

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

**ESTRATEGIAS, SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS  
PARA EL USO DE LUZ NATURAL  
Y SU APLICACIÓN EN LA REHABILITACIÓN  
DE EDIFICIOS HISTÓRICOS**

TESIS DOCTORAL

CECILIA WOLFF CECCHI, ARQUITECTA

2014





# CONTENIDOS

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	20
HIPÓTESIS	21
OBJETIVOS	22
METODOLOGÍA	24
<b>PARTE I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 1. EL TEKNÉ DE LA LUZ</b>	<b>37</b>
1.1. FÍSICA DE LA LUZ PARA LA ARQUITECTURA	42
1.1.1. FENÓMENOS FÍSICOS PARA LA ARQUITECTURA	44
1.1.2. FOTOMETRÍA Y LUMINOTECNIA	52
1.2. MATERIALES PARA EL USO DE LUZ NATURAL	66
1.2.1. EL VIDRIO	68

1.2.2.	EL PLÁSTICO	74
1.2.3.	METAL	88
1.2.4.	CEMENTOS	91
1.2.5.	PIEDRA Y MATERIALES PÉTREOS	97
1.2.6.	MADERA	103
1.3.	LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUZ	108
1.3.1.	ESTRATEGIAS	111
1.3.2.	SISTEMAS Y TECNOLOGÍA	116
1.3.3.	ESTRATEGIAS Y TECNOLOGÍAS EN REHABILITACIÓN	146
1.4.	COMPENDIO DE ESTRATEGIAS, SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS	154
<b>CAPÍTULO 2.</b>	<b>EL FACTOR HUMANO</b>	<b>171</b>
2.1.	EL SISTEMA SENSITIVO DE LA LUZ	174
2.2.	EFFECTOS DE LA LUZ EN EL HUMANO	176
2.2.1.	SISTEMA VISUAL - LA CONSTRUCCIÓN DE LA IMAGEN	178

2.2.2.	SISTEMA CIRCADIANO – GEOTEMPORALIDAD	184
2.2.3.	PERCEPCIÓN INTEGRADA	187
2.3.	CONFORT Y BIENESTAR HUMANO APROXIMACIÓN ERGONÓMICA	193
2.4.	ASPECTOS DE PERCEPCIÓN Y CONFORT A CONSIDERAR EN ARQUITECTURA	200
2.4.1.	FACTORES DE CUALIFICACIÓN DE PERCEPCIÓN	200
2.4.2.	FACTORES ERGONÓMICOS	202
<b>CAPÍTULO 3.</b>	<b>HISTORIA DE LA LUZ EN LA ARQUITECTURA</b>	<b>205</b>
3.1.	EL TEMPLO DE RA	207
3.2.	PENSANDO LA LUZ, UN BAÑO DE SOL	210
3.3.	PERFORAR EL MÚSCULO MURARIO	213
3.4.	LUZ DESDE LA CÚPULA	222
3.5.	DE LA MASA AL ESQUELETO DIÁFANO	225
3.6.	CONSTRUCCIÓN DE LA LUZ Y LA FE	230
3.7.	LA LUZ DE VUELTA AL SER HUMANO	235

3.8.	EXPERIMENTANDO LA PERCEPCIÓN	242
3.9.	LUZ DEL SOL EN AMÉRICA PRECOLOMBINA	249
3.9.1.	LA CIVILIZACIÓN MAYA	250
3.9.2.	TIAWANACO	255
3.9.3.	LA CULTURA INCA	258
3.9.4.	CULTURAS EN EL NORTE DE CHILE	263
3.9.5.	MAPUCHES	266
3.10.	TÉCNICA DE LA LUZ EN AMÉRICA COLONIAL	269
3.11.	LUZ MODERNA, LUZ DE LA RAZÓN	283
3.12.	HISTORICISMO Y MODERNIDAD EN CHILE	296
3.13.	LA LUZ EN LA ARQUITECTURA DE HOY	300
3.14.	COMPENDIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUZ EN LA HISTORIA	308
<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>PATRIMONIO Y NORMATIVA</b>	<b>315</b>
4.1.	CRITERIOS SOBRE PATRIMONIO	315

4.2.	NORMATIVA CHILENA DE PATRIMONIO	318
4.3.	NORMATIVA DE REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS, ASOLEAMIENTO Y CONFORT	322
4.3.1.	NORMATIVA DEL MINISTERIO DE SALUD	322
4.3.2.	REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS SEGÚN OGUC	324
4.3.3.	NORMAS PARA ACCESIBILIDAD DE LUZ SOLAR	325
<b>II PARTE.</b>	<b>EXPERIMENTACIÓN Y CASOS DE ESTUDIO</b>	<b>333</b>
<b>CAPÍTULO 5.</b>	<b>CASOS DE ESTUDIO</b>	<b>335</b>
5.1.	LUGAR, LA CIUDAD DE LA SERENA	336
5.1.1.	CLIMA, CIELO Y LUZ EN LA SERENA	336
5.1.2.	CONTEXTO HISTÓRICO URBANO	342
5.1.3.	LA ARQUITECTURA DE LA SERENA	345
5.1.4.	EL PROBLEMA DEL PATRIMONIO EN LA SERENA	359
5.2.	CINCO CASOS DE ESTUDIO	361
5.2.1.	SELECCIÓN DE EDIFICIOS	361

CASO 1.	CASA CARMONA	365
CASO 2.	CASA CAVADA	375
CASO 3.	CASA HERREROS	385
CASO 4.	CASA SOLAR CHADWICK	395
CASO 5.	CASA PIÑERA	405
<b>CAPÍTULO 6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	419
6.1.	CONCLUSIONES SOBRE LOS CASOS DE ESTUDIO	419
6.2.	CONCLUSIONES A CONSIDERAR COMO CRITERIOS NORMATIVOS	423
6.3.	CONCLUSIONES FINALES	429
<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b>		433
LIBROS		433
ARTÍCULOS Y TESIS		437
RECURSOS WEB Y OTRAS FUENTES		440

<b>ANEXOS</b>		443
ANEXO I.	NUEVAS TECNOLOGÍAS. SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL <i>ATRAPALUZ</i>	444
ANEXO II.	UN PROBLEMA DE FÍSICA: HABITACIONES QUE NO SE PUEDEN ILUMINAR	447
ANEXO III.	PAPER CONGRESO CIE 2014	449
ANEXO IV	PLANOS SECCIONALES PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE LA SERENA	460

## RESUMEN

La presente tesis investiga sobre la manera en que la arquitectura se ha construido para utilizar la luz natural, con el fin de aplicar estos conocimientos a la rehabilitación de edificios históricos. Para ello es necesario conocer aspectos técnicos en el uso de la luz, partiendo por comprender cuáles son los fenómenos físicos que debiéramos conocer los arquitectos para poder utilizarla adecuadamente. Es necesario también saber cómo es el comportamiento de los materiales frente a la luz y cómo utilizarlos en el contexto rehabilitación. Dentro de los aspectos técnicos, se establece cuáles son las estrategias, los sistemas y las tecnologías necesarias para la utilización de la luz en arquitectura, y se organiza esta información con el fin de hacerla clara, accesible y útil.

Sin embargo, la luz no puede ser empleada en forma adecuada si no se conocen los requerimientos y las necesidades que el ser humano tiene respecto de ella, para habitar en forma confortable y saludable. Es por eso que se establecen a su vez los requerimientos humanos respecto de la luz desde el punto de vista de sus características biológicas, su percepción y sus necesidades ergonómicas.

Como la tesis se enmarca dentro de la problemática de la rehabilitación de edificios históricos, es necesario conocer cuál es la relación entre los procesos histórico-culturales y la técnica para utilizar la luz en la historia de la arquitectura. Se busca establecer la correlación entre historia y técnica, con el fin de responder en forma adecuada a los valores patrimoniales de un edificio histórico al alterar un aspecto tan importante como su iluminación natural.

Con este conjunto de conocimientos técnicos, humanos e históricos establecidos en la primera parte de la tesis, se propone un protocolo de diseño para un proyecto de rehabilitación en cinco casos de estudio. Esta herramienta analiza el comportamiento actual de la luz para una determinada función, detecta los problemas lumínicos, establece criterios para la elección de soluciones y analiza el comportamiento de estas soluciones. Finalmente compara los resultados lumínicos de las condiciones actuales y la solución propuesta.

Por último, la investigación genera criterios que pueden ser aplicables a la normativa chilena de planificación territorial respecto del uso de la luz en contextos urbanos patrimoniales

## ABSTRACT

This thesis addresses how the architecture has been built to use natural light, in order to apply this knowledge to the historic buildings rehabilitation. This requires knowing technical aspects in the use of light, starting to understand what physical phenomena we, the architects, should know to use it properly. It is also necessary to know how materials behave in regards to light and how to use it in the rehabilitation context. Among the technical aspects, we should define strategies, systems and technologies necessary for the use of light in architecture, and organize this information in order to make it clear, available and useful.

However, light cannot be used properly if are not known requirements and needs that human beings have towards it, to live in comfortable and healthy way. That is why light human requirements are determined to know how light influences their cycles, perception and comfort.

As the thesis is in frame of rehabilitation of historic building problem, it is necessary to know how is the relationship between historic-cultural processes and technology of light use, in the architecture history. It seeks to establish the correlation between History and technology, in order to give an adequately answer to the heritage values of a historic building by altering an important aspect like its natural lighting.

With this set of technical, human and historical knowledge, established in the first part of the thesis, a protocol is proposed for a rehabilitation project design in five study cases. This tool analyzes current behavior of light for a specifically function, detects lighting problems, establishes criteria for the selection of solutions and analyzes solution behaviors. Additionally, it compares results of current lighting conditions and the proposed solution.

Finally this research generates criteria that may be applicable to Chilean territorial planning legislation, regarding use of light in patrimonial urban contexts.



# INTRODUCCIÓN

La historia de la construcción humana ha estado permanentemente relacionada al uso de la luz natural. Las estrategias, los sistemas y las tecnologías para su aprovechamiento han cambiado a la par de los cambios en la arquitectura. La historia de las tecnologías y sistemas para la iluminación natural está en estrecha relación con la historia de nuestras civilizaciones, la ciencia, la cultura, los descubrimientos, nuestros anhelos y necesidades. Cada proyecto construido es posible de ser leído a través de su manera de iluminarse con luz del Sol y conocer estas ideas primigenias como parte de la comprensión global del edificio puede ser un aspecto de interés al momento de conocer una obra. Existen momentos en que el uso de la luz es óptimo para las necesidades biológicas del ser humano o las funciones a realizar, en otros, el uso de la luz se centra en aspectos de otra índole como el simbolismo, la imagen o el poder.

Una observación intuitiva o preliminar podría suponer que en la historia de lo construido no existen más que unos pocos sistemas para hacer acceder luz a un interior, teniendo como paradigma la ventana (aquella abertura en la envolvente), alguno que otro sistema de reflexión especular (mitológicamente atribuido a los egipcios) o definitivamente tecnológico. Sin embargo, precisamente en la enorme variedad y sutil riqueza de estos sistemas, hay mucho que deducir si somos capaces de leer su forma, posición, proporción, orientación, expresión, simbolismo, materialidad, imagen, tecnología o los efectos físicos insospechados que es capaz de utilizar.

En la relación de la luz con la historia construida aparecen hitos fundamentales para la historia humana como la invención del vidrio, el espejo, las lentes, la linterna, la persiana, el postigo, el lumiducto, la fibra óptica, los filmes adhesivos, la polarización del vidrio, los vidrios compuestos e incluso las hazañas constructivas más básicas para transparentar el muro como el arco, la increíble estrategia para perforar el muro en el momento en que la viga dintel ya no es suficientemente larga para hacer de puente.

Al llevar a cabo la rehabilitación de un edificio, la acción a realizar generará cambios en la propuesta

original de iluminación natural. Algunas veces las nuevas propuestas son acertadas para el mejoramiento de ciertos aspectos, pero pueden no ser apropiadas en otros. Por ello conviene tener en cuenta cómo es el proyecto de iluminación natural primitivo, a qué necesidades y objetivos responde para luego establecer qué cambios ha sufrido a lo largo del tiempo, ya sea por acciones realizadas al edificio mismo desde el interior, así como las transformaciones urbanas del entorno inmediato que habitualmente son fuente de modificación en la iluminación natural. El proyecto de rehabilitación debe tomar en cuenta estos aspectos que presenta la obra a intervenir y a ello superponer su nueva propuesta que, junto con el nuevo uso, traerá consigo una nueva estrategia, nuevos sistemas y tecnologías que variarán la iluminación natural. En este caso conviene por tanto tener en cuenta qué aspectos son factibles de cambiar o mejorar sin destruir las posibles virtudes originales (Valero 2004).

Desde el punto de vista urbano, las nuevas edificaciones o la modificación de las edificaciones existentes pueden intervenir en las condiciones de iluminación natural de los edificios históricos. Si la planificación territorial de resguardo patrimonial considera estas variables, puede contribuir a generar un entorno más armónico de los cascos históricos donde no disminuyan las condiciones de confort en edificios antiguos. De este modo se elimina uno de los factores que genera procesos de deterioro que ya de por sí sufren estas edificaciones.

Lo complejo de la tarea de rehabilitar presupone que debiera abordarse y desarrollarse, no sólo desde ámbitos disciplinares como han sido hasta ahora la Historia, Restauración y Teoría, sino también desde aspectos más específicos como la Tecnología hacia los avances para una arquitectura sostenible y la Ergonomía con el fin de incluirla en el estudio hacia la generación de espacios confortables para la habitabilidad del ser humano. Por tal motivo se plantea el tratamiento de este tema desde el ámbito técnico, con miras al mejoramiento de la habitabilidad de los espacios patrimoniales, a través de modificaciones en su calidad espacial hacia un mayor confort ambiental, en particular de confort visual, pero entendiendo sus valores originales que pueden ser fundamentales para la conservación de su identidad.

La manera en que se ha abordado la tesis es un punto intermedio entre una investigación puramente técnica, una investigación histórica y una analítica desde la composición arquitectónica. Durante todo este proceso se buscó la ejemplificación de los aspectos técnicos que son difíciles de explicar en casos reales y por tal motivo la incorporación de imágenes y dibujos es de vital importancia en la comprensión de los aspectos tratados en el presente trabajo: son la visualización de la técnica aplicada a la sensibilidad frente a la belleza de la arquitectura.

El campo de investigación para los casos de estudio corresponde al contexto de arquitectura patrimonial en la ciudad de La Serena, al norte de Santiago de Chile, donde actualmente realizo un proyecto profesional para la modificación de la normativa de Patrimonio Construido. La realización de este trabajo permite el acceso a un enorme caudal de información y una aproximación metodológica de análisis territorial y de valoración patrimonial. Por otra parte, permite que los resultados del estudio puedan aplicarse a una escala mayor en forma de recomendaciones y criterios a tener en cuenta respecto de la normativa de alteración constructiva, tanto para el edificio a rehabilitar como para las intervenciones que alteren las condiciones de iluminación del entorno.

## PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En el desempeño como arquitecto especializada profesionalmente en patrimonio arquitectónico y como académica, en el ámbito de la percepción humana, he podido constatar que el estudio del uso de luz natural en arquitectura no se encuentra suficientemente sistematizado en formato accesible para arquitectos en cuanto a los aspectos históricos y culturales, los fenómenos físicos que provoca en el ser humano y la técnica constructiva para su uso.

Por otra parte, la información existente referente a la luz natural no correlaciona la tecnología, los sistemas y estrategias para su uso, con las cualidades que la luz natural provoca en la arquitectura, esto es, con la percepción del espacio, las necesidades de luz natural en el hábitat humano y su relación con los procesos biológicos y psicológicos necesarios para el bienestar.

En particular, se ha podido constatar que en los procesos de rehabilitación, la luz natural no es abordada técnicamente en relación a su manera histórica de construirse, lo que contribuye a que se pierdan virtudes originales o se potencien cualidades que no son coherentes con los anhelos culturales, funcionales y ambientales contemporáneos.

En relación a estos problemas encontrados surge la pregunta de investigación que ha guiado la presente tesis.

Si se aplicasen sistemáticamente estos criterios de intervención para optimizar la luz natural ¿es posible utilizar el potencial que ésta tiene para generar cambios favorables en el bienestar humano, así como para la adecuación de edificios históricos a los requerimientos contemporáneos funcionales, estéticos y de consumo energético, sin menoscabar sus virtudes patrimoniales originales?

## HIPÓTESIS

1. El manejo adecuado de las condiciones de iluminación natural en la rehabilitación del edificio histórico, puede mejorar el desempeño del edificio en cuanto a su funcionalidad, eficiencia energética y su calidad espacial. Para ello se deben conocer y manejar estrategias, tecnologías y sistemas para la accesibilidad de luz solar con el fin de modificar sus condiciones de iluminación natural originales sin perder valores patrimoniales importantes.

### DOS HIPÓTESIS DE TRABAJO

2. Es posible generar una herramienta de análisis y proyectación arquitectónica adecuada, útil y eficiente, si la información técnica para el uso de luz natural se encuentra accesible, organizada y clasificada en sus aspectos históricos-culturales, físicos y materiales. En este mismo sentido, si se tienen conocimientos sobre la respuesta fisiológica de los seres humanos frente a la luz del Sol, el proyecto de iluminación natural puede incrementar con eficiencia las condiciones de habitabilidad del edificio a rehabilitar.

3. Los resultados de una investigación sobre estos temas pueden generar criterios de proyectación aplicables a las normativas que hoy rigen las condiciones de planificación urbana en Chile y en particular, las que se relacionan con los procesos de rehabilitación de edificios y zonas patrimoniales.

## OBJETIVOS

La presente tesis establece sus objetivos en dos ámbitos: el primero de ellos de índole técnica para la creación de una metodología de manejo de la luz natural que permita favorecer las prestaciones de habitabilidad y sostenibilidad de un edificio en vías de rehabilitación; el segundo objetivo se plantea en el ámbito de la historia de la construcción donde se pretende una recopilación organizada de las tecnologías, sistemas y estrategias para el uso de luz natural.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

1. Aportar herramientas de apoyo en el proceso de proyectación arquitectónica sobre la relación entre la técnica constructiva y los resultados cualitativos y cuantitativos de la luz, con el fin de ser aplicada en un proyecto de rehabilitación.
2. Definir y organizar la información necesaria sobre los aspectos de percepción y confort visual en relación a la luz natural para su implementación en el análisis y posterior propuesta arquitectónica. Esta información debe presentarse en formatos accesibles para arquitectos, permitiendo el diseño de espacios confortables, sin disminuir ni exacerbar las cualidades y cantidades necesarias de luz.
3. Establecer una correlación entre la técnica constructiva para la iluminación natural y el momento histórico-cultural en la que fue realizada, para aportar una herramienta de análisis complementaria de un edificio histórico. Este objetivo se liga directamente con el segundo de los objetivos generales que es la revisión histórica de la técnica constructiva de la luz natural para su uso en un proyecto de rehabilitación de un edificio de valor patrimonial.
4. Revisar la normativa chilena en cuanto a su capacidad de intervenir en las condiciones de habitabilidad que genera la luz natural, así como su capacidad de salvaguardar valores patrimoniales que dependen de la luz natural en edificios históricos. Para ello se debe revisar tanto la norma de planifi-

cación urbana así como la de requerimientos lumínicos. También se debe establecer los criterios que definen el concepto de patrimonio en la presente investigación.

5. Desarrollar una herramienta de análisis y proyectación para el uso de luz natural en casos de rehabilitación: definir sistemas utilizados, analizar las nuevas necesidades y evaluar el comportamiento actual del edificio respecto de la luz. Con ello se pretende proponer adecuaciones en relación a los sistemas posibles de aplicar y evaluar la respuesta de la propuesta aplicada experimentalmente en casos de estudio, con el fin de verificar su utilidad.

6. Como un objetivo resultante en el contexto de las normativas de planificación urbana que regulan el patrimonio construido, los resultados del estudio pueden generar recomendaciones para la intervención de edificios en rehabilitación que pueden ser útiles al momento de generar normas urbanas a escalas mayores. Este tipo de recomendaciones pueden ser un aporte adicional para la protección del patrimonio arquitectónico en Chile.

Los objetivos descritos son desarrollados e intentan responderse en cada uno de los capítulos que conforman la presente investigación.

## METODOLOGÍA

El desarrollo de la tesis se plantea en dos grandes partes: una fundamentación teórica bibliográfica y analítica que organiza la información técnica e histórica respecto de la construcción de la luz en la arquitectura y, en segundo lugar, la puesta en práctica mediante casos de estudio donde se ha extraído información bibliográfica de fuentes secundarias así como información generada por la propia autora para el Estudio de Planos Seccionales de la Ciudad de La Serena (Consultora Territorio y Ciudad, 2013).

Para responder a los objetivos planteados en la investigación se han acotado los temas a tratar respecto de la luz y se ha establecido el marco de los casos de estudio a una sola ciudad de Chile, donde los casos de rehabilitación de edificios corresponden a cinco programas diferentes y donde todos parten de la misma base edificada: edificios que fueron proyectados como vivienda.

Se buscó ejemplificar a través de estos casos particulares que responden a situaciones usuales en proyectos de rehabilitación en Chile, con los usos más frecuentes (vivienda, comercio, servicios, educación y turismo), y de allí poder extraer conclusiones que sean aplicables a más casos, como regla general.

La ciudad escogida, La Serena, corresponde a una de las ciudades más importantes del país y la que concentra la mayor cantidad de inmuebles y zonas de valor patrimonial protegidas con la legislación chilena actual.

La información de fuentes secundarias corresponde a bibliografía técnica e histórica sobre luz y arquitectura revisada en Chile, en España, en diversas fuentes de Internet y en la legislación chilena para la planificación territorial y los requerimientos lumínicos.

Las fuentes primarias corresponden a información sobre iluminación natural y percepción espacial generada en investigaciones como académica del la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile en los siguientes proyectos de investigación:

Innovachile CORFO 2012 (investigadora responsable) *“Atrapaluz, sistema de iluminación natural para accesibilidad de luz solar”*; Proyecto VID 2010 (investigadora responsable) *“Mejoramiento ergonómico de espacios patrimoniales mediante el manejo material de la luz natural”*; Proyecto de investigación FAU 2010 (investigadora alterna) *“Atrapaluces: la búsqueda de la resolución en la indeterminación del límite o la gradiente entre arquitectura y diseño industrial”*; Proyecto de investigación FAU 2009 (investigadora responsable) *“Recuperando espacios con luz natural: transversalidad entre la percepción, la historia y la física”*; Proyecto de investigación VID 2008 (investigadora alterna) *“Ingenios de luz natural para un patrimonio sustentable.”*

Otra fuente de información primaria proviene del levantamiento arquitectónico realizado por la autora, de inmuebles en la ciudad de La Serena a partir de los casos conocidos a través del Estudio de Planos Seccionales de la Ciudad de La Serena (Territorio y Ciudad op. cit).

El registro fotográfico del uso de la luz en arquitectura así como los gráficos explicativos de su respuesta en el espacio construido y el la percepción humana, son en gran parte información generada por la autora para ésta y las demás investigaciones mencionadas.

Por último, los datos obtenidos sobre los casos de estudio se generan a partir del uso de softwares especializados en levantamiento planimétrico de las edificaciones escogidas y mediciones lumínicas de edificios, lo que será profundizado más adelante en la descripción del capítulo de Casos de Estudio.

La organización de la tesis corresponde al siguiente esquema de desarrollo.

## **PARTE I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

**CAPITULO 1.** Aspectos técnicos: Física, materiales y evaluación lumínico-energética. Este capítulo se basa en la recopilación bibliográfica e información proveniente de las investigaciones académicas mencionadas, en cuanto a los aspectos teóricos físicos ópticos de la luz y su relación con los materiales y la arquitectura. Se ejemplifica con imágenes provenientes de la bibliografía consultada y en gran medida, en imágenes fotográficas y esquemáticas de la propia autora.

**CAPÍTULO 2.** Aspectos humanos: Percepción y ergonomía. Este apartado busca generar una sistematización útil en cuanto a las necesidades humanas de luz natural. Para ello se requiere de la recopilación bibliográfica sobre los aspectos fisiológicos del ser humano, respuestas perceptuales y psicológicas frente a la luz y definición de aspectos necesarios desde la ergonomía, con el fin de generar una herramienta de análisis y medición ergonómica y de percepción visual. En este capítulo se ha utilizado también información generada a partir de investigaciones académicas de la autora mencionadas anteriormente.

**CAPÍTULO 3.** Proceso histórico: Para el estudio de los aspectos históricos y teóricos con respecto al uso de estrategias, sistemas y tecnologías para la luz natural, se estableció un orden cronológico según las etapas conocidas de la Historia y para ello se revisaron fuentes bibliográficas y estudios en terreno (en la ciudad de La Serena). Una vez recopilada la información se realizó un análisis teórico por tópico y momento histórico con el fin de generar una relación entre construcción de la luz, arquitectura e Historia.

**CAPITULO 4.** Normativa y consideraciones patrimoniales: En este capítulo se aborda el enfoque que plantea la presente investigación respecto del patrimonio arquitectónico y la postura teórica y política frente a él. También se aborda la normativa chilena que regula el patrimonio, en el contexto de la ciudad de La Serena. Por otra parte, se extrae y analiza la normativa chilena que regula las condicio-

nes lumínicas y de confort enunciados en la Ley de Urbanismo y Construcciones y en otros decretos legislativos. Al final del capítulo se extraen conclusiones sobre la capacidad de la normativa chilena de establecer condiciones de habitabilidad y protección patrimonial adecuadas respecto del uso de la luz natural. El fin de este apartado se corresponde con el último objetivo planteado en la tesis de generar criterios normativos que puedan ser aplicados en la normativa chilena en casos de planificación territorial y que aseguren un mínimo de habitabilidad y respeto por las condiciones lumínicas patrimoniales de edificios históricos.

## **PARTE II. EXPERIMENTACIÓN Y CASOS DE ESTUDIO**

CAPITULO 5. Casos de estudio. Para la selección de casos de estudio se ha escogido la ciudad de La Serena, tomando como base la información recopilada y elaborada por la autora para el proyecto Estudio Planes Seccionales del Centro Histórico de La Serena que tiene como objetivo la elaboración de una normativa de planificación territorial que regule la Zona Típica (categoría de patrimonio nacional).

La Serena es la ciudad chilena que presenta la mayor zona de protección patrimonial, bajo de denominación de Zona Típica, dada por el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) y cuenta con una gran cantidad de inmuebles protegidos de valor patrimonial bajo la categoría de Monumento Histórico (MH) o Inmueble de Conservación Histórica (ICH). Esto ha llevado a definir la ciudad de La Serena como uno de los íconos del patrimonio urbano nacional. La trascendencia única del valor patrimonial de esta ciudad en el contexto chileno hace relevante la incorporación de nuevos mecanismos de valoración y protección del patrimonio construido, bajo la mirada contemporánea que lo define en modo activo y dinámico, inscrito en las necesidades y procesos reales y vigentes de la ciudad y sus habitantes, en concordancia con una aproximación antropológica de identidad y memoria que establece la presente investigación.

Se plantea que la implementación de investigación aplicada puede ser de utilidad recíproca tanto para la ciudad como para la investigación en curso, puesto que ofrece un amplio y diferente campo de estudio. De esta manera, las conclusiones de esta investigación trascienden el campo académico y pueden generar recomendaciones o criterios a incorporar en la generación normativa de resguardo patrimonial, en este caso de forma pionera en la ciudad de La Serena.

Los casos de estudio analizan inmuebles protegidos de esta ciudad que requieren de proyectos de rehabilitación debido al cambio de uso que han sufrido. En todos los casos los inmuebles están ya siendo utilizados con sus nuevas funciones, pero no han sido adaptados para ellas con criterios de rehabilitación que potencien la habitabilidad que la luz natural puede aportar en cada caso. En general se puede decir que las únicas adaptaciones que se han realizado es el aumento de la dotación de alumbrado eléctrico y el cambio de mobiliario.

El análisis se realiza desde la perspectiva del uso de la luz natural, y se aplican las herramientas extraídas de la primera parte de la tesis, que han sido propuestas a partir de las conclusiones dadas por la relación histórico-cultural y técnico-cuantitativa de la construcción de la luz, así como de necesidades humano-cualitativas necesarias para una óptima habitabilidad.

La selección de los edificios a intervenir se realizó en base a tres criterios:

1. Se buscó en el universo de inmuebles de valor patrimonial reconocido por la existencia de alguna protección normativa vigente, ya sea como Monumento Histórico (MH) o Inmueble de Conservación Histórica (ICH).
2. Se restringió la búsqueda a la tipología casa-patio por ser la más representativa de la Serena. La selección de casos similares permite visualizar problemas distintos asociados a una misma tipología, y por lo tanto establecer distintas propuestas de solución en el contexto general de similar tipología.

3. El tercer criterio fue la elección de edificios que tuviesen distintas funciones: vivienda, servicios, educación y hospedaje, con el fin de enfrentar distintas necesidades y requerimientos, tanto humanos como normativos. En todos los casos, los inmuebles originales fueron proyectados y utilizados como vivienda, hasta que el centro histórico expulsó la actividad residencial, concentrándose en las actividades de comercio y servicios, un fenómeno que tiene ya cincuenta años.

Los edificios seleccionados son: Casa Carmona (MH), Casa Cavada (ICH), Casa Herreros (ICH), Casa Solar Chadwick (ICH) y Casa Piñera (MH). Todas las casas están insertas dentro de la Zona Típica de la ciudad de La Serena.

## **MODELO DE ANÁLISIS**

El modelo de análisis y propuesta para los casos de estudio se basa en los aspectos relevantes recabados durante el fase de marco teórico respecto de aspectos técnicos, patrimoniales y perceptuales. En base a estos temas se ha elaborado la propuesta de análisis y los procedimientos de evaluación tanto de los problemas lumínicos como de las propuestas arquitectónicas, dividiendo el análisis en aspectos cuantitativos y cualitativos en el contexto comparativo entre la situación actual y la propuesta.

**Catastro y análisis arquitectónico patrimonial:** Establece la tipología arquitectónica y el estilo del edificio, definiendo los atributos patrimoniales de valor que no deben ser alterados.

**Estrategias, sistemas y tecnologías existentes:** Establece el modo en que la iluminación se relaciona con su momento histórico y las tecnologías de la época, y permite observar si es posible modificar o agregar nuevos sistemas o tecnologías sin desvirtuar los valores de su iluminación y valor patrimonial. Las estrategias son más difíciles de modificar puesto que no es posible cambiar las tipologías arquitectónicas (casa patio, crujía, etc.) o las orientaciones, por ejemplo.

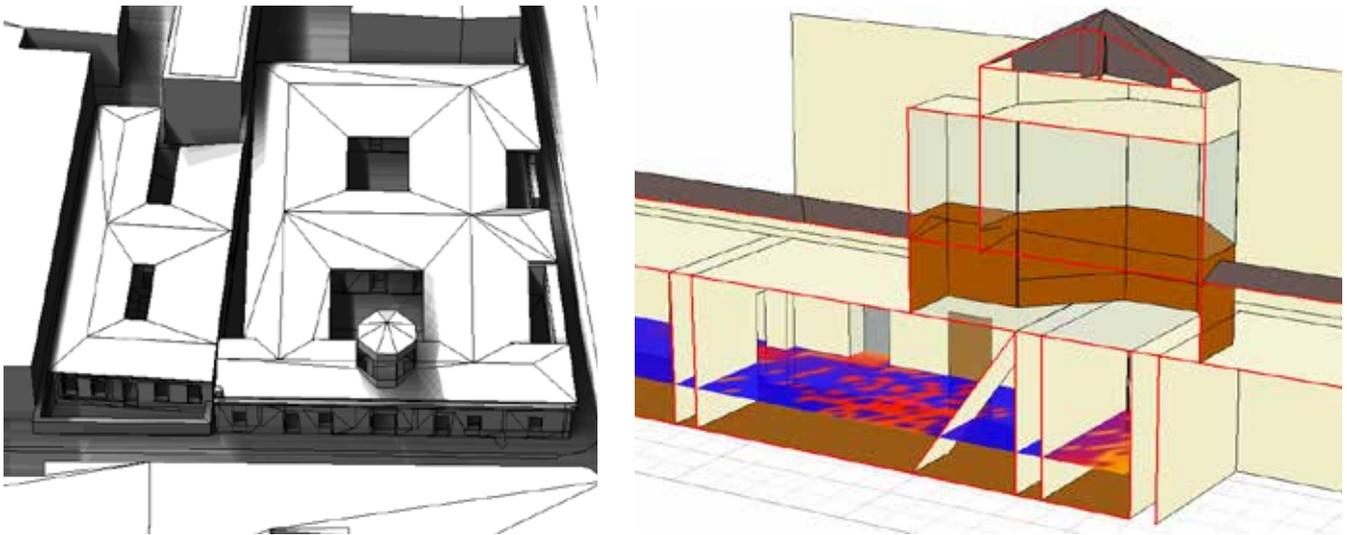


Figura 1: Modelo en Ecotect para evaluación de sombras urbanas sobre el inmueble. Análisis de iluminancia Ecotect. Fuente: Archivo de la autora.

**Análisis lumínico situación actual:** Este análisis es de carácter cuantitativo y evalúa a través de softwares los niveles de iluminancia y contraste dados por imágenes en falso color. Estas imágenes transforman la información de iluminancia (o luminancia) en colores contrastantes con el fin de hacer evidente las cantidades y gradientes.

El análisis se realizó con una secuencia de softwares partiendo por un programa para el levantamiento planimétrico del edificio (Autocad), un programa para el modelamiento de los edificios en forma detallada al inicio y luego en modelos simplificados (Sketchup), un programa para la evaluación lumínica anual (Ecotect) y finalmente el programa Radiance, operado desde Ecotect para el cálculo puntual según fecha y hora específicos, de la luminancia, la iluminancia y la visualización de resultados mediante imágenes en falso color que permiten evidenciar los niveles por medio del contraste.

La evaluación lumínica utilizó los datos de clima para la ciudad de La Serena desarrollados para el programa Ecotect y Radiance (La Serena.wea). Se evaluaron los niveles anuales de iluminancia y luego en dos o tres vistas se evaluaron los niveles puntuales de iluminación en los recintos (Figura 1 y Figura 2).

Las evaluaciones se realizaron en tres momentos del día, a las 9:00, a las 12:00 y a las 16:00 horas, en tres momentos del año, solsticio de invierno, equinoccio de primavera y solsticio de verano.

Para el caso de el solsticio de invierno y equinoccio de primavera se estableció el uso de cielo cubierto (overcast) definido por la CIE puesto que corresponde al tipo de cielo en la ciudad durante este período, y para el verano se evaluó con cielo claro, condición también más cercana a la realidad en esta ciudad. Estas condiciones de cielo fueron extraídas de los datos otorgados por el Explorador Solar (<http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2>), una plataforma web de información de radiación territorial desarrollada por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

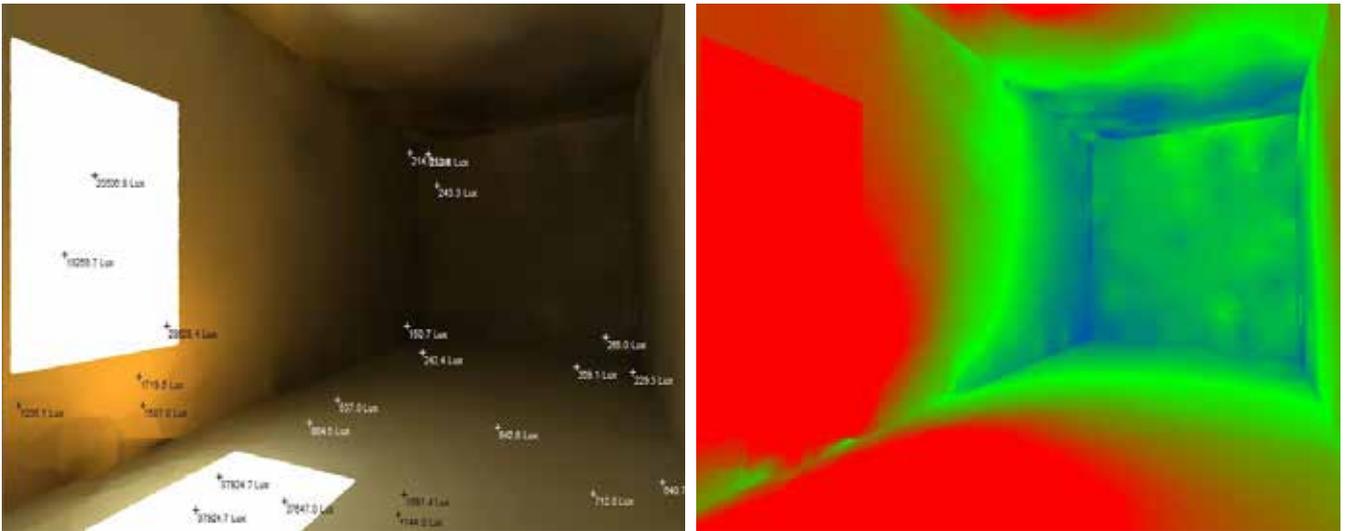


Figura 2: Imágenes Radiace con valores de luminancia (cd/m<sup>2</sup>) o iluminancia (lux). La misma imagen en colores falsos para la visualización de las distintas cantidades. Fuente: Archivo de la autora.

**Definición del problema:** Luego de tener el panorama de funcionamiento lumínico del edificio existente se define el recinto más problemático donde se propondrán las soluciones. El problema puede deberse a la falta de luz, problemas de confort visual dados por el alto contraste entre niveles de iluminación o brillos (luminancia), sobrecalentamiento por radiación directa, etc.

**Propuestas:** Dependiendo del análisis arquitectónico-patrimonial por una parte y del problema lumínico definido, por la otra, se genera una propuesta que da respuesta al problema teniendo en cuenta los aspectos de valor patrimonial pertinentes. Los valores patrimoniales se establecen según los que se señala en el estudio técnico para la protección normativa como MH o ICH en cada caso (Figura 3).

**Evaluación cuantitativa de las propuestas:** Se evalúa del mismo modo que fue calificado el inmueble original, utilizando los mismos softwares que establecen los niveles de iluminancia y contraste.

