, pudiendo permanecer abiertas en una posición entre cero y 45 grados²⁶. En caso de mal tiempo, como por ejemplo granizo, se pueden cerrar completamente para proteger el estrato intermedio. Además llevan integradas células fotovoltaicas²⁷ para captar energía solar.

La segunda capa es un cerramiento de doble vidrio de alta eficiencia, con un filtro ultravioleta, que difunde todavía más la luz.

El estrato interior, extendido entre las vigas de madera, se corresponde con una malla de tela que filtra la luz para difundirla de manera uniforme por todo el espacio de las galerías. (6.17) De nuevo se aprecia la importancia en la arquitectura de Piano de la integración de todas las partes, de forma que el elemento estructural, las vigas de madera, se utiliza para disimular mecanismos y sostener elementos como las luces artificiales.

²⁶ Ángulos de apertura de 2-4-6-8-10-15-20-30 y 45 grados.

²⁷ Se estima que las células fotovoltaicas reducen hasta el 50 % de la producción de carbón por el propio funcionamiento del edificio y que generan suficiente energía eléctrica para suplir la demanda anual de luz eléctrica.



6. 17 Interior galerías pabellón Piano

Comparando ambos pabellones, observamos que aunque ambos utilizan la luz natural para crear su propio lenguaje arquitectónico, el objetivo final de Piano es crear un espacio completamente basado en esta luz natural, integrando los distintos sistemas y utilizando nuevos métodos constructivos y tecnologías para dar con un proyecto altamente eficiente energéticamente.

La principal diferencia es el papel de la luz natural, en el caso de Kahn, se utiliza como iluminación ambiental, mientras que iluminación artificial es la principal fuente de iluminación interior. En el pabellón de Piano las obras se iluminan con luz natural, siendo la luz eléctrica un suplemento. La atmósfera creada en el interior del edificio de Kahn es más recogida e íntima frente al carácter marcadamente abierto, transparente y luminoso del pabellón Piano, no sólo gracias al gran techo de luz que cubre las galerías sino también a los cerramientos de vidrio que conectan con el espacio ajardinado que separa y envuelve ambos pabellones.

En cuanto a la eficiencia energética, el edificio de Piano utiliza sólo la mitad de la cantidad de energía que necesita el edificio de Kahn para su funcionamiento.

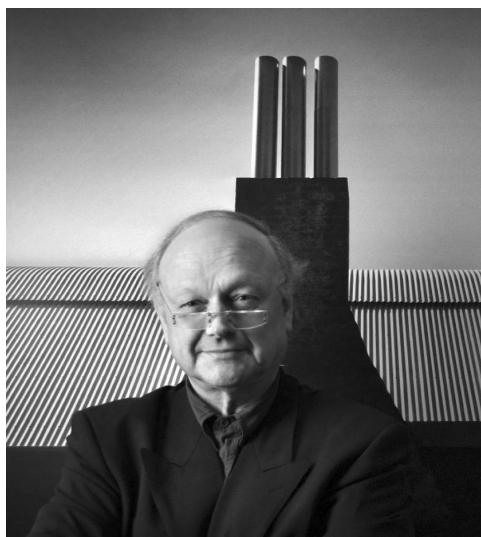
El sistema de ventilación utilizado vuelve a basarse ser una mezcla de sistemas activos y pasivos, a partir de desplazamiento de aire desde el suelo y la estratificación natural del aire. En este caso se introduce el aire a través de pequeños huecos en los suelos de madera y se extrae mediante aperturas en la parte alta cerca del encuentro entre las paredes y la cubierta. La ausencia de ninguna apertura visible es una de las consecuencias de la extrema integración de los distintos sistemas con el diseño que caracteriza la arquitectura de Renzo Piano.

07 Glenn MURCUTT

Iluminación vertical



Glenn Murcutt



Nació en Londres, hijo de padres australianos, vivió en Papúa Nueva Guinea hasta los cinco años cuando se traslada a Sidney donde vive y trabaja en la actualidad. Estudió en la Universidad de Nueva Gales del Sur graduándose en 1961. Después de trabajar para varias firmas viaja por Europa hasta que regresa a Sídney en 1964, comenzando a trabajar la oficina de Ancher, Mortlock, Murray y Woolley. En 1970 crea su propio despacho, en el que trabaja solo a excepción de colaboraciones puntuales con otros arquitectos.

7. 1 Glenn Murcutt

Desde sus primeras obras en solitario, Murcutt se centra en desarrollar una arquitectura adaptada a las condiciones climáticas de su entorno con un lenguaje propio. En sus proyectos, el resultado formal no es tan importante como lo es la correcta adecuación a los condicionantes climáticos del entorno. Por tanto, considera fundamentales cuestiones como la orientación, la implantación en el terreno, los materiales, la escala, el aprovechamiento de los vientos y, por supuesto, de la luz natural.

“(...) Y fue en ese momento cuando me di cuenta de que yo no podía dedicarme a hacer una arquitectura que no lidiase inequívocamente con las condiciones del lugar, con la cultura, con la tecnología, el clima y todas esas cosas que yo creo son vitalmente importantes.”²⁸

Debido a esta obsesión por conocer y estudiar cuidadosamente el entorno, Murcutt ha rechazado repetidamente proyectos fuera de su país ya que opina que a la hora de hacer un proyecto hay dos cosas fundamentales que debe que conocer: por un lado el terreno y por otro lado la cultura del terreno. A pesar de trabajar sólo y desarrollar sus proyectos a mano, su legado consiste en más de 500 proyectos, en su mayoría viviendas, en los que la referencia a la arquitectura tradicional australiana es clara: plantas rectilíneas, estrechas y longitudinales, paredes de madera que permiten que el edificio responda a los cambios del clima exterior, cubiertas ventiladas de acero corrugado o forjados levantados ligeramente sobre el terreno permitiendo el paso del aire y aislando de la humedad.

En cuanto a los proyectos elegidos, se ha optado por aquellos que ejemplificaban mejor el uso de luz cenital vertical y su manera de tratarla, atendiendo cuidadosamente a los ángulos del sol a lo largo del año no sólo para evitar la necesidad de luz artificial a lo largo del día sino también para mejorar el comportamiento térmico del edificio en las distintas estaciones relacionándolo siempre con temas de ventilación.

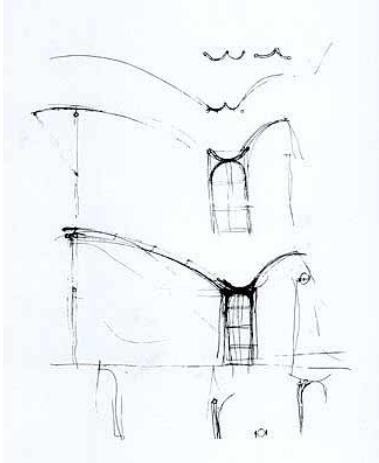
En este caso , todos los ejemplos se sitúan en el sur de Australia

²⁸ El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Pág. 8.

CASA MAGNEY (1983-1984)

Bingie Point, Sidney, Nueva Gales del Sur. Australia

Clima templado con influencia costera.
En verano unos 20° con brisas de noreste.
En invierno alrededor de 15° con mínimas de 5° con vientos extremadamente fríos de las montañas del suroeste.



7.2 Bocetos de la cubierta

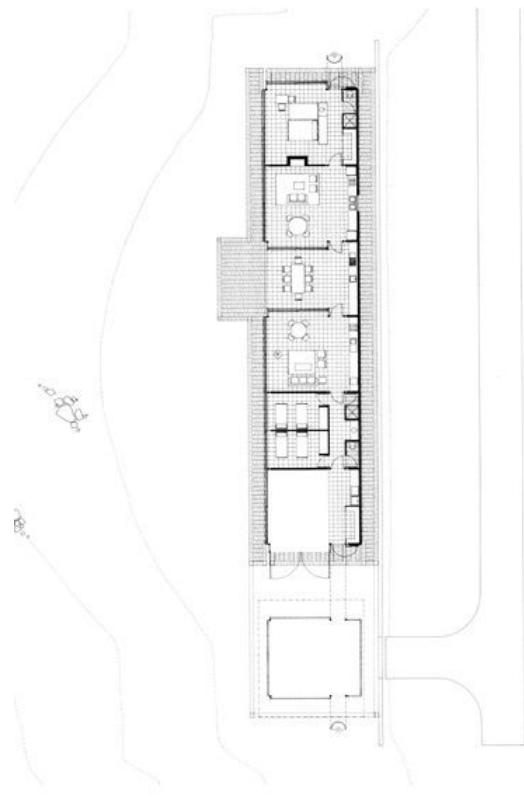
Se trata de una vivienda situada en la costa, al Sur de Australia, en una zona rocosa de granito, antigua zona de pastos, repoblada con vegetación autóctona. Con veranos templados e inviernos frescos.

Los propietarios de la casa, que llevaban años acampando en esa zona, querían un refugio de apariencia ligera, más cercano a una tienda de campaña que a una típica casa de campo, favoreciendo una relación directa con la naturaleza circundante y mucha luz natural. (7.3)