**Evaluación cualitativa de las propuestas:** Basándose en los factores establecidos en el capítulo sobre percepción humana y Ergonomía, se han extraído los aspectos más significativos que pueden ser evaluados en un estudio de estas características.

#### Factores de Percepción

- Identidad y memoria: Tipología arquitectónica, estrategias, sistemas y tecnologías de luz natural existentes.
- Georreferenciación para ciclo circadiano: Cantidad de luz natural; Tiempo de exposición diaria y anual; Percepción del ángulo de incidencia; Color de la luz.
- Percepción visual: Profundidad; Tamaño; Esquema significativo; Discriminación de entidades

Como información adicional que puede servir para una evaluación perceptual de los cambios en el espacio, está la creación de una imagen 3d con sistema anaglifo. Estas imágenes pueden hacerse desde

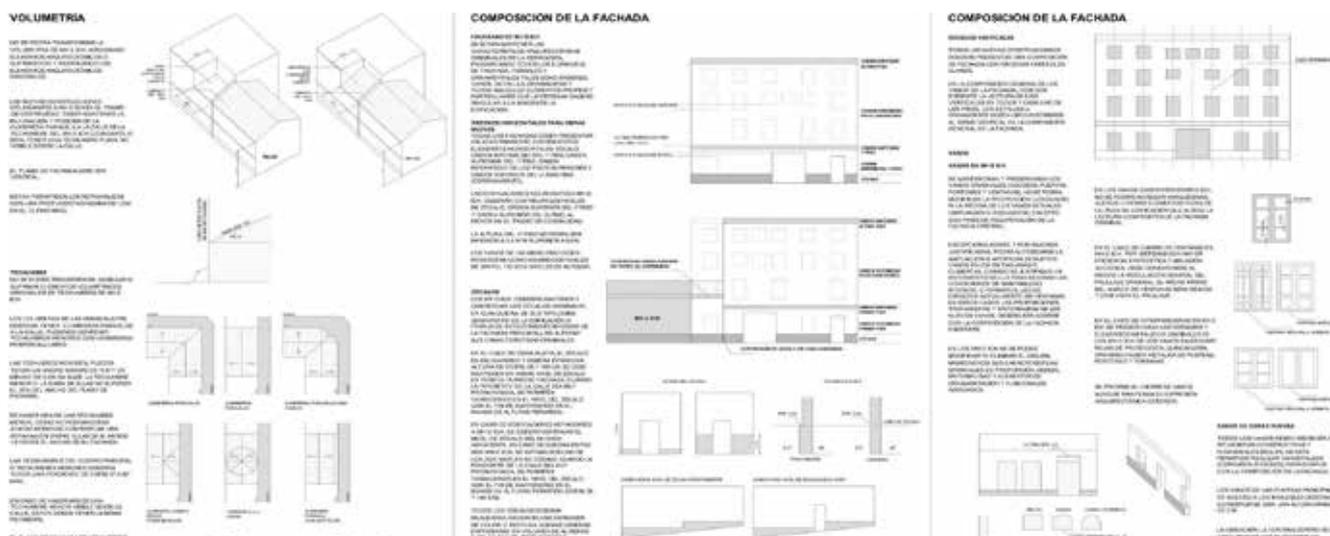


Figura 3: Láminas de los Planos Seccionales (en proceso) para la Zona típica de La Serena, donde se definen normas morfológicas y arquitectónicas. Fuente: Archivo de la autora para Territorio y Ciudad Consultores.

los programas de simulación (Radiance) con distintos puntos de vista (simulación estereoscópica) y sirven para percibir en profundidad y comprender de manera distinta la organización de los elementos en el espacio (Figura 4).

### Factores ergonómicos

- Nivel de iluminación: iluminancia, medida en lux, o cantidad de luz presente
- Equilibrio de luminancias: medido en proporción entre valores de luminancias,  $cd/m^2$ ,
- Deslumbramiento: luminancia,  $cd/m^2$ , factor a medir también a través de los niveles de luminancias que, aunque estén en equilibrio, pueden llegar a deslumbrar si se sobrepasan ciertas cantidades.

En los casos estudiados para la presente investigación, la evaluación cualitativa de las propuestas se realizó con las imágenes arrojadas por los programas utilizados, por medio de observación directa por parte de la investigadora, según el modelo establecido. Hay aspectos de la evaluación perceptual que no pueden ser evaluados por tratarse de modelos computacionales que impiden la visión realista, como por ejemplo brillos, reflejos, desgaste de colores, etc. Por otra parte, las propuestas se establecen en aspectos generales donde las soluciones específicas como materiales, sistemas específicos, formas detalladas no son posibles de construir con softwares de evaluación lumínica.

**Comparación de resultados:** Para la comprensión del alcance de las mejoras de funcionalidad, eficiencia lumínica y calidad espacial se comparan los resultados de las situaciones actuales de los edificios con las soluciones propuestas y se extraen conclusiones críticas respecto del modelo de trabajo y los resultados. La comparación se realizó al medir en nivel de iluminancia (en luxes) en dos puntos específicos del recinto, los mismos para situación actual y propuesta (pto. 1 y pto. 2). Los puntos se encuentran a 1 m de altura (plano de trabajo) y en ubicaciones dispares dentro del recinto, donde se detectan los mayores diferenciales de iluminación. Con esto se busca analizar con datos concretos las mejoras respecto de la cantidad de luz y la distribución espacial y horaria de la luz. Los resultados de la comparación se ven en la cantidad de luxes en cada punto, el diferencial (delta) y una imagen en falso color

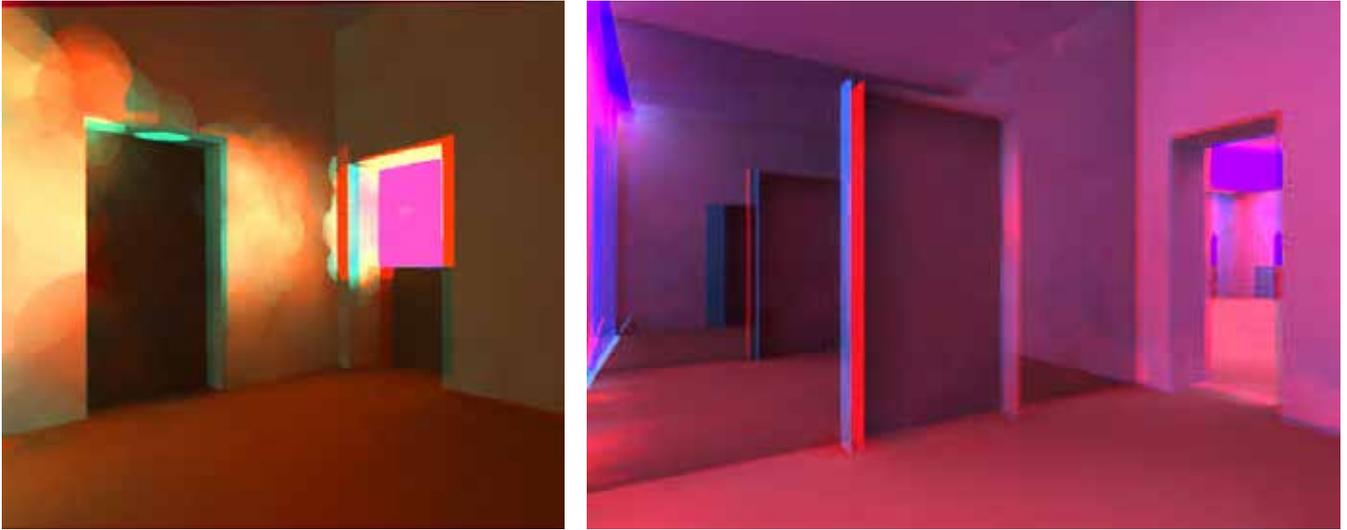


Figura 4: Imágenes en anaglifo de la situación actual de las oficinas en la Casa Piñera y la situación propuesta. Con anteojos rojo-cyan puede verse en 3D. Fuente: Archivo de la autora.

donde se observan gráficamente las cantidades y diferenciales en la distribución de la luz, en solsticio de verano, invierno y primavera, a las 9, 12 y 16 horas, respectivamente.

Finalmente se extraen conclusiones de la respuesta lumínica de cada una de las propuestas y, en base a las deficiencias detectadas, se establecen posibles mejoras.



# PARTE I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS



# CAPÍTULO 1.

## EL TEKNÉ DE LA LUZ

El interés de tratar el tema tecnológico para el uso de luz natural en arquitectura viene, por una parte, de la intención de abordarlo en sí mismo como aporte a la comunidad para su uso eficiente y eficaz; y por la otra como un aspecto singular de la arquitectura capaz de mostrar aspectos relevantes de la cosmovisión cultural. Un ejemplo de esto es lo que Amos Rapoport citado en *Inside out* (Brown, DeKay 1992. 2) señala sobre la arquitectura vernácula: ésta puede ser mejor estudiada si se hace desde un particular punto de vista, planteando preguntas específicas acerca de tópicos o temas, en lugar su estudio cronológico, la forma tradicional en que se estudia la arquitectura histórica.

El estudio en particular de la tecnología, en este caso referido al uso de luz natural, hace posible, según Tomás Buch (Buch 2004), la comprensión de la cosmovisión de una cultura o civilización puesto que es transversal y relaciona todas las áreas de la cultura, enriquece (y amenaza) sus formas de vida, genera reflexión filosófica sobre la artificialidad y la naturaleza. De esto también es capaz la ciencia, un tópico históricamente tratado en la filosofía desde hace siglos, transformándose en sí misma en un área específica dentro de ella. “Los nuevos materiales de construcción, sus cualidades y su impacto en la forma del edificio, siguen siendo uno de los temas más frecuentemente pasados por alto en la formación de los arquitectos” (Corrao 2010. 24). Los procesos evolutivos de la arquitectura no son ajenos al contexto productivo que los acompaña. Pese a que se trata de un problema conocido, es recurrente olvidarlo (Vásquez 2006. 51).

Según afirma Buch, “la tecnología absolutiza el poder del ser humano por sobre la naturaleza e incluso sobre sí mismo, (...) hace extender el alcance de sus miembros y sus sentidos” y sin embargo, “la reflexión filosófica sobre ella es poco abundante y bastante reciente”. Aunque ha sido tangencialmente tratada en los planteamientos de importantes pensadores occidentales citados por Buch, como Ortega y Gasset que describe al ser humano como “hombres con zancos que los usamos para el bienestar más que para el mero estar”, o Freud que nos define como “dioses con prótesis” o Heidegger quien señaló que “nuestras propias creaciones podrían devorarnos” (Buch op. cit. 18).

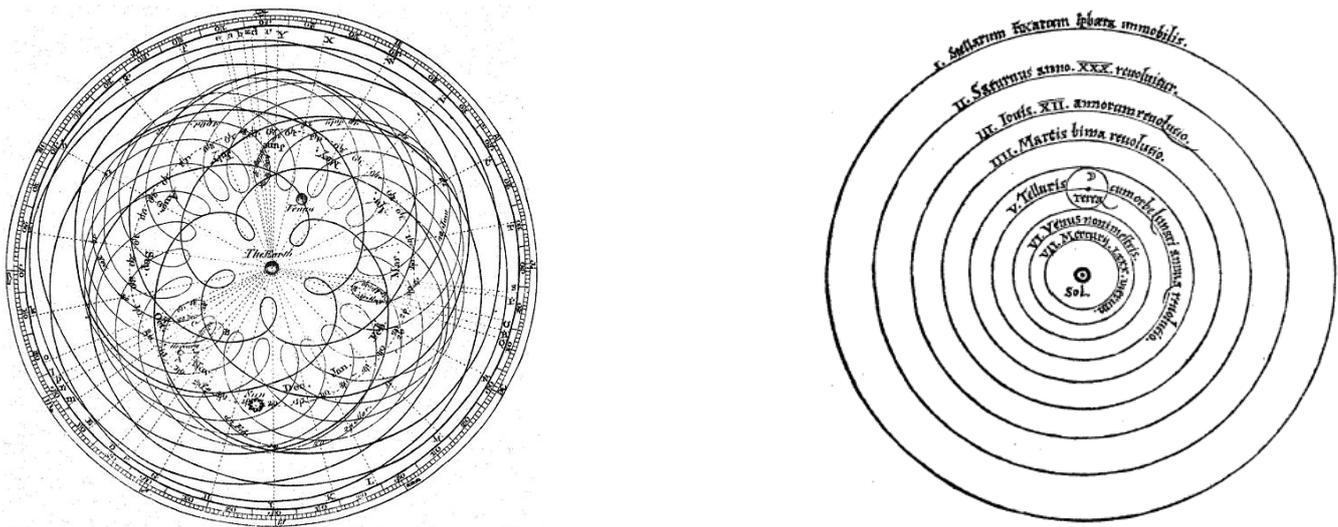


Figura 1.1: Modelo geocéntrico de Cassini y modelo heliocéntrico de Copérnico. Fuentes: Encyclopaedia Britannica 1st Edition y De Revolutionibus Orbium

Es posible, según afirma Buch, que esta omisión provenga de la tradición cultural del desprecio por la técnica que profesaban los clásicos, pues ésta era incompatible con el sublime acto del pensar, destinado sólo a los filósofos, mientras que el hacer era tarea de artesanos y campesinos, quienes probablemente a penas podrían pararse a “reflexionar sobre sus tareas.” (Buch op. cit. 20)

Sin embargo, el estudio de la prehistoria desde sus orígenes ha denominado los períodos del ser humano según el material que era capaz de dominar y utilizar: Edad de Piedra, Edad de Bronce y Edad de Hierro, en directa referencia a la tecnología utilizada. Según Buch, la revolución neolítica fue una revolución tecnológica, que permitió una vida sedentaria; a su vez el sedentarismo permitió la división del trabajo y la estructuración del grupo en clases sociales y generó, por otra parte, las condiciones para la reflexión existencial y las creaciones complejas como la religión y la escritura.

La migración de pequeños grupos sedentarios en busca de mejores condiciones produjo la expansión del ser humano y su nascente civilización, siempre en relación a la capacidad de uso de sus tecnologías asociadas al clima y las condiciones geográficas. Es por eso que la expansión por Eurasia en sentido oriente-poniente desde el Creciente Fértil tuvo mayor éxito que la expansión en sentido norte-sur: la expansión este-oeste permitía mantener las mismas condiciones climáticas y por tanto seguir implementando las técnicas y tecnologías conocidas y apropiadas para la sobrevivencia. Este es el origen de la teoría del biólogo Jared Diamond que en *Armas, Gérmenes y Acero* (1997) plantea que las armas y el acero, elementales ejemplos de tecnologías, son los responsables, junto a los gérmenes adquiridos por la relación con animales domesticados, del resultado de dominación entre un pueblo por sobre otro.

El proceso histórico cultural y el desarrollo científico-tecnológico fue retroalimentándose entre lo necesario para expresar ideas y las nuevas ideas que se expresaron sin intención como resultado del uso de tecnologías. A este fenómeno Buch lo llama proceso enantropoiético: una conjunción de las palabras griegas enantropo (recíproco) y poiesis (generación), como un proceso de generación recíproca.

Por otra parte el desarrollo tecnológico puede definirse también como autocatalítico esto es, se ve acelerado cada vez por su propio progreso.

De acuerdo con Thomas Kuhn (1962), la naturaleza del progreso en la ciencia se produce mediante los cambios de paradigma, que se relacionan con las circunstancias culturales e históricas de los grupos de científicos. En una revisión del proceso que ha generado la relación entre los descubrimientos científicos -y el consecuente desarrollo tecnológico- y los cambios de la cosmovisión cultural, es posible mencionar algunos aspectos de gran relevancia para la historia del uso de la luz natural.

A fines de la Edad Media, la expansión del mundo conocido por Europa viene acompañada de importantes descubrimientos en el campo de la geografía. No sólo se amplía con el advenimiento del nuevo continente, sino que además se generan importantes expediciones por el resto del planeta que permiten el conocimiento de la forma terrestre gracias al mejoramiento y desarrollo de la cartografía, las cartas marítimas, el mejoramiento de la brújula y el astrolabio.

Este hecho viene acompañado de la aceptación del modelo heliocéntrico, prohibido por la Iglesia hasta fines de la Edad Media, por sobre el geocéntrico. El sistema cosmológico de Copérnico, donde el Sol ocupa el centro del Universo y los planetas (incluida la Tierra) recorren órbitas a su alrededor, generó la ruptura definitiva con la cosmología aristotélica (Figura 1.1). Su obra, *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543) que provocó una fuerte oposición tanto en las autoridades religiosas (católicas, protestantes y judías) como del mundo científico, fue prohibida por la Iglesia y sus defensores fueron perseguidos, encarcelados (Galileo) e incluso quemados en la hoguera (Giordano Bruno).

Galileo Galilei convencido de la teoría de Copérnico, se dedicó a la observación del universo con el telescopio que el mismo construyó. Sus resultados fueron decisivos para dismantelar la Física Escolástica de tradición aristotélica y sentar las bases para una Física Moderna basada en el método científico de observación y experimentación.

La Geología, por su parte, aporta la noción de la edad del Mundo y con ella cambia completamente la escala temporal y el concepto de Tiempo. El mundo pasa de tener miles a millones de años, se cuestionan entonces los datos certeros de los libros sagrados. La observación geológica de los cambios graduales en la posición de las tierras y los mares y el descubrimiento de los fósiles de seres prehistóricos, hacen desarrollar un modelo de formación terrestre en continuo movimiento, todo está en movimiento. Y si todo se está moviendo, entonces todo cambia.

El advenimiento del Protestantismo integra la idea de 'leyes de la naturaleza' sacando a Dios del centro de Todo. Este proceso se refuerza por el descubrimiento, elaboración y aceptación de las nuevas teorías científicas de Newton, en particular las 'leyes que gobiernan el mundo'. Con ellas dio repuesta a los antiguos enigmas filosóficos sobre la luz y el movimiento y descubrió la fuerza de la gravedad. Enseñó cómo predecir el curso de los cuerpos celestes y de esta manera conocer nuestra posición en el cosmos. Estableció el conocimiento sobre bases simples: cuantificación y exactitud. Inventó el cálculo, la maquinaria mediante la cual el mundo moderno entiende el cambio y el flujo (Gleick 2003). Fuerzas, tiempo y materia.

En el campo de la biología, comenzó a inferirse que si los seres vivos se componen de materia, entonces responden a las leyes de la física y la química al igual que todo lo que nos rodea. La Teoría de la Evolución de las Especies genera cambios tan profundos en el modelo teológico como lo fue el paso del modelo geocéntrico al heliocéntrico. El ser humano no es tan trascendental como se pensaba ni viene hecho directamente por Dios. Todos los seres vivos tienen un origen común, todos estamos emparentados, todos tenemos la misma importancia a nivel biológico.

En el Renacimiento nace la mecánica, ciencia explotada por las matemáticas. Nace el reloj mecánico que mide con exactitud el tiempo sin necesidad de depender del sol. Se pueden medir estrellas y planetas.

En el Siglo de las Luces (metáfora de un artificio) en el siglo XVIII, la razón instauro el análisis y la discusión. Dios queda definido como el Gran Arquitecto, el gran programador que estableció algoritmos –como modelo de funcionamiento de todo, desde la materia hasta el espíritu-, y como su obra ya está terminada ya no es necesario. La nueva cosmovisión se consolida y se difunde a lo largo de la Ilustración, fenómeno característico del siglo XVIII europeo. En el XIX surge la Primera Revolución Industrial y dando paso a los primeros indicios del Sistema Capitalista.

Más recientemente, la física de la Relatividad de Einstein relativiza la relación entre materia, espacio y tiempo. El ‘azar’ ocupa el lugar del ‘destino’ donde nos vemos como juguetes de la nada (Buch op.cit. 18).

Desde la era industrial se produce un desfase entre desarrollo tecnológico y desarrollo humano. Esto hace que no llegue el ‘bienestar’ del que habla Ortega y Gasset. La producción de bienes es un medio de satisfacción pero al mismo tiempo un medio para que otros lucren. La confrontación entre ‘medios’ y fines’ ha generado la tecnofobia: se pierden los fines, se ‘somete’ a la naturaleza al servicio del ser humano.

Así como alguna vez la filosofía y la ciencia alguna vez formaron parte del mismo proceso de pensamiento, la técnica como parte de la creación humana no puede desligarse de los aspectos mas importantes de su propio ser, todo proceso de creación es un proceso humano que conlleva una idea sobre sus espaldas, una idea que representa todo lo que sucede en el ser humano generador, en el aquí y el ahora.

## 1.1. FÍSICA DE LA LUZ PARA LA ARQUITECTURA

La naturaleza y las propiedades de la luz han sido tema de gran interés y meditación desde tiempos antiguos. Durante más de 2000 años las preguntas acerca de su naturaleza han encontrado numerosas respuestas, aunque la pregunta fundamental se ha referido siempre a saber si la luz consiste en partículas o en ondas.

Los griegos pensaban que la luz estaba compuesta por partículas diminutas, llamadas corpúsculos y emitidas por fuentes luminosas, las que estimulaban la percepción de la visión cuando incidían sobre el ojo del observador. Los pitagóricos pensaron que tal luz emanaba de los cuerpos luminosos en forma de partículas muy finas; sin embargo, Empédocles, predecesor de Platón, ya enseñaba que la luz estaba formada por ondas de cierta clase y de alta rapidez. Una de las primeras teorías de la luz es la de Platón (427 –347 a.c. circa), quien, invirtiendo el enfoque, pensaba que la luz estaba formada por corrientes emitidas por el ojo. Posteriormente Euclides (325– 265 a.c. circa) coincidió con esta hipótesis que perduró por mucho tiempo mientras no fue rebatida por otras teorías (Pendergrast 2003).

En 1704 Isaac Newton usó la antigua teoría corpuscular para explicar la reflexión y refracción de la luz. La describió como una corriente de corpúsculos y lo sostuvo a pesar de que conocía el fenómeno de la polarización, ya que su experimento de la luz reflejada en placas de vidrio producía franjas de claridad y de oscuridad (los anillos de Newton). No alcanzó a deducir que sus partículas luminosas también deberían tener ciertas propiedades ondulatorias, no obstante que ya en 1678 uno de los contemporáneos de Newton, el científico holandés Christiaan Huygens, había explicado varias propiedades de la luz al proponer que de ésta se puede explicar mejor su comportamiento si es tratada como una onda (Figura 1.2 a).

En 1801, con todo este historial de fondo, Thomas Young mostró además que los haces de luz pueden interferir entre sí, dando fuerte soporte a la teoría ondulatoria. Y entre 1862 y 1865 James C. Maxwell desarrolló una teoría que afirmaba que la luz conduce energía en forma de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y que las ondas electro-magnéticas viajan a la rapidez de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s). Entonces, la teoría ondulatoria de la luz parecía estar firmemente establecida.

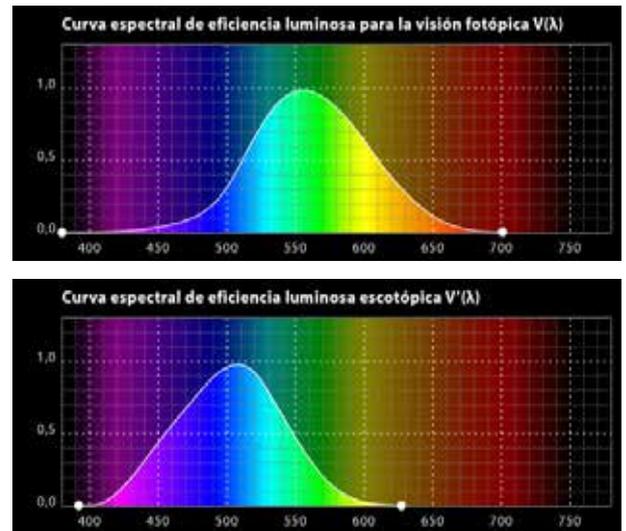


Figura 1.2: Espectro de ondas emitidas por el sol. La luz visible es sólo una parte que va desde los 400 nm a los 700 nm. Curva de Sensibilidad Espectral del ojo humano en visión fotópica y escotópica. Fuentes: Archivo de la autora y gusgsm.com, julio de 2013.

Veinticinco años después, Hertz usó circuitos eléctricos productores de chispa para demostrar la realidad de las ondas electromagnéticas (de radiofrecuencia). Pero a principios del siglo XX, Max Planck retoma la teoría corpuscular de la luz para explicar la radiación emitida por objetos calientes (Serway, Beichner 2002).

En 1905, Albert Einstein publicó un trabajo que le valió el Premio Nobel, en el que explicaba cómo un metal emite electrones cuando se expone a la luz lo que desafiaba aparentemente la teoría ondulatoria. Postuló que la luz interactúa con la materia no como ondas continuas, como Maxwell concebía, sino en forma de paquetes diminutos de energía que ahora llamamos fotones. Este descubrimiento no borró la idea de las ondas luminosas. En lugar de ello indicó que la luz tiene una naturaleza dual: Es al mismo tiempo una onda y una partícula (Hewitt 2004).

### 1.1.1. FENÓMENOS FÍSICOS PARA LA ARQUITECTURA

La distribución energética del conjunto de todas las ondas electromagnéticas que el sol emite permanentemente es lo que la Física denomina espectro electromagnético. Pero desde un punto de vista operacional, **la luz** se define como el rango visible del espectro solar que el ojo humano es capaz de percibir: la onda electromagnética perceptible es la que va entre los 400 nanómetros (luz violeta) y los 700 nanómetros (luz roja). Al juntar y ver al mismo tiempo todas las longitudes de onda, nuestro ojo percibe la luz blanca. La luz del sol es blanca, esto quiere decir que contiene todos los colores perceptibles por nuestros ojos. El contrario, la ausencia de todas las ondas visibles, es lo que denominamos negro.

Todas las magnitudes fotométricas (medidas de luz) son magnitudes radiométricas ponderadas mediante la capacidad del ojo de ser percibidas, lo que se obtiene en base a medidas de la Curva de Sensibilidad Espectral del ojo humano definidas convencionalmente desde principios del S XX y rectificadas recientemente el año 2010, por la *Comission Internatonale de l'Eclair* (CIE), organismo mundial oficial que ha establecido parámetros relacionados con la luz (Figura 1.2 b).

La Curva de Sensibilidad demuestra que en una misma cantidad de energía, la sensación de luminosidad no es equivalente para las distintas longitudes de onda, ya que algunas frecuencias son percibidas por el ojo humano con mayor intensidad, dependiendo de las condiciones de iluminación. Se ha determinado que el ojo humano alcanza su mayor sensibilidad en la longitud de onda de 555 nm, con visión fotópica (muchísima luz), que corresponde al color amarillo verdoso, y la mínima sensibilidad sobre las longitudes correspondientes a los extremos visibles del espectro, colores rojo y violeta. En el caso de visión escotópica (poca luz) la mayor sensibilidad se da en las longitudes de onda cercanas a los 500 nm, el color verde azulado.

Respecto de la física de la luz, los fenómenos ópticos que inciden en la percepción humana son múltiples. La utilización de la luz natural y artificial en arquitectura mediante diferentes tecnologías es respaldada experimental y teóricamente por las leyes de la óptica geométrica y la óptica física.

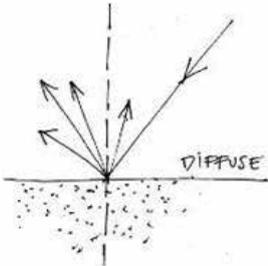


Figura 1.3: Reflexión difusa, especular y transparencia y Pabellón de Portugal, Lisboa. Arq. Alvaro Siza. Fuentes: Archivo de la autora.

Figura 1.4: Transparencia y reflexión en una lámina de plástico. Fuentes: Foto archivo del autor y trabajo de Percepción FAU 2010, K. Valdivia, D. Camero.

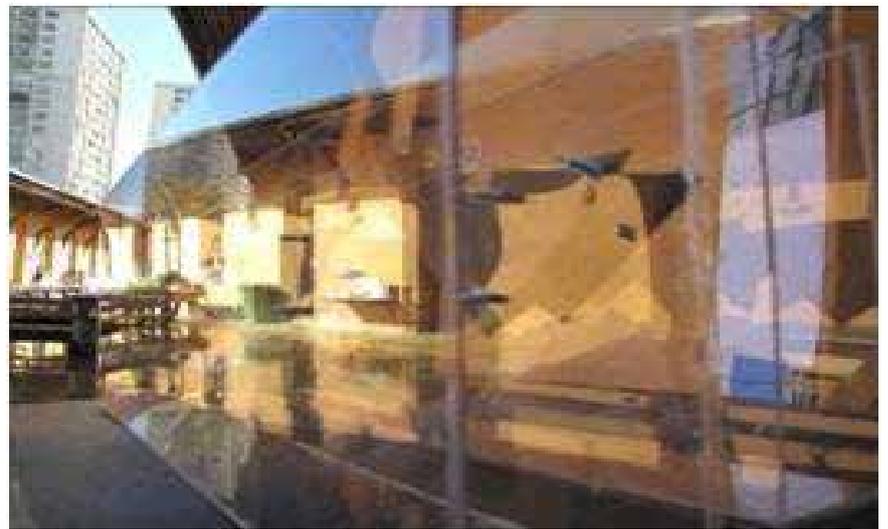
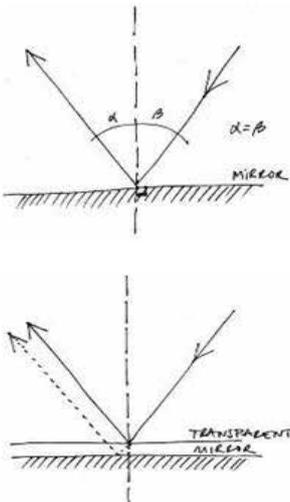
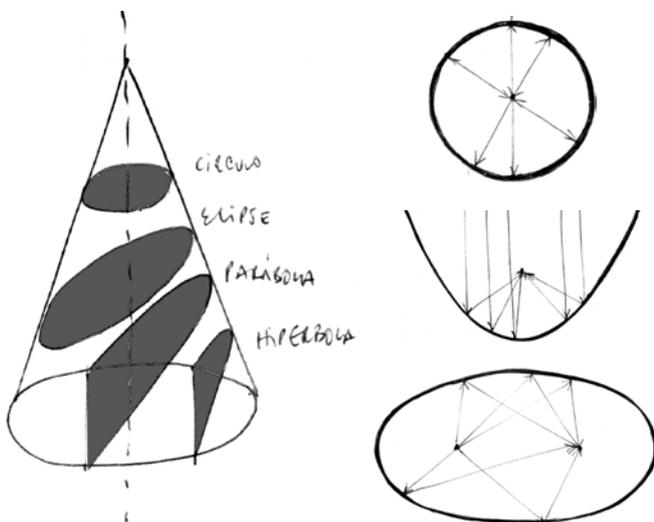


Figura 1.5: a. Geometría de la reflexión: la luz pasará siempre por los focos del círculo, elipse y parábola. b. Esquemas y reflexión en un tubo de aluminio. Fuente: Archivo del autor y trabajos de Percepción 2010. C. Espinoza y M. Valdivieso.



Desde el punto de vista de la **óptica geométrica**, las leyes que dan cuenta del comportamiento de la luz son en general las leyes de la reflexión y de la refracción. Para estudiarlas se utiliza lo que se conoce como rayo de luz que corresponde a la dirección de propagación de la onda; es decir, los rayos son líneas perpendiculares al frente de onda. Luego, se asume que una onda se propaga a través de un medio homogéneo en línea recta en la dirección de los rayos.

La **reflexión** de la luz es el cambio de dirección que experimenta una onda magnética (un rayo luminoso) que al entrar en contacto con la superficie de separación entre dos medios, regresa al medio inicial (Figura 1.3). Existen distintos tipos de reflexión dependiendo de la superficie donde incide el rayo: la reflexión especular normal, que corresponde a la reflexión en una superficie lisa y la reflexión difusa, correspondiente a la que sucede en superficies rugosas, cuyo grano o accidentes dispersan los rayos. Una superficie permitirá la reflexión especular siempre y cuando las variaciones en su rugosidad sean menores a la longitud de onda de la luz incidente. La ley de la reflexión establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión respecto de la normal a la superficie. El rayo incidente, el reflejado y la normal se encuentran siempre en el mismo plano.

Para desviar la luz se aprovechan superficies especulares. Si éstas son espejos planos, los rayos paralelos del haz de luz incidente (por ejemplo la luz del sol) se reflejan igualmente paralelos entre sí replicando ese ángulo de incidencia y permitiendo desvíos calculados de los rayos (Figura 1.4).

Si la superficie reflectante especular es cóncava reflejará los rayos paralelos concentrándolos en un foco, determinado según la curvatura, de modo que se intensifica la luz allí. Esos rayos siguen su trayectoria que se vuelve dispersiva después de pasar por el foco. Si la superficie especular reflectante es convexa, los rayos paralelos que inciden sobre ella divergen como si provinieran del foco (Figura 1.5). En relación a la formación de la imagen en un espejo cóncavo se pueden obtener imágenes reales e invertidas o virtuales y no invertidas. La imagen real en términos físicos es aquella que se obtiene por la intersección de rayos y puede ser proyectada en una pantalla. La imagen virtual, en términos físi-

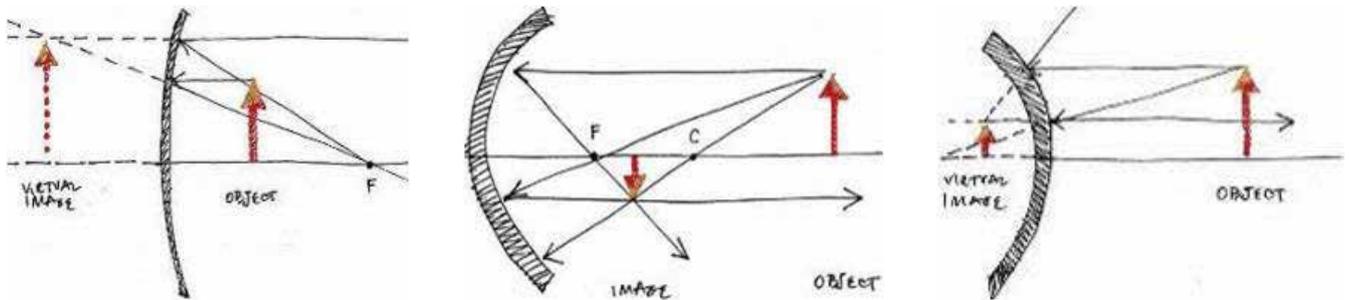


Figura 1.6: Geometría de la reflexión: en espejos cóncavos o convexos generará imágenes invertidas, reales y virtuales. Fuente: Archivo de la autora.

cos, es aquella que se obtiene por la intersección de rayos que divergen. Las imágenes serán reales e invertidas si el objeto se encuentra fuera de la distancia focal. Si el objeto se encuentra dentro de la distancia focal, la imagen obtenida será virtual y no invertida (Figura 1.6).

**Retro-reflexión** es el fenómeno de reflejar un frente de onda (lumínica en este caso) en la misma dirección pero en sentido opuesto sobre una superficie. El efecto resultante es el retorno de luz hacia la fuente emisora, sin importar el ángulo de incidencia. Existen varias maneras de generar retro-reflexión, las dos más comunes son la de esquina o triple prisma y la de esferas retro-reflectantes. Con este principio se han logrado crear materiales retro-reflectantes como pinturas o plásticos, en base a millones de micro cuentas de vidrio que logran el efecto, que son de gran utilidad en la actualidad para la seguridad vial. El resultado en cuanto a la cantidad de luz que es capaz de hacer visible (no aumentar) en una dirección es tan eficiente que se advierte como un fenómeno propicio para la introducción de luz en arquitectura (Figura 1.7).

La **Refracción** es un fenómeno que ocurre cuando un rayo de luz incide sobre una superficie transparente donde parte se refleja y parte se transmite al segundo medio. El rayo incidente, el rayo reflejado y el rayo refractado son todos coplanares, con ángulos medidos desde la normal. Cuando el rayo de luz pasa de un medio a otro, cambia su velocidad pero no su frecuencia, y su imagen se refracta; es decir el rayo se desvía. El efecto visual del rayo desviado es una imagen quebrada al pasar de un medio a otro.

Se define el índice de refracción  $n$  de un medio como el cociente entre la rapidez de la luz en el vacío ( $c$ ) y la rapidez de la luz en un medio ( $v$ ). Dependiendo de la velocidad en la que viaja la luz en los materiales se establecen diferentes índices de refracción. La velocidad de la luz en casi todos los materiales transparentes es menor que la velocidad de la luz en el vacío, en el caso del aire se considera un índice igual al del vacío, esto es 1. Cada material utilizado en arquitectura tiene su índice de refracción definido lo que permite utilizarlos con precisión.

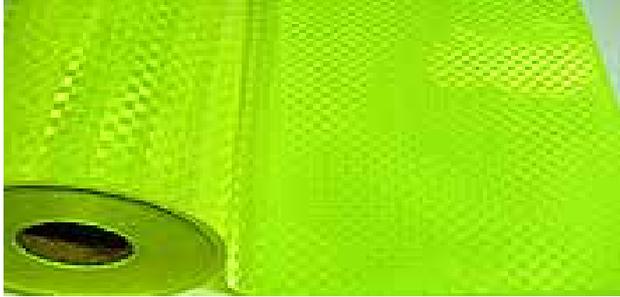
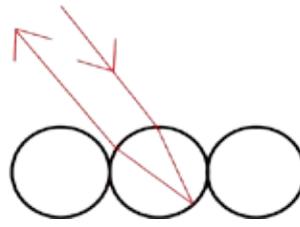
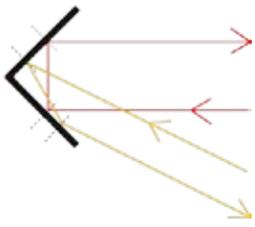


Figura 1.7: Dos formas de retroreflexión, de prisma en un film y de esfera (efecto del flash en retina). Fuente: Archivo de la autora y <http://www.dzoom.org.es/noticia-1458.html>. Agosto de 2010

Cuando la superficie del material transparente es curva, gracias a la refracción de la luz el rayo se desvía convergente o divergentemente hacia un punto, lo que permite la creación de lentes. La convergencia o divergencia dependen de la concavidad o convexidad de la superficie. El resultado visual es la distorsión de la imagen haciendo que ésta pueda verse más grande, más pequeña o irregular, también para la concentración o dispersión de rayos de luz. En arquitectura existen muchos materiales basados en este fenómeno y apoyados por técnicas basadas en él, como el lente de Fresnel que permite la distorsión de la imagen en materiales delgados flexibles y transparentes.