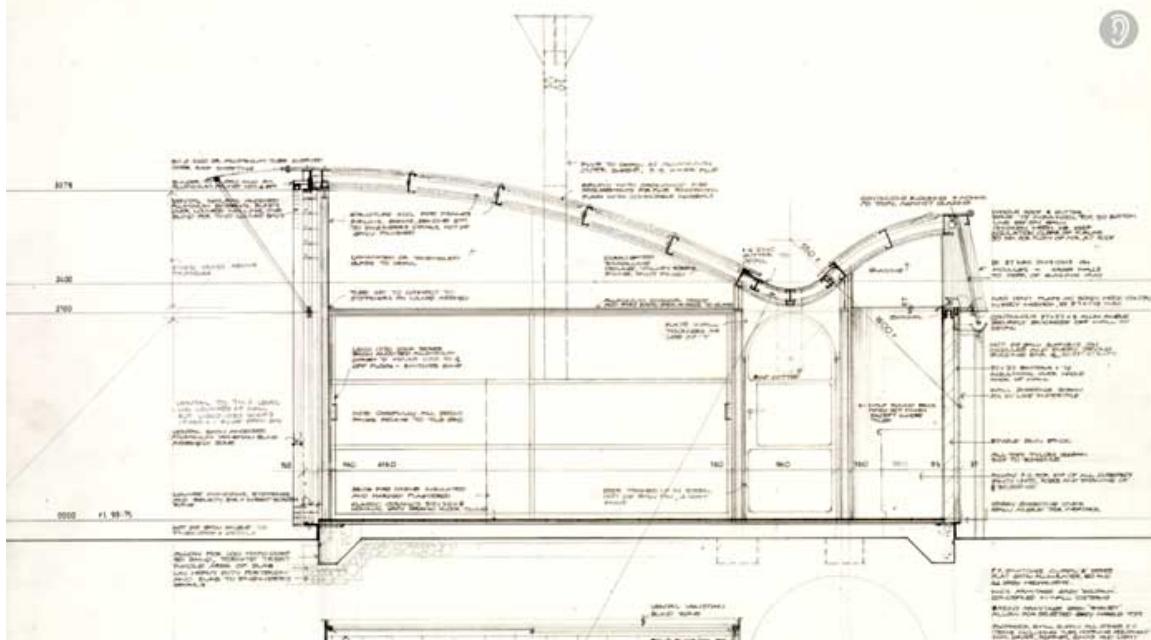


7.3 Vista exterior vivienda

Desde el principio, el proyecto se centró en la obtención de las mejores vistas y la luz. Con estas premisas se optó por una distribución longitudinal en dos franjas separadas por una pasillo este-oeste. Las habitaciones principales: salón y dormitorios, se orientaron hacia el Norte ya que al encontrarse en el hemisferio sur es la orientación que recibe mayor radiación solar frente a la fachada sur, que se corresponde con la franja de servicios: baños y cocina, y además de las vistas de menor interés.



El característico perfil del tejado (7.4) responde a la necesidad de introducir aire y la mayor cantidad de luz posible en el interior de la casa, además de recoger el agua de lluvia. La forma curva se diseña basándose en esquemas de los vientos. Además permite el paso de luz solar de invierno pero protege del sol de mediodía en verano.



7.4 sección trasversal mostrando los lucernarios

“El ángulo del tornapuntas de la cubierta coincide con el ángulo del sol en el equinoccio. Durante el entretiempo la radiación solar se controla mediante un sistema de lamas retractiles, colocadas de suelo a dintel de carpinterías. En invierno las lamas se pliegan para permitir la entrada del sol en el interior de la casa, sistema utilizado en muchos de mis edificios. Era importante también colocar cristales transparentes por encima de la altura de dintel de las carpinterías para poder ver a través de estos el cielo, y poder observar los cambios climáticos.”²⁹



7.5 Fachada Norte

La fachada Norte se encuentra completamente acristalada y está protegida por unas pequeñas lamas móviles horizontales exteriores de aluminio(7.5). En verano estos elementos se cierran de manera que bloquen la excesiva entrada de luz y se consigue

²⁹ Glenn Murcutt en El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Pág. 159.

mantener fresco el interior del pabellón debido a la gran masa térmica tanto del suelo de hormigón con acabado cerámico como de la pared sur³⁰. El lucernario norte, se sitúa por encima de esta fachada y está protegido por el alero de la incidencia solar del verano, pero sí que permite la entrada de luz directa en invierno, lo que sumado a la apertura de las lamas operables, calienta la masa térmica interna favoreciendo una temperatura más confortable en las épocas frías.

La fachada sur se diseñó cerrada y opaca ya que tiene la función añadida de proteger la vivienda de los tremadamente fríos vientos del sur. Por encima, a 2 metros desde el suelo, se sitúa un lucernario fijo y continuo a lo largo de toda la fachada, lo que permite una mejor distribución de la luz natural. A pesar de que lo consideramos un lucernario vertical, tiene una ligera pendiente para colocar unos respiraderos horizontales ajustables manualmente. Al tratarse de la orientación Sur, que en Australia es la que no recibe luz directa, no es necesario el uso de un elemento de tipo alero protector para que sombre el lucernario en la temporada de verano.



7.6 interior vivienda

En ambos lucernarios, la forma curva del techo pintado de blanco sirve para difundir la luz hacia el interior y conseguir una iluminación más homogénea, diferenciándose de la luz que se obtendría a través del uso exclusivo de las ventanas. Para no bloquear esta luz difusa, las particiones interiores de la vivienda sólo llegan a una altura de 2 metros, coincidiendo con el comienzo de los lucernarios. (7.6)

En las fachadas este y oeste también aparece una franja de vidrio por encima de los 2 metros de cerramiento. La fachada este se protege con un voladizo que continua la curva de la cubierta mientras en que la zona oeste se corresponde con la zona del garaje.

No hay ningún sistema de confort térmico mecánico a excepción de dos chimeneas. El bajo sol de invierno proporciona suficiente acondicionamiento térmico. La masa térmica del conjunto estabiliza la temperatura interior por la noche y en los fríos días de invierno.

³⁰ Se compone de tres capas: utiliza aluminio corrugado en el exterior, cámara aislante intermedia y una la piel interior de ladrillo pintada, que corresponde con la masa térmica.

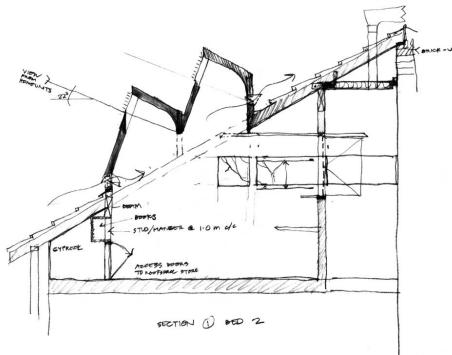
CASA Y ESTUDIO MURCUTT-LEWIN (2000-2003)

Mosman, Sidney, Nueva Gales del Sur.

Clima templado

En verano unos 25° y hasta 40° pocos frecuentes, con vientos fríos de noreste.

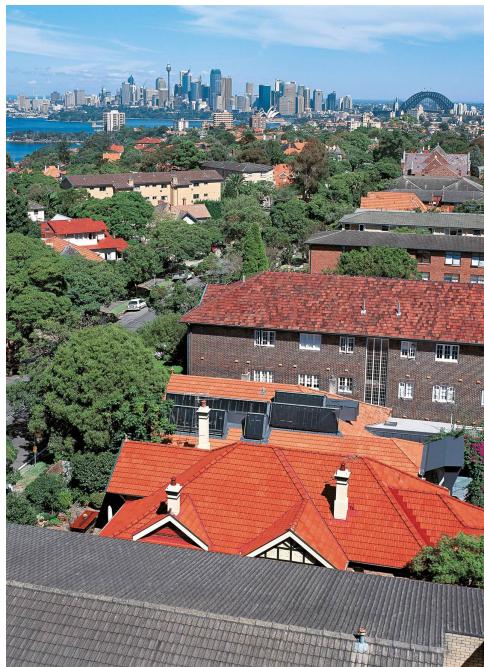
En invierno alrededor de 18° con mínimas de 10° con ocasionales vientos fríos de las montañas del suroeste.



7.7 Boceto

Se trata de un proyecto de reforma en su propia casa realizado junto a su mujer, la también arquitecta, Wendy Lewin³¹. La vivienda consiste en el típico adosado en el área suburbana de Mosman en Sidney. En este proyecto transforman una vivienda convencional mediante la luz y el aire.

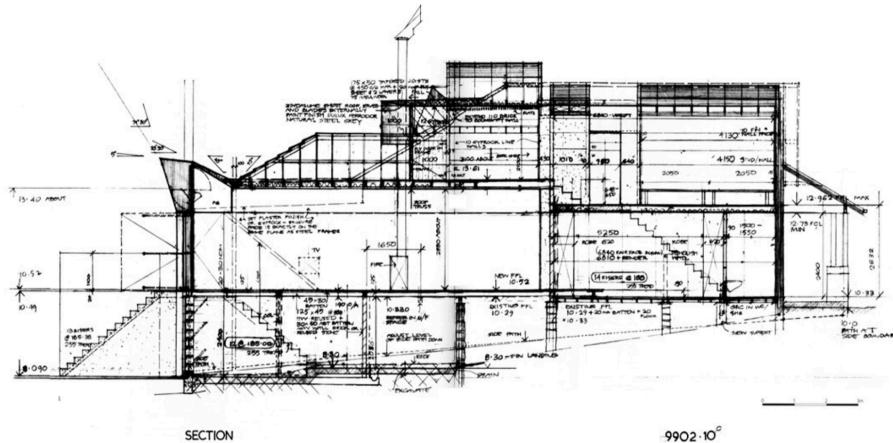
Mantener mayoritariamente el aspecto exterior de la vivienda fue una de las máximas del proyecto, de forma que desde la calle la única indicación de las alteraciones son las visiones parciales de los lucernarios sobre el tejado inclinado (7.8).



7.8 Vista de la cubierta

³¹ Creó su propio despacho en 1993 y desde entonces ha trabajado tanto en solitario como en colaboración con su marido.

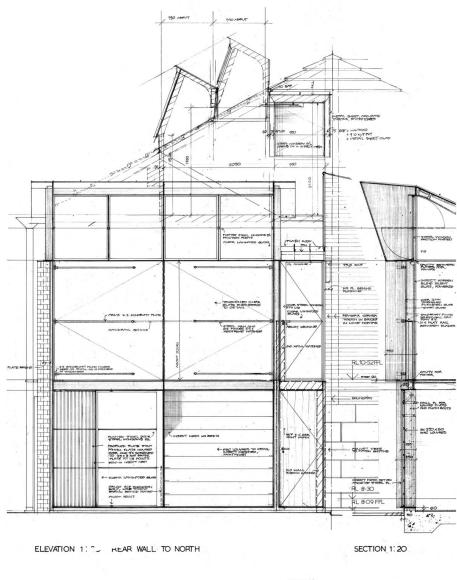
Esta rehabilitación, como todas sus obras, supone una investigación de las nuevas posibilidades de la arquitectura: mediante el cuidado por los detalles y el estudio del entorno.



7.9 Sección longitudinal mostrando la reconfiguración espacial del interior

Se realizó la reforma para transformarla en su estudio además de su propia casa, creando una clara diferenciación entre las zonas de estar y las de trabajo. También querían crear un espacio propio para Anna, la hija de Lewin.

En cuanto a la distribución de la vivienda, se busca favorecer la ventilación cruzada aprovechando la planta rectangular de la vivienda, una de las preocupaciones constantes de Murcutt en sus distintas obras. (7.9)



7.10 Sección interior

La fachada que da a la calle tiene dos alturas y muestra la apariencia original, integrándose con el resto de las viviendas del entorno, frente a la fachada posterior, que deja a la vista tres alturas, ya que se encuentra completamente acristalada y protegida con una voladizo, llenando el interior de luz natural. En la planta más baja, se localiza el

estudio, que da directamente al jardín de la parte posterior y se encuentra totalmente aislado de la vivienda.