Investigación reciente ha demostrado la existencia de índice de refracción negativo, lo que no se espera que ocurra naturalmente con luz visible en algún material, aunque puede lograrse con metamateriales, materiales creados en laboratorio para dicho propósito (Pickover 2012, 466). El índice de refracción negativa podría participar de la arquitectura en superlentes de captación solar o en materiales con particulares comportamientos de superficie.

**Reflexión interna total** es el fenómeno físico que ocurre cuando un rayo incidente pasa de un medio de mayor índice de refracción a un medio de menor índice de refracción en un ángulo de incidencia tal que supera el ángulo crítico o límite. En estos casos el haz de luz se refleja totalmente en el interior del medio. Cuando se llega al ángulo crítico, el rayo de luz refractado se propaga paralelamente a la interface; es decir, el ángulo de refracción resulta de 90º grados. Este fenómeno en arquitectura puede ser utilizado para el transporte de luz, en estos casos la luz es conducida desde un extremo a otro, interiormente, mientras ellos mismos parecen desaparecer en ausencia de luz manifestándose sólo en sus cantos (Figura 1.8 y Figura 1.9).

En la presente investigación se ha prestado atención al uso de esta propiedad, la que puede darse, además de la fibra óptica, en todos los materiales macizos y transparentes como el vidrio, el acrílico e incluso el agua. Por ejemplo en caso del acrílico el ángulo crítico es 44.76, considerando el índice del acrílico aproximadamente 1.42. En el vidrio el índice de refracción es 1.5, el agua 1.33 y el del

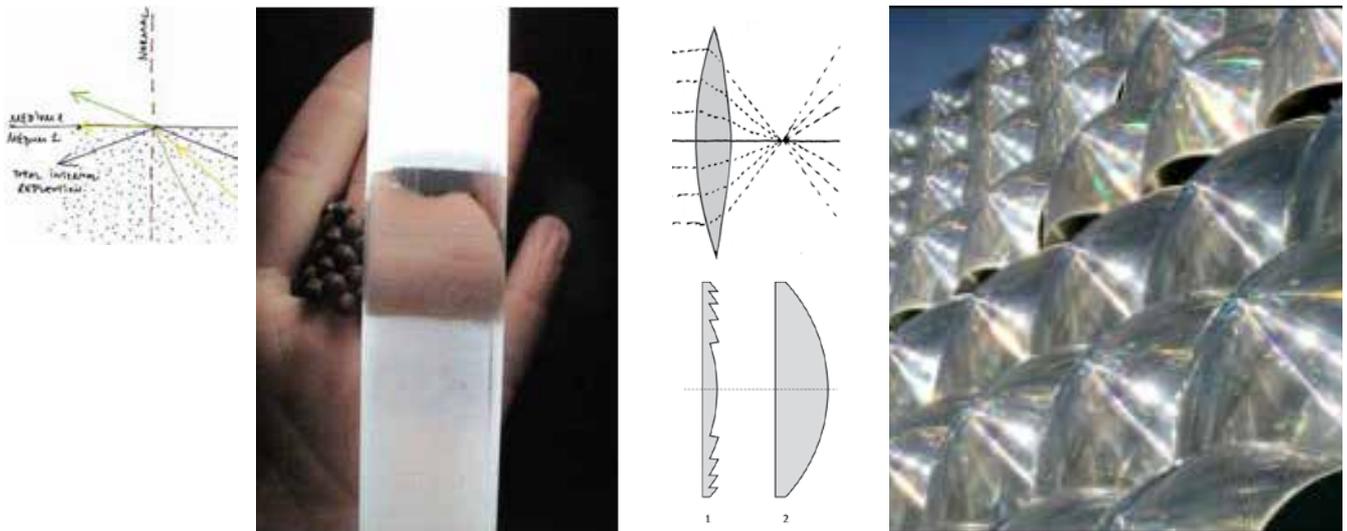


Figura 1.8: Refracción en una barra de acrílico. Lentes, efecto de concentración de rayos y lente de Fresnel. Distorsiones visuales dadas por diminutas lupas de Fresnel de un film adhesivo en una ventana. Fuente: Archivo de la autora.

aire es 1. Esta conducción puede producirse incluso si el medio no mantiene una línea o plano recto, importante para el transporte de luz. Ello permite llegar con luz e incluso con color, a lugares donde era absolutamente inaccesible. Si bien es un fenómeno conocido por su uso en fibra óptica y objetos menores, se demuestra que puede ser empleado en grandes espacios con muchos otros materiales y formas obteniendo efectos visuales y perceptuales.

En cuanto a la **óptica física**, ésta agrupa los efectos ópticos que dependen de la naturaleza ondulatoria de la luz, por tanto la luz se trata como ondas en lugar de rayos, como es el caso de la óptica geométrica. En el caso de la óptica física, los fenómenos de interés para la arquitectura son la difracción y la interferencia.

La **difracción** es un fenómeno que consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo. La difracción ocurre en todo tipo de ondas, desde ondas sonoras, ondas en la superficie de un fluido y ondas electromagnéticas como la luz y las ondas de radio.

La difracción puede producir otro fenómeno denominado **interferencia** que sucede cuando se produce superposición de ondas coherentes entre sí. Aunque la acepción más usual para interferencia se refiere a la superposición de dos o más ondas de frecuencia idéntica o similar, el principio de superposición de ondas establece que la magnitud del desplazamiento ondulatorio en cualquier punto del medio es igual a la suma de los desplazamientos en ese mismo punto de todas las ondas presentes (Figura 1.10 y Figura 1.5 b).

Si la intersección de dos ondas se produce en los montes (es decir, si ambas ondas están en fase), éstas se interferirán constructivamente, por tanto se suman, y el resultando es una onda de mayor amplitud. Lo mismo ocurre en la situación contraria pero con efecto opuesto: si la cresta de una onda se interfiere con la cresta en fase opuesta de otra, éstas se anulan. En el caso de las ondas lumínicas el fenómeno resulta como zonas muy brillantes (interferencia constructiva) o zonas oscuras (interferen-



Figura 1.9: Fenómeno de refracción a reflexión interna total. Esquema de reflexión interna total en fibra óptica. Fuente: Archivo de la autora, trabajo de Percepción FAU 2005. S. Calfín y propuesta de iluminación Palacio Matte, proyecto VID 2010, FAU.

cia destructiva). De ello se obtiene un patrón de zonas claras u oscuras que pueden resultar de gran interés visual para la arquitectura.

**Polarización de la luz.** La polarización electromagnética es un fenómeno que se produce en ondas electromagnéticas, como la luz, por el cual el campo eléctrico oscila sólo en un plano determinado, denominado plano de polarización. Cuando la luz es polarizada y se conoce el ángulo de incidencia es más factible manejarla ya sea para potenciarle, filtrarla u otros fenómenos que son factibles de utilizar en arquitectura (Figura 1.11). Existen varios fenómenos que producen luz polarizada:

- Absorción selectiva: Algunos materiales absorben selectivamente una de las componentes transversales del campo eléctrico de una onda. Esta propiedad se denomina dicroísmo. Y fue observado en épocas muy tempranas de la teoría óptica sobre ciertos cristales, tales como la turmalina que, mediante la variación de la longitud de onda de la luz, hace que aparezcan diferentes colores asociados a la visión de diferentes planos de polarización. El dicroísmo ocurre también como fenómeno óptico en los cristales líquidos debido en parte a la anisotropía óptica (uniaxial) que presentan las estructuras moleculares de estos materiales. Actualmente, mediante procesos industriales es posible crear artificialmente materiales que produzcan este fenómeno.

- Por reflexión: Al reflejarse un haz de luz no polarizado sobre una superficie, la luz reflejada sufre una polarización parcial porque el componente del campo eléctrico perpendicular al plano de incidencia tiene mayor amplitud que el componente contenido en el plano de incidencia. Cuando la luz incide sobre una superficie no absorbente con un determinado ángulo, el componente del campo eléctrico paralelo al plano de incidencia no es reflejado. Es por esto que la luz reflejada genera un tipo de iluminación distinta, lo cual se debe considerar al momento de utilizarla.

- La birrefringencia o doble refracción: propiedad de ciertos materiales transparentes de desdoblarse un rayo de luz incidente en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí como si

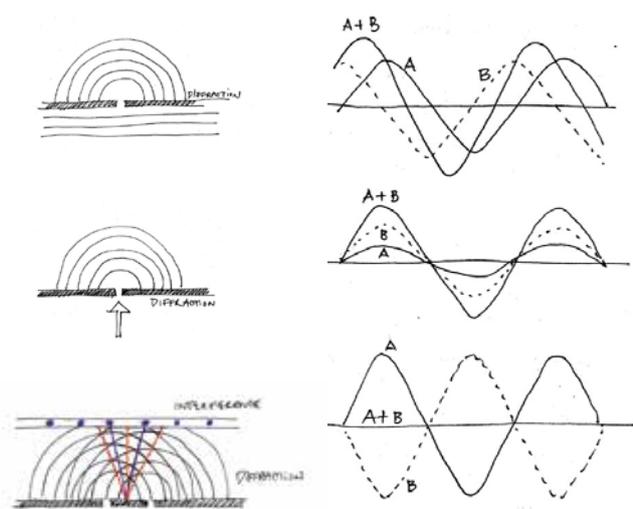


Figura 1.10: Difracción e Interferencia. Superposición de ondas (zonas de más o menos luz). c. Fenómeno de interferencia en un film adhesivo para vidrios, producido por el paso de la luz a través del delgado espesor de su superficie (1000 nm variable). Fuentes: Archivo de la autora.

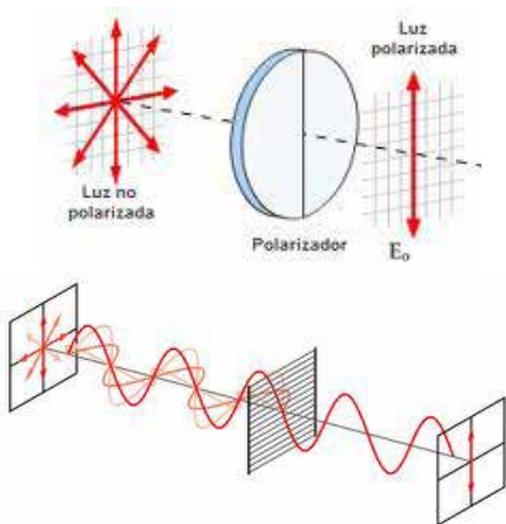


Figura 1.11: Esquema de la polarización de la luz. B. Visión a través de un vidrio polarizado radialmente. Fuentes: www.wikipedia.com y archivo de la autora.

el material tuviera dos índices de refracción distintos. La primera de las dos direcciones sigue las leyes normales de la refracción y se llama rayo ordinario; la otra tiene una velocidad y un índice de refracción variables y se llama rayo extraordinario. Este fenómeno sólo puede ocurrir si la estructura del material es anisótropa (uniaxial, sus moléculas están ordenadas en un sentido o eje). La birrefringencia puede también aparecer en materiales magnéticos. El papel de celofán es un material birrefringente común.

## 1.1.2. FOTOMETRÍA Y LUMINOTECNIA

La luminotecnia es la disciplina que nos permite trabajar la luz en cuanto a su evaluación y medición, puesto que no basta su sola cantidad para poder manejar el confort de un espacio. Esta disciplina nace a partir de la necesidad de medición de la luz artificial puesto que antes de su advenimiento, no se pensaba que la luz natural podría ser medida de forma tan rigurosa. La CIE (*Comission International de l'Eclair*) ha establecido parámetros relacionados con la luz en base a conceptos básicos de iluminación y nomenclatura para la Luminotecnia. Estos conceptos y su nomenclatura fueron creados como convenciones para garantizar el entendimiento universal.

Cuando se trata de apreciar cómo percibe el ser humano visualmente la luz, las magnitudes radiométricas tienen un interés relativo. En efecto, para elaborar una fotometría visual no sólo se necesita conocer la eficacia visual de diversas radiaciones, sino también el comportamiento visual humano en su globalidad y el contexto en el que la condición lumínica se produce. El consenso se ha llevado a cabo definiendo un marcador referencial en base a un observador tipo, observador de referencia fotométrico (Figura 1.2).

Una de las magnitudes fotométricas más relevantes es la candela (cd) que representa dentro del sistema internacional la unidad básica de intensidad luminosa en una dirección dada. Las restantes unidades fotométricas derivan básicamente de esta unidad, resultando las de principal importancia el lumen (lm) que es la unidad de flujo luminoso, descrito como la potencia luminosa total emitida por una fuente de luz, el lux (lx) unidad de Iluminancia, definida como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y el tamaño de la misma (la cantidad de luz), y la candela por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>) que es la unidad de luminancia, definida como el flujo luminoso emitido en una dirección dada sobre el producto del área proyectada de una fuente puntual perpendicular a la dirección y el ángulo sólido que contiene esa dirección.

La luminancia es finalmente lo que realmente vemos con nuestros ojos, el reflejo luminoso de los objetos iluminados.

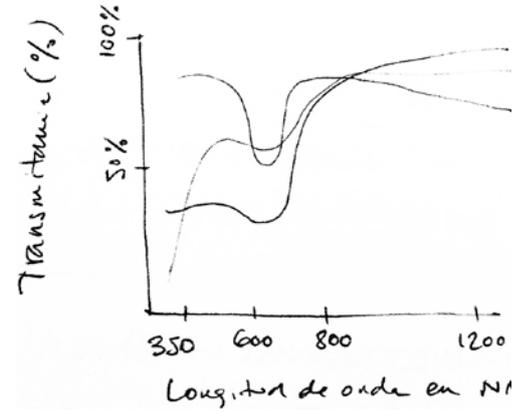


Figura 1.12: Coloración de la luz por motivos distintos que el color de la fuente lumínica: por reflexión en los muros (a y b) y c. por transmittancias diferentes para distintas longitudes de onda en un vidrio (gráfico). Fuente: Archivo de la autora.

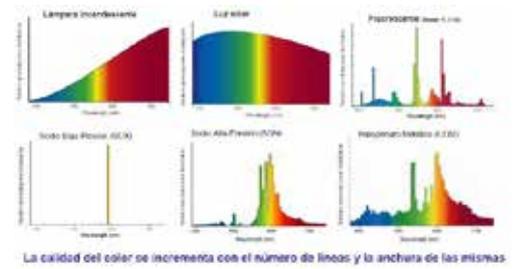
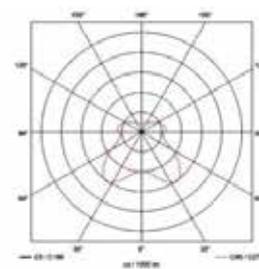
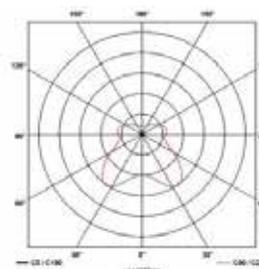


Figura 1.13: El color de la luz cambia en su paso por reflexión interna total a través de una barra de acrílico. Der.: Gráficos de reproducción de las longitudes de onda del espectro lumínico según diversas fuentes de iluminación artificial. Fuentes: Archivo de la autora (fotos) y www.osram.com.

Figura 1.14: Diferentes ópticas de fuentes luminosas de luz natural: barras de transmisión por reflexión interna total (fotos superiores) y por la forma de acceso en un recinto arquitectónico (fotos abajo). Fuente: Leandro Ferrón.



### 1.1.2.1. Conceptos básicos de Luminotecnia

- **Flujo luminoso** (*Luminous flux*) se mide en lúmenes. Cantidad de luz emitida por un emisor. El flujo luminoso vincula energía emitida y tiempo, útil para saber el rendimiento de un emisor o eficacia luminosa y consumo de energía en lúmenes/watt. Es decir, cantidad de luz emitida en un tiempo determinado/ energía consumida para su emisión.

- **Iluminancia o iluminación** (*illuminance*) se mide en lux y refiere a la cantidad de luz que cae sobre una superficie, es decir, lúmenes por m<sup>2</sup>. El lux es la más común y evaluable para definir los niveles de iluminación.

- **Luminancia** (*Luminance*) medida en candelas, mide la cantidad de luz que rebota de la superficie, vincula los niveles de iluminación con la condición de las superficies y su color. Y es lo que finalmente percibimos con nuestros ojos.

- **Temperatura color** (*Colour temperature*). Unidad medida en grados kelvin se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un Cuerpo Negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo la temperatura de color se expresa en grados kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura, por ser la misma sólo una medida 'relativa'. Contradictoriamente con nuestro instinto, mientras más cercano al violeta (colores 'fríos') es el color, más grados kelvin expresa. Los colores rojizos 'cálidos' representan temperaturas más bajas.

- **Índice de reproducción cromática o IRC** (*colour rendering index*). El IRC es una medida de la capacidad que una fuente luminosa tiene para reproducir fielmente los colores de varios objetos en comparación con una fuente de luz natural o ideal. Se establece partiendo de la luz del Sol como el 100% de IRC (reproduce o contiene todos los colores del espectro en forma homogénea). La medición del IRC fue concebido para los aparatos de iluminación artificial y no de la luz natural. Sin embargo, en la luz

natural la reproducción cromática estará condicionada por los filtros por los que pasa la luz así como los colores que puedan entregar al ambiente las distintas reflexiones en un interior. Por lo tanto, en el caso de la luz natural, se puede medir el IRC de la luz al entrar por la ventana o ser emitida por un lumiducto (Figura 1.13), pero también se puede medir el IRC en un determinado punto una vez que la luz ya ha pasado por las distintas reflexiones que la han modificado (Figura 1.12) (Pilkington.com 2013).

- **Óptica de la fuente lumínica.** Se le llama óptica a la forma geométrica que otorga la fuente lumínica. Se definió y se utiliza en general en iluminación artificial para caracterizar artefactos de iluminación, sin embargo, es de suma importancia para cualquier fuente de luz ya que controla los alcances del flujo luminoso y la forma en que baña las superficies donde incide. En el caso de la luz del sol, su naturaleza difiere de la artificial en general como si se tratara de un manto frente un punto, en el caso de la luz natural. Por otra parte su definición es más difícil puesto que varía a lo largo del día.

#### **1.1.2.2. Clima y cielo**

Cualquier estudio que busque dar respuesta a los requerimientos lumínicos de un edificio debe tener en consideración el contexto geográfico y lumínico, el clima y las condiciones urbanas, o rurales del emplazamiento, lo que se ha denominado clima solar del lugar o condiciones *geolumínicas*.

Además de la clasificación climática del mundo según regiones tropicales, áridas, templadas, frías y polares, existen otros parámetros asociados a los microclimas que son importantes para predecir la disponibilidad local de luz natural o clima luminoso: cantidad y permanencia de nubes; distribución de la claridad del cielo; turbidez atmosférica y el nivel de polución (Ferrón 2009, 29). El factor que en mayor parte define el clima solar en cada lugar es la latitud y las condiciones del cielo. La luz del sol llega a la Tierra con aprox. 1.400 W/m<sup>2</sup> y de esto sólo entre 200 a 800 W/m<sup>2</sup> llega a la superficie terrestre, el resto es dispersado por la atmósfera, ya sea por las partículas de agua, polvo, gases de polución, etc.

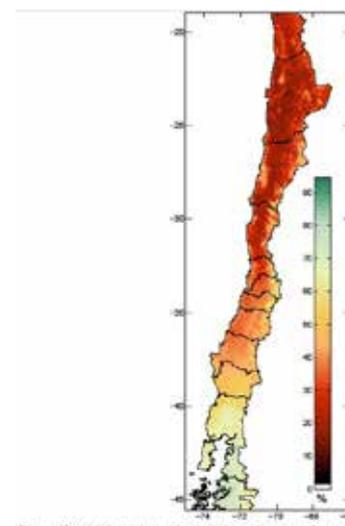
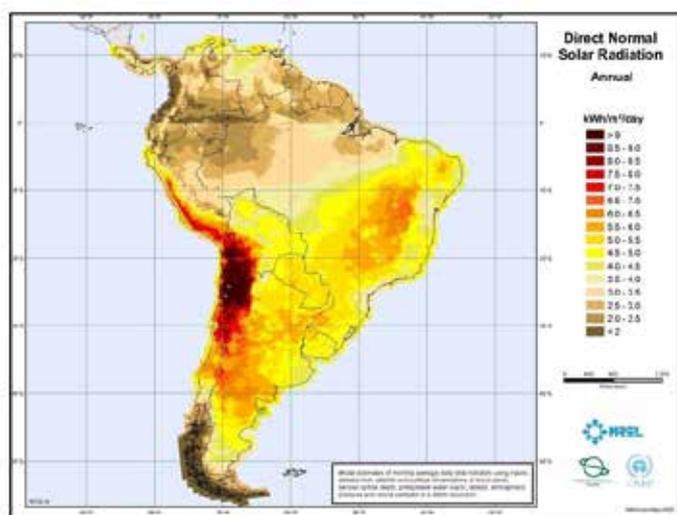


Figura 1.15: Mapa de irradiación solar de Sudamérica y mapa de nubosidad en territorio chileno. Fuentes: <http://www.cleanergysolar.com> y Explorador Solar U. de Chile.

También influye enormemente el color del cielo y la luz que llega a la corteza terrestre. La luz solar al pasar por la atmósfera se dispersa por refracción, la desviación es máxima para los rayos de longitud de onda corta (violeta y azul), y mínima para los de longitud de onda larga (amarillos y rojos), que casi no son desviados. Esto se debe a que el tamaño de las partículas que la componen interfiere de mayor forma con las ondas más cortas, como consecuencia de ello, la luz violeta es la más difundida y la roja, menos. El resultado neto es que parte de la luz (azul –violeta) que nos llega desde el Sol en línea recta, al alcanzar la atmósfera se difunde en todas direcciones y llena todo el cielo. Esta explicación debiera concluir que el color del cielo debería ser violeta por ser ésta la longitud de onda más corta, pero no lo es, por dos razones fundamentalmente: porque la luz solar contiene más luz azul que violeta y porque el ojo humano es más sensible a la luz azul que a la violeta. El color azul del cielo se debe por tanto a la mayor difusión de las ondas cortas y a nuestra propia capacidad biológica para detectarlo. En cuanto al color del sol, la luz que proviene de él es blanca, sin embargo lo vemos en tonos amarillo-rojizo y no blanco porque si a la luz blanca procedente del Sol se le quita el color azul (en el fenómeno explicado anteriormente), se obtiene una luz de color amarillo-roja (Suero, Pérez 2013).

Los días nublados el color de la luz y del cielo es blanco. Las nubes, que se forman de grandes partículas de agua, reciben la luz y la reflejan sin cambiar su color. Si el tamaño de las partículas es mayor que todas las longitudes de onda lumínicas, la luz no se separa y por tanto no son dispersadas. Si la dispersión ocurre de forma masiva, la luz no es tanto reflejada sino retenida, y el blanco pasa de una escala de grises a negro, dependiendo de lo gruesa que sea la nube.

### 1.1.2.3. Clasificaciones de cielo

Las condiciones del cielo en cuanto a otros componentes de la atmósfera también pueden cambiar considerablemente la radiación recibida (Figura 1.15). La nubosidad del cielo se indica con los valores de 0 a 1 donde 0 es nada y 1 es total. También se suele indicar por cada región las horas de sol en las fuentes que indican las condiciones meteorológicas de cada región.

Es posible afirmar como regla general que las zonas costeras son más nubosas que las zonas continentales, lo cual es verificable en el territorio chileno, donde este fenómeno se exagera notoriamente en las mañanas. Sin embargo, el espesor de las capas de nubes costeras es delgado por lo que el cielo sigue siendo enormemente luminoso.

En cuanto a los tipos de cielo predominantes en las distintas regiones del globo se ha logrado la modelización de diferentes cielos a partir de la determinación de distintas características específicas (Figura 1.16). De esta forma, una de las clasificaciones utilizadas define los cielos por medio del estudio de la distribución de sus luminancias, posibilitando de esta forma la utilización de estos datos en procesos de evaluación de rendimiento lumínico y en la estimación de sus efectos en el interior de los locales a iluminar. Con el objetivo de simplificar los cálculos, la CIE estableció tres tipos de distribución de luminancias de cielo, basados en la medición de las particularidades regionales de la bóveda celeste (Ferrón, 2009, pág. 27).

- **Cielo de luminancia uniforme:** Este modelo representa un cielo con valores constantes de luminancia en todas las direcciones. Generalmente se lo denomina cielo isótropo.

- **Cielo nublado:** En ese tipo de cielo la luminancia varía en relación a la elevación del ángulo respecto del cenit. En este caso, el cenit posee una luminancia aproximadamente tres veces mayor a la del horizonte y corresponde a la situación donde el cielo está cubierto con nubes y el sol no es visible. El color de la luz es blanco.

- **Cielo claro:** Corresponde a un cielo azul sin nubes. La distribución de la luminancia en los cielos claros no es homogénea, y la luminancia se distribuye dejando el mayor brillo concentrado en torno al sol (espacio circunsolar) y en el horizonte, dejando un área en extremo oscura en el punto opuesto al sol, en el plano vertical a 90º desde la posición del sol.

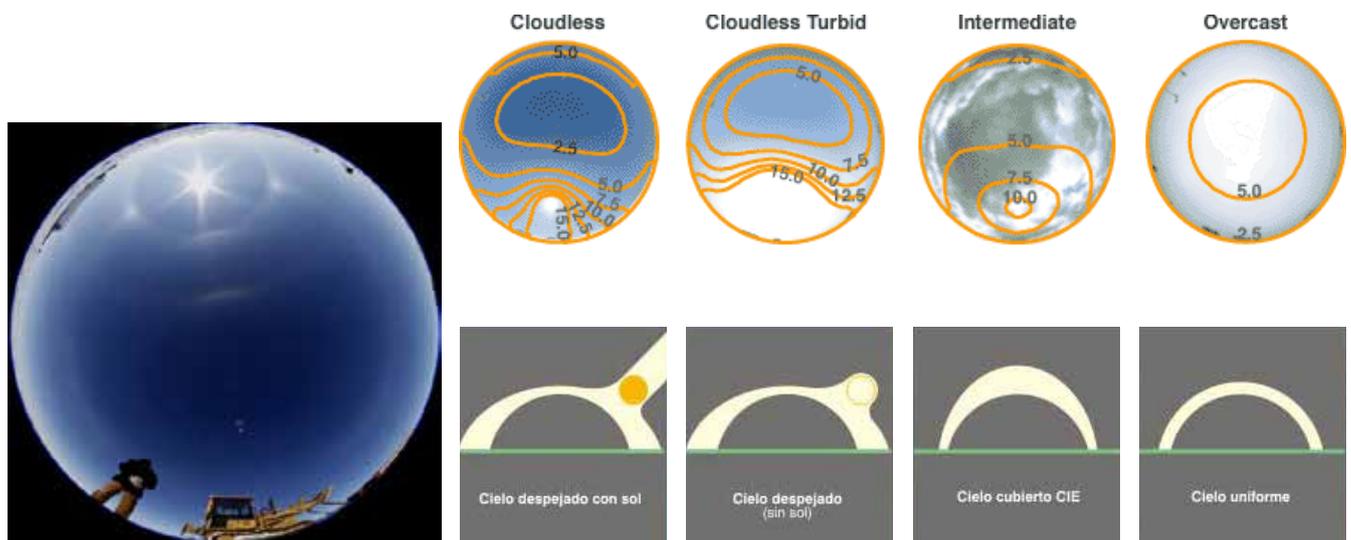


Figura 1.16: Imagen del cielo con lente ojo de pez. Diagramas (arriba) de clasificación de cielo según CIE. Diagramas de luminosidad según tipo de cielo (abajo).



Figura 1.17: Amplias áreas acristaladas en la arquitectura tradicional de Burgos (lat. 42°2' norte) y (abajo) pequeñas aperturas en la arquitectura tradicional del norte de Chile (lat. 22°54' sur). Fuente: Archivo de la autora.



La predominancia del tipo de cielo en la localidad a estudiar permite plantear la aplicación de estrategias diferenciadas para el aprovechamiento de luz diurna. Así, si en una determinada localidad predominan los días con cielos nublados, se procurará un aprovechamiento del brillo cenital del cielo mediante la aplicación de sistemas diferentes que si existiera una predominancia de días con cielo claro, puesto que el potente brillo del sol y la radiación térmica asociada tenderá a ser controlada mediante la implementación de otro tipo de sistemas (Figura 1.17).

La diferencia en la luminancia del cielo y su distribución en el domo puede llegar a incrementar de dos a tres veces las ganancias de luz que presenta una abertura en el cielo de un edificio v/s las aberturas en los muros que se orientan hacia el horizonte. En estos casos las ventanas orientadas hacia el horizonte pueden ser más eficientes en iluminación que en las regiones de cielos cubiertos. Por otra parte, la iluminación cenital en estos casos sufre grandes cambios durante el día y puede generar molestas sombras o deslumbramiento por el exceso de radiación directa.

#### **1.1.2.4. Día solar**

En cuanto a la duración de los días, si bien mientras mayor es la latitud más diferencias hay entre el largo del día y la noche en invierno y verano, la suma anual de horas de sol en promedio es igual en todo el globo terrestre puesto que se compensan las cortas horas de sol invernal con las largas de verano. Sin embargo la coincidencia de horas de sol con horas de trabajo si puede crear importantes diferencias entre un lugar y otro. Por esto se le llama horas de sol relativas, puesto que se consideran útiles en los cálculos de iluminación solo cuando son coincidentes con los horarios habitualmente utilizados para el trabajo.

En la Figura 1.18 se definen las distintas duraciones de luz natural en horas reales en el Hemisferio Sur en el caso hipotético de no contar con obstrucciones geográficas como la Cordillera de Los Andes. El territorio del caso de estudio se encuentra en la latitud 29°54'28" S.



Mes	Ecuador	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	Polos
Julio	12:07	11:35	11:02	10:24	9:37	8:30	6:38	0:00	0:00	0:00
Agosto	12:07	11:49	11:21	11:10	10:42	10:07	9:11	7:20	0:00	0:00
Septiembre	12:07	12:04	12:00	11:57	11:53	11:48	11:41	11:28	10:52	0:00
Octubre	12:07	12:21	12:36	12:53	13:14	13:44	14:31	16:06	24:00	24:00
Noviembre	12:07	12:34	13:04	14:22	15:22	17:04	22:13	24:00	24:00	24:00
Diciembre	12:07	12:42	13:20	14:04	15:00	16:21	18:49	24:00	24:00	24:00
Enero	12:07	12:40	13:16	13:56	14:49	15:38	17:31	24:00	24:00	24:00
Febrero	12:07	12:28	12:50	13:16	13:48	14:33	15:46	18:26	24:00	24:00
Marzo	12:07	12:12	12:17	12:23	12:31	12:42	13:00	13:34	15:16	24:00
Abril	12:07	11:55	11:42	11:28	11:10	10:47	10:11	9:03	5:10	0:00
Mayo	12:07	11:40	11:12	10:40	10:01	9:06	7:37	3:06	0:00	0:00
Junio	12:07	11:32	10:56	10:14	9:20	8:05	5:54	0:00	0:00	0:00

Figura 1.18: Duración del día para distintas latitudes del hemisferio sur en hora y minutos el día 15 de cada mes. Fuente: Andrea Pattini, "Uso racional de energía en iluminación". Primer Simposio Departamento de Luminotecnia Luz y Visión [DLLYV], Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Como regla general cabe destacar que los niveles de radiación solar, por tanto de luz solar, se incrementan directamente con la altitud solar puesto que los rayos deben atravesar una capa más delgada de atmósfera. Por lo tanto mientras más cercano esté el punto en cuestión de los trópicos y el ecuador, más radiación e iluminación solar tendrá. Conviene tener en cuenta que la radiación solar en sí misma no contiene calor, el calor se produce cuando la radiación convierte parte de su energía en calor al incidir y ser absorbida por una superficie. La parte visible de la luz solo aporta la mitad de la radiación que es capaz de producir calor.

Cabe considerar también, que en la elipse que recorre la tierra, la distancia respecto del sol varía en aproximadamente cinco millones de kilómetros, siendo el punto más cercano denominado perihelio y el más lejano, afelio. A principios de julio, en el afelio, la Tierra dista 152,10 millones de kilómetros del sol, mientras que a comienzos de enero, en el perihelio, se encuentra a 147,09 millones de kilómetros del mismo ([www.astromia.com](http://www.astromia.com)). La radiación recibida por nuestro planeta en función de su posición en la órbita elíptica está entre 1395 w/m<sup>2</sup> en el perihelio y 1308 w/m<sup>2</sup> en el afelio, o sea cerca de 90 w/m<sup>2</sup> de diferencia que se traducen en una variación de temperatura que puede llegar a cinco grados ([www.sadeya.org](http://www.sadeya.org)) (Figura 1.19 a).

#### 1.1.2.5. El día solar en Chile

Chile administra territorios en Sudamérica, Oceanía y la Antártica, cada una con su respectivos husos horarios acorde al tiempo universal coordinado (UTC). Chile Continental es el territorio más largo del mundo, con 4.329 kilómetros de extensión de norte a sur y a su vez uno de los más estrechos, con un promedio de solo 180 kilómetros de este a oeste. Geográficamente esto hace que sea posible enmarcarlo en una sola zona horaria, que corresponderle a la zona UTC-5. No obstante, por razones de conveniencia para todo el largo del territorio nacional, se inserta en la zona UTC-4 (Figura 1.19 b). Chile es uno de los países que realiza el ajuste artificial a la hora solar o *daylight saving time* (DST). El horario de verano normalmente comprende el período mediado entre octubre y marzo de cada año (6

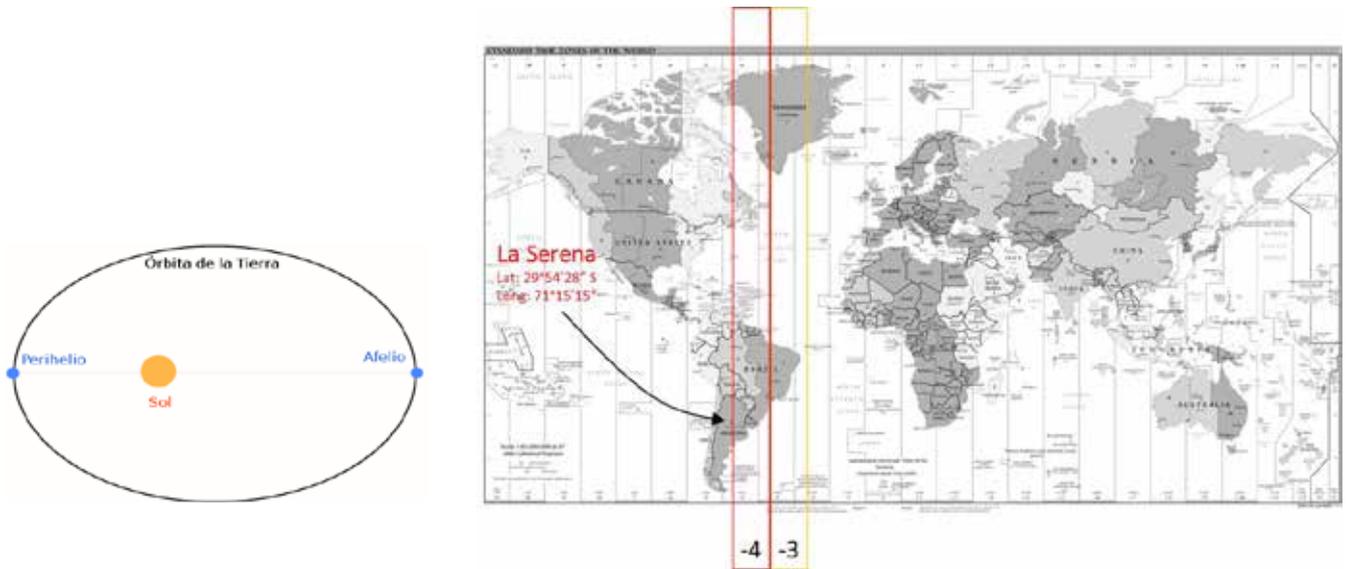


Figura 1.19: Órbita terrestre, afelio y perihelio. Fuente: wikipedia.com. Mapa de la zona horaria de Chile. Fuente: Archivo de la autora.

meses cada período), donde se rezonifica bajo UTC-3. Desde 2011, por nuevos estudios realizados por el Ministerio de Energía, se pospone el cambio de hora al horario de invierno para la primera semana de mayo dejando como fecha de término la segunda semana de agosto. Por lo tanto, el período de horario de verano actualmente comprende el período entre agosto y mayo, cerca de 10 meses. La acomodación horaria no varía la duración de los días pero sí afecta las actividades humanas que se realizan por lo general durante el día, por ello conviene tenerla en cuenta.

#### 1.1.2.6. Disponibilidad lumínica solar

El contexto de emplazamiento de un edificio genera un microespacio de iluminación diurna. La luz diurna que entra por una ventana puede provenir directamente del sol, del cielo, ya sea cubierto o despejado, o bien de la reflexión de la luz solar generada en el entorno del edificio. También influyen las distintas condiciones de polución del aire que producen variaciones en la radiación solar.

Sin embargo, la condición que más influye está dada por las obstrucciones colindantes que producen sombra del sol directo, de parte del cielo o de las reflexiones provenientes del entorno en el edificio. Estas obstrucciones pueden ser geológicas como ocurre en gran parte del territorio chileno a los pies de la Cordillera de Los Andes o la Cordillera de la Costa, pueden provenir de otros edificios o de la vegetación circundante (Figura 1.20).