En el piso superior, se sitúan el dormitorio de Anna y el de invitados. Son estas habitaciones las que se iluminan cenitalmente por medio de una serie de lucernarios verticales (7.10) orientados hacia el noreste, lo que da lugar a una captación de luz solar directa ya que se trata del hemisferio sur. Los lucernarios se diseñaron de forma que incluso cuando el sol está en invierno en su punto más bajo, la luz de sol fuera captada y reflejada, iluminando el interior.

Aunque estos lucernarios no tienen ningún voladizo o alero exterior que sirva de protección en verano aparte de un sistema de lamas móviles, sí que tienen aperturas en la parte inferior lo que permite refrescar el ambiente gracias a las brisas de verano con dirección noreste.

Uno de los principales inconvenientes de esta solución es la posibilidad de deslumbramientos debido a la gran cantidad de luz introducida. Para solucionarlo, se coloca en el techo de la zona de trabajo una secuencia de lamas fijas que protege del exceso de luz (7.11).

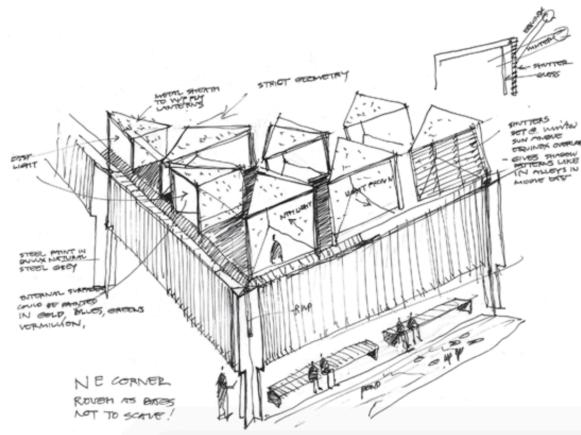


7.11 Iluminación interior

MEZQUITA EN NEWPORT (2008-2016)

Melbourne, Victoria.

Clima muy variable
En verano unos 26°
y hasta 40°, c
En invierno entre 3°
y 17°.



7.12 Boceto iluminación

Se trata de una mezquita situada a 10 km al oeste del centro Melbourne, lo que supone un gran cambio comparándola con otros proyectos de Murcutt ya que se localiza en un área urbana y es un edificio público de gran tamaño frente a sus muchas viviendas unifamiliares o edificios de menor tamaño en áreas más remotas.

El proyecto fue un encargo de la sociedad islámica de Newport que buscaba el diseño de una mezquita contemporánea, un lugar inclusivo, no sólo orientado a los musulmanes de la comunidad, sino como un punto de encuentro entre culturas.

Tras aceptar el proyecto, Murcutt solicitó la participación de un arquitecto joven de la comunidad musulmana,³² para asegurarse de que el diseño se basaba en el respeto por la cultura y las tradiciones del islam. Así fue como todo el proyecto se elaboró en colaboración con Hakan Elevli³³.

Desde el principio, el centro islámico australiano se concibió como un lugar para toda la comunidad de Newport, en vez de tratarse de un espacio exclusivo para la población musulmana. Por este motivo, en la planta de acceso al edificio se situaron una cafetería, una biblioteca, un centro educativo, cocina comercial, instalaciones deportivas como una pista de baloncesto, además de una residencia para el Imán y la mezquita para la oración.

Al tratarse de una mezquita contemporánea, se optó hacer una relectura de los elementos típicos de la arquitectura islámica tradicional, reinterpretando su geometría, colores, materiales, funciones y organización espacial, sin dejar de respetar sus principios fundamentales como son la orientación hacia la Meca, las abluciones, zonas de hombres y mujeres... etc.

³² “Of course I was excited by the possibility, but working outside one’s city and experience of designing a mosque, for a sole practitioner, had its special difficulties. Knowing how difficult it is to achieve the level of architecture that makes a new project worthwhile, excitement can easily be overtaken by nervousness. I wanted to work with an architect from an Islamic background, in equal collaboration. Hakan Elevli was suggested, a meeting took place and he joined the project”. Glenn Murcutt

³³ Arquitecto australiano musulmán con raíces turcas director de la firma Elevli Plus.



7. 13 vista exterior del acceso

Se sustituyó el minarete por un gran muro de hormigón in situ que se eleva inclinado hacia la calle y marca la entrada (7.13). En lugar del tradicional techo abovedado decorado el edificio tiene una cubierta plana que se abre al cielo a través de 96 linternas o tragaluces pintados de colores. En vez de un jardín y una mezquita cerrados, el conjunto se diseñó como un lugar transparente, favoreciendo la relación entre el interior y el exterior y abierto a todo el mundo.

Murcutt y Elevli buscaron la creación de una atmósfera determinada a partir de una luz tenue, desarrollando una serie de estrategias para utilizar la luz natural como medio funcional y como elemento decorativo, inspirados por la tradición arquitectónica islámica. En este sentido, el elemento más llamativo del proyecto es esa cubierta de tragaluces (7.14).



7. 14 vista exterior tragaluces

Estas linternas, de una altura de 2,8 metros, filtran la luz solar dando lugar a una sucesión de brillantes triángulos de colores en el techo de la mezquita. Son una secuencia de prismas de planta triangular, orientadas en las cuatro direcciones de manera que captan la luz del sol a lo largo del día y del año (7.15). Sólo una de las tres caras verticales es acristalada siendo las otras dos caras opacas y de distintos colores. Las caras exteriores se pintaron a mano de dorado³⁴ mientras que el color de las interiores variarán según su

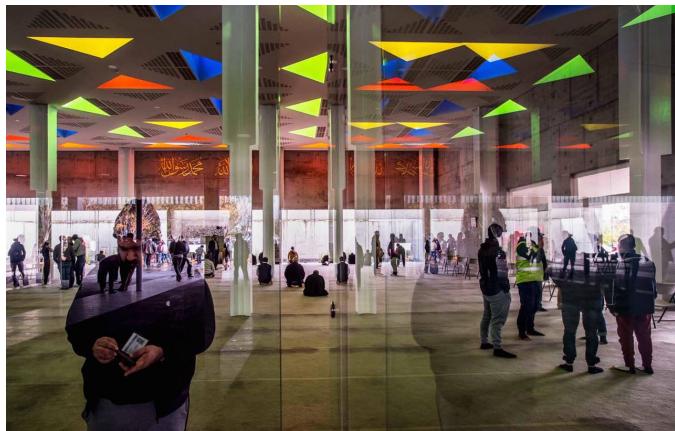
³⁴ Se eligió este color en una alusión al de la cúpula del Domo de la Roca, en Jerusalén, como referencia islámica tras haber eliminado elementos tradicionales como la cúpula o el minarete.

orientación. Las que se orientan al Este son amarillas y se iluminarán por la mañana representando el paraíso, las que abren al Norte son verdes como símbolo de la naturaleza y se ilumina durante el día, por la tarde, la dirección norte es azul en representación del cielo y el mar que son infinitos, y el color rojo del Oeste se relaciona con la sangre y la fuerza.



7. 15 vista de la cubierta

Con este estudiado diseño las linternas no sólo sirven como reloj solar diario del hemisferio sur sino que también revelan la época del año. Durante los calurosos meses de verano, con el sol amaneciendo desde el sureste, antes de inclinarse hacia el norte y ponerse en el sudoeste, el día empezará y terminará con la luz azul. Mientras que durante la fría temporada de invierno cuando sale más bajo por el este y se pone en el oeste, se verán los cálidos tonos amarillos, (7.16)



7. 16 Iluminación interior

Además de iluminar el interior estos huecos funcionan como elemento de control climático. Cada una de las linternas se puede abrir mediante control remoto, de esta manera, en verano cuando se sobrecalienta el espacio, se abren convirtiéndose en chimeneas de viento tal y como explica el propio Murcutt, el aire se eleva, expulsando el aire caliente. Sin embargo, en invierno las linternas permanecen cerradas, de forma que el sol se introduce en el interior y calienta el espacio. La cubierta es sólo accesible para mantenimiento.

08 CONCLUSIONES

Los proyectos estudiados de ambos arquitectos pueden verse como diferentes etapas de la misma investigación llevada a cabo a lo largo de sus trayectorias profesionales.

A pesar de lo distinto de cada una de las soluciones que utilizan, ambos arquitectos comparten la preocupación por la captación de la luz natural y por el aprovechamiento de todas las ventajas que esta plantea. No se trata de la búsqueda sólo de una atmósfera determinada en el interior de cada edificio, sino que también es una estrategia de ahorro energético y de sostenibilidad. Utilizan la luz cenital por su gran calidad y cantidad, pero controlando la manera en la que se introduce en el edificio a lo largo del día y del año, según las condiciones del entorno y su clima particular.

Comparando las obras de Piano con las de Murcutt en cuanto a estrategias de iluminación horizontal frente a lucernarios verticales respectivamente, podemos observar cómo ambos solucionan los problemas que podrían plantear la tipología elegida.

La arquitectura de Glenn Murcutt se caracteriza por ser autorreferencial, todas sus obras van evolucionado a partir de los proyectos anteriores, siempre orientados a la búsqueda de una arquitectura más eficiente en cuanto al control solar, funcionamiento térmico del edificio, recogida de aguas y ventilación. En los edificios elegidos de Murcutt los lucernarios verticales introducen la luz con un menor alcance que los horizontales de Piano, por lo que son adecuados para espacios de menor escala. En la casa Magney se trata de dos lucernarios situados al norte y al sur respectivamente que se forman mediante la elevación y curvatura de la cubierta que refleja la luz hacia el interior, esta sección se repite como “extruida” a lo largo de toda la vivienda dando lugar a una luz uniforme. Al estar en el hemisferio sur, el lucernario norte exige un voladizo en toda su longitud para protegerse no sólo de la lluvia sino también de la luz en verano, cuando el sol se encuentra más bajo, para evitar el calor indeseado. Los lucernarios añadidos en la planta superior en la reforma de su propia casa y estudio repiten el esquema de elemento extruido cuya curva introduce luz hacia el interior. En este caso, llama la atención la ausencia de elemento protector del hueco a excepción de unas lamas operables exteriores.

Aunque en el proyecto para el centro islámico la sección no se repite longitudinalmente ya que las internas van cambiando de orientación a lo largo de la cubierta, sí que se utilizan estos huecos para favorecer la ventilación y refrigeración del edificio en verano y el calentamiento del mismo en invierno, siendo de nuevo un elemento de control térmico.