Para efectos estándar, se considera que el brillo de las reflexiones colindantes aporta sólo 1/10 de la luminosidad de la parte del cielo obstruida, por lo tanto la contribución de iluminación solar de esa parte de cielo se reduce en un 90% (Baker, Steemers Op.cit. 37).

En casos menos normales, los edificios u otras situaciones colindantes pueden contribuir a incrementar los niveles de iluminación solar mediante la reflexión del sol en sus superficies. Estos incrementos no son normalmente tomados en cuenta en los análisis estándar pero si es posible incluirlos si se tiene



Figura 1.20: Distintas densidades población en el globo, distintas condiciones de sombra urbana. Arriba, la ciudad de La Serena y mapa del Cairo según las expediciones napoleónicas del siglo XVIII. Fuente: fotos satelitales de Google Earth, 2011 y Descripción de l'Égypte.



información cuantificable sobre sus niveles de iluminancia en determinados momentos del día o del año, sobre todo si es parte de la propuesta de iluminación natural.

Existen varios métodos para cuantificar el impacto de las obstrucciones de luz solar. La obstrucción en un punto determinado puede hacerse con técnicas de agrimensura, fotos de ojo de pez o análisis de mapas. Un segundo método de análisis puede hacerse con un sol artificial en un entorno de modelación real contextual, heliodón, o de simulación virtual con programas específicos.

#### **1.1.2.7. Metodología para la medición de disponibilidad de luz**

La trayectoria solar está actualmente muy definida para cada latitud, tanto en su altitud (ángulo vertical desde el horizonte) como su azimut (dirección angular relativa desde el norte). Los instrumentos más habituales para representar las trayectorias son la **carta solar cilíndrica** y la **carta solar estereográfica**. La carta solar cilíndrica representa la dirección del sol en un punto dado o azimut en un gráfico que puede ser homologado a una foto panorámica (Figura 1.21 y Figura 1.22).

La carta solar estereográfica representa la bóveda celeste como un disco en el cual se inscriben las trayectorias curvas que produce el sol en determinada latitud. El centro corresponde al zenit y la circunferencia, al horizonte. Puede ser homologado con una visión de gran angular de 180° u ojo de pez desde el piso hacia el cielo. En ambas cartas es posible representar las obstrucciones solares dadas por edificios, vegetación o condición geográfica y con ello estimar la posición, el tamaño y los momentos en que habrá sombras sobre determinado punto.

En lugares muy soleados como gran parte del territorio chileno, la predicción del asoleamiento es fundamental en la proyectación de un edificio puesto que la cantidad de radiación solar recibida puede generar cambios significativos tanto en iluminación solar como en ganancias térmicas. El diseño para la iluminación de cielos cubiertos, con luz solar difusa, es diferente que para regiones de cielo claro

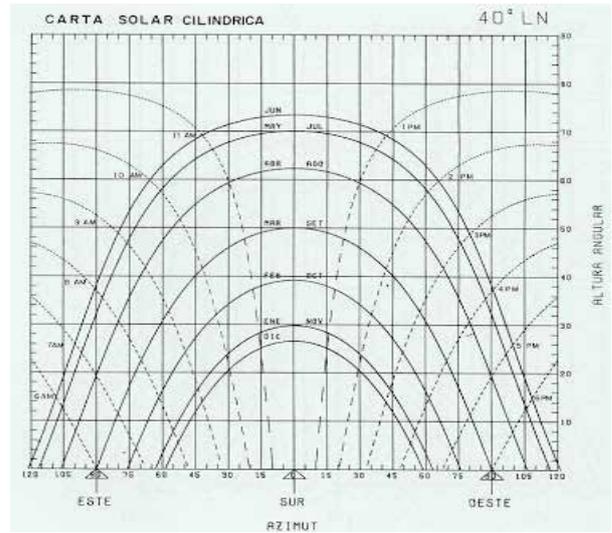


Figura 1.21: Recorrido del sol anual en una foto de pinhole y en una carta solar cilíndrica. Fuentes: blogs.discovermagazine.com y www.artifice.com

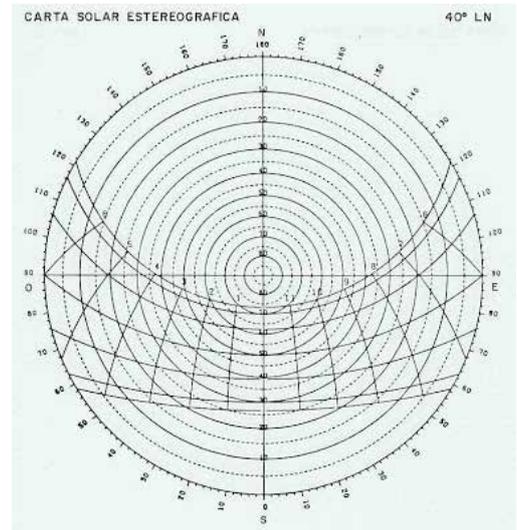
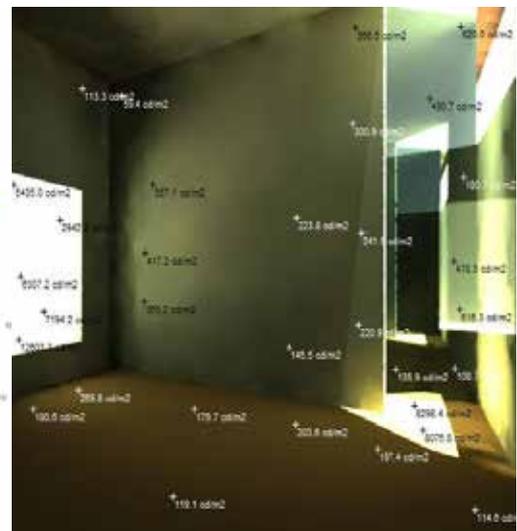
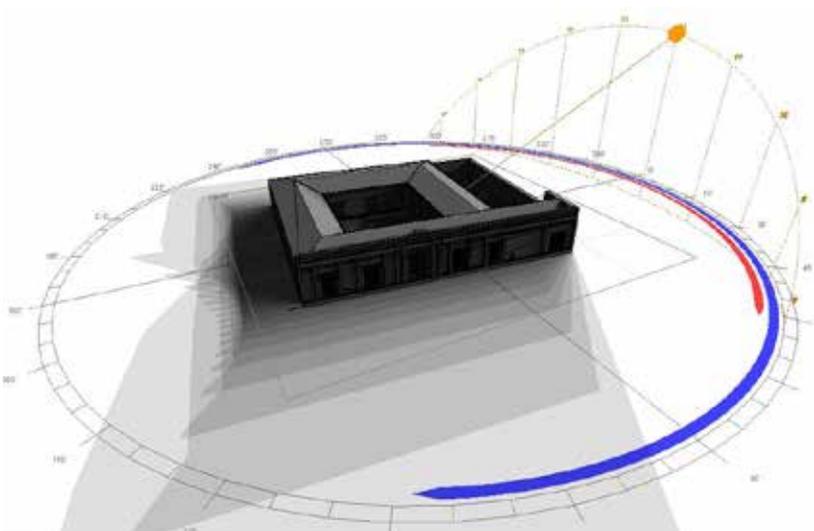


Figura 1.22: Foto fish-eye: Wikipedia, Creative Commons. Autor: Autopilot, febrero 2010.

Figura 1.23: Simulación de sobras anuales en la Casa Herreros, La Serena con programa Ecotect e imagen virtual del interior con programa Radiance. Fuente: Archivo de la autora.



puesto que la luz proveniente de un rayo de sol directo puede ser entre tres y diez veces mayor que la luz difusa (Baker, Steemers Op.cit. 32), por lo tanto la geometría de la trayectoria solar tiene diferente importancia para cada tipo de cielo siendo evidentemente más importante su exactitud en regiones de cielo claro.

En la actualidad, los diversos programas computacionales desarrollados como herramientas de análisis ambiental pueden utilizarse para predecir el desempeño lumínico de un lugar conociendo las condiciones de cielo, latitud, y contexto del entorno. Estos programas difieren unos de otros en gran medida en el momento en que pueden ser utilizados. Algunos de ellos permiten a los diseñadores simular el proyecto de las primeras etapas del diseño, un momento en que las decisiones simples tienen importantes efectos no sólo sobre energía, sino casi todos los aspectos de la realización del proyecto final (Figura 1.23).

Estos programas se nutren a su vez de archivos de información meteorológica, las que pueden ser modificadas o ajustadas por el proyectista dependiendo de las condiciones específicas del lugar de emplazamiento. La orientación, latitud y modelación del entorno permiten una visualización básica pero fundamental en las macro decisiones.

Para el análisis más específico respecto de las condiciones lumínicas pueden complementarse las herramientas básicas con otras de mayor complejidad, en una fase sucesiva de desarrollo. Algunos de estos programas utilizan como método el trazado de rayos para llevar a cabo todos los cálculos de iluminación, sin embargo, en la fase de localización geolumínica suelen bastar los primeros siempre y cuando las condiciones del exterior construido que generan múltiples reflexiones no sean tan complejas.

## 1.2. MATERIALES PARA EL USO DE LUZ NATURAL

Habitualmente la luz que tenemos dentro de un recinto proviene más bien de los reflejos interiores que de la fuente misma, sobre todo si se trata de luz natural. La luz natural por lo general se introduce en áreas de iluminación, en grandes masas lumínicas, a diferencia de la luz artificial que ilumina por puntos, infinitamente más débiles y que por tanto no genera tanta reflexión. A su vez, la luz que proviene del exterior de un recinto, también en general se trata de luz que se ha reflejado en las superficies del exterior, muchas veces más que la fuente misma (sol). Esta es la causa de que las zonas iluminadas por el sol se vean completas, incluso aquellas partes que permanecen a la sombra, lo que no sucede en el espacio exterior donde, al no haber reflexión del entorno, los objetos se ven sólo por su parte iluminada (Figura 1.24 a).

Esos reflejos se dan de determinada manera por los materiales que existen en el espacio interior y de ellos influyen sus propiedades ópticas dadas por la textura y el color (Figura 1.24 b).

Cuando la luz incide sobre una superficie pueden darse tres fenómenos: la luz puede ser reflejada, lo cual se llama reflectancia; la luz puede ser transmitida, lo que se denomina transmitancia; o puede ser absorbida y este proceso de absorción de la energía se entiende como absorción. En los materiales opacos donde no hay transmitancia, la reflectancia es igual a la energía incidente menos la absorbida, respondiendo al principio de conservación de la energía.

En los materiales transparentes en cambio siempre hay algo de luz reflejada, absorbida y transmitida, por lo que de acuerdo a la ley de conservación de la energía la suma de la transmitancia, la reflexión y la absorción es igual a la energía (luz) incidente.

El fenómeno de absorción ocurre en partes distintas del material según su opacidad, en materiales opacos ocurre en la superficie mientras que en los transparentes ocurre en el cuerpo de la forma-material. En un vidrio transparente incoloro normal de 6 mm la reflectancia es de 0.1, la absorción de 0.05 y la transmitancia de 0.85, tanto para partes visibles del espectro como invisibles.



Figura 1.24: Iluminación con luz directa. Sin luz por reflexión del ambiente, la luna no muestra su cara oscura porque no hay luz reflejada del ambiente que la ilumine. Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov). Aluminio bruñido y corroído, dos tipos de reflexión según la rugosidad de la superficie. Fuente: Archivo de la autora.

Los materiales tanto transparentes como opacos pueden ser reflectantes o difusos. La atmósfera puede ser considerada un material o capa transparente y difusa. Hay materiales que pueden difuminar el rayo transmitido o reflejado pero seguir manteniendo la direccionalidad. Tal es el caso de los vidrios esmerilados, arenados o los aluminios bruñidos.

En una habitación las múltiples reflexiones dadas por las superficies que conforman el recinto entregan como resultado una luz difusa, aunque provenga de una fuente puntual. En las zonas más lejanas de la fuente de luz en una habitación, la luz reflejada internamente por las superficies del recinto puede representar más de la mitad de la luz que recibe, de ahí que el control de las superficies dentro de la habitación sea tan importante. Además, la reflexión de las superficies interiores contribuye a graduar los niveles de luz desde la fuente al punto más lejano, evitando contrastes y sombras que se producen con más frecuencia en recintos con poca reflectancia interior, como los pintados de colores oscuros, por ejemplo.

## 1.2.1. EL VIDRIO

Hablar de vidrio es hablar de luz. El vidrio es el material transparente más utilizado históricamente debido a sus propiedades de translucidez y transparencia. Dependiendo del nivel de transparencia el vidrio tiene la capacidad no sólo de dejar pasar la luz sino de permitir la visión de la imagen del otro lado. A medida que aumenta su opacidad disminuye su transparencia y, como todos los materiales transparentes, se torna translúcido: aún deja pasar luz pero ya no es posible la formación de la imagen. Finalmente, el vidrio puede tornarse opaco, esto es, ya no permite el paso de luz de un lado a otro. En este caso, el vidrio puede ser usado por sus propiedades mecánicas, constructivas y visuales dadas por su brillo y la capacidad de reflexión que le otorga su terminación pulida.

### 1.2.1.1. Propiedades químicas y físicas

El vidrio es un material de difícil definición, por un lado es considerado un sólido debido a sus propiedades mecánicas, pero en cuanto a su conformación química responde mejor a las características de un líquido. Se suele decir que es un sólido amorfo, sin estructura molecular organizada periódicamente como el cristal aunque recientemente se ha logrado descifrar ciertos patrones de orden que algunos químicos han definido como organización. También se le llama sólido cristalino o líquido de viscosidad infinita que en altas temperaturas se comporta en forma plástica, que no tiene punto de fusión pues no cambia de fase. Es un material muy diferente química y físicamente del cristal. Este último está compuesto por una red organizada tridimensionalmente en un patrón geométrico de iones, átomos y moléculas. Sus unidades forman proporciones constantes en distancias, ángulos y secuencias. Un cristal sometido a rayos X se comporta como una red de difracción debido a que las longitudes de onda de los rayos X son del mismo orden de magnitud que las distancias interatómicas del cristal. El vidrio en cambio, no produce este fenómeno. Su estructura molecular no es ni constante ni ordenada ni regular, aunque estén formados por las mismas unidades primarias que los sólidos cristalinos (Figura 1.25). Sin embargo en el vidrio sí pueden aplicarse las reglas generales de la cristalografía (Fernández 1985).

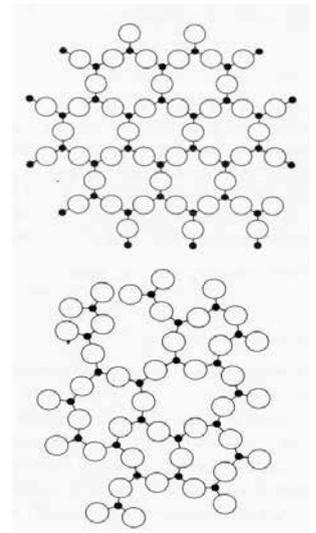
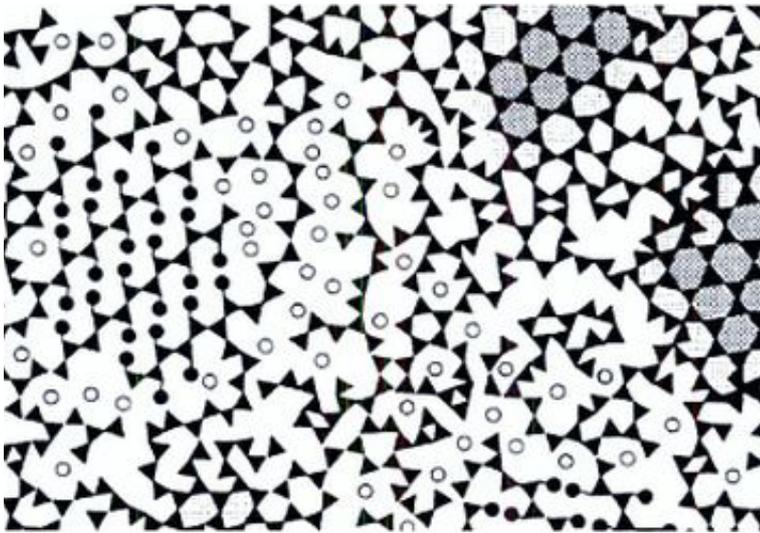


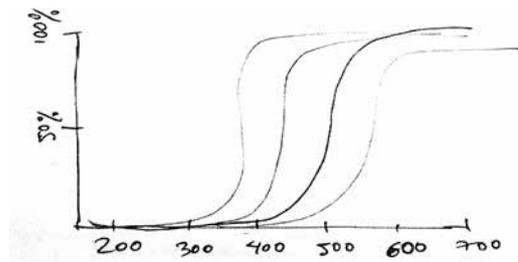
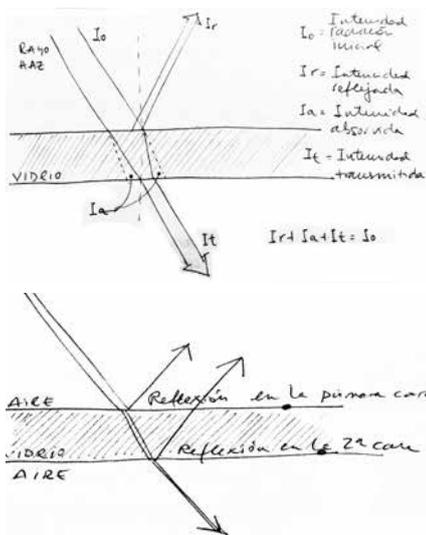
Figura 1.25: Modelos esquemáticos de los retículos cristalinos o semicristalinos. Fuente: El Vidrio, Fernandez. 1985, Madrid

### 1.2.1.2. Propiedades ópticas del vidrio

El vidrio es un material reflectante y su reflectancia está dada por la relación entre la intensidad del haz de luz reflejado y el haz de luz incidente. A esta relación se le llama coeficiente de reflexión. La modificación de la reflectancia se logra al modificar su superficie: de reflectante a difusora, cambiando el acabado pulido por el rugoso (Figura 1.27 a). Una forma eficiente de hacerlo sin restar transparencia es mediante la aplicación o eliminación de una capa de espesor de 140 nm que produce algún grado de interferencia. Al disminuir su reflexión existe menos pérdida de transparencia pues no hay luz que se devuelva por el rebote de la reflexión.

El vidrio es capaz de refractar la luz, esto es, produce cambios de dirección de la onda de luz al pasar por él desde un medio a otro debido al cambio de velocidad de propagación de la onda en cada medio. El índice de refracción del vidrio varía entre 1,5 a 1,7 dependiendo de la longitud de onda a la que es sometido. Históricamente para vidrios comerciales se han tomado longitudes de onda de 486,1 nm (azul hidrógeno), 589,3 nm (amarillo sodio) y 656 nm (rojo hidrógeno). Los vidrios más contemporáneos toman los valores 479,9 (azul cadmio), 546,0 (verde mercurio) y 643,8 (rojo cadmio). Cabe recordar que el índice de refracción  $n_1$  está dado en el vacío y en el aire es 1,0002926, aunque suele considerarse 1. Los factores que inciden sobre la refracción en el vidrio son la temperatura, y la densidad polarizada: a menor densidad mayor polarización y viceversa. Si un vidrio al fabricarse se enfría lentamente, se torna más denso y por lo tanto aumenta su índice de refracción. Al enfriarse más rápido resulta menos denso y con menor índice de refracción o más cercano a 1 o sea, al vacío.

Como todo medio transparente el vidrio tiene capacidad de **dispersión**, la cual depende de su índice de refracción para diferentes longitudes de onda. La dispersión corresponde a las variaciones en la velocidad de propagación de la luz según su longitud (color) en el medio lo que la hace descomponerse según las diferentes longitudes de onda que contenga (Figura 1.27 b).



CADMIO  
(dependiendo de la concentración)

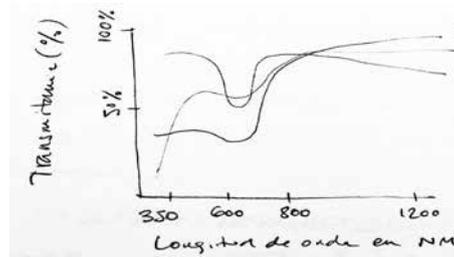


Figura 1.26: a. Modelo de reflectancia en el vidrio, reflexión en ambas caras. Fuente: Archivo de la autora. b. Espectro de transmisión óptica de diferentes vidrios. Fuente: Archivo de la autora.

Cuando un haz de luz incidente sobre el vidrio supera el ángulo límite, se produce el fenómeno de reflexión total interna, siempre y cuando los índices de refracción entre los medios externos y el vidrio sean distintos y el exterior sea menor que el interior (Figura 1.26 a y Figura 1.28). Este hecho es trascendental para el funcionamiento de la fibra óptica, para que esta funcione bien, es necesario asegurar que el índice de refracción del medio donde se encuentra la fibra sea menor que el de la fibra en sí. Para ello se suele recubrir con un material que lo asegure y que no permita en contacto entre las fibras que podría producir traspasos de luz de una fibra a otra. Las fibras de vidrio son muy eficientes a la hora de transportar luz mediante este fenómeno, puesto que producen una mínima pérdida de energía. Sin embargo sí se producen ciertas pérdidas en el rendimiento luminoso durante la propagación del haz dentro de la fibra. Éstas se deben al traspaso de entrada y salida en un 4 % cada vez (8 por ciento en total), pérdidas por cada reflexión interna, pérdidas por absorción y pérdidas por dispersión. La transmisión de la luz a través de fibra óptica puede darse en forma desordenada o punto a punto si se sigue el orden del patrón de entrada con el de salida, con lo cual es posible transmitir imágenes. Este método hace posible la visión en aparatos médicos endoscópicos, por ejemplo.

El vidrio tiene propiedades absorción. Ésta se produce por la interacción de los componentes y la radiación incidente. Para el caso de la luz entre los 400 a los 700 nm, la absorción se ve influida y varía por el espesor del vidrio, su concentración, el coeficiente de extinción molar (densidad), la temperatura y la longitud de onda empleada. Si un vidrio transmite en proporción las radiaciones de distinta longitud de onda, entonces el vidrio es incoloro. El color del vidrio resulta de la adición de componentes espectrales dados ya sea por la disolución íntima (de menos de 1 nm) de elementos cromóforos (iónicos o moleculares), coloidales (de 1 a 100 nm) hasta agregados cristalinos apreciables a simple vista (más de 100 nm). El color en el vidrio es la resultante de las longitudes de onda de un haz de luz que pueden pasar a través de él (Figura 1.26 b).

Gracias a esto es posible la utilización selectiva del tipo de vidrio según las necesidades. Por ejemplo hay vidrios que pueden ser absorbentes a la radiación ultravioleta, esto es, si son capaces de absorber

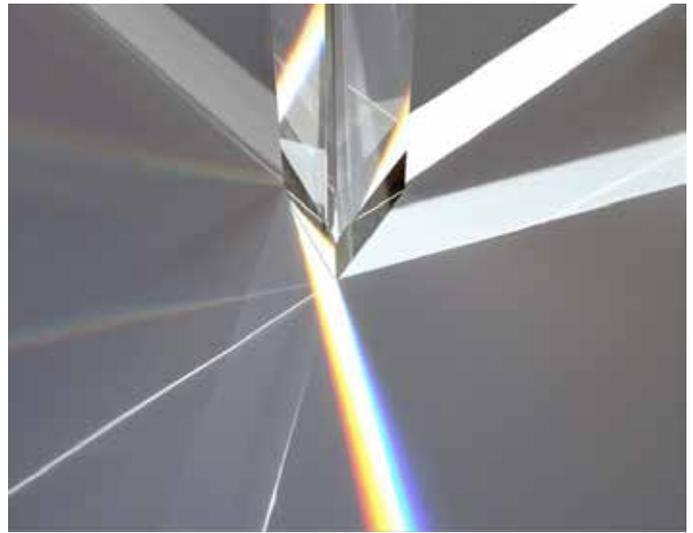


Figura 1.27: Alegoría a Sir Isaac Newton, Giovanni Battista Pittoni, 1727. Rainbow Church. Arquitecto: Tokujin Yoshioka. Fuentes: Light! y www.tokujin.com, en enero de 2013.

las longitudes de onda de entre 320 a 280 nm. Si no absorbe longitudes un poco mayores se evita que su coloración se torne 'amarillenta'. Este tipo de vidrio es utilizado en arquitectura para evitar la exposición ya sea de personas o materiales que puedan verse afectados a los rayos UV. Por el contrario, si es necesaria la transmisión ultravioleta, por ejemplo para tratamientos terapéuticos de transformación y fijación de vitamina D en la piel o para sistemas bactericidas, se pueden utilizar vidrios sin óxido de hierro por ejemplo, que permiten el traspaso de ondas de entre 320 a 260 nm.

Con la transmisión o absorción del infrarrojo ocurre igual pero sobre longitudes de onda de entre los 780 nm y los 25  $\mu\text{m}$ . Los vidrios absorbentes del infrarrojo suelen ser útiles en arquitectura ya que son capaces de disminuir la transmisión calorífica de la radiación solar. Son también frecuentemente utilizados en la industria automotriz, en aparatos médicos y en aparatos de iluminación donde se requieran las características coloríficas que otorgan. Por el contrario, los vidrios transparentes a la radiación infrarroja se utilizan en fibra óptica, en aparatos de detección nocturna y de espectroscopía infrarroja y son generalmente vidrios exentos de impurezas de óxido de hierro.

Por otra parte existen los vidrios de absorción variable que son producidos por procesos de solarización: mediante un proceso fotoquímico de oxidación, pueden revertir su absorción al sufrir cambios de temperatura. También pueden lograrse mediante un proceso de fototropía: se produce un cambio reversible entre dos estados de diferente absorción si ocurre una acción excitante de radiación de una determinada longitud de onda. Las propiedades fototrópicas pueden obtenerse de sustancias orgánicas fototrópicas que producen oxidación en estados excitados o sustancias inorgánicas como sulfuro de cinc, óxido de titanio, wolframio, entre otros. Si la radiación incidente desaparece, lo hace también el efecto. Los vidrios con propiedades pueden cumplir una amplia gama de utilización, siendo en arquitectura particularmente apropiados para un control dinámico de la luz. Al haber absorción de distintas longitudes de onda en un vidrio se está variando el espectro que traspasa hacia el otro lado lo que produce por una parte la coloración de la luz y por otra una modificación del IRC de la fuente de iluminación original.

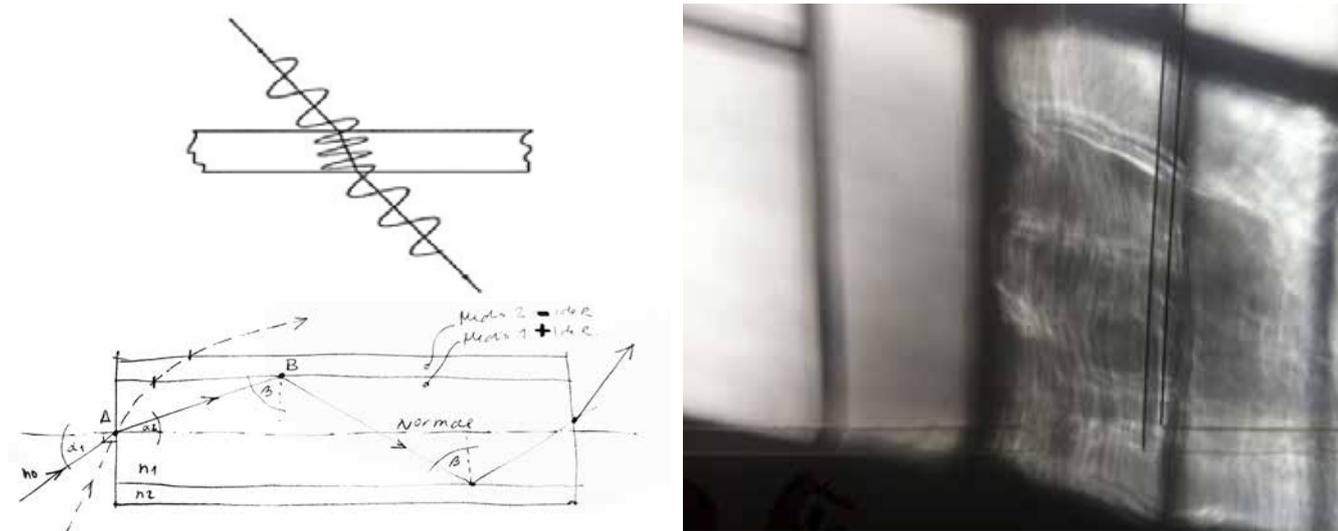


Figura 1.28: a. Gráfico del cambio en la onda lumínica en el traspaso por un vidrio y esquema de reflexión interna total en fibra óptica. b. patrón lumínico de un rayo de sol a través de un vidrio de baja calidad. Fuentes: Archivo de la autora.

Los materiales transparentes y translúcidos pueden presentar también propiedades **luminiscentes**. Esto significa que pueden transmitir en forma de radiación luminosa parte de la energía que reciben. Este fenómeno puede darse por efecto de distintas reacciones: la fotoluminiscencia dada por la reacción a una radiación luminosa; la radioluminiscencia como reacción a un bombardeo de partículas ionizadas; la quimioluminiscencia como reacción química a un agente determinado; electroluminiscencia como una respuesta a un campo eléctrico; la bioluminiscencia dada por una actividad orgánica y por último tanto la triboluminiscencia como la nitroluminiscencia obtenidas a ejercer una fricción mecánica. La condición para ser considerada una respuesta luminiscente es que la luz emitida sea superior a la radiación térmica que un cuerpo negro emitiría a la misma temperatura.

Si al interrumpir la acción excitante la actividad luminosa cae instantánea o casi instantáneamente entonces se habla de un fenómeno de **fluorescencia**. Si por el contrario la actividad luminosa perdura por más de un tiempo determinado, el fenómeno es conocido como **fosforescencia**. Los vidrios luminiscentes son comúnmente utilizados para láseres y pantallas electroluminiscentes que hoy es posible encontrar en aplicaciones arquitectónicas, generalmente ligadas a usos comerciales y publicitarios. Al aumentar la difusión de la radiación luminosa se habla de **translucidez**. Este fenómeno puede darse por la inclusión de partículas heterogéneas o alteraciones químicas dando origen a los vidrios opales.

Si la translucidez está dada por acciones mecánicas o corrosivas sobre su superficie, entonces se habla de un vidrio mate. También es posible y muy común hoy en día en arquitectura la translucidez dada por la impresión de relieves o rugosidades lo que da origen a los vidrios impresos (Figura 1.29 y Figura 1.30). El ideal para obtener la menor pérdida de la cantidad de radiación luminosa es lograr la mayor dispersión pero sin absorción lumínica.

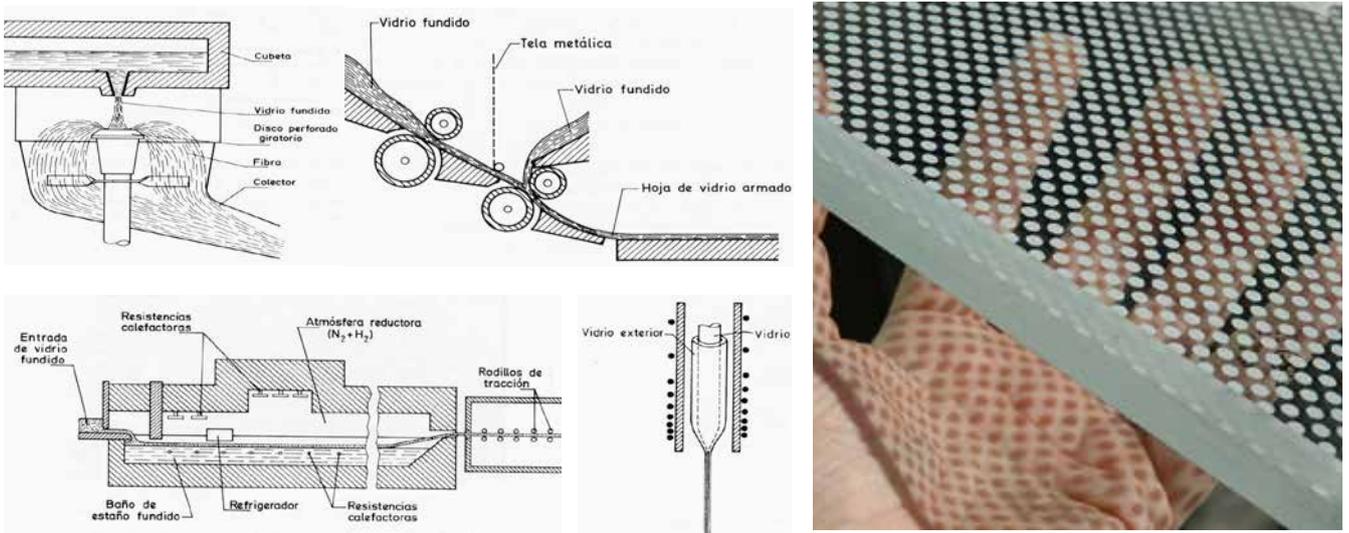


Figura 1.29: Gráficos de elaboración de distintos tipos de vidrio. Fuente: El Vidrio. Foto: vidrio con tratamiento cerámico para control solar. Fuente: Archivo de la autora.

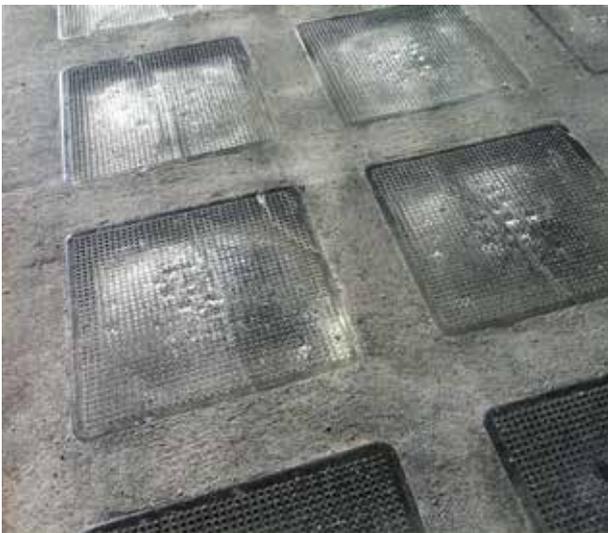


Figura 1.30: Glassblocks de pavimento y pirámide invertida del Louvre, dos sistemas de introducción de luz natural en recintos subterráneos. Fuente: Archivo de la autora. Abajo, formas contemporáneas del so del vidrio: Ascensores del Museo Reina Sofía y Biblioteca Nacional de París. Fuente: Archivo de la autora.



## 1.2.2. EL PLÁSTICO

El plástico es incluido en el presente estudio debido a dos usos principales en relación a la luz, en primer término debido a la capacidad **transparente** o **translúcida** de algunos que son utilizados cada vez más en la industria de la construcción, y por otro lado como parte del sistema o tecnología, en tanto soporte para otros materiales translúcidos o transparentes.

Paradójicamente, plástico es el nombre común que se le da a un conjunto de materiales que se encuentran en estado elástico, no plástico. Está compuesto por sustancias químicas actualmente sintéticas denominadas polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono (Figura 1.31). Los otros componentes más habituales son hidrógeno (H) y oxígeno (O). En cantidades menos importantes se encuentra azufre (S). Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante el proceso químico de polimerización (Engelsmann, et.al. 2010).

Los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza generalmente por calentamiento y es ideal para procesos productivos ya que en este estado puede manipularse dando infinitas formas, necesarias en la actualidad.

Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, como por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica. Las macromoléculas de las cuales se componen pueden estar organizadas en forma amorfa o semi-cristalina. La forma semi-cristalina se logra mediante procesos a altas temperaturas, diferentes para cada tipo de material.

Los plásticos pueden clasificarse según varios criterios, entre ellos:

- Según el monómero base;

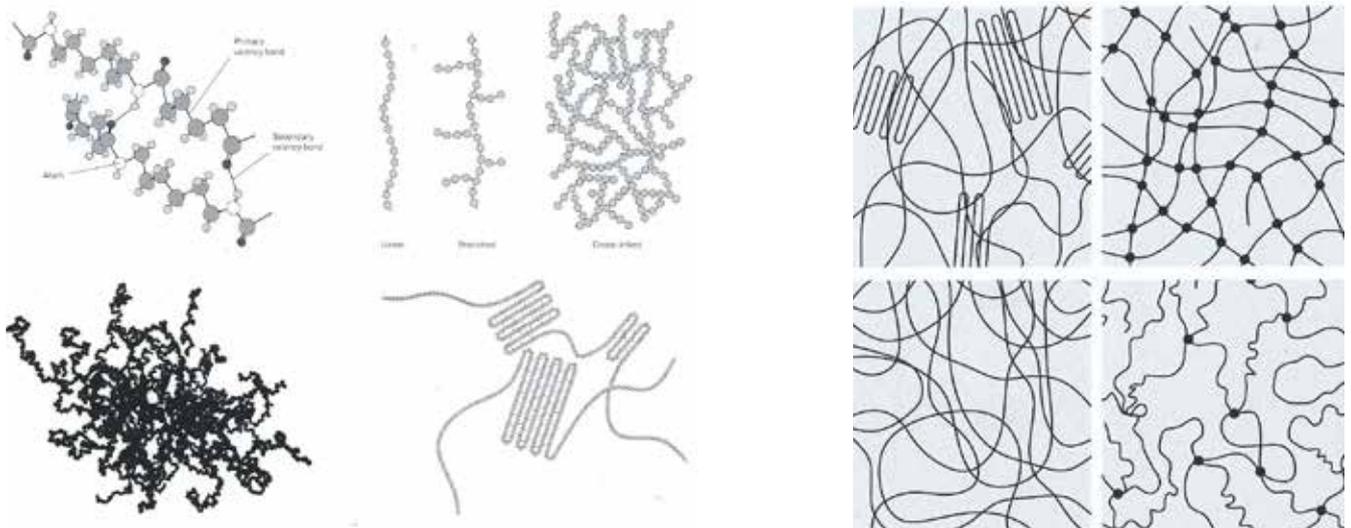


Figura 1.31: Estructuras básicas de los polímeros: macromoléculas poliméricas. Lineales, ramificadas y entrecruzadas. Paquetes enrollados de macromoléculas. Estructuras con áreas amorfas y zonas cristalinas. Fuente: Engelsmann, et al. 2010. Esquemas de diversas estructuras poliméricas: amorfas y semi-cristalinas. Fuente: Engelsmann, et al. 2010.

- Según su comportamiento frente al calor: Termoplásticos y Termoestables;
- Según la reacción de síntesis: Polímeros de adición, de condensación, formados por etapas;
- Según su estructura molecular: Amorfos, Semicristalinos, Cristalizables, Comodities, etc.

Para efectos de clasificación en el presente estudio, se estudiarán en base a su comportamiento frente al calor, termoplástico o termoestable y sus particularidades.

Los plásticos **termoestables** son polímeros infusibles e insolubles. Al elevarse la temperatura, las cadenas se compactan haciendo al polímero más resistente hasta el punto en que se degrada. Se llama proceso de polimerización. También pueden obtenerse plásticos termoestables a partir de dos resinas líquidas (un catalizador y un acelerante), produciéndose la reacción de entrelazamiento de las cadenas al ser mezcladas.

La condición termoestable es irreversible, de forma que el plástico resultante no puede ser reciclado, ya que si se incrementa la temperatura el polímero no se funde sino que alcanza su temperatura de degradación. Los plásticos termoestables poseen algunas propiedades ventajosas respecto a los termoplásticos, por ejemplo son más resistentes al impacto, a las temperaturas extremas y a los solventes y presentan mayor impermeabilidad frente a los gases. Entre las desventajas se encuentran la dificultad de procesamiento, la necesidad del curado o polimerización tridimensional, el carácter quebradizo del material y el no presentar reforzamiento al someterlo a tensión.

Los **elastómeros** son aquellos polímeros termoestables que muestran un comportamiento elástico, que se encuentra sobre su temperatura de transición vítrea, de ahí su considerable capacidad de deformación. Se pueden llegar a alargar entre un 5 y un 700 por ciento, dependiendo del material en concreto.

Los **termoplásticos** son polímeros generalmente de alto peso molecular que a temperaturas relativamente altas se vuelven plásticos, deformables o flexibles. Cuando se enfrían se endurecen en un

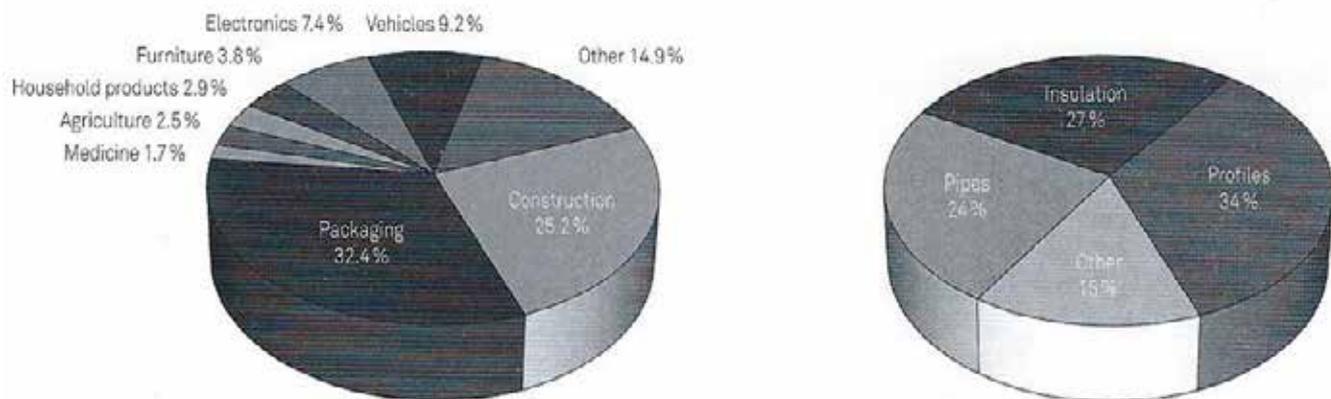


Figura 1.32: Distribución de aplicaciones para el plástico en Alemania. Distribución de las aplicaciones del plástico en la construcción en Alemania. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010.

estado de transición vítrea, pero pueden volver a calentarse y re-moldearse para formar otros objetos, lo que los hace reciclables con cierta facilidad. Sin embargo, sus propiedades físicas cambian gradualmente a medida que se funden y se moldean, disminuyendo estas propiedades al debilitarse sus enlaces moleculares. Muchos de los termoplásticos conocidos pueden ser resultado de la suma de varios polímeros y a su vez existe una enorme cantidad de polímeros termoplásticos.

Por último, los **elastómeros termoplásticos** (TPE) son una clase de copolímero o mezcla física de polímeros que dan lugar a materiales con las características y ventajas termoplásticas y elastoméricas. Los TPE tienen el potencial de ser reciclables puesto que no es necesario agregarle agentes reforzantes, estabilizadores o aplicarles métodos de curado. Pueden ser moldeados, extruidos y ser reutilizados como plásticos. Estos polímeros se pueden colorear fácilmente por la mayoría de los tipos de tintes lo que puede llevar a un proceso con menor consumo de energía, siendo posible un control más cercano y más económico de la calidad del producto. Con respecto a los termoestables sus desventajas son el alto costo de materias primas, menor resistencia química y térmica, estabilidad térmica baja y rigidez alta a la compresión. Los métodos de fabricación en los TPE son extrusión, moldeo por inyección lo que resulta extremadamente rápido y altamente económico, por compresión, por insuflación de aire comprimido, termoformado y por soldadura en caliente.

Cada uno de estos tipos de plásticos puede cumplir diferentes funciones en construcción, en particular en sistemas y tecnologías utilizadas para trabajar con luz natural, ya sea como membrana transparente o translúcida o como soporte de materiales transparentes o translúcidos. En Alemania por ejemplo, cerca del 25 por ciento de los plásticos se destina a la construcción y de éste el 34 por ciento se destina a perfilería, por ejemplo para soporte de ventanas y puertas (Figura 1.32).

#### 1.2.2.1. Tipos de plástico que pueden ser utilizados para trabajar con luz

**Elastómeros naturales:** hule, caucho y gutapercha. Existen diversos polímeros naturales derivados de la savia de algunas plantas y han sido utilizados en el sudoeste de Asia y en el continente americano

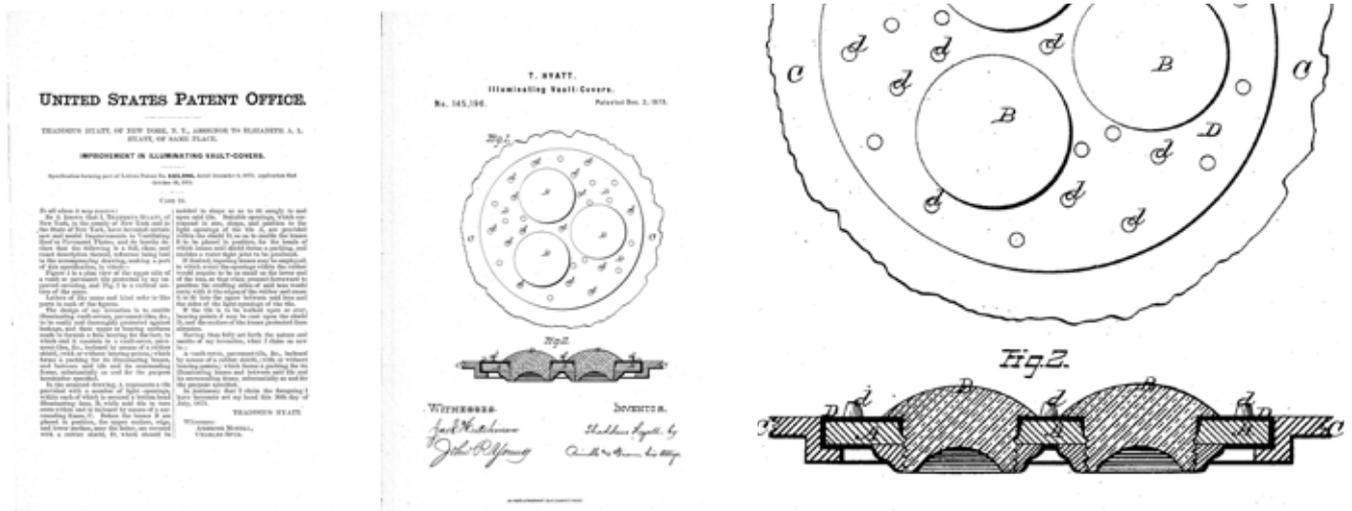


Figura 1.33: Thaddeus Hyatt. Patente de Invención: Improvement in Illuminating vault-covers, con uso de gutapercha. Nueva York, 1873. Fuente: [www.google.com/patents](http://www.google.com/patents), noviembre de 2012.

desde hace miles de años, desde Brasil hasta Mesoamérica. La variedad de plantas que producen savia polimérica es muy grande y ha recibido diversos nombres siendo los más importantes el hule, el caucho y la gutapercha (Figura 1.33).

El hule (palabra de origen nahuatl) o caucho (palabra de origen quechua) son productos americanos. Se trata de un polímero natural elástico, repelente al agua y de resistencia eléctrica. Aunque los antiguos mesoamericanos no contaban con procesos de vulcanización, desarrollaron métodos orgánicos para tratar el caucho con resultados similares, mezclando el látex crudo con varias savias y jugos de otras enredaderas, en particular la *Ipomoea Alba*. En Brasil, los aborígenes utilizaron el caucho para hacer tela hidrófuga la cual fue exportada a Europa durante la Conquista. Un avance clave en la historia de caucho es la vulcanización, el proceso que hizo el caucho inmune a los elementos, transformándolo de rareza en producto esencial de la Era Industrial. Después de que John Dunlop inventara los neumáticos en 1887, el caucho pasó a ser el oro blanco y produjo una explotación totalmente abusiva. A principios de siglo XX se abarató el proceso y posteriormente se descubrieron otras clases de cauchos sintéticos. A partir de 1945 la producción de caucho sintético supera la de caucho natural, el cual sin embargo ha permanecido en el mercado, logrando importancia en épocas de precios altos del petróleo. Con el comienzo del siglo XXI, en vistas de la creciente escasez mundial de petróleo, se comenzó a investigar en determinadas universidades de Brasil el potencial que podría tener este material como método de obtención de energía limpia para la producción industrial.

La Gutapercha (del malayo *getah* = goma y *pertja* = árbol) es un tipo de goma parecida al caucho, translúcida, sólida y flexible, fabricada a base del látex proveniente de árboles del género *Palaquium*, originario del archipiélago malayo. Actualmente se utiliza a escala industria en la fabricación de telas impermeables y el aislamiento de cables eléctricos, dadas sus buenas propiedades como aislante. El material se torna moldeable a una temperatura aproximada de 50 °C. No aguanta una exposición larga al sol.



Figura 1.34: Sellos elastoméricos de EPDM para ventanas. Fuente: [www.made-in-china.com](http://www.made-in-china.com), enero de 2013.

En construcción, tanto el caucho como la gutapercha fueron utilizados para la unión de materiales como vidrios y revestimientos. Durante el siglo XIX se utilizó profusamente en la unión de los bloques de vidrio a la estructura de soporte en los módulos de pavimento translúcido, idea que fue patentada por Thaddeus Hyatt en 1845. Hoy son materiales alternativos a los cauchos sintéticos derivados del petróleo y se investiga su explotación de manera sostenible de tal modo que sea una alternativa económica viable, un proceso amigable con el medio ambiente y una fuente de trabajo y desarrollo para las comunidades que lo producen.

**Caucho etilen-propilendieno (EPDM).** Es el elastómero más usado en el campo de la construcción por su excelente respuesta al clima, resistencia química, durabilidad y aislación térmica y eléctrica. El EPDM presenta compatibilidad satisfactoria con fluidos hidráulicos resistentes al fuego, cetonas, agua caliente y fría, álcalis, la mayoría de los aceites, gasolina, querosén, hidrocarburos aromáticos y alifáticos, disolventes y ácidos concentrados.

El EPDM se utiliza principalmente en las juntas y sellos industriales por su excelente respuesta aislante. En construcción se utiliza también en los las juntas de vidrios, radiadores, mangueras de jardín, tuberías, revestimientos de estanques, aislamiento eléctrico, paneles colectores solares térmicos y protección UV, como un membrana hidrófuga de cables eléctricos, geotextiles y membranas aislantes de cubiertas (Figura 1.34).

### Termoplásticos

**Polycarbonato (PC).** El PC es un polímero saturado con estructura molecular amorfa, característica que le confiere una alta transmitancia lumínica, cercana al 90 por ciento en 3 mm. En comparación con el vidrio, tiene un peso cercano a la mitad, presenta muchísima mayor flexibilidad y su resistencia al impacto que puede llegar hasta 250 veces la del vidrio (Engelsmann, et.al. Op.cit). También por su forma de procesamiento y propiedades físicas es posible encontrarlo en formatos que el vidrio no es capaz de lograr, como el polycarbonato alveolar compuesto de dos planchas adosadas mediante membranas



Figura 1.35: Productos comerciales monolíticos y alveolares. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010. Laban Creekside, London. Herzog & Meuron, 2003. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010.

que forman un arreglo de alvéolos como cámaras de aire, producto-material de alta inercia térmica. Existen varias terminaciones en cuanto a su grado de transparencia u opacidad así como al acabado de su superficie que puede ser muy pulida o más bien rugosa, alterando su brillo y capacidad de reflexión. Aunque responde bien a un amplio grado de temperatura,  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+135\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no lo hace a la exposición a la radiación ultravioleta por lo cual es necesario cubrirlo con filtros protectores en la cara expuesta a la radiación solar. Otras desventajas son que no resiste la exposición a ciertos químicos, que se ve afectado por la acción mecánica que puede deteriorar el acabado de su superficie y que, en comparación al vidrio, es altamente costoso. Su índice de refracción es de 1.58, su densidad es de 1.2 gramos por  $\text{cm}^3$  y su punto de fusión se encuentra a los  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En arquitectura es muy común encontrar PC en formato alveolar sobre cubiertas o pieles de revestimiento debido a la óptima respuesta térmica, su capacidad de flexión en curvas amplias y a su sensual acabado translúcido que logra un juego de incertidumbre entre brillo y transparencia.

El PC es frecuentemente utilizado como piel externa compuesta por capas, las que pueden estar separadas del muro (Ibid, 115). La piel de policarbonato puede trabajarse con sutiles cambios de color propuestos y, dependiendo del punto de vista y de la cualidad de la luz solar exterior, puede cambiar su color y la sensación de tridimensionalidad. Los paneles de PC se fijan entre ellos y al muro mediante perfilaría de aluminio mientras que la solución para las aristas está dada por perfiles de acrílico plegado que mantienen fijas las uniones de esquina (Figura 1.35).

**Polimetilmetacrilato (PMMA).** El PMMA es el más transparente de los plásticos y actualmente uno de los más utilizados en arquitectura. Fue desarrollado por primera vez en 1993 para reemplazar los vidrios en las ventanas de los aviones. Su fabricación se realiza mediante técnicas de vertido o extrusión, siendo el vertido quien ofrece más prestaciones para a arquitectura, sin embargo, su fabricación es más difícil para lograr un buen acabado y por lo tanto su costo es superior. El rango de temperatura en el que trabaja correctamente varía entre los  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y los  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el PMMA extruido y  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el PMMA vertido. Mediante una variante elastomérica, las red de acrilatos viene distribuida con mayor

uniformidad lo cual resulta en PMMA-HA, un material mucho más resistente a la acción mecánica y las altas temperaturas sin mermar sus características de transmitancia lumínica.

La característica más importante de este material es su alto grado de transmitancia lumínica, cercana al 92 por ciento en espesores de 3 milímetros, y su alta resistencia a la radiación ultravioleta y exposición a la intemperie. Es también impermeable a ciertos ácidos, alcalinos, aceites y el agua. Esta característica también viene dada, como en el caso del PC, por su estructura molecular amorfa que es la responsable, a su vez, de su fragilidad por lo cual debe ser trabajado con cuidado y herramientas apropiadas. El PMMA tiene un alto coeficiente de expansión térmica, alrededor de 8 veces mayor al vidrio, por lo que debe ser montado en estructuras que no lo constriñan. Su módulo de elasticidad es relativamente bajo, entre 3.100 y 3.300 MPa, no significativamente más alto que el del policarbonato, de entre 2.300 a 2.400 MPa, aunque considerablemente más bajo que el del vidrio, de 70.000 MPa. El PMMA es generalmente reciclable.

Sus usos más habituales en construcción están ligados al paso de la luz por su transparencia como domos para lucarnas, paneles planos para ventanas, puertas y muros transparentes, paneles corrugados para fachadas e invernaderos. Por su capacidad de reflexión interna total es utilizado en forma de fibras, prismas y paneles para la transmisión de luz. La fibra óptica de PMMA es la más frecuentemente utilizada en la transmisión de datos por su alto índice de refracción, de 1.494, su maleabilidad y su facilidad de fabricación en fibras complejas (Figura 1.36 a Figura 1.38).

**Policloruro de vinilo (PCV).** Es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es el plástico más versátil que puede producirse mediante cuatro procesos diferentes: suspensión, emulsión, masa y solución. Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C.

Entre sus características principales se encuentra una muy buena resistencia eléctrica y a la llama, estabilidad dimensional y resistencia ambiental, una elevada resistencia a la abrasión junto con una baja

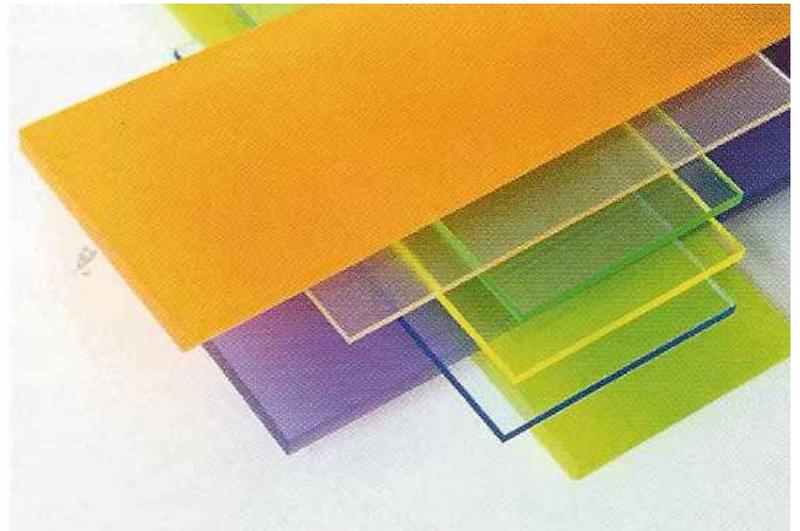
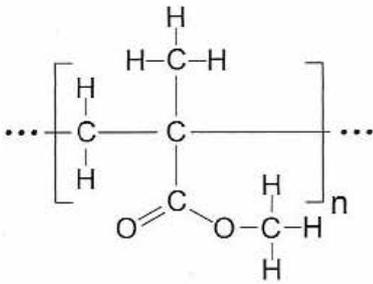


Figura 1.36: Estructura molecular del PMMA. Productos comerciales. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010. Plexicolor de Evonik Röhm y Faux Alabaster de PyraSied. Plexiglass Radiant con superficie polarizadora y componente reflectante complementario. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010. Presentación de acabado de productos comerciales. Fuente: Stephan Plastics. Engelsmann, et al. 2010.

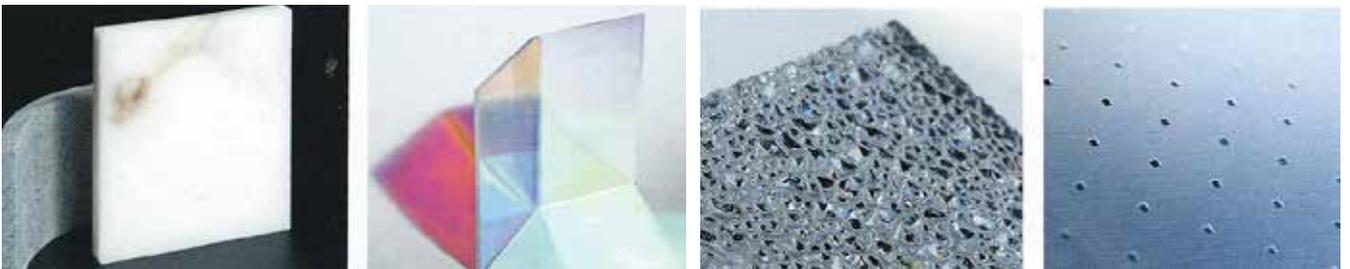


Figura 1.37: Reiss Headquarters, revestimiento de PMMA. Arquitectos: Squire and Partners. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010.

Figura 1.38: Atrapaluz y Barras de Iluminación Solar, sistemas de transporte y emisión de luz mediante PMMA en bloque. Wolff, Silva. FAU, 2010. Fuente: elaboración propia.





Figura 1.39: Estructura molecular del PVC. Productos comerciales en planchas y perfiles de ventanas. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010. Productos comerciales de PVC para arquitectura, tubos y textiles. Fuente: [www.archiexpo.es](http://www.archiexpo.es), enero de 2013. KunstHüle. Arquitectos: OSA (Office of Suversive Architecture) Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl), enero de 2013.

densidad de 1,4 g/cm<sup>3</sup>, buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción. Es estable e inerte por lo que se emplea extensivamente donde la higiene es una prioridad. Puede durar hasta más de sesenta años debido a los átomos de cloro que forman parte del polímero PVC, no se quema con facilidad ni arde por sí solo y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado. Es un buen aislante eléctrico, se vuelve flexible y moldeable sin necesidad de someterlo a altas temperaturas y mantiene la forma dada y propiedades una vez enfriado a temperatura ambiente, lo cual facilita su modificación. Es muy resistente a la corrosión y es rentable debido a su bajo coste de instalación. Además, es reciclable por varios métodos.

Su uso en arquitectura respecto de luz natural se enfoca principalmente en la perfilería de ventanas, reemplazado en gran medida al hierro. Por otra parte el PCV flexible que es utilizado en cables, recubrimientos textiles y cubiertas tensadas que sirven de sombreaderos y sistemas de control solar. En forma menos habitual se lo encuentra en films translúcidos que pueden ser utilizados con luz (Figura 1.39).

**Poliestireno (PS).** Es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno, existen cinco tipos principales pero solo algunos pueden utilizarse en aplicaciones relacionadas al acceso de luz o control lumínico.

El producto de la polimerización del estireno puro se denomina poliestireno cristal (GPPS) que es un sólido transparente, duro y frágil. Es vítreo por debajo de 100 °C, por encima de esta temperatura es fácilmente procesable y puede dársele múltiples formas. Tiene un índice de refracción en torno a 1,57, similar al del policarbonato y el PVC.

Para mejorar la resistencia mecánica del material, se puede añadir hasta un 14% de caucho. El producto resultante se llama poliestireno de alto impacto (HIPS) que es más fuerte, no quebradizo y capaz de soportar impactos más violentos sin romperse, pero tiene el inconveniente de ser opaco aunque algunos fabricantes logran grados especiales de poliestireno de alto impacto translúcido mediante la

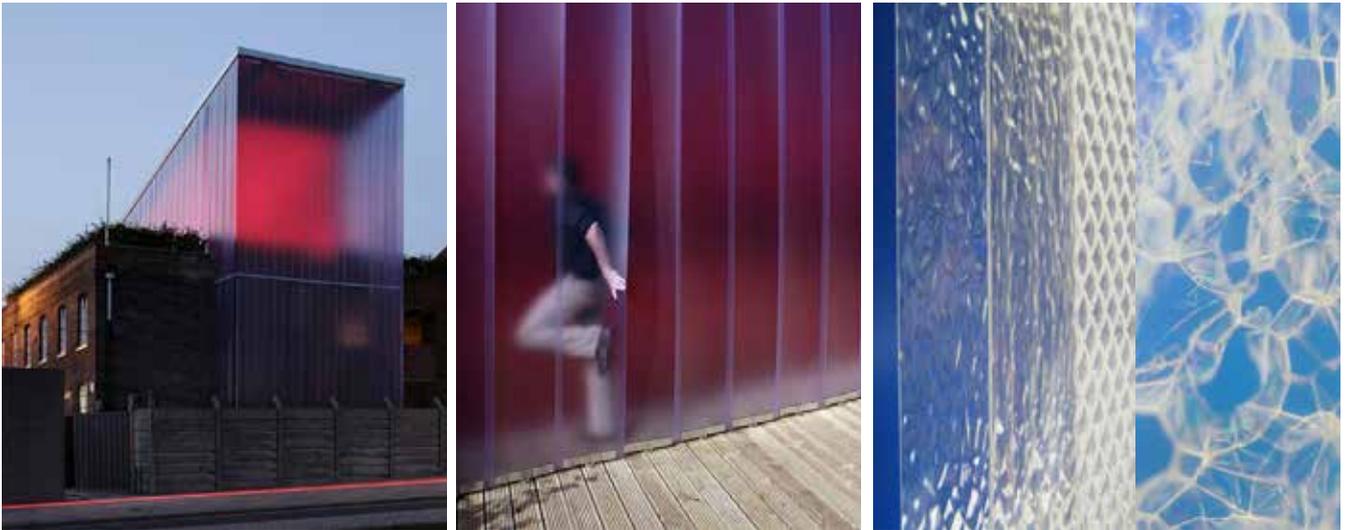


Figura 1.40: Presentaciones monolíticas transparentes de poliestireno. Fuente: [www.complasbcn.com](http://www.complasbcn.com). Estructura del poliestireno vista al microscopio, con 200 aumentos. Fuente: Jan Homann en [wikipedia.com](http://wikipedia.com), enero de 2013.

incorporación de poliestireno cristal. Las mezclas de PS de alto impacto y cristal son más translúcidas pero también más frágiles cuanto más PS cristal contienen. Es posible encontrar un compromiso entre ambas propiedades de forma que los objetos fabricados sean transparentes a la vez que aceptablemente resistentes (Figura 1.40).

En las últimas décadas se ha desarrollado un nuevo poliestireno que recibe el nombre de poliestireno sindiotáctico. El nuevo poliestireno es cristalino y se funde a 270°C, pero es mucho más costoso. Sólo se utiliza en aplicaciones especiales de alto valor añadido (ICF 2008).

**Poliuretano (PUR):** Se clasifican en dos grupos, PUR termoestables o PUR termoplásticos. Los PUR termoestables más habituales son espumas, muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas resilientes. Entre los PUR termoplásticos más habituales en la industria de la construcción destacan los empleados en adhesivos selladores de alto rendimiento, pinturas, fibras textiles, sellantes y juntas. En estos formatos pueden contribuir a adherir films de control solar, filtros, fijar vidrios u otros materiales translúcidos. Como fibra pueden ser sistemas de control solar en toldos o cubiertas.

**Etileno-Tetrafluoroetileno (ETFE):** Es un tipo de plástico de gran resistencia al calor, a la corrosión y a los rayos UV. Es un plástico transparente de extraordinaria durabilidad que posee una elevada resistencia química y mecánica al corte y a la abrasión, así como una gran estabilidad ante cambios de temperatura, soporta hasta 170°C. Es además combustible pero no inflamable. La resina es procesable por extrusión, moldeo por inyección, por compresión, por transferencia y por presión de líquido (ETFE + tubos fluorescentes en [fachadasmediales.blogspot.com.es/2008/05/efte-leds.html](http://fachadasmediales.blogspot.com.es/2008/05/efte-leds.html)). Sin embargo su cualidad más destacable es su elevada resistencia a los rayos ultravioleta, que permite que, a diferencia de otros plásticos, no se amarillee por su exposición a los rayos solares. Esta característica convierte al ETFE en una alternativa al vidrio en la edificación. Otra importante característica es que el ETFE pesa 100 veces menos que el vidrio, dejando pasar luz, y en configuración de doble lámina o “almohada” es más aislante. Además es fácil de limpiar y reciclable. Aunque el material ya se conocía, la primera vez que se utilizó como sustituto del vidrio fue en 1982, en el pabellón de un zoo, en Holanda.

Actualmente se emplea principalmente en estructuras tensadas, tanto monocapa como bicapa. Entre los edificios más emblemáticos confeccionados con EFTE se encuentran el Proyecto Eden de Nicholas Grimshaw; El Cubo de Agua, diseñado por el estudio PTW para albergar las pruebas de natación de los Juegos Olímpicos de Pekín 2008; el estadio Allianz Arena de Múnich, diseñado por los arquitectos Herzog & de Meuron; la Cúpula del Milenio, en Valladolid y las cubiertas de cojines del AWM Carport en Munich (Figura 1.41 y Figura 1.42).

**Poliéster termoplástico (PET):** El PET está formado sintéticamente con etilenglicol más tereftalato de dimetilo. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Como resultado del proceso de polimerización, se obtiene la fibra, que en sus inicios fue la base para la elaboración de los hilos para coser y que actualmente tiene múltiples aplicaciones, como la fabricación de botellas de plástico que anteriormente se elaboraban con PVC. Se obtiene a través de la condensación de dioles, del grupo funcional dihidroxilo.

El PET suele ser usado en construcción como reforzamiento para las fibras de vidrio, dando como resultado el plástico reforzado con vidrio o GRP.

El GRP es un material ligero, resistente, rígido, con buen comportamiento frente a la corrosión y al desgaste, buen aislante térmico, acústico y eléctrico y muy fácil de moldear, por lo que es muy usado en la elaboración de piezas de formas complejas. En la industria de la construcción se utiliza para confeccionar singulares envolventes o fachadas en edificios con formas de curvatura irregular. Existen varias formas de confeccionar una placa de GRP, dependiendo de cómo se dispongan las fibras de vidrio dentro de la matriz plástica.

El GRP puede fabricarse industrial o artesanalmente. Entre sus desventajas se encuentran la dificultad de reciclaje, el mal comportamiento frente al fuego (además, los productos de su combustión son tóxicos), y la ausencia de normativas que regulen u orienten sobre su uso, ya que las propiedades del



Figura 1.41: A. Botellas PET utilizadas transmitiendo luz en el proyecto “un litro de luz”, por reflexión interna total. B. en un domo traslúcido.

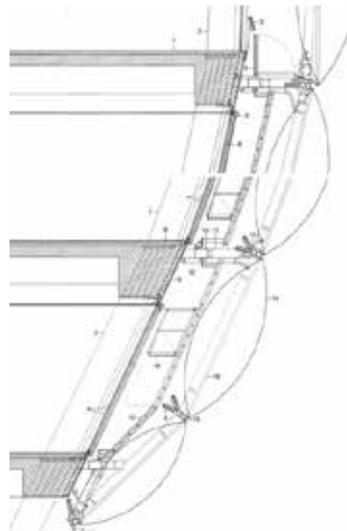
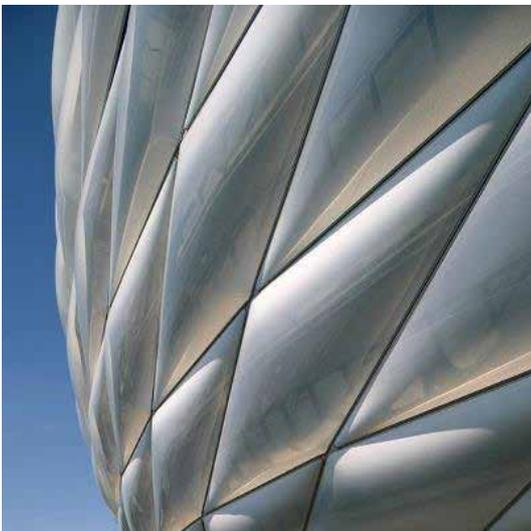


Figura 1.42: Cubo de Agua. Arquitectos: PTW. Fuentes: 1. [beijingolympicsblog.wordpress.com](http://beijingolympicsblog.wordpress.com); 2. [www.members.virtualtourist.com](http://www.members.virtualtourist.com); 3. Zhou Ruogu. Estadio Allianz Arena de Múnich. Arquitectos: Herzog & de Meuron. Fuente: 1. Tim Brown en [www.flickriver.com](http://www.flickriver.com), 2 y 3. [buildingskins.wordpress.com](http://buildingskins.wordpress.com), consultado en enero de 2013. A summer space. Arquitectos: Johl, Jozwiak, Ruppel, Berlin. uente: [www.buildingskins.wordpress.com](http://www.buildingskins.wordpress.com), consultado en enero de 2013.



material varían notablemente dependiendo del proceso de elaboración, la cantidad de fibra, y el tipo de resina empleado.

Las propiedades mecánicas dependen esencialmente de la cantidad y disposición de la fibra de vidrio. La resistencia a tracción del material puede oscilar desde los 500 kg/cm<sup>2</sup> con vidrio proyectado, hasta alcanzar los 10.000 kg/cm<sup>2</sup> con vidrio unidireccional al 90% en peso. En presencia de esfuerzos, el GRP presenta una fatiga estructural que disminuye su resistencia aproximadamente un 1 por ciento anual. El resto de propiedades -durabilidad, resistencia a la abrasión, etc.- dependerán fundamentalmente del tipo de resina. Dependiendo de ésta, el material podrá soportar temperaturas entre 125 °C y 300 °C (Figura 1.43).

#### **1.2.2.2. Presentación del plástico para arquitectura y características de su iluminación**

El uso del plástico en arquitectura es contemporáneo y por tanto las cualidades de la luz natural que puede entregar son características de los últimos años de nuestra era. El plástico es generalmente utilizado cuando el vidrio no puede lograr las características que requiere el proyecto, ya sea por el peso admisible, las solicitaciones a las que estará expuesto, la característica efímera o por las formas complejas que presenta el proyecto. Por ello, cuando nos vemos enfrentados a un edificio de forma compleja el cual presenta zonas translúcidas o transparentes, es muy probable que éstas sean construidas en plástico.

El plástico puede producirse en diferentes formatos para la arquitectura. Entre los más importantes se encuentra el bloque, los paneles (o láminas) monolíticos, los paneles estructurados, los paneles en sándwich, membranas, films, fibras y textiles. En forma de soporte para vidrio u otros materiales transparentes o translúcidos, se puede encontrar en forma de perfiles, uniones elásticas y pegamentos. Para elegir un plástico en arquitectura y su relación con la luz las cualidades que se deben tener en cuenta son color, opacidad, transparencia y visión, reflejos, formas definibles, tamaño.

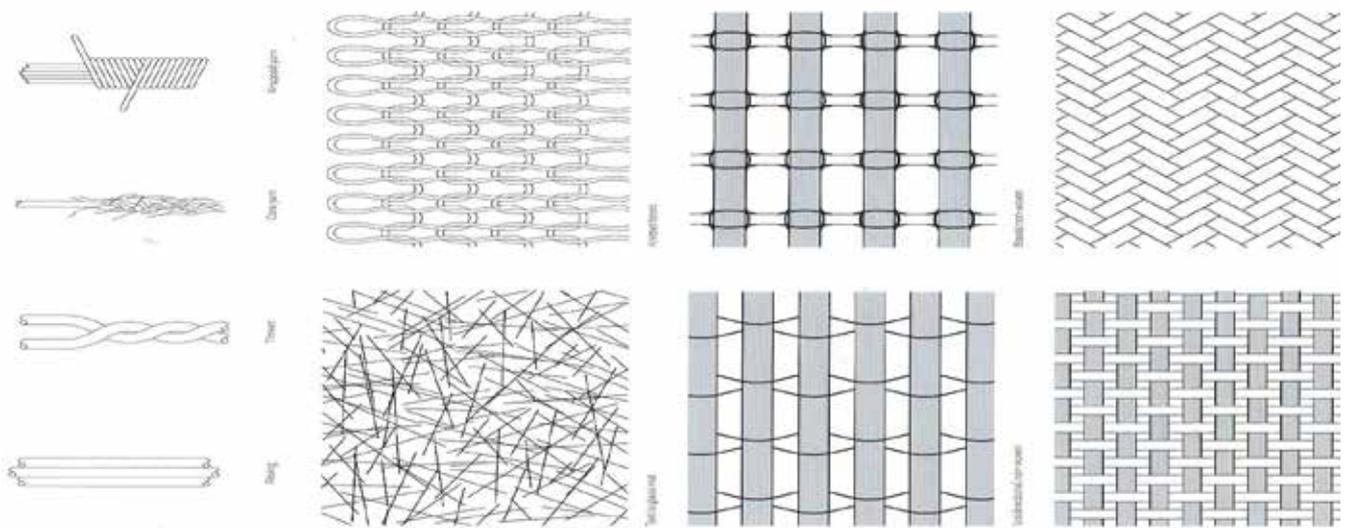
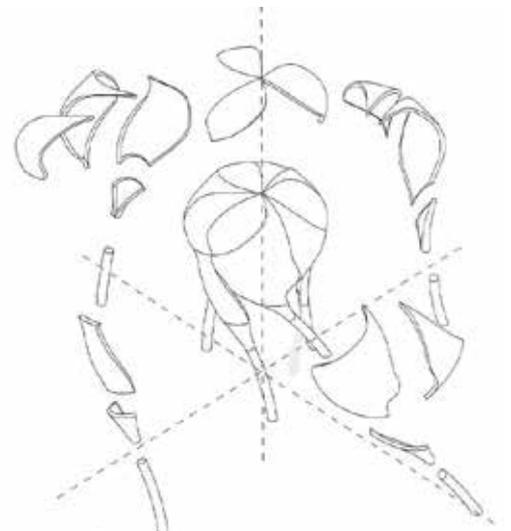


Figura 1.43: Paños de fibra de vidrio para el armado de elementos constructivos con propiedades mecánicas isotrópicas (iz) y para construcción de paneles tipo sándwich (der). Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010. Diferentes tramas de fibra de vidrio para diversas propiedades mecánicas. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010. D-Tower, estructura de fibra de vidrio reforzada en Doetinchem, Holanda. Arquitectos: NOX Architects, Lars Supuybroek, 2004. Fuente: Plastics. Engelsmann, et al. 2010.