En los museos elegidos de Renzo Piano las cubiertas van evolucionando en la búsqueda de una manera más efectiva de difundir la luz natural. Se trata de un cuidadoso estudio e investigación de distintas tecnologías con el objetivo de proteger las delicadas obras de arte de la dañina radiación directa del sol, pero a la vez obteniendo una iluminación natural uniforme en todas las galerías y suficiente para poder visualizar las exposiciones de forma adecuada. Para lograrlo, Piano opta por descomponer la cubierta, mediante un sistema de capas en el que cada estrato cumple una función determinada.

En la colección de Menil, la iluminación es menos homogénea debido a la presencia de las hojas como único elemento difusor de la luz, mientras que en la fundación Beyeler tanto los parásoles exteriores como las lamas móviles, el vidrio laminado interior y el falso techo de aluminio sirven para filtrar la luz del cielo. Además, el hecho de que las lamas intermedias sean operables es fundamental para lograr la iluminación adecuada para cada situación, de forma que se pueda captar una mayor cantidad de luz en los días nublados o disminuir su captación en los soleados y calurosos días de verano, frente a la absoluta dependencia de las condiciones externas de museo de Menil. Esta posibilidad de adaptación al entorno supone un tremendo cambio en cuanto a la eficiencia energética.

También la presencia de los parásoles en el exterior ayuda a reducir el calentamiento en el interior del edificio, disminuyendo la necesidad de aire acondicionado.

En el pabellón Piano del museo Kimbell las pequeñas lamas exteriores son las que captan la luz del norte y la distribuyen hacia el interior. También la malla que se ve desde la galería ayuda a crear una iluminación interior más difusa y homogénea.

Por lo tanto, aunque en los tres edificios se consigue una versión controlada y atenuada de la intensidad lumínica exterior, frente a la gran rotundidad del elemento de filtro del museo de Menil, en los otros dos se trata de un techo que irradia luz y que disimula las diferentes capas de filtro.

La principal ventaja en cuanto al diseño de captación de luz de los tres museos, es el haber optado por la iluminación difusa del cielo y bloqueado el acceso al interior de la luz solar directa, lo que evita la creación de contrastes excesivos de luz y los deslumbramientos. Además de reducir en gran parte el sobrecalentamiento producido por la radiación directa.

Los proyectos de Piano al albergar exposiciones de arte precisan de unas condiciones lumínicas muy concretas, con unas magnitudes muy medidas y una mayor cantidad de luz. Sus complejas soluciones de estratos responden a estas necesidades frente a la simplicidad u honestidad constructiva de las obras de Murcutt que necesitan menor cantidad de iluminación en cuanto a su alcance al tratarse de viviendas o en cuanto a la creación de una atmósfera más íntima en el caso de la mezquita de Newport.

A su vez, los proyectos de Murcutt se diseñan para lograr el confort térmico del usuario, lo que permite unas condiciones interiores más flexibles, mientras que los de Piano deben proteger las delicadas obras que albergan. En este sentido, es clara la diferencia entre el diseño casi exclusivamente pasivo de Murcutt, que en muchos de sus proyectos no utiliza sistemas mecánicos de acondicionamiento frente a la combinación de sistemas activos y pasivos en las obras de Piano en los que la ventilación natural es reforzada mediante ventilación mecánica consiguiendo un funcionamiento tremadamente eficiente basado en la integración de las nuevas tecnologías y los sistemas tradicionales.

09 BIBLIOGRAFIA

Lechner, Norbert. *Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.* Wiley, 2001.

Piano, Renzo. *Renzo Piano: The Complete Logbook 1966-2016.* Thames & Hudson Ltd, 2017

Jodidio, Philip. *Renzo Piano building workshop 1966-2005.* Taschen, 2005.

Lechner, Norbert. Artículo *Iluminación natural* publicado en la revista Tectónica Nº 26 iluminación (II) natural. 2007.

El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012.* Revista El Croquis Nº 163/164. 2012.

Gusheh, Maryam. Heneghan, Tom. Lassen, Catherine. Seyama, Shoko. *Glenn Murcutt: Thinking Drawing/ working drawing.* TOTO Ltd, 2008.

Self, Ronnie. Texto *Roof structures and lighting concepts in four museums by Renzo Piano Building Workshop.* ACSA- CIB Technology Conference, 1999.

Buchanan, Peter. *Ten shades of green: architecture and the natural world.* Architectural League of NY, 2006.

Guzowski, Mary. Texto *Piano Pavilion at the Kimbell Art Museum: Daylighting Strategies and Methods.* PLEA 36th International Conference on Passive and Low Energy Architecture Cities, Buildings, People:Towardsds Regenerative Environments, 2016.

Banham, Reyner. Artículo *In the Neighborhood of Art* publicado en la revista Art in America, 1987. Pág 124-128.

McDowell, Andrew. Sedgwick, Andrew. Smith, Antony. Wernick, Jane. Artículo *The Beyeler Foundation Museum* publicado en la revista The Arup Journal, 1998. Pág. 18-21

Barker, Tom. Guthrie, Alistair. Noble, Neil. Rice, Peter. Artículo *The Menil Collection, Houston, Texas* publicado en la revista The Arup Journal, 1983. Pág. 2-7.

Rice, Peter. Artículo *The Menil Collection Museum roof: evolving the form* publicado en la revista The Arup Journal, 1987. Pág. 2-5.

Gili, Mónica. *Arne Jacobsen Edificios Públicos Public Buildings.* Gustavo Gili, 1997.