### 1.2.3. METAL

La relación del metal y la arquitectura, más aún con la construcción para el uso de la luz en la arquitectura, es posterior al uso de este material como herramienta. Para usarlo en arquitectura se debió haber llegado a un dominio suficiente como para contar con él en gran cantidad. Uno de los usos más antiguos que se conoce es en la unión de los bloques de travertino en el Coliseo romano (Temanza 1741) y su extracción fue probablemente uno de los motivos del devastador saqueo que sufrió el Coliseo, desde la caída del Imperio Romano hasta fines de la Edad Moderna cuando viene considerado como un monumento.

Más allá del uso como material de construcción, el metal se utiliza desde la antigüedad en la fabricación de espejos. “La historia de los espejos es también la historia de la luz”, señala Mark Pendergast en *La Historia de los Espejos* (2003). La relación del espejo y la arquitectura se da por primera vez con fuerza en el siglo XVII, durante el Barroco, que pone énfasis en las formas dinámicas (Figura 1.44), con una exuberante decoración y un sentido escenográfico de las formas y los volúmenes. Allí cobran relevancia los juegos ópticos (*trompe-l'œil*) que ponen a prueba el punto de vista del espectador (Maak, Pawlik 2010, 120). En este contexto adquiere gran importancia el espejo, de lo cual es un símbolo la Galería de los Espejos del Palacio de Versalles donde diecisiete ventanas proporcionan la luz (natural) que se refleja en 357 espejos puestos frente a frente.

Uno de los usos más importantes del metal en relación a la luz, es como parte del sistema de perforaciones en el muro que permiten el acceso de luz, primero como barras que cerraban el paso a través del vano en la casa romana y luego como soporte de materiales transparentes que permiten cerrar el vano sin impedir el acceso de luz.

Al principio se utiliza el plomo, como sujeción de las pequeñas piezas de vidrio que componen la ventana, pero el verdadero uso masivo del metal como soporte se logra en la revolución industrial cuando el hierro se convierte en uno de los materiales fundamentales para generar los cambios revolucionarios de la arquitectura de esta época. Su desarrollo se da a la par con los avances tecnológicos



Figura 1.44: El metal y la luz, reflexión especyular o semi difusa. Guggenheim de Bilbao y sede de la C.N.R.S en Odeillo. Fuente: Archivo de la autora y [www.anfrix.com](http://www.anfrix.com)



Figura 1.45: Metal como soporte de materiales transparentes o como celosías traslúcidas. El Retiro y Cava Scanavini. Abajo, reflexión semi-difusa en muros plegados y metal como estructura de la lucarna. Caixa de Madrid y Museo Nacional de Historia Natural de Francia. Fuente: Archivo de la autora.





Figura 1.46: El metal puede presentar diferentes terminaciones, lo que definirá su grado de reflexión y su comportamiento frente a la luz. También el metal es fundamental en todos los sistemas y tecnologías que sirven para el uso de la luz, como quincallería, soporte, perfilerías. Fuentes: Archivo de la autora.

en la construcción del vidrio plano, por ello, acero y vidrio se transforman en la pareja indiscutida de la construcción de fines del siglo XIX, cuando se logran los enormes paños vidriados que permitieron por fin iluminar con luz natural el corazón de grandes edificios (Figura 1.45). De esta época revolucionaria Walter Benjamin expresa: “por primera vez en la historia de la arquitectura aparece con el hierro, un material de construcción artificial” (Frampton 1980).

Otro importante avance tecnológico fue la invención de la fachada ligera capaz de trabajar a flexión dada su estructuración en base al metal como material elástico. Este elemento se comportaba como una piel externa sin funciones estructurales que por el contrario, pendía de la estructura portante del edificio (Vásquez 2006, 21). Por esta causa, debía ser liviana y eficiente en cuanto a sus funciones: eficiencia lumínica, aislación térmica, aislación hidrófuga y aislación acústica.

En la actualidad, la técnica de extrusión del metal no sólo permite la construcción de perfiles tanto estructurales como de soporte de ventanas, sino que de planchas que pueden ser usadas como membranas de revestimiento. Las membranas pueden utilizarse de acuerdo a sus características de reflexión y a la porosidad que puede lograrse con perforaciones. En ambos casos el metal juega un rol importante respecto de la luz, la refleja, entregando una imagen particular según su grado de rugosidad o puede constituir un tamiz que deja pasar la luz o que proyecta sombras cambiantes sobre las superficies.

## 1.2.4. CEMENTOS

El cemento está tratado en la presente investigación bajo dos aspectos funcionales que tienen relación con el uso de luz natural en arquitectura: como soporte pétreo de la abertura, con o sin materiales translúcidos, y como paramento translúcido en sí.

El antecedente más antiguo y emblemático a la vez, respecto del uso del cemento en elementos arquitectónicos que utilizan la luz natural, es el Pantheon en Roma. Los romanos desarrollaron fuertemente la tecnología constructiva de la estabilidad del muro y particularmente del arco. En cuanto a materiales, utilizaron el cemento (*calcestruzzo*), no sólo como aglomerante para la unión de piezas (ladrillos o *mattoni*), sino como material pétreo en sí mismo. En el Pantheon se utiliza cemento para la construcción de la cúpula, la que deja un óculo abierto al centro por donde entra la luz del Sol. La particularidad y aporte al desarrollo de las tecnologías constructivas se debe a que el material cementicio va cambiando su peso específico a medida que va acercándose a la cúspide de la cúpula, aligerándose paulatinamente con la incorporación de materiales apropiados, con el fin de generar menos peso y mayor estabilidad. Por otra parte, el espesor de la cúpula aumenta desde el óculo hasta la base (tamburo) lo que también contribuye a una mejor distribución de cargas y mayor estabilidad. En tercer lugar, la forma enervada de la cúpula por el interior le confiere resistencia y ligereza (Pelliccioni 1986). Estas características han permitido que su cúpula, la de mayor envergadura en cemento (43 m), se mantenga en pie luego de dos mil años (Figura 1.47).

Otro importante hito en el uso de cemento para fines lumínicos, es la invención del cemento armado u hormigón armado (H.A.). El H.A. revolucionó la arquitectura desde fines del SXIX, pero sobre todo durante el SXX. La mayor contribución respecto de la luz es que permite ampliar enormemente el vano, ubicarlo en zonas diferentes del muro, y a su vez darle formas inusitadas, impensables con materiales pétreos sin armar. El H.A. se ha utilizado fuertemente en el último siglo, en cualquiera de los paramentos estructurales de un edificio y elementos arquitectónicos muy distintos a lo conocido anteriormente y los vanos entonces se modifican adecuándose al elemento arquitectónico donde se ubican. Los vanos pueden quedar abiertos (como el óculo del Pantheon), o bien cerrados con materiales transpa-

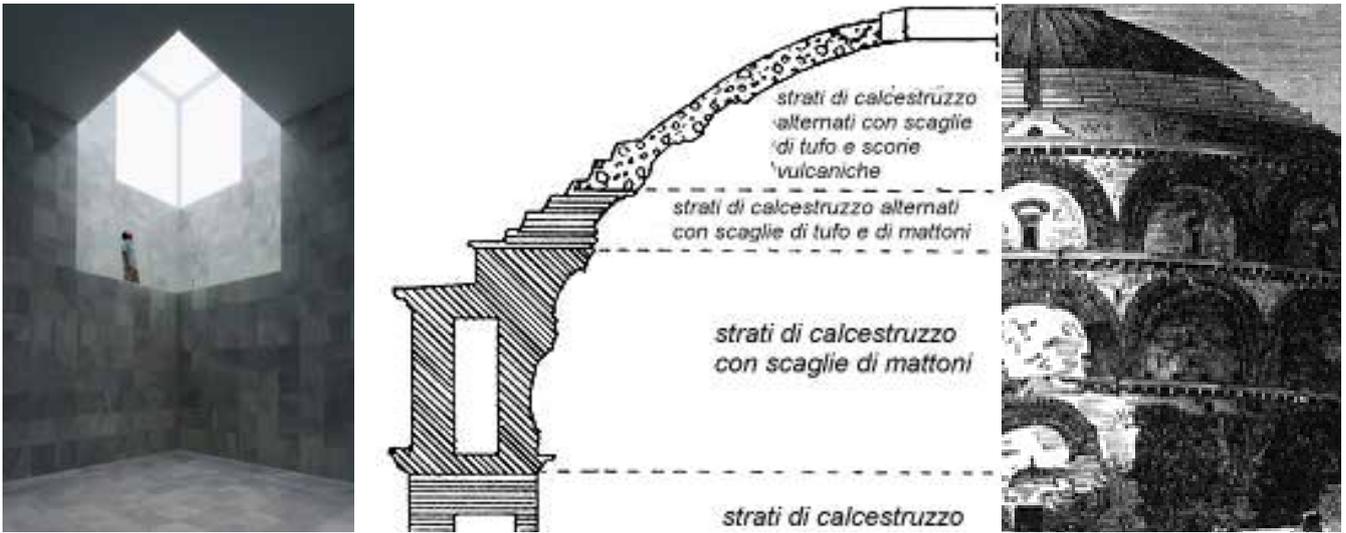


Figura 1.47: Aperturas en estructuras de cemento para el acceso de luz. Confederación Granadina de Empresarios, Alejandro Muñoz Miranda. Fuente: archdaily.com. Estratos de la cúpula del Pantheon de Agripa. Fuente: www.romaonline.net, julio 2013).



Figura 1.48: Cemento y reflexión de la luz. Arriba: foto de Young Mi Lamine, Sagrada Familia de Barcelona y Museo Mecenat. Fuentes: www.saatchiart.com, elaboración propia y www.noticias.arq.com.mx. Abajo: museo del Holocausto, Calidocscopio y Museo del Agua. Fuentes: www.plataformaarquitectura.cl, www.flickr.com y www.plataformaarquitectura.cl.



rentes o translúcidos. la mayor diferencia que presentan los vanos de H.A. se debe a su forma, tamaño y ubicación (Figura 1.48).

#### **1.2.4.1. Cementos translúcidos**

Existen al menos dos tipos de cementos translúcidos comercializados en la actualidad, que son realizados bajo diversos componentes y procesos productivos, aunque ambos son de reciente aparición.

Concreto translúcido. El concreto translúcido es un concreto polimérico desarrollado por un equipo de investigadores Ingeniería Civil en la Universidad Autónoma Metropolitana de México (UAM), que incluye cemento, agregados y aditivos. Para ello se emplea cemento blanco, agregados finos, agregados gruesos, fibras, agua y el aditivo Ilum. Actualmente el cemento translúcido se comercializa en dos formas: prefabricado y el aditivo Ilum. En Europa, comenzó a comercializarse a finales de junio o principios de julio de 2008. Aún presenta un alto coste en relación al concreto tradicional, pero sus prestaciones translúcidas y propiedades físicas, pueden ser ventajas comparativas que hagan viable su implementación.

Entre sus características más notorias validadas por el Instituto de Investigaciones de Materiales de la UNAM se destaca: su capacidad de aislación térmica; resistencia a la compresión superior a los 450 Kg/cm<sup>2</sup>; módulo de elasticidad en compresión igual a 24,320 Kg/cm<sup>2</sup>; resistencia a la flexión de 590 Kg/cm<sup>2</sup>; modulo de elasticidad en flexión igual a 2,050 Kg/cm<sup>2</sup>; resistente a la acción de sulfato y álcalis. El peso volumétrico es hasta un 30 por ciento menor al de un concreto tradicional. Tiene nula absorción al agua. Puede ser descimbrado a las 48 horas de su colocación. Sigue siendo translúcido hasta con los dos metros de espesor, permitiendo paso de la luz a través de él sin distorsión. Resistente a la corrosión. Se vende como formato de placa prefabricada para instalación y premezclado para colado en sitio (Figura 1.49).

Una de las desventajas es que por su alto grado de transparencia, las estructuras internas de la construcción quedan a la vista, lo que podría resultar antiestético. Otra desventaja es que al ser por el momento un concreto no normado como concreto estructural pese a su alta resistencia a la compresión y otras propiedades físicas su uso es todavía exclusivo como elemento arquitectónico, como divisor de ambientes o paramentos externos no estructurales donde se requiera mayor cantidad de luz (Bataller 2011).

Litracon: LiTraCon es una marca comercial para un material de construcción de hormigón translúcido. El nombre es una abreviación de transmisión de luz concreta. Fue desarrollado en 2001 por el arquitecto Áron Losonczi y trabajando con investigadores de la Universidad de Budapest. El hormigón viene en bloques prefabricados de diferentes tamaños. Los datos técnicos del fabricante señalan que el material está hecho de 96% de concreto y 4% en peso de fibras ópticas (Figura 1.50).

Entre sus características técnicas entregadas en la ficha del producto se encuentran: densidad de 2.100 a 2.400 kg/m<sup>3</sup>; resistencia a la compresión 50 N/mm<sup>2</sup>; resistencia a la flexión 7 N/mm<sup>2</sup>. Entre las características de presentación se encuentra el acabado pulido en tamaños de bloque máximo de 1200 x 400 mm y espesor entre 25-500 mm, en colores blanco, gris y negro ([www.litracon.com](http://www.litracon.com)).

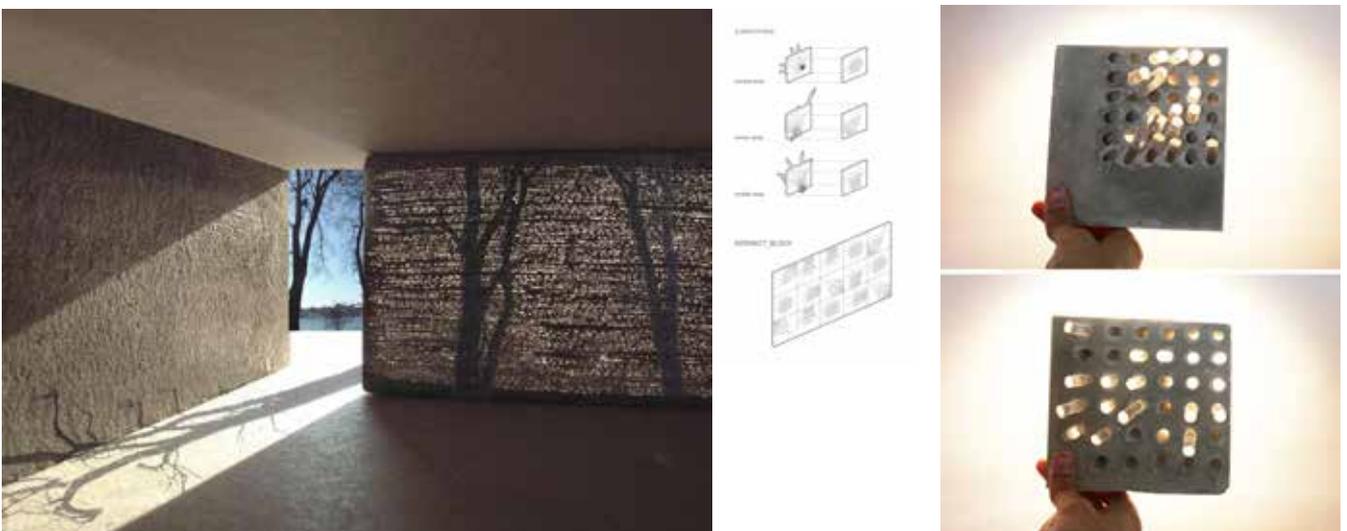
La principal característica de este hormigón es su translucidez, dada por la transmitancia lumínica de la fibra óptica que contiene. Otra de sus características es la plasticidad, de la cual depende su mayor o menor aptitud para poder rellenar completamente las juntas. Una de las cosas que más influyen en la plasticidad es el contenido de finos que se utilicen en la dosificación del hormigón. Su resistencia a compresión es unas diez veces mayor que su resistencia a tracción. También se pueden construir estructuras portantes con hormigón translúcido, ya que la fibra óptica con que está compuesto este material no perjudica la bien conocida resistencia a compresión del hormigón. Otra de sus características al igual que para el hormigón tradicional es la del aislamiento térmico.



Figura 1.49: Cemento transparente en base a resinas desarrollado en México. Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl) y Martínez Bosch, M. C. (2011). Hormigón translúcido con fibra óptica. Tesis de grado de la Universidad Politécnica de Valencia en <http://riunet.upv.es> consulta en febrero de 2013).



Figura 1.50: Cemento translúcido Litracon en el pabellón italiano en la Expo de Shanghai. Fuente: Oliver Blum y [blogs.lainformacion.com](http://blogs.lainformacion.com). Abajo: Litracon y experimentaciones con barras acrílicas. Fuente: [www.litracon.hu](http://www.litracon.hu) y [www.makearchitecture.wordpress.com](http://www.makearchitecture.wordpress.com)



Otros cementos translúcidos. El Brick\_OPTIC surge como iniciativa universitaria. El objetivo de esta tecnología es lograr hacer una obra forma repetible con la variabilidad. Se producen ladrillos huecos con diferentes espesores de 6 “de ancho x 6” de alto, a los que se le pueden incorporar piezas intercambiables laterales de diferentes espesores. Estas piezas son las que permiten el paso de luz.

### 1.2.5. PIEDRA Y MATERIALES PÉTREOS

La perforación en el muro es probablemente la acción por excelencia para la accesibilidad de luz natural en un elemento construido. Las aberturas en el muro de fábrica, originalmente en piedra, son una de las más importantes hazañas en la historia de la arquitectura pues permitieron nos sólo el acceso de luz, sino que derivaron en sistemas que fueron capaces de constituir un recinto cubierto mediante pequeñas piezas apiladas y amalgamadas. Entre los sistemas o estrategias implementados aparece el arco como uno de los más importantes inventos del ser humano pues requiere de una solución que a simple vista no parece natural. Como plantea Santiago Huerta (Op.cit.), el arco se inventa probablemente hace 6.000 años en Mesopotamia o Egipto y de ahí fue exportado como sistema al resto del mundo. El arco más antiguo que se conserva en pie es el aro de la puerta de Ascalón, en Israel, construido en piedra calcárea y adobe (Pickover 2012, 32). Si bien otras culturas constructoras que no tuvieron contacto con Egipto o Mesopotamia, no llegaron a inventar el arco, si lograron perforaciones en los muros con el fin de generar aperturas funcionales tanto para el acceso al recinto como para el ingreso de luz y aire a un interior.

El arco puede ser considerado una abertura en una membrana bidimensional, la traslación del arco en el espacio produce una bóveda y su rotación, una cúpula. Por tanto arcos, bóvedas y cúpulas son parte de la misma idea constructiva representada en diferentes esquemas dimensionales. Toda construcción en piedra puede presentar una abertura, y la abertura se considera como la base para el soporte de algún material transparente o translúcido, desde el aire hasta materiales tangibles como el vidrio, polímeros, mallas metálicas, etc. La manera natural de salvar un vano a base de pequeñas piedras o ladrillos es formar un arco. Sin embargo, otras culturas constructoras como la cultura Maya e Inca, nunca llegaron a inventarlo, a pesar de sus siglos de desarrollo constructivo.

Previo al arco las perforaciones podían ser realizadas mediante la perforación literal de la piedra. Más tarde la creación de la viga como soporte para salvar una luz y generar una abertura pudo provocar vanos de mayor envergadura en el sistema de construcción de fábrica, ya sea de piedra o de ladrillo. Como el tamaño de la apertura dependía del tamaño de la pieza que constituye la viga, este sistema



Figura 1.51: Bóveda Maya, bóveda falsa. Fuente: *Arquitectura Precolombina*. Paul Gendrop, Doris Heyden. Editorial Aguilar/Asuri, 1989, Madrid. Cúpula acartelada en Newgrange (wikipedia, Creative Commons) y bóveda acartelada en el interior de la pirámide de Keops. Foto: Hajor, 2002, en wikipedia.

tuvo desde un inicio, fuertes limitantes puesto que es habitual no contar con las piezas del tamaño adecuado al vano. De esta limitante surge la idea de formar la apertura mediante la superposición de piezas de menor tamaño, lo cual conduce al arco. Sin embargo, antes de la invención del arco propiamente tal como lo conocemos hoy, aquel sistema que trabaja en la compresión de las dovelas, se inventó un sistema intermedio de piedras superpuestas pero sin clave.

El arco maya, también llamado falso arco, arco en ménsula, arco acartelado, es una construcción con forma de arco obtenida a base de la colocación de bloques de piedra escalonados de manera uniforme a ambos lados de un vano, hasta que se encuentran en un punto medio. A diferencia de un 'verdadero' arco, un falso arco no funciona puramente a compresión, que es el tipo de esfuerzo más adecuado para piedras y ladrillos, por lo que, a pesar de suponer un avance frente al sistema adintelado, su eficiencia es limitada. A pesar de que este arco es conocido principalmente por su uso en la arquitectura maya, existen ejemplos anteriores en Egipto que datan del tercer milenio a.C. donde pueden encontrarse ya sea en forma de arco o de bóveda (falsa bóveda) como en la Gran Pirámide de Keops donde existe una imponente galería de 8 m de altura y más de 40 m de longitud con forma de falsa bóveda. En el Extremo Oriente existen también ejemplos como el de la Tumba del sultán Ghorí, en la ciudad de Delhi, en la India y los templos de Angkor, en torno al siglo XII d.C. en Camboya (Figura 1.51 y Figura 1.52).

También en Europa aparecen falsos arcos, no sólo formando bóvedas, sino también cúpulas: la más antigua cúpula conocida se encuentra en la tumba de Newgrange, en Irlanda, y está datada entre los años 3000-2900 a.C. También es muy conocida la falsa cúpula, mucho más refinada, del Tesoro de Atreo, construido durante la época de la civilización minoica en Grecia (siglo XIII a.C.).

Se describe en primer lugar la piedra como uno de los materiales más antiguos involucrados en el uso de la luz solar en la arquitectura. Al igual que el cemento, la piedra está tratada en la presente investigación bajo dos aspectos funcionales que tienen relación con el uso de luz natural en archi-

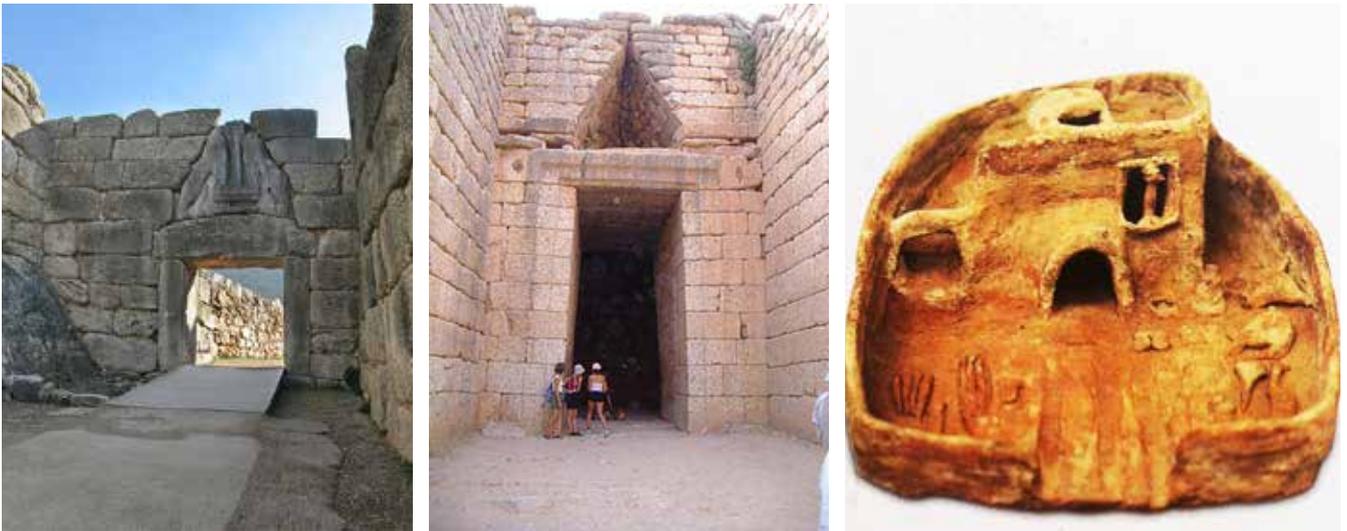


Figura 1.52: Sistemas previos al arco, la bóveda y la cúpula. Maqueta de arcilla cocida de una casa de principios del Imperio medio en Egipto, dinastía XI, hacia 2000 a.C., hallada en una tumba. Fuentes : Egipto, de la prehistoria a los romanos. Dietrich Wildung, 2001. Fotos de Anne y Henry Stierling. Ed. Taschen, Colonia.

tectura. Por una parte como soporte de elementos translúcidos y en segundo lugar como paramento translúcido en sí mismo. Dentro de esta traslucidez, la piedra puede tratarse como material semitransparente o como celosía que actúa como filtro lumínico (Figura 1.53).

#### 1.2.5.1. Piedra traslúcida

Alabastro. El alabastro es el nombre que se le da a un grupo de piedras calcáreas que tienen la propiedad de ser translúcidas. Para la presente investigación se hará referencia al alabastro yesoso. Es una variedad de carbonato de calcio o del aljez, o de piedra de yeso (sulfato cálcico hidratado), que se presenta bajo forma compacta con sistema cristalino monoclinico. El alabastro es una roca sedimentaria del grupo de las rocas evaporíticas, compuesta fundamentalmente por yeso ( $SO_4Ca \cdot 2H_2O$ ). Estas rocas se originan por precipitación de las sales disueltas en cuencas del tipo lagunar sometidas a una intensa evaporación. En España se distinguen dos tipos de alabastro, el transparente, de gran translucidez, con tamaños de bloque máximos de 1 m<sup>3</sup> y el más costoso. Por otra parte, el alabastro buñuelo, de menor translucidez y tamaño, con superficies más heterogéneas y vetadas.

Esta variedad de aljez de grano fino se extrae de canteras españolas, inglesas o de la Toscana. Gran parte de la extracción mundial de alabastro se realiza en Aragón (España), en el Valle del Ebro (Zaragoza), en localidades como Gelsa, Quinto, Fuentes de Ebro, Azaila y Albalate del Arzobispo. La explotación se hace mediante canteras, que destruyen el paisaje causando un grave impacto ambiental, ya que no existe fácil restauración en un clima tan árido. Aparte del formato en piezas elaboradas, también se exporta en gran cantidad en bloques en bruto para realizar jade falso muy apreciado en Asia y el mundo árabe, mediante un procedimiento que lo endurece y lo tiñe en colores diversos. La extracción es muy difícil lo que lo hace ser un material de alto costo. La fabricación para piezas industriales se realiza en una serie de procesos que parten del serrado de las lonchas, el serrado de las placas, el escuadrado, calibrado, fresado con máquina, barnizado y embalaje. Cuando se extrae en forma artesanal la secuencia de procesos es la misma sólo cambia el procedimiento que no es mecanizado, ni



Figura 1.53: Aperturas en muros de piedra para control visual. Aspillera, Castillo y Chato Meurtrière. Fuentes: www.wikipedia, John Bointon y Urban Caen.

automático ni asistido computacionalmente. Cortado en finas láminas, el alabastro es suficientemente translúcido como para poder utilizarse como transmisor de luz en ventanas o muros. Un dispositivo especial de enfriamiento impide que los paneles se vuelvan opacos bajo el efecto del calor. Al ser un mineral muy soluble en agua, el relieve se erosiona con facilidad.

En España el uso del alabastro en arquitectura es de origen presumiblemente romano (Detail 2004), siendo utilizado ya certeramente durante la Edad Media donde se utiliza como ventanas, sobre todo en arquitectura religiosa románica. Durante el siglo XV se extiende su uso y se desarrollan escuelas ligadas a su implementación como oficio.

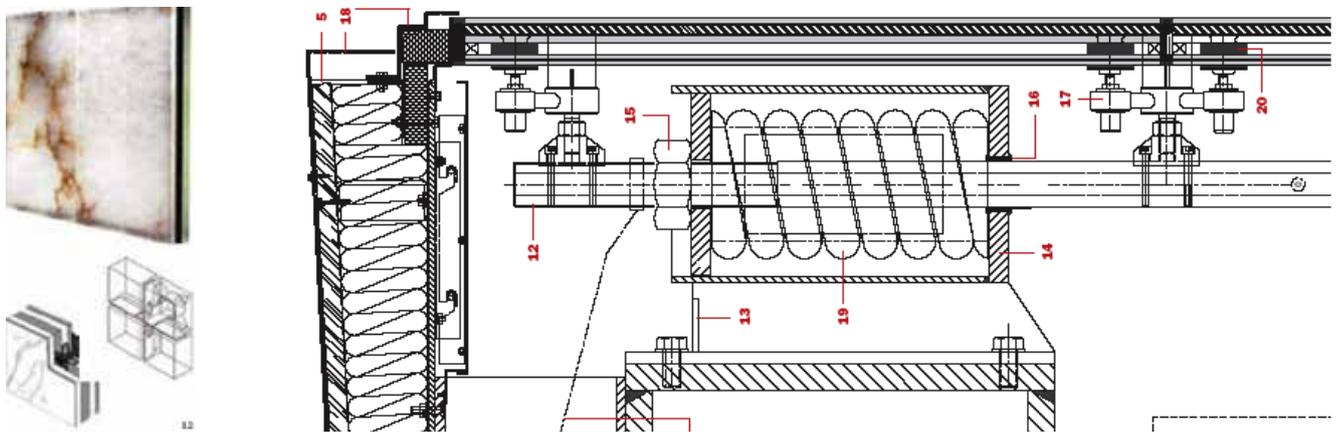
En la actualidad se ha implementado frecuentemente en obras de restauración y en importantes obras contemporáneas que pueden utilizarlo en forma más variada y segura gracias a las nuevas técnicas de instalación y al mejoramiento de sus propiedades dado por nuevos procesos de tratamiento y protección frente a la humedad y el desgaste.

La forma más común de utilizar es en placas y su colocación es análoga a la colocación del vidrio, esto es: independencia, fijación, estanqueidad, compatibilidad entre materiales y seguridad. Lo costoso del material hace que su uso se vea definido por el tamaño de las piezas a instalar y no al contrario, como puede ocurrir con el vidrio que puede pedirse dimensionado según el proyecto. Se deben tener en cuenta sus características de translucidez que varían según la pieza y el espesor. Al ser utilizado cercano a fuentes lumínicas se debe tener en cuenta que sus características de translucidez se ven alteradas por los cambios de temperaturas. En zonas húmedas se debe tratar con hidrofugantes.

Recientemente se ha implementado un panel que combina vidrio laminado con alabastro, de esta manera se refuerza el material sin perder la imagen ni su transmitancia lumínica. Se puede ver este sistema en la rehabilitación restauración del Banco de España en Turuel, obra realizada por el arquitecto Joaquín Magrazó, donde fueron colocados los vidrios laminados con alabastro para el cerramiento



Figura 1.54: Sistema contemporáneo de fijación del alabastro. Fuente: [www.unionvidriera.com/blog/2010/09/22/remodelacion-del-edificio-del-banco-de-espana-en-teruel/](http://www.unionvidriera.com/blog/2010/09/22/remodelacion-del-edificio-del-banco-de-espana-en-teruel/). (Montserrat Ortí Iglesias, 2005).



y la decoración del lucernario de la sala multiusos. La semitransparencia y el aspecto delicado del alabastro, se une al brillo, la modernidad y la seguridad que aporta el vidrio laminado. De esta manera se ha conseguido dotar al espacio de una estética más innovadora y cuidada pero respetando el estilo clásico y la personalidad que este histórico edificio posee (Figura 1.54 y Figura 1.55).

### 1.2.5.2. Piedra como celosía

Los materiales pétreos han servido desde el principio en la historia de la arquitectura, en general como elementos de soporte, sin embargo, también han cumplido otras funciones, como revestimientos, pavimentos, ornamentos y filtros para la luz (Figura 1.56).

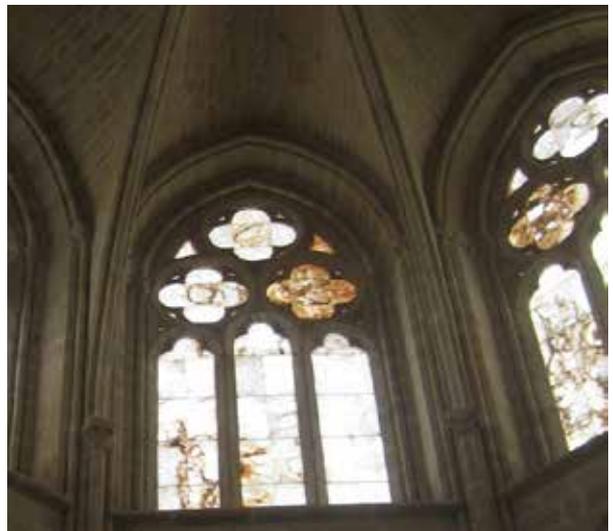
El uso de la piedra como celosía (*mashrabiya*) es probablemente una de las formas más antiguas de usar la piedra en relación a la luz natural puesto que permitía ser soporte y a la vez apertura del vano. Esta se usó de modo similar a la madera, pero su duración enormemente mayor. La laboriosa realización de este sistema denota un importante manejo técnico y estético de sus realizadores. Además de ser muy llamativas exteriormente, las celosías de piedra generan sombras particulares y visiones parceladas al exterior.



Figura 1.55: Piedra translúcida en Landeszentralbank Chemnitz. Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl).



Figura 1.56: Arriba: piedra como celosía, ventanas en Sanaa y *mashrabiya*s arabescas. Fuentes: [www.flickr.com](http://www.flickr.com) y elaboración propia. Abajo: Piedras translúcidas históricas: Lapis specularis romana encontradas en España, Sinagoga Blanca de Toledo y Catedral de Valencia. Fuentes: De Re Metallica, 5, 2005 pp. 45-61. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. Dep. Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Universitat de Barcelona y elaboración propia.



## 1.2.6. MADERA

La relación de la madera y la luz en arquitectura es similar a la del metal porque ambos son materiales que son normalmente utilizados como carpinterías o membranas, aunque en la actualidad la madera es un material menos dúctil que el metal. Sin embargo, en la historia de la relación de la luz con la arquitectura están siempre presentes el vidrio y la madera como una unidad casi inseparable. Tanto es así que es común que la expresión de otros materiales que actualmente se usan en la carpintería de ventanas imiten la imagen de la madera, la idea que tenemos todos de una ventana.

El uso de la madera en la arquitectura es anterior al vidrio, incluso anterior al arco. La madera es el material que probablemente primero permite la apertura de vanos en el muro mediante su uso como viga dintel. La madera como entramado es uno de los sistemas más antiguos de construcción y ha trabajado desde el inicio de la construcción humana, en conjunto con la piedra. La técnica del entramado sigue siendo utilizada hoy en día y es la base para las estructuras de materiales contemporáneos como el acero y el hormigón armado que todavía se basan en ellos (Figura 1.57).

Como parte del vano, la madera se utilizó en la vivienda romana como sistema complementario al vano, ya sea como elemento de seguridad (protecciones) o de control visual. En regiones cálidas y secas proliferó como sistema complementario al vano por su idoneidad con el clima, porque como sistema, la membrana es adecuada en las latitudes terrestres donde no es necesario el uso de un material que impida la pérdida del calor interior. Es por eso que suelen usarse en regiones cálidas y semidesérticas o como cierre de vanos. O en regiones aún menos cálidas como cierre de recintos semi-exteriores como balcones, terrazas y patios interiores. O simplemente como elemento sobrepuesto frente al vidrio, para el control solar o visual.

Una característica de estas membranas es que disminuyen un gran porcentaje de la apertura, por lo tanto disminuyen ostensiblemente las cantidades de luz que puede acceder por el vano. La ductibilidad del material y el oficio ancestral que existe en torno a la madera, permiten la construcción de piezas muy expresivas y que comúnmente pueden llegar a ser el motivo más característico de un edificio.



Figura 1.57: Arriba: Celosías de madera, la luz interior y vista exterior en Lima. Centro India y Sinagoga de Toledo. Fuentes arriba: [www.artxchange.org](http://www.artxchange.org), [www.limaeslinda.com](http://www.limaeslinda.com). Fuentes centro: [www.architectural\\_mashr.com](http://www.architectural_mashr.com) y elaboración propia.



Figura 1.58: Abajo: La luz a través de entramados de madera contemporáneos. Fuentes: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl) y archivo de la autora.



La madera es un material que también es frecuentemente utilizado como entramado horizontal para generar sombra. Existen sombreaderos de este tipo en todas las épocas de la arquitectura y probablemente en todos los sitios donde se ha construido cerca de los árboles. Su condición orgánica hace que las piezas más antiguas no se hayan conservado y por lo tanto no es posible conocer al detalle las técnicas ancestrales, al contrario de lo que ocurre con la piedra (Figura 1.58).

A raíz de la evolución del metal en la construcción de la carpintería muchas veces los procesos de rehabilitación en la ciudad han incorporado el metal en reemplazo de la madera para las ventanas, generando alteraciones significativas en la imagen de edificios históricos.

Uno de los grandes problemas que enfrentan los edificios históricos para renovarse es el sistema de ventanas. Las ventanas de madera antiguas no alcanzan los requerimientos actuales de aislación térmica y acústica porque su palillaje es muy angosto para incorporar el vidrio doble, no se cierran tan herméticamente como las de PVC, no pueden incorporárseles cámaras de descompresión para evitar la condensación, entre otros problemas técnicos. Además necesitan permanente mantención de pintura o barnices de protección, de otro modo pueden sufrir deterioro por agentes orgánicos.

La industria de ventanas ha sustituido desde mediados del siglo XX la madera, primero por el hierro y recientemente por materiales tecnológicamente más avanzados como el aluminio y el PVC. Sin embargo, la necesidad de la imagen cálida de la madera no ha podido ser reemplazada, pese a los intentos de estos sistemas por imitarla.

En países con gran desarrollo de la tecnología constructiva en madera, como Noruega y Suecia, este material es tratado con procesos que cambian el agua intracelular por resinas sintéticas inorgánicas, que no se deterioran y que mantienen la imagen intacta de un trozo de madera fresca. Con estos materiales de alta tecnología se fabrican no sólo ventanas sino elementos estructurales de gran envergadura y resistencia, y durabilidad como vigas y pilares de madera laminada. En este tipo de ventanas de



Figura 1.59: Arriba: Sistemas de madera para el uso de luz, ventanas recicladas y entramados. Fuentes: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl) y archivo de la autora..

Figura 1.60: Sistema de bisagra de madera de cactus, en Atacama. Ventanas hightech de madera y aluminio. Fuentes: elaboración propia y <http://www.wolf-fenster.de>.



Figura 1.61: Abajo: fotomontaje de un edificio, ventanas de aluminio (situación real) v/s ventanas de madera (montaje). Museo de carabineros, antes y después de la restauración. Fuentes: Henry Bauer y [www.carabinerosdechile.cl](http://www.carabinerosdechile.cl).



todas formas se trabaja con un conjunto de materiales que forman un sistema complejo y muy específico (Figura 1.59 y Figura 1.60).

En Chile, esta industria no ha llegado aún por lo que en los proyectos de rehabilitación las ventanas antiguas deben sustituirse por imitaciones toscas o definitivamente por ventanas simples que en algunos casos pierden la riqueza expresiva de un edificio (Figura 1.61).

## 1.3. LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUZ

La captación de radiación solar no tiene como única función ahorrar en consumo energético al disminuir el uso de iluminación artificial sino que introducir la radiación del Sol que trae varias otras componentes como las vistas del exterior que contribuyen a la sensación de confort general del habitante.

Nuestra naturaleza diurna hace que la mayor parte de las actividades que realizamos y que requieren luz, se realicen de día. La vivienda, los hospitales, hoteles y otros edificios que se ocupan tanto de día como de noche requieren un tratamiento de la iluminación natural diferente que los destinados a actividades de trabajo, educación y comercio, principalmente. También hay edificios que requieren cantidades y cualidades de luz controlada y constante para los cuales la iluminación artificial es evidentemente una solución más práctica, como es el caso de museos y galerías de arte. Sin embargo, la tendencia reconoce que el exceso de control ambiental en los edificios se ha exagerado y cada día se acepta más la necesidad de exponer y conectar al habitante con el ambiente exterior, sobre todo con su iluminación. En el caso de edificios con necesidades de control de iluminancia es posible hoy en día utilizar avanzados sistemas integrados de compensación de iluminación natural y artificial.

En la información e investigación existentes sobre la técnica en el uso y manejo adecuado de la luz solar, el universo de soluciones es inmensamente menor que el caso de la luz artificial. La cantidad de sistemas y tecnologías complejas es notoriamente menor debido a la pasividad que se le suele asignar al uso de luz natural y también porque las tecnologías o estrategias más evidentes, como la ventana con su inmensa variedad y complejidad, suelen no ser consideradas dentro del conjunto de tecnologías.

En cuanto a la estrategia básica de acceso y utilización de luz natural entendida como el vano o perforación de la piel exterior del edificio, se ha encontrado variada información bibliográfica. También en este caso la información se encuentra generalmente dividida entre los estudios de índole científicos, esto es, relacionados a la eficiencia energética y el bienestar 'saludable' para el ser humano, y los de índole conceptual, relacionada al desarrollo histórico y significado cultural que indagan por sobre

todo en cuanto a la percepción de la luz o el análisis estilístico-histórico más que en el análisis del vano propiamente tal y muy pocas veces juntando ambas partes. La investigación sobre tecnologías aplicables al vano, la continua evolución tecnológica de materiales y sistemas de compuestos genera también un flujo de información rápido y cambiante.

Destacan los aportes en sistemas de ventanas que en general enfatizan las propiedades térmicas del elemento, dando por sentado que el acceso de luz está garantizado por la transparencia del vidrio.

El levantamiento de información existente sobre sistemas altamente tecnológicos para el aprovechamiento de luz natural que no considera la ventana y sus variaciones, ha demostrado que existe información continuamente creciente, en cuanto a sistemas de aprovechamiento de luz solar respecto a las estrategias de orientación según la posición geográfica y las condiciones climáticas del lugar. Este tipo de información se ve constantemente enriquecido con la aparición de nuevos programas computacionales para tales análisis, cada vez más complejos y ricos en información cuantitativa.

En cuanto a sistemas complejos que guardan relación con la accesibilidad en condiciones difíciles y para los cuales se utilizan sistemas de reflexión total interna, destacan las investigaciones sobre materiales transparentes como vidrio y PMMA (polimetilmetacrilato) ya sea en forma de bloque o fibra. En fibra óptica existen sistemas desarrollados en Alemania como Parans© y Sollektor© tanto a nivel comercial como académico, respectivamente o investigaciones para el uso eficiente de masas transparentes tratadas para su eficiencia y eficacia.

Por otra parte, al margen de las tecnologías y sistemas ya establecidos existen materiales contemporáneos capaces de ser útiles en la tarea de mejorar la eficiencia, funcionalidad y aspecto visual de la luz natural, algunos de ellos directamente relacionados a la introducción de luz como por ejemplo el cemento translúcido, así como otros materiales potencialmente utilizables como los films retrorrefletores que en la actualidad sólo sirven para las señales de tránsito y la indumentaria de trabajo.

Si por tipo de sistema se puede pensar a priori en una clasificación por posición del elemento en el edificio y complejidad del sistema, en cuanto a materiales es posible definir una clasificación inicial por vidrio, cristal, polímeros (polimetilmetacrilato, pvc, policarbonato, etc.), metal (acero, aluminio, titanio, etc.), madera y piedra. Estos tres últimos preferentemente utilizados como materiales de soporte para los materiales transparentes como el vidrio y ciertos polímeros o como sistema de regulación solar por su capacidad de producir sombra.

### 1.3.1. ESTRATEGIAS

La relación entre la construcción y la luz abarca diversas escalas, las que hemos clasificado en tres grandes grupos: estrategias, sistemas y tecnologías. Es evidente que se trata de una clasificación artificial pues ¿cómo podría construirse, por ejemplo un sistema sin el necesario desarrollo tecnológico? Sin embargo, para efectos del análisis se han dividido por su escala y también por el momento en que se proponen en una obra de arquitectura.

En este sentido, las estrategias son las ideas de mayor envergadura (no necesariamente de mayor o mejor resultado) y las que primero se plantean en una obra arquitectónica. A continuación, se han descrito las más importantes e influyentes en cuanto a la capacidad de utilizar la luz adecuadamente, según el lugar, el tipo de edificio, el tipo constructivo, la función, las sensibilidades estéticas y los recursos, entre otros.

Uno de los aspectos que primero se debe considerar en cuanto a las estrategia es **emplazamiento** del edificio y dentro de este, la **orientación** y el **contexto** urbano o rural, donde se encuentra. La orientación definitivamente es crucial puesto que la dirección de la luz es distinta según los puntos cardinales y según la región del mundo donde uno se encuentre. En cuanto a la orientación está la orientación del edificio, sus muros, sus cubiertas, sus patios, así como las aberturas. Es imposible decir cuál es la orientación 'correcta' pues esta depende de si se quieren ganancias o ahorros de radiación solar. En la literatura sobre estos temas, que se ha desarrollado generalmente en países septentrionales, se privilegia la orientación que pueda captar las mayores ganancias de luz solar, esto es el sur, tanto para exponer sus partes, como sus aperturas (en el hemisferio sur corresponde al norte). La luz del occidente es bienvenida porque en la actividad humana requiere luz clara al despertar y el sol de esta hora viene acompañado de un calor positivo. La luz poniente es menos bienvenida puesto que ya se ha acumulado calor suficiente durante el día como para que la radiación empeore las condiciones de confort térmico dentro de los edificios. Para trabajos que requieren luz constante se privilegia la orientación norte para las aberturas (sur en el hemisferio sur) puesto que es una luz siempre indirecta, nunca produce sombras ni radiación directa, por lo tanto no genera calor por su acceso directo. La orientación

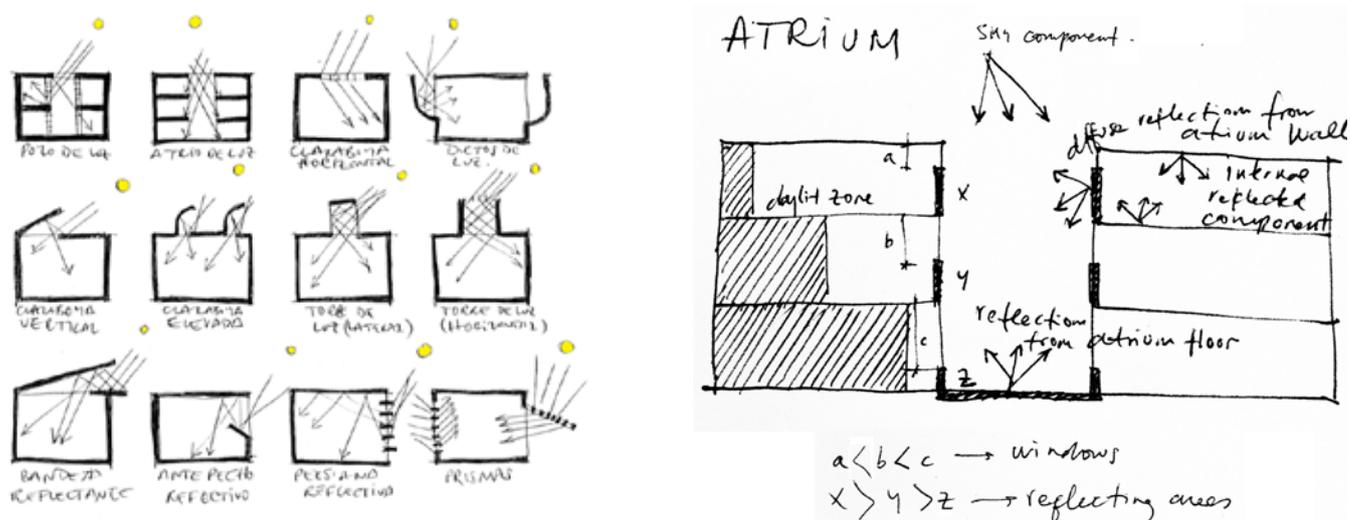


Figura 1.62: Diferentes aperturas para captar luz dentro de un volumen. Reflexión interiores dentro de un patio de luz. Fuentes: Archivo de la autora.

define también las sombras, y esto es crucial para definir las formas del edificio. Por ejemplo, un edificio escalonado orientado hacia el sur (norte en el sur del mundo) recibe mucha mayor cantidad de sol y luz, que si se orienta al norte. Por lo tanto en las propuestas de alturas, partes y huecos, se debe considerar la orientación en cuanto a los ángulos solares y sus respectivas sombras arrojadas. Así como la densidad y la forma del grano urbano pueden permitir el acceso de luz en ciudades oscuras, las ciudades densas, llamadas ciudades-sombra, pueden garantizar un control del exceso de radiación que se da en zonas muy soleadas y secas, como en los desiertos.

Dentro del emplazamiento, el **grano urbano** es un factor determinante en las cantidades de luz que llegan al interior de un edificio. En países cercanos a los polos con escasa cantidad de luz solar, la orientación de los edificios y la forma del grano urbano es una estrategia de vital importancia, lo que se contradice en muchos casos con la construcciones en altura de las ciudades contemporáneas. Las ciudades actuales, con edificios de gran altura están dejando el suelo y sus alrededores en penumbras durante todo el día, lo que es un gran problema en meses de invierno pues no sólo resulta una zona oscura sino también fría y húmeda. En meses de calor en cambio, la inclinación solar favorece el acceso de luz pues el sol llega más vertical, y sin embargo estas zonas permaneces aún frescas.

En cuanto a las **perforaciones** de un edificio, una de las más importantes por su envergadura es el patio. El patio de luz en un legado de la arquitectura de la casa romana. Se usa en Occidente y en Medio Oriente, particularmente en la arquitectura árabe que muchas veces se plantea como una envolvente de un patio. Esta estrategia de captación de luz llega a América con la conquista española y es utilizada hoy en día en todo el mundo con versiones contemporáneas como lo que actualmente llamamos espacio atrio. Este espacio nace también por la capacidad de construir en altura y salvar luces de grandes dimensiones gracias al desarrollo tecnológico en la construcción (Figura 1.62).

La **perforación de la envolvente** es uno de los más importantes factores que puede determinar la cantidad de luz que entra en un edificio (Figura 1.63). Las aperturas se relacionan directamente con la



Figura 1.63: Dos estrategias para captación de luz, apertura en la envolvente (ventana en Portugal) y reflexión urbana de un muro cortina (Santiago). Fuentes: Archivo de la autora.

orientación pero también con la forma del edificio y el contexto en el que se encuentran. La evolución de la apertura, dada por la viga dintel en un principio y luego por el arco, llegó a alcanzar una dimensión tal que hoy la perforación misma se ha transformado en la envolvente. Se trata de edificios con muros cortina donde la piel se ha transformado en una membrana translúcida y ya no necesita de perforaciones para el acceso de luz (aunque puede que las requiera para ventilación). En la actualidad hay un sinnúmero de formas de hacer un muro, desde una piel compacta y hermética hasta una porosa que permite el acceso de luz y a veces aire. También puede ser traslúcida si se utiliza vidrio o concretos translúcidos, sin necesidad de abrir vanos.

Las aperturas pueden estar en los paramentos verticales como en la cubierta. La apertura en la techumbre de un edificio reviste menores problemas estructurales que el muro porque, por una parte la techumbre está construida generalmente con entramados en los cuales pueden dejarse huecos, y porque la luz que entra en forma cenital es tres veces mayor que en la vertical, por tanto los vanos pueden ser más pequeños e igual de eficaces. Sin embargo, en edificios de varias plantas, las parturas cenitales solo pueden alcanzar los pisos superiores a menos que se trate de perforaciones tan grandes que constituyan patios.

Respecto de la **forma del volumen**, sin duda la **crujía** es crucial: un edificio delgado tiene mayor proporción de envolvente respecto del espacio interior. Si la envolvente es mayor, mayor es la posibilidad acceder luz desde el exterior. Ésta puede ser una buena forma de edificación densa manteniendo acceso al exterior y por tanto a la luz y la ventilación. Esta estrategia es ideal para construir en pendiente puesto que la crujía de los pisos inferiores no se ve perjudicada por la distancia entre fondo y frente. Este tipo de edificios en las ciudades sin pendiente suele utilizar esos espacios oscuros para aparcamientos. El **retranqueo vertical** puede ser también una estrategia volumétrica, tanto de acceso como de control lumínico, dependiendo de la orientación de los quiebres. En países oscuros se tiende a orientar hacia el lado favorable a la luz, en países con mucho sol se tiende a defender de él (Figura 1.64).

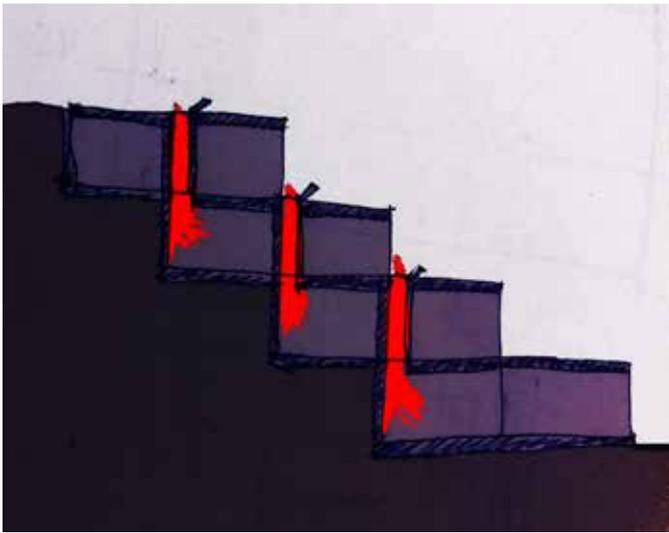
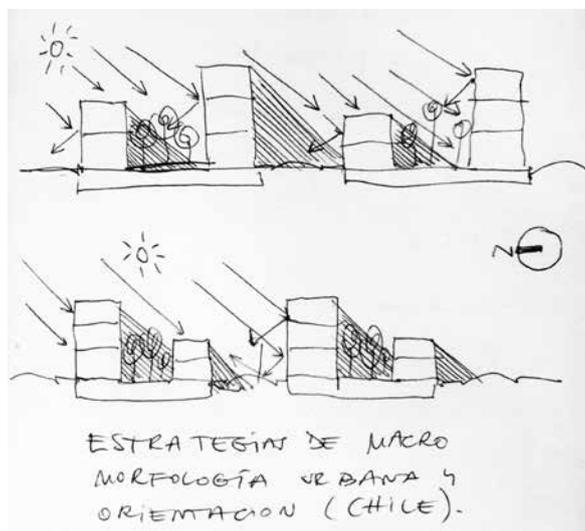


Figura 1.64: Estrategias para captación de luz cenital, por retranqueo y patio de luz en Madrid. Fuentes: Archivo de la autora.



Figura 1.65: En los vegetales el crecimiento hacia la luz se llama fototropismo, algunas construcciones humanas también son fototrópicas. Retranqueos-perforación de la fachada. Fuentes: [www.xatakaciencia.com](http://www.xatakaciencia.com) y [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl).

Figura 1.66: Abajo: estrategias de captación de luz según la tipología urbana, esquema y ruinas urbanas fototrópicas de Machu Pichu. Fuentes: Archivo de la autora y [www.reconstruindopassado.blogspot.com](http://www.reconstruindopassado.blogspot.com).



Otra gran estrategia es el manejo de la luz dentro del edificio y en cuanto a esto la manipulación de las **obstrucciones** es fundamental. Un gran legado de la arquitectura moderna fue sin duda la planta libre, que pudo lograrse gracias al desarrollo de la arquitectura en acero. Esta nueva forma de espacialidad ha generado cambios profundos en la manera que utilizamos el espacio y hoy en día esta idea de libertad de uso interior del edificio es también una estrategia que se utiliza en rehabilitación de edificios históricos.

Para el control de luz, la **obstrucción interior** en los vanos es tan antigua como los vanos mismos. Ya los romanos utilizaban cortinas de tela, celosías de madera o piedra. Como estrategia es muy difundida, como sistema hay infinitas respuestas. El uso de elementos de obstrucción exterior al edificio es también muy antiguo porque es la condición que impone el contexto inmediato. El asunto es como manejarlo adecuadamente. El uso de vegetación tiene la ventaja de poder responder a los requerimientos estacionales de manera adecuada, tapando el sol en verano y dejándolo entrar en invierno (Figura 1.65).

Si las condiciones lo permiten, el manejo de la **reflexión** que viene del **exterior** puede ser una importante fuente de iluminación interior, con algunas características peculiares, como por ejemplo que la luz reflejada suele venir de abajo o de los lados, no desde arriba, de donde estamos más acostumbrados a recibirla. La **reflexión interna** de un recinto dada por el color puede ayudar a no tener pérdidas de luz hacia el fondo del recinto, o bien puede disminuir la luz reflejada mediante colores oscuros. Nuevos materiales como cemento blanco, metales bruñidos, revestimientos cerámicos permiten y un control muy preciso de la reflectancia interior.

Sin duda, una de las formas más arcaicas de mantenerse confortablemente respecto del acceso de sol es a través de la **sombra** (Figura 1.66). Esta estrategia es anterior a la arquitectura puesto que en la naturaleza hay un sinnúmero de situaciones que permiten el resguardo del Sol, desde la sombra de un árbol hasta el cobijo de una cueva.

## 1.3.2. SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

### 1.3.2.1. LA VENTANA

La ventana es la parte transparente o translúcida de la envolvente. Juega un papel muy importante en la composición de la fachada llegando a ser el total de ella en el caso de los muros cortina. La ventana es además el elemento más importante en la relación del interior con el exterior, tanto en lo que se refiere a luz, vistas e iluminación, calor, sonido y aire. En inglés el término '*window*' proviene de las palabras *wind* (viento) y *eye* (ojo), lo cual demuestra la importancia de este elemento en el intercambio de aire (ventilación) entre interior y exterior. Además del aire, las vistas y la luz, la ventana vidriada sirve para obtener ganancias de calor, lo cual puede ser provechoso en tiempos o lugares fríos, pero muy desventajoso en verano, lo cual puede combatirse con sombra (Figura 1.67 y Figura 1.68).

Las ventajas de la ventana como la penetración de luz, vistas al exterior, ventilación, acusticidad y ganancias de calor pueden transformarse todas en desventajas para lo cual el diseño de la ventana debe estar preparado. Los sombreaderos, persianas, quiebravistas pueden controlar muy bien estas desventajas pero pueden incurrir en la excesiva eliminación de la iluminación interior con el fin de mantener el control térmico y de deslumbramiento (Garcíarramos, Alonso 1991).

Dentro del sistema de ventanas, son de interés el desarrollo de materiales novedosos como sales expansivas, films adherentes o líquidos transparentes entre cristales como agua químicamente tratada, que podrían modificar substancialmente la calidad y cantidad de luz que entra por la ventana. Dentro del sistema de ventanas, son también de gran interés las investigaciones en cuanto a elementos externos a ella, pasivos y dinámicos, capaces de mejorar las condiciones lumínicas controlando los excesos y falencias lumínicas mediante postigos, persianas, sombreaderos, quiebravistas y bandejas. Todos ellos se explorarán más adelante como sistemas complementarios a la ventana.

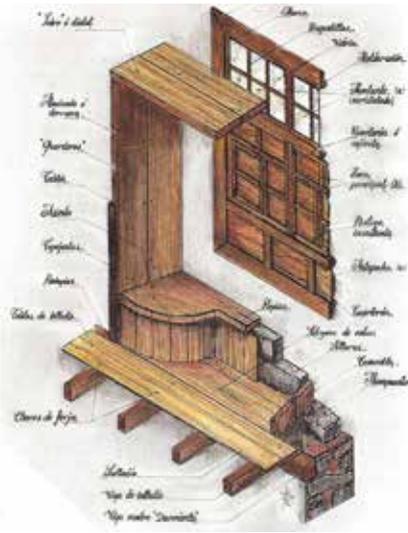


Figura 1.67: Arriba: Ventanas en Madrid, Ventana histórica de Canarias, ventana del Museo de la Cerámica de Lisboa. Fuentes: Archivo de la autora, y La ventana Tradicional (Garcirramos, Alonso, 1991).



Figura 1.68: Centro: Ventanas curvas del Centro Pompidou y ventanas en la linterna de un patio en Ovalle, Chile. Fuentes: Archivo de la autora. Abajo: Ventanas de un edificio de Hongkong y ventanas de la Biblioteca de Rovaniemi, de Alvar Aalto. Fuentes: <http://photomichaelwolf.com> y [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).



### **1.3.2.2. SISTEMAS DE CONTROL**

Los sistemas de control o sombraderos son en general elementos complementarios al vano y cumplen distintas funciones: minimizar la entrada de radiación solar para reducir las ganancias de calor; evitar el calentamiento de lo que se encuentre en el interior por la recepción de rayos de sol directo, lo cual produce también calor dentro del recinto; reducir la iluminancia (deslumbramiento) de las superficies que pueden causar deslumbramiento en los ocupantes; y prevenir el deslumbramiento proveniente de las superficies iluminadas en el exterior, las nubes o el propio sol (Figura 1.69).

Todos estos objetivos deben garantizar que la obstrucción de luz no llegue a niveles tan altos como para necesitar de luz artificial. El desempeño de los sombraderos se mide a través del coeficiente de sombra. Este coeficiente mide el porcentaje de radiación solar (en espectro visible o no visible) que logra incidir hacia el interior comparado con el de la ventana sin el sombradero. Se debe incluir la radiación reflejada dada por el propio sombradero y la de los elementos de la ventana. El coeficiente de un vidrio es 1 y el de un muro es 0 por lo que en realidad el término debiera ser coeficiente de transmitancia relativa (Baker, Steemers Op.cit. 110).

La fracción de luz que entra por la ventana, pasando tanto por los vidrios y sistemas de sombreadamiento, se define como transmitancia lumínica.

Por último, cabe destacar que los distintos tipos de sombradero suelen incidir fuertemente en la apariencia exterior del edificio, sobre todo cuando son externos, lo que debe considerarse en cualquier tipo de proyecto (Figura 1.70).

#### **Sombreaderos retráctiles o practicables**

Los sombraderos retráctiles como persianas y celosías permiten que la transmitancia sea total cuando están retraídos pero lo importante es poder graduar la cantidad de luz cuando están cerrados. Se



Figura 1.69: Arriba: Sombreaderos en el Desierto de Atacama. Fuente: Archivo de la autora.

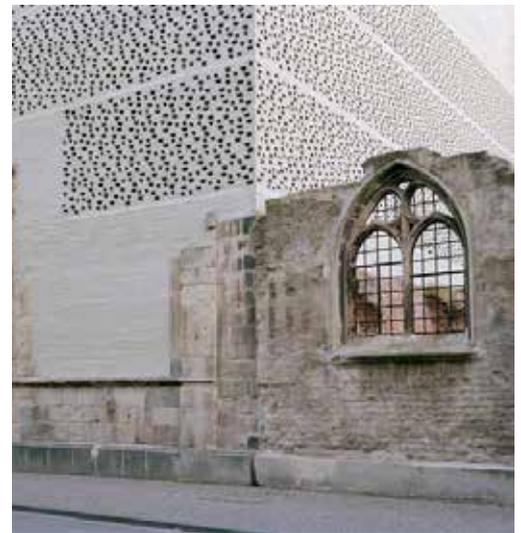


Figura 1.70: Centro: Muros perforados que controlan la luz, balcón con celosía de madera y muro en una obra de reciclaje. Fuentes: [www.flickr.com](http://www.flickr.com) y <http://zumthor.tumblr.com>. Abajo: Sistema de control lumínico y visual, tela y materiales contemporáneos. Fuentes: Archivo de la autora y [www.tokujin.com](http://www.tokujin.com).



debe tener en cuenta que la visión y la ventilación se ven afectados por los sistemas de sombra. Los sistemas retráctiles pueden permitir la ventilación y visión cuando están abiertos pero a menudo sucede que cuando hace calor se deben cerrar lo cual no permite la ventilación cuando más se necesita.

Dentro del tipo retráctil, depende mucho su desempeño el tipo de persiana o cortina que sea, su material y su forma. Las persianas de color oscuro son una elección deficiente puesto que no reflejan luz hacia el interior y además se calientan ganando calor hacia el interior del recinto. Las persianas de color claro tienen mejor desempeño por su reflexión hacia el interior pero gran parte de la radiación no visible se transforma en energía en forma de calor al incidir sobre ella lo cual aporta calor al recinto. Las persianas o cortinas aluminizadas combinan ambas reflexiones, de radiación visible e invisible con baja transmitancia. Las persianas opacas que dejan partes de acceso reducen de todas formas demasiado la transmitancia y pueden provocar deslumbramiento en la zona abierta (Figura 1.71).

Las persianas tipo celosía pueden dejar paso a la total transmitancia cuando están abiertas. Por otra parte pueden ponerse apuntando hacia abajo afuera y de este modo reflejar el rayo directo que sobre calienta y recoger las reflexiones del entorno, como la calle o fachadas en frente. Si la persiana es de color claro puede servir de bandeja de luz y reflejar hacia el cielo del recinto aportando una fuente de luz que no deslumbra. Este tipo es muy usado en el sur de Europa. Este antiguo sistema a veces presenta pequeñas intervenciones que contribuyen a su utilización, como la barra que une las tablillas y que permite la apertura de todas ellas al mismo tiempo. Estas persianas no son retráctiles pero suelen estar en un elemento externo al paño vidriado por lo que pueden abrirse dejando el paso total de luz.

Las persianas retráctiles o persianas venecianas se realizaron originalmente en madera, actualmente se hacen de aluminio o plástico. También cuentan con sofisticados sistemas de regulación del ángulo y la apertura los que pueden ser manuales o automatizados (Figura 1.72).

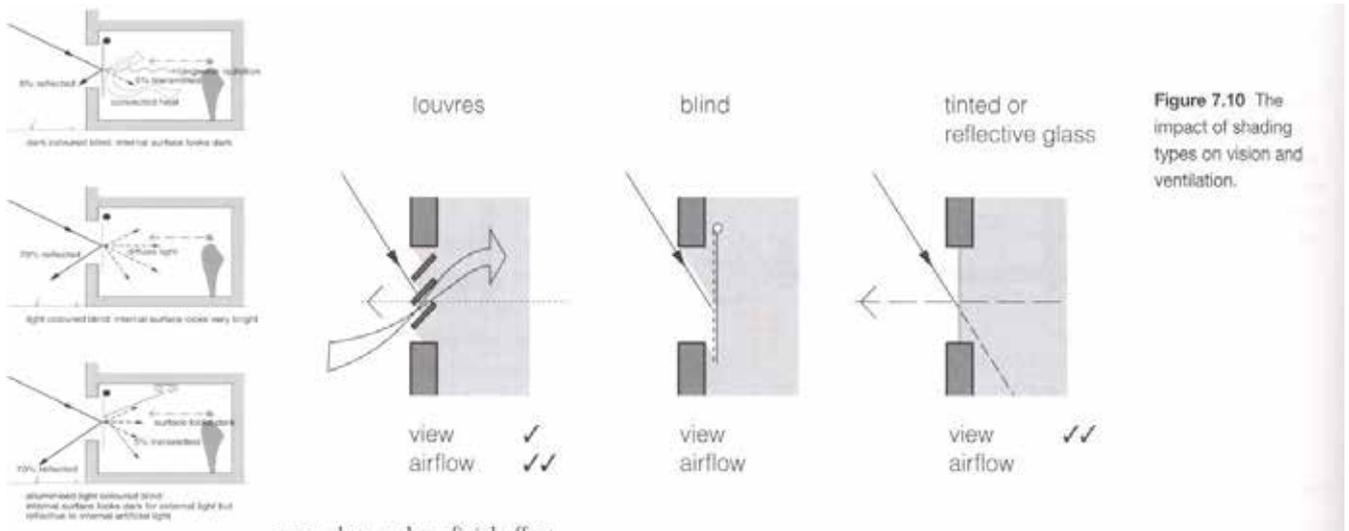


Figura 1.71: Esquemas de reflexión y ventilación en el sistema de persianas. Fuente: Baker, Steemers, Pág. 112. Abajo: Esquema de reflexión, persianas verticales y persianas horizontales. Fuente: Baker, Steemers página 114, [www.luxaflex.cl](http://www.luxaflex.cl) y elaboración propia.



### **Persianas retráctiles**

Dependiendo de la inclinación de las tablillas la transmitancia varía mucho. Si la persiana es delgada y de color claro puede llegar a casi igualar la transmitancia de una apertura sin obstrucción. También sucede que entre tablillas se produce interreflexión dando como resultado una nube de luz difusa en torno a la persiana.

Una ventaja-desventaja es que la persiana permite el paso del aire pero a la vez es vulnerable al viento por lo que puede deteriorarse o molestar a los ocupantes. Este problema se puede mejorar poniendo la persiana entre vidrios. Cuando las persianas van por fuera deben ser estructuralmente más resistentes, lo cual las hace ser motorizadas en muchos casos. Persianas con reflexión especular han sido desarrolladas con gran especificidad de ángulos para calcular la reflexión hacia el interior.

### **Sistemas incorporados a la ventana**

Las persianas tipo celosía pueden ser consideradas dentro de este grupo puesto que, como se menciona, suelen ser un elemento complementario al paño vidriado de la ventana. De este tipo de sistema se distinguen dos grandes grupos, los que presentan celosías, fijas o móviles, y los opacos que son denominados postigos (Figura 1.73 y Figura 1.74). Los postigos y las celosías pueden estar por dentro de la ventana o por fuera, en cuyo caso suelen complementar la función de seguridad, sobre todo si se construyen con materiales resistentes. Los postigos en Chile fueron muy comunes hasta la mitad del siglo XX por lo que es posible encontrarlos en una parte importante de edificios a rehabilitar. Actualmente las ventanas se construyen sin postigos puesto que son difíciles de realizar cuando las ventanas se hacen en PVC o aluminio. Por otra parte, en madera resultan excesivamente costosos lo que ha impedido su prolongación en el tiempo. El postigo es un elemento de muy fácil manejo y de gran efectividad de sombra y control visual. Tienen la desventaja de que ocupan espacio en el desarrollo de su apertura. Han dejado de utilizarse porque el control visual es menos intermedio que las cortinas

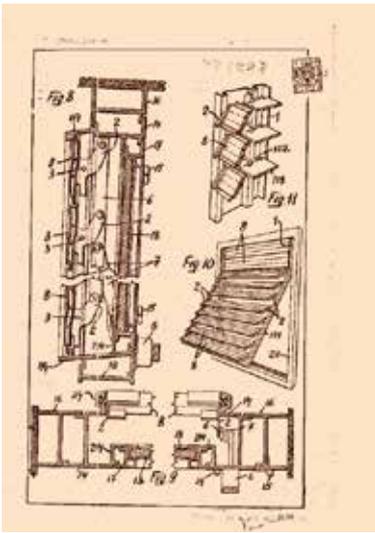


Figura 1.73: Arriba: Sistemas tradicionales de persianas, quincallería de postigos (Santiago de Chile) y celosías ajustables (Madrid). Fuentes: La ventana Tradicional (Garcíaramos, Alonso, 1991) y Archivo de la autora.



Figura 1.74: Centro: Sistema de control lumínico y visual: postigos de la casa de Barragán y postigos exteriores en Barcelona. Fuente: Archivo de la autora. Abajo: sistemas de control lumínico y visual: postigos exteriores de madera en San Pedro de Atacama y puerta de madera de cactus en Caspana, Atacama. Fuente: Archivo de la autora.



de género. Algunos postigos son divididos horizontalmente para poder diferenciar la parte superior e inferior de la ventana, para controlar con más precisión tanto los niveles de luz como de ventilación.

### **Sistemas fijos**

Los sistemas de tipo fijo, como bandejas, quiebravistas, etc. reducen las cantidades de luz que entran por la ventana. A pesar de esto, en los casos en que el sistema actúa incrementando la reflexión hacia el interior, la direccionalidad puede incluso potenciar la iluminancia hacia sectores más alejados de la ventana. Los sistemas fijos de obstrucción como pantallas o vidrios especiales disminuyen la radiación todo el tiempo y disminuyen la iluminancia hacia el interior del recinto (Figura 1.75).

Las bandejas o sistemas que sobresalen seleccionan de manera simple el rayo a obstruir según la geometría de la trayectoria solar. Por eso funcionan bien para fachadas asoleadas, sur en el hemisferio norte y norte en el hemisferio sur. La facilidad con que puede calcularse el control solar en una fachada norte (asoleada) versus lo complicado que resulta el control de los inclinados rayos del este y el oeste, hace que las ventanas con orientación norte sean preferibles. En la fachada sombreada, la fachada sur en Chile, pueden usarse como control de luminancias externas pero obviamente no contribuyen al asoleamiento directo (Figura 1.76 a).

En climas fríos donde es importante la ganancia de calor en invierno y verano, los sombreaderos externos pueden perjudicar la ganancia de calor cuando el Sol está en su ángulo más abierto de la trayectoria. Si los sombreaderos son fijos, esto puede ser una importante desventaja.

Las bandejas de luz tampoco son recomendables en edificios con poca luz, como por ejemplo los que enfrentan zonas llenas de vegetación, puesto que impiden el acceso de luz hacia el interior. En ese caso se puede combatir el deslumbramiento o asoleamiento con una graduación de las opacidades del vidrio en sentido vertical, más opaco hacia abajo y hacia arriba cada vez más transparente.

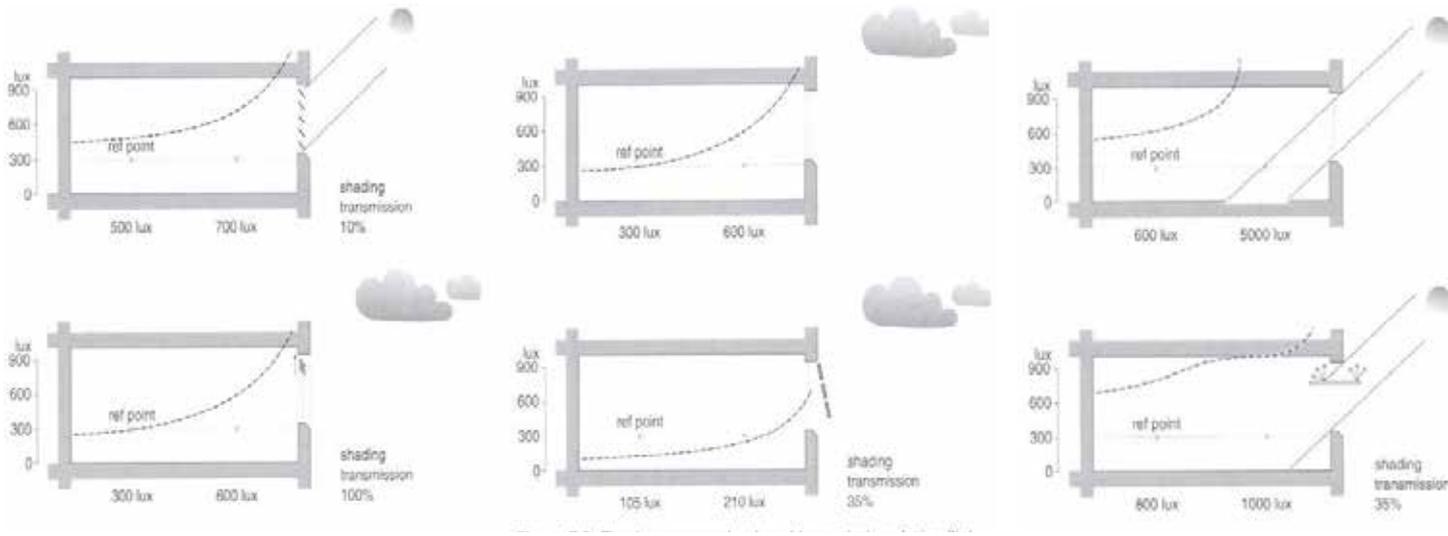


Figura 1.75: Arriba: Esquemas de luminosidad según el sistema de control lumínico en la ventana. Fuente: Baker, Steemers, página 111



Figura 1.76: a. Bandejas deluz integradas a la ventana (sistema comercial) y bandejas de luz cenital en la cubierta. Fuentes: Wausau\_SunShadeLightShelf\_sample\_hc-blackmilk.xf.cz. b. Sistema de control lumínico y visual: mashrabiayah en Sanaa y bandeja de luz integrada al muro. Fuentes: www.treehuger.com.