Zabalbeascoa, Anatxu. Rodríguez Marcos, Javier. *Renzo Piano: arquitecturas sostenibles.* Gustavo Gili, 1998.

AV Monografías. *Renzo Piano Building Workshop 1980-1990.* Revista Arquitectura Viva Nº 23. 1990.

AV Monografías. *Renzo Piano Building Workshop 1990-2006*. Revista Arquitectura Viva Nº 119. 2006.

AV Monografías. *Renzo Piano Building Workshop*. Revista Arquitectura Viva Nº 197-198. 2017.

Zabalbeascoa, Anatxu. "La arquitectura debe ser comprometida". Entrevista a Renzo Piano, 1999.

Taylor, Piers. Artículo "Magnum opus" publicado en la revista The Architectural Review, nº Abril, 2017.

Bachman, Leonard R. *Integrated buildings: the systems basis of architecture*. Wiley & sons. 2003.

Sanchez Moya, María Dolores. Tesis doctoral *El pabellón de los países nórdicos en la bienal de Venecia de Sverre Fehn*. 2012.

Curtis, William J. R. *La arquitectura moderna desde 1900*. Phaidon. 2006.

10 WEBGRAFIA

www.rpbw.com

www.fondazionerenzopiano.org

www.arup.com

rpf.ice.spill.net

<https://www.ozetecture.org>

www.area-arch.it/en/glenn-murcutt-architecture-for-place/

www.architectural-review.com/today/duelling-partners-at-the-kimbell-museum-louis-kahn-vs-renzo-piano/8656851.article

www.velux.com/daylight-and-architecture/daylight-connecting-communities/gathered-in-daylight

www.nytimes.com/2013/11/24/us/the-kimbells-stylish-sustainable-new-addition.html

www.archlighting.com/projects/structural-light-the-new-renzo-piano-pavilion-at-the-kimbell_o

11 CRÉDITOS ILUSTRACIONES

04 ILUMINACIÓN NATURAL

- 4.1 www.bbc.com
- 4.2 <https://mx.depositphotos.com/70916205/>
- 4.3 Erich Lessing.
- 4.4 <http://www.turismosepulveda.es/iglesia-de-el-salvador>
- 4.5 <https://www.paris.es/sainte-chapelle>
- 4.6 <http://www.vam.ac.uk/page/g/great-exhibition/>
- 4.7 <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/biblioteca-en-viipuri/>

05 ILUMINACIÓN CENITAL

- 5.1 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.
- 5.2 Lechner, Norbert. Revista Tectónica Nº 26 iluminación (II) natural. 2007.
- 5.3 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.
- 5.4 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.
- 5.5 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.
- 5.6 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.
- 5.7 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.
- 5.8 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.

06 RENZO PIANO

- www.rpbw.com
- 6.1 www.rpbw.com
 - 6.2 www.fondazionerenzopiano.org
 - 6.3 [https://blog.a-cero.com/menil-collection-by-renzo-piano/](http://blog.a-cero.com/menil-collection-by-renzo-piano/)
 - 6.4 <http://alexanderayres.com/The-Menil-Collection>
 - 6.5 www.rpbw.com
 - 6.6 <http://cargocollective.com/jbwaxter/Construction-2-Menil-Collection>
 - 6.7 www.rpbw.com
 - 6.8 www.rpbw.com
 - 6.9 <http://rpf.ice.spill.net>
 - 6.10 www.erc.com
 - 6.11 <http://rpf.ice.spill.net>
 - 6.12 www.fondazionerenzopiano.org
 - 6.13 www.kimbrellart.org/
 - 6.14 Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.
 - 6.15 <http://rpf.ice.spill.net>
 - 6.16 www.fondazionerenzopiano.org
 - 6.17 www.rpbw.com

07 GLENN MURCUTT

<http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/sustentable/dos-obras-de-glenn-murcutt>
<https://www.area-arch.it/murcutt-lewin-house-and-studio/>

<http://assemblepapers.com.au/2016/10/11/building-faith-the-australian-islamic-centre/>

7.1 <https://www.scoopnest.com/es/>

7.2 El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Revista El Croquis Nº 163/164. 2012

7.3 El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Revista El Croquis Nº 163/164. 2012

7.4 El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Revista El Croquis Nº 163/164. 2012

7.5 <https://es.slideshare.net/erendiramartnz/arquitectos-10491766>

7.6 El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Revista El Croquis Nº 163/164. 2012

7.7 El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Revista El Croquis Nº 163/164. 2012

7.8 <https://www.ozetecture.org/magney-house-bingie-point/>

7.9 El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Revista El Croquis Nº 163/164. 2012

7.10 El Croquis. *Glenn Murcutt 1980-2012*. Revista El Croquis Nº 163/164. 2012

7.11 <https://www.e-architect.co.uk/articles/glenn-murcutt-wisdom-of-elders>

7.12 “Magnum opus” publicado en la revista The Architectural Review, nº Abril, 2017

7.13 “Magnum opus” publicado en la revista The Architectural Review, nº Abril, 2017.

7.14 <https://www.velux.com/daylight-and-architecture/daylight-connecting-communities/gathered-in-daylight>

7.15 “Magnum opus” publicado en la revista The Architectural Review, nº Abril, 2017.

7.16 <https://www.velux.com/daylight-and-architecture/daylight-connecting-communities/gathered-in-daylight>