Las condiciones más propicias para la utilización de sistemas de sombreado fijo por ende, se presentan en zonas soleadas y calurosas donde las bandejas de luz pueden ser muy efectivas puesto que proporcionan sombra al vano e introducen luz al fondo de los recintos (Figura 1.76 b).

Las pantallas de piedra o *mashrabiya* (son un tipo de sombreadero antiguo que surge en climas tropicales y secos donde no se necesita control de pérdida de calor. Permite reducir los altos índices de radiación y a la vez permitir el paso de aire para ventilación cuando no son vidriados. Sin embargo ocurre que estos sistemas se utilizan en habitaciones tradicionales que no demandaban grandes cantidades de luz para sus actividades interiores. En conclusión, los sistemas de sombra fijos y las obstrucciones no selectivas no son recomendados para incrementar la disponibilidad de luz solar (Baker, Steemers Op.cit. 117).

### **Vidrios de control de radiación**

Los vidrios de control de radiación solar idealmente pueden prestar ventajas para dejar pasar selectivamente la parte visible del espectro solar y filtrar el resto que produce calor el interior. Sin embargo, la parte visible también se ve reducida porque en la mayoría de los casos estos vidrios disminuyen más la parte visible del espectro que la invisible que produce más calor. En este sentido lo que mejor funciona es el vidrio común de 6 mm, los vidrios de composiciones especiales y los materiales de *high performance* como films adhesivos.

Vidrios con transmisión reducida en climas templados reducen tanta luz como radiación no deseada por lo que con sólo reducir el tamaño de las ventanas se obtienen las mismas cantidades de luz y sin obstrucción de las vistas. En ese sentido, en climas fríos la reducción del vano se complementa con las áreas más amplias de muros que pierden menos calor que las zonas vidriadas. Estas cifras demuestran que ganar luz abriendo vanos más grandes pero poniendo vidrio con menor transmitancia no es efectivo puesto que en proporción se reduce más la cantidad de luz que las ganancias de calor.

Table 7.6: Typical light and total energy transmission for glazing.

Glazing type	Light transmittance	Total transmittance
6 mm float glass	0.87	0.83
Bronze absorptive	0.12	0.32
Green absorptive	0.30	0.39
Blue reflective	0.26	0.37
Green high performance	0.35	0.25
Selective high performance	0.76	0.46

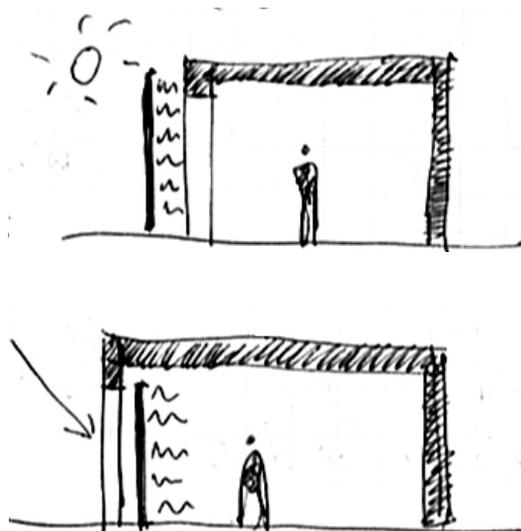


Figura 1.77: Transmisividad según tipo vidrio y esquema de irradiación de calor según posición del sistema de control solar, interior y exterior. Fuentes: Baker, Steemers, tabla p 117 y elaboración propia.

Un tipo de vidrio de control solar que funciona relativamente bien es el *fritted glass*. Consiste en un vidrio al cual se le han incorporado partículas cerámicas, generalmente blancas, de entre 1 a 10 mm ocupando entre un 30 y un 70% de la superficie total. Estas partículas reflejan en las mismas proporciones todas las longitudes de onda del espectro e interfieren poco en la visibilidad hacia el exterior cuando éste está más iluminado. Esto también se traduce en que da lo mismo tener este tipo de vidrio que reducir el tamaño de la ventana, pero el área de visibilidad es menor.

Todos los sistemas de sombra frente a la superficie del vidrio pueden ser colocados por dentro o por fuera (Figura 1.77). Esto no influye mayoritariamente en los niveles de transmitancia lumínica. Donde sí afecta enormemente es en el desempeño térmico. En el caso de estar por dentro, el elemento de sombra será calentado por la radiación solar y transmitirá ese calor hacia el interior de la habitación por convección y radiación (Ibid, 118). Frente a esto se infiere que para climas cálidos la mejor solución es poner el sistema por fuera pero en ese caso éste debe estar construido de tal manera de poder resistir su posición a la intemperie, lo cual puede incrementar los costos. Por el contrario, en climas fríos el calentamiento del sombreadero puede ser una fuente de calor adicional. Por otra parte, en invierno pueden contribuir a mejorar la aislación térmica de la ventana y evitar pérdidas térmicas.

Existen asuntos que pueden parecer menores a considerar en la aplicación de sombreaderos, pero que en la práctica resultan fundamentales. Por ejemplo, al abrir la ventana el sistema de sombreado puede obstruir la apertura y puede hacer que el sistema se deteriore con rapidez, lo que es altamente visible en una fachada. En los casos de sistemas enrollados o plegables, se debe considerar el espacio que ocupa el sistema cuando está retraído, este espacio está en proporción al tamaño del vano, el problema es que mientras más grande es el vano, más grande es el bulto y menos superficie de pared va quedando para almacenarlo. Por otra parte, la caja suele ser un elemento en extremo visible en la fachada lo que puede ser molesto en el caso de edificios existentes que incorporen este sistema a posteriori. En el caso de los sombreaderos que se ocupan en las aperturas en los cielos, el hecho de que esté por dentro incide menos puesto que el calor ganado por absorción se queda en la parte su-



Figura 1.78: Vidrios de control solar, con fibras naturales y tratamientos cerámicos. Fuentes: [www.theandeshouse.com](http://www.theandeshouse.com) y [subway\\_canopy\\_frit](http://subway_canopy_frit).

terior del recinto, no afectando mayormente a los ocupantes. Si a este sistema se le incorpora ventilación el efecto puede ser enormemente beneficioso puesto que además se generan corrientes de aire en el interior. En el caso de incorporar este sistema en edificios ya construidos siempre está el riesgo de que no alcance el espacio interior para su almacenamiento mientras está retraído.

### 1.3.2.3. SISTEMAS AVANZADOS DE ILUMINACIÓN NATURAL

La ventana es el medio más común para iluminar naturalmente. Este sistema no lleva intrínsecamente un método de redireccionamiento de la luz y para lograr esto se deben incorporar dispositivos ópticos algunas veces además de las ventanas o incorporados a ellas. La combinación de los elementos se denomina sistema de iluminación natural, el que está frecuentemente asociado en nuestro imaginario a sistemas tecnológicamente avanzados, basados en nuevos materiales y productos.

Hay muchas maneras de categorizar los sistemas de iluminación natural, una de ellas es la clasificación según sus características geométricas.

- **Reflectores y bandejas de luz:** Pueden ser interiores o exteriores, dependiendo de su dimensión pueden ser de alto impacto en la arquitectura (Figura 1.79).

- **Elementos integrados a la ventana:** En general se trata de dispositivos ligeros y complementarios al vano como persianas, celosías, filmes prismáticos, aisladores transparentes, *laser cut panels*, filmes holográficos, etc. por lo general dispuestos a poca distancia del vidrio, en el vidrio, dentro del vidrio o dentro del paquete de vidrios. El hecho de que sean asociados al vano ya existente puede ser una ventaja en proyectos de rehabilitación. Además esto por lo general facilita su utilización. Algunos de estos dispositivos son muy antiguos y otros basados en las tecnologías más recientes (Figura 1.78 y Figura 1.80).



Figura 1.79: Sistema Luxfer de vidrios prismáticos para redireccionar la luz. Fuente: [www.images-vandm-biz.com](http://www.images-vandm-biz.com)

- **Ductos de luz o lumiductos:** Son utilizados en los casos en que no se puede tener acceso al ingreso de luz por la perforación de la envolvente del edificio, ya sea porque el recinto es mediterráneo, sin acceso al exterior o por disposiciones que no permitan la perforación o modificación de fachadas, por ejemplo en el caso de rehabilitación de edificios protegidos. Se considera lumiducto al sistema que ocupe entre 0.2 a 2 m<sup>2</sup> de sección.

- **Transportadores en base a reflexión interna total (TIR):** Sistemas en base a fibra óptica como Pans© o Sollektor©.

- **Sistemas integrados:** Donde se ocupen dos o más de los sistemas descritos anteriormente.

Hay cuatro situaciones en las cuales es apropiado usar estos sistemas.

- Cuando el edificio está rodeado de obstrucciones se puede dirigir la colección lumínica hacia donde no las hay.
- Cuando el recinto es demasiado profundo y las ventanas no logran entregar los niveles adecuados de luz en la parte más alejada del vano.
- Cuando se necesita controlar la radiación directa que genera deslumbramiento y sobre calentamiento, principalmente en climas muy soleados.
- Cuando se necesita una luz continua, sin asoleamiento directo por ejemplo en museos, hospitales, laboratorios, bibliotecas, etc.

Estas circunstancias no consideran las necesidades de sombra, ventilación o vistas.

Para elegir el sistema adecuado, el proyectista debe poner en orden de prioridad las falencias y los requerimientos u objetivos. Por ello se debe tener clara la pregunta sobre el propósito principal del sistema propuesto. Pero a esta pregunta siempre viene aparejada la necesidad de responder a los medios disponibles y los requisitos normativos, estéticos y funcionales del lugar a intervenir. Los siste-

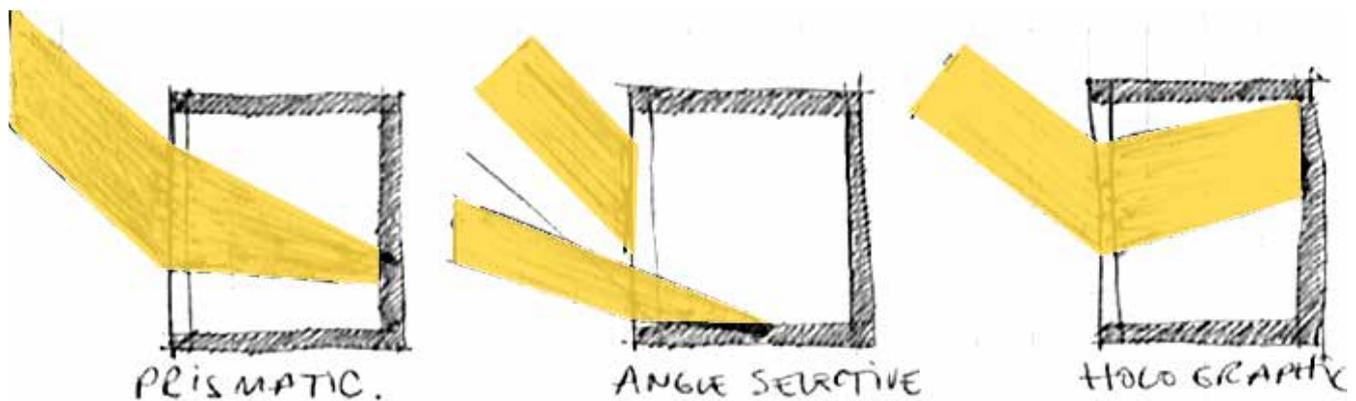


Figura 1.80: Esquemas de redireccionamiento lumínico de films adhesivos. Fuente: Archivo de la autora.

mas avanzados ocupan frecuentemente fenómenos ópticos de reflexión, refracción, absorción, TIR y difracción. Estos procesos inevitablemente generan pérdidas de luz significativas y cambian las maneras de distribución originales. Todos los sistemas se componen de un captador de luz solar, una zona de transporte de luz y el emisor en la salida de luz hacia el recinto, inclusive la ventana.

Debido a la naturaleza cambiante de la geometría solar, los sistemas muchas veces sufren cambios de forma para adaptarse a la trayectoria solar. Estas adaptaciones pueden ser manuales o automáticas y va desde el cambio en la inclinación de las tablillas de las persianas, hasta los movimientos computarizados de seguimiento solar en el captador de un sistema altamente tecnológico. Los sistemas de iluminación solar suelen ser entendidos como sistemas permanentes de asoleamiento-sombra mientras mejoren las condiciones de difusión de la luz solar pero si se analizan las necesidades de asoleamiento y sombra estas pueden diferir radicalmente, lo que incide ostensiblemente en el diseño del sistema. Y más aún si se trata de un sistema fijo. Por ejemplo, para un sombreadero de orden vertical se deben proteger las aperturas desde la mitad o más del área visible de cielo contra el asoleamiento directo, mientras que para uno de orden horizontal sólo un tercio del cielo visible necesita ser protegido.

El diseño de los sistemas debe compensar la parte que se pierde de incidencia de luz solar. Mientras que los sistemas fijos son usados predominantemente en climas soleados garantizando la transmisión de luz reflejada del entorno, en las zonas de cielos cubiertos estos sistemas fijos no son en absoluto recomendables puesto que la única manera de compensar las pérdidas de luz es incrementar las áreas de apertura con un factor al menos igual al de las cifras de la tabla anterior. Por ejemplo, comparando una apertura vidriada normal con una de sombra fija diseñada para bloquear la totalidad del asoleamiento directo en verano, en una fachada norte (hemisferio sur), debiera tener un área de apertura entre un 13 y un 30% más grande (dependiendo de la latitud) para proveer una respuesta similar en condiciones de cielo cubierto. En otras palabras, se necesita una diferencia sustancial del tamaño de las aperturas para proveer de iluminación similar entre invierno y verano o soleado-nublado, lo que para los sistemas fijo es complicado puesto que no siempre pueden entregar tanta variabilidad.

Table 9.1: Fraction of the visible sky hemisphere occupied by the sunpath for various latitudes, time intervals and orientations.

Latitude	Interval	Facade orientation			
		South	East-West	North	Horizon
60°N	Summer	0.13	0.28	0.04	0.26
	Winter	0.37	0.22	0.00	0.18
	Year	0.50	0.50	0.04	0.43
47°N	Summer	0.23	0.29	0.04	0.24
	Winter	0.43	0.20	0.00	0.13
	Year	0.65	0.49	0.04	0.37
38°N	Summer	0.30	0.31	0.05	0.22
	Winter	0.44	0.18	0.00	0.10
	Year	0.74	0.49	0.05	0.32

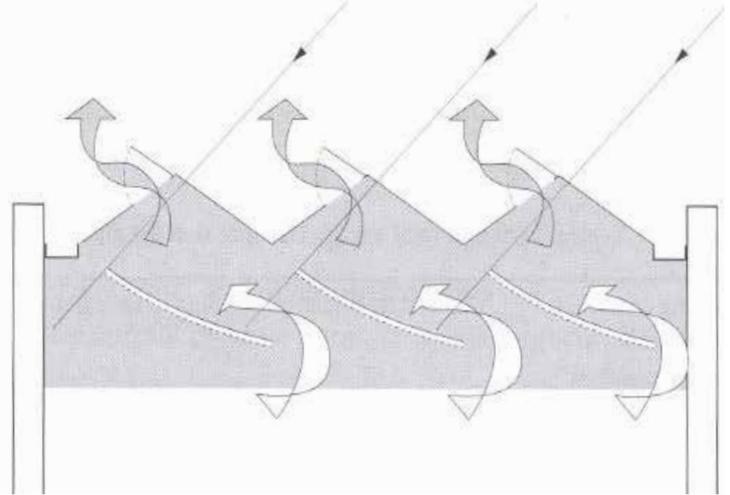


Figura 1.81: Fracción del cielo visible ocupada por el recorrido solar, según latitud del Hemisferio Norte, pero homologable al Hemisferio Sur. Gráfico de la ventilación en una atrio cerrado con un cielo translúcido con aperturas. Fuente: Baker, Steemers. pág. 13

## Reflectores externos

Existen muchos casos de reflectores externos, los más antiguos aún subsisten desde hace ya más de un siglo. Su objetivo es proveer de iluminación natural y muchas veces de vistas del cielo en recintos impedidos de verlo por obstrucciones exteriores muy cerradas. En lugares soleados o muy expertos, estos sistemas normalmente combinan la redirección lumínica con la producción de sombra. Para lograr esto, los reflectores deben estar rotados en su eje horizontal. En lugares de cielos cubiertos, las inclinaciones deben ser bastante considerables siempre y cuando esto no genere problemas con la lluvia. Como los reflectores externos están a la intemperie, su reflectancia se calcula en un 60% como máximo, incluso si están hechos de materiales especulares.

## Bandejas de luz

Este sistema consiste generalmente en bandejas horizontales o casi horizontales posicionadas a 2 m de altura desde el piso del recinto, en forma paralela a la ventana corrida horizontal, aunque en ocasiones pueden estar en el alféizar. Pueden ser totalmente interiores, exteriores o intermedias pero siempre se encuentran fuera del ángulo de visión hacia el exterior por la ventana, más arriba o más abajo. Las bandejas cumplen dos funciones, por una parte generar sombra debajo de la bandeja, sobre la ventana, en los momentos de mayor altitud solar, coincidentes con el verano y los períodos más calurosos. Por otra parte genera redireccionamiento de la luz hacia el cielo del interior del recinto gracias a su superficie superior reflectante, ya sea de color claro o de terminación especular. Su posicionamiento horizontal a lo largo de las ventanas corridas lo hace un elemento muy visible y de alto impacto en la apariencia de la fachada (Figura 1.81). En el caso de rehabilitación, su uso exterior está fuertemente condicionado por el tipo de edificio existente y su composición de las ventanas.

En general las bandejas de luz no incrementan los niveles de iluminación exterior respecto de una ventana de vidrio normal, su ventaja está en distribuir de mejor manera la luz haciendo posible la accesi-

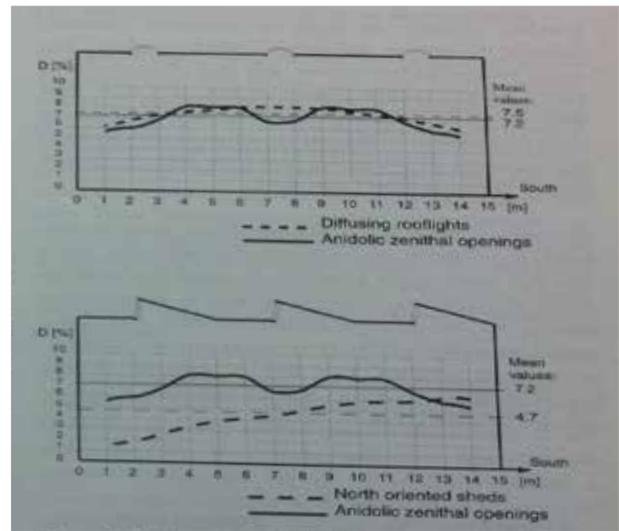
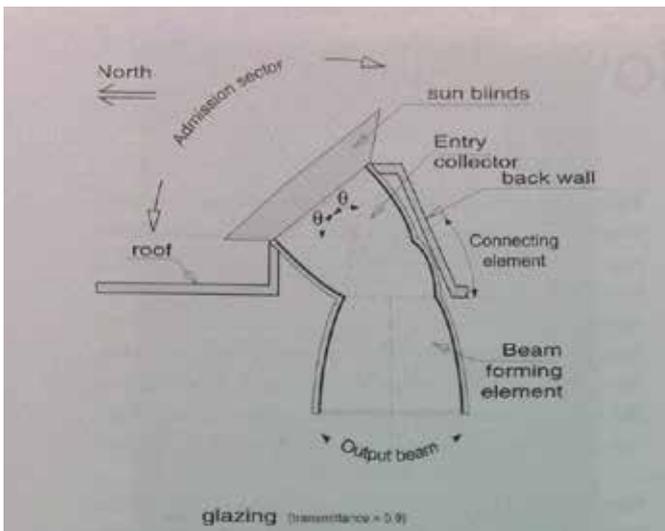


Figura 1.82: Sistema de captura cenital anidólica orientada al norte (hemisferio Norte), captura luz pero no rayos de sol para minimizar el deslumbramiento. Puede ser útil en lugares de trabajo y exposición. Gráfico de comparación entre de la distribución luminosa con cielos traslúcidos y orientados v/s anidólicos. Fuentes: Baker, Steemers. pág. 155. Baker, Steemers. Gráfico pág. 156.

bilidad de ésta hacia zonas más profundas de la habitación. Esto hace que la habitación mantenga un nivel más homogéneo de iluminación, evitando el uso de luz artificial en las zonas más alejadas de la ventana, pero también contribuye a disminuir los fuertes contrastes entre las zonas más iluminadas y las más oscuras, mejorando de otra manera el confort general y haciendo más eficiente la iluminación por la relación de acostumbramiento del ojo a niveles de iluminación más bajos. Por último, reduce las zonas que reciben radiación directa al actuar de alero cuando están ubicadas en la parte superior del muro.

La radiación directa que genera molestias por deslumbramiento y sobrecalentamiento en los ocupantes de las zonas afectadas, es redirigida en forma de luz indirecta evitando estas dos situaciones molestas. Para no generar obstrucción de los rayos en invierno, se deben medir con exactitud su profundidad con el fin de adquirir la cantidad de radiación directa adecuada según el ángulo de incidencia (aleros). En algunos casos, los ángulos de inclinación de las bandejas están pensados para redirigir la luz solar en invierno y expulsar la mayor cantidad posible en verano, contribuyendo a disminuir las ganancias de calor estival.

Si se combina una bandeja con un sistema anidólico sobre la superficie de la bandeja, si bien disminuye el tamaño de la apertura, se incrementan los niveles de iluminancia hacia el fondo de la habitación y se disminuyen las ganancias calóricas. Esto demuestra que las propiedades intrínsecas de la bandeja pueden mejorarse con un diseño apropiado.

Existen también otros aspectos que pueden manejarse respecto de la bandeja de luz, por ejemplo, la superficie reflectante de la bandeja se puede tratar de manera que no produzca manchas de radiación solar directa en el cielo (cuando recibe radiación solar directa). Esto reduce la eficiencia respecto de las superficies especulares por lo que está recomendado para regiones en extremos soleadas. El hecho de que las bandejas de luz no sean productos estandarizados ha hecho que su diseño se haya desarrollado con libertad, lo cual genera constantes cambios y mejoras en los sistemas. Han sido sistemas

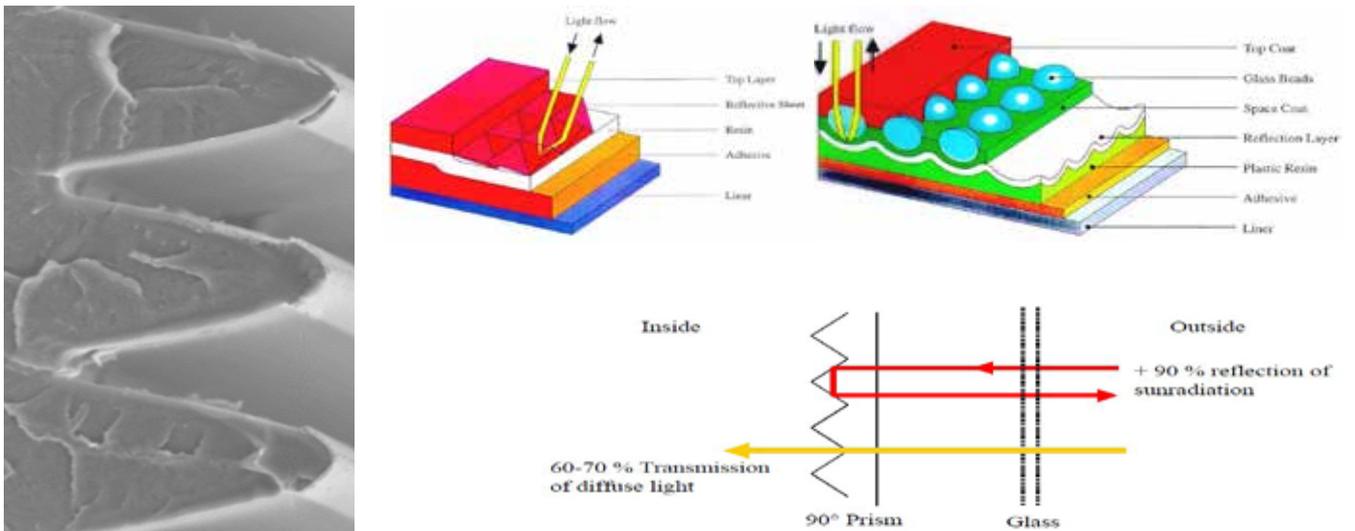


Figura 1.83: Films de redireccionamiento de luz, prismáticos y de bola. Imagen de microscopio y gráficos de reflexión. Fuentes: www.d-lite.org.

que se proyectan en conjunto con la arquitectura logrando una adaptación mayor que otros sistemas convencionales.

La focalización exagerada de efectividad lumínica, tanto de incremento del nivel de iluminancia como de la reducción excesiva de luminancias deslumbrantes, pueden hacer perder otros factores que son importantes para la satisfacción de los ocupantes, como por ejemplo la accesibilidad a las vistas del exterior al reducir las ventanas y posicionarlas fuera del alcance visual. También pueden presentar imágenes desagradables en la composición de la fachada del edificio interfiriendo con la propuesta estética general. Este tema es muy importante sobre todo en los casos de rehabilitación de edificios existentes.

### Sistemas Anidólicos Cenitales

Estos sistemas excluyen la penetración de radiación solar directa deben orientarse hacia el norte (en el hemisferio norte) o sur (en el hemisferio sur) y se pueden calcular sus ángulos de admisión solar de tal manera que el Sol no entre directamente más que por la mañana temprano o al final de la tarde en el período estival entre equinoccios (Figura 1.82). Con el fin de abarcar la mayor cantidad de cielo radiante sin sol directo, se puede calcular el ángulo de apertura partiendo del horizonte y llegando a la altitud máxima por latitud, esto es  $90^\circ$  menos la latitud, más  $23.45^\circ$  (ángulo de inclinación del eje terrestre).

### Elementos prismáticos

Los elementos prismáticos han sido usados desde principios del siglo XX con el fin de difuminar la luz solar directa. Actualmente se utilizan en sistemas innovadores también para difuminar la luz. Normalmente están hechos de materiales transparentes minerales (vidrio) o polímeros, cuyas caras son lisas por un lado y con un patrón prismático regular por el otro (Figura 1.83). Se pueden encontrar en



Figura 1.84: Sistemas prismáticos externos de redireccionamiento de luz. Fuente: [www.prismaplex.de](http://www.prismaplex.de).

ciertos lugares a escala comercial, en paneles de 1 cm hasta 1 mm de espesor. Gracias a su naturaleza transparente utilizan dos fenómenos ópticos, TIR. Esto hace que la predicción de la redireccionalidad y el rechazo de los rayos sea de difícil predicción, sin el uso de un programa de cálculo preciso y la colocación también precisa del elemento respecto de la posición solar.

En el ángulo  $0^{\circ}$  el elemento prismático actúa como un espejo perfecto evitando la transmitancia. Este fenómeno puede ser utilizado como una ventaja en sistemas de sombra. Sin embargo muchos de estos sistemas producen deslumbramiento dada la relación angular del sistema con el ángulo de incidencia de parte del cielo más brillante, cercana al sol. Es por esto que los sistemas prismáticos pueden ser complementados con algún medio de persianas o dispositivos móviles.

Se ha estudiado (Baker, Steemers Op.cit. 157) que frente a cielos cubiertos, los sistemas prismáticos pueden reducir los niveles de iluminación en comparación con una ventana de doble vidrio transparente normal. Sin embargo, en lugares en extremo obstruidos los prismas pueden ayudar a redireccionar la luz proveniente directamente de arriba mejorando en este caso el factor de luz diurna. Por lo tanto, en el uso del sistema prismático se deben estudiar cuidadosamente las características del lugar, lo que puede hacerse con actuales programas de simulación y cálculo. Los sistemas prismáticos impiden la visión nítida hacia el exterior, por lo que pueden ser colocados en la parte superior de la ventana con el fin de reducir la parte más vulnerable respecto de la radiación directa. Las facetas del elemento prismático pueden ser tratadas en forma industrial con materiales reflectantes, como aluminio, lo que puede por una parte evitar el ingreso de sol directo y por otra, mejorar la redireccionalidad de la luz hacia el interior (Figura 1.84). Dada la gran parte del cielo que permanece tapada por este elemento, el sistema no es recomendable para lugares de cielos cubiertos. Los sistemas prismáticos pueden estar ubicados fuera de la fachada o en el plano vertical de la ventana. También pueden ubicarse en entradas de luz cenital. En el plano de la ventana la redireccionalidad de los rayos puede ser dirigida hacia el cielo reflectante donde mejora de la distribución interior de la luz.

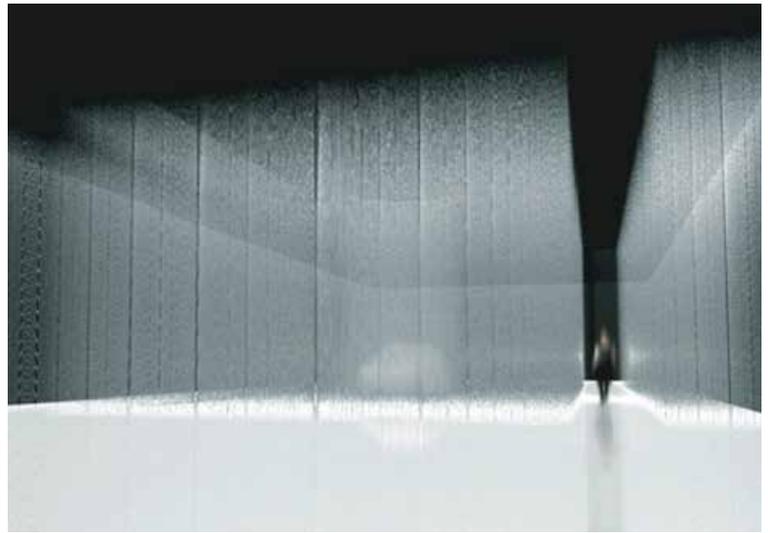
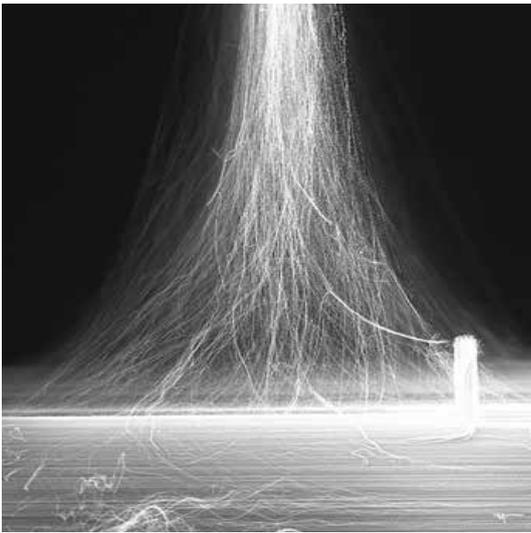


Figura 1.85: Materiales transparentes aislantes (TIM) de alta tecnología, tubos de nanocarbono aerogel y una posible imagen de su utilización. Fuentes: [www.hizook.com](http://www.hizook.com) y [www.tokujin.com](http://www.tokujin.com).

La combinación de dos planos prismáticos se ha utilizado en sistemas que combinan los planos en discos giratorios separados, de tal manera que al ajustar las propiedades ópticas de cada plano se pueden lograr capturas y emisiones de luz con direcciones más específicas. Si el sistema de rotación es motorizado, entonces se puede tratar el sistema de tal modo que se regule el nivel de luz-oscuridad ya sea para mantener niveles interiores constantes o para generar niveles adecuados a distintas actividades. Hasta ahora el sistema sólo se ha comercializado en Japón donde además mantiene un alto costo de adquisición. Una gran variedad de estos materiales son accesible en el mercado, desde planchas estructuradas interiormente (*honeycomb*) hasta materiales de alta tecnología como el aerogel.

Estos materiales tienen una transmitancia promedio de 50% o 60% y son excelentes aislantes de los rayos UV. En climas fríos, cuando están instalados en frente del muro, son una buena capa de aislante translúcido que afecta positivamente el balance térmico durante el año ya que el muro se comporta como un colector solar pasivo (Ibid, 158). Esta técnica puede utilizarse con buenos resultados en rehabilitación de edificios pero debe evitarse en climas cálidos y soleados donde, si se utilizan, deben ser acompañados de sistemas efectivos de sombra. Utilizados en una ventana presentan uniformidad de brillo durante el día y desde dentro se ven como una pantalla luminosa constante sin direccionalidad de la luz. No incrementan el factor de luz diurna a menos que sean instalados en lugares de alta obstrucción. Ópticamente actúan de manera similar a los vidrios translúcidos o los bloques de vidrio, pero tienen mejores prestaciones de aislación térmica.

## Aerogel

Es el sólido más liviano conocido por la ciencia y uno de los materiales más aislantes en la Tierra, el más poroso y es casi transparente (Figura 1.85). Fue inventado en 1931 por Steven Kistler, quien encontró una manera de eliminar el líquido de un gel de sílice, sin destruir las largas cadenas moleculares de sílice que dan la estructura del gel. Es suficientemente fuerte para soportar varias veces su propio peso si la carga se distribuye uniformemente. Al doblarlo o apretarlo demasiado fuerte se

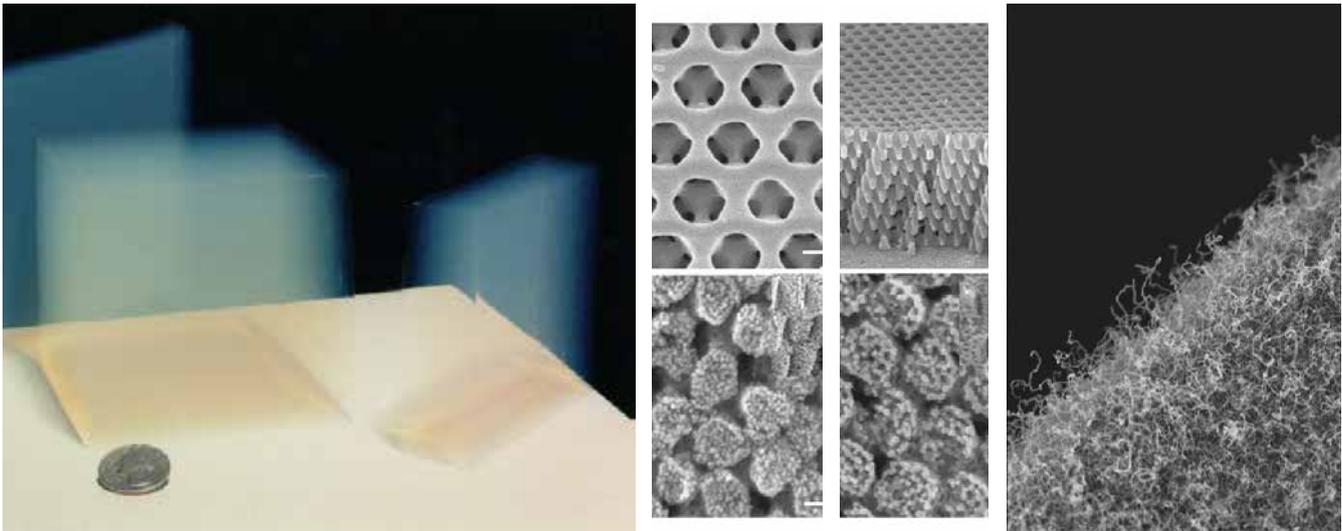


Figura 1.86: Materiales de alta tecnología, aerogel, films prismáticos y aerogel vistos al microscopio. Fuentes: p25ext.lanl.gov, www.nature.com y www.hizook.com.

rompe en pequeños fragmentos. Con el fin de evitar los problemas que los geles comunes tienen al sacarles el líquido debido a la ruptura de su tensión superficial, los científicos han logrado fabricar el aerogel mediante la presurización y calentamiento del gel hasta un punto crítico donde la fase líquida y la gaseosa son indistinguibles, momento en que es posible drenar el líquido. Debido a que no hay interface gas-líquido, no hay tensión superficial, y por lo que el líquido puede retirarse sin destruir la estructura polimérica del gel. Sin líquido, el aire llena los espacios entre los polímeros y el resultado es un aerogel como merengue. La porosidad del aerogel es enorme, puede llegar a tener hasta un 99 % de aire, lo que hace del aerogel un aislante térmico ideal. Es por ello que actualmente se investiga su uso para varios productos como ventanas súper aislantes, aislantes térmicos para tabiques o tuberías y textiles. La desventaja de este material frente a otros aislantes es su costo. Debido a la alta presión que se necesita para fabricar aerogel (alrededor de 150 kg por centímetro cuadrado) la producción requiere costosos equipos de laboratorio (Figura 1.86).

### **Sistemas innovadores de alta tecnología.**

Desde la década de los ochenta se han desarrollado sistemas basados en materiales y tecnologías muy avanzadas que actúan según distintos tipos de fenómeno físico. La construcción de estos sistemas ha sido posible gracias a los avances en materiales y la exactitud de diseño y fabricación de elementos tecnológicos que con los sistemas más arcaicos de fabricación resultaban inconcebibles. Tal es el caso de las micropersianas de reflexión que son capaces de redirigir la luz hacia el interior en invierno y expulsarla hacia afuera en los meses de calor para evitar el calentamiento del interior. Estas micropersianas deben ser diseñadas y calculadas con gran exactitud con el fin de trabajar adecuadamente con ciertos ángulos de incidencia solar, dependiendo de la latitud y hemisferio. En general este sistema no contribuye al incremento de luz sino al control del exceso, la redistribución y el deslumbramiento, por tanto han sido utilizados mayoritariamente en zonas de grandes paños vidriados que necesitan control solar. Otro importante avance en materia de tecnología en materiales y formas son los paneles de polímeros transparentes, en general de acrílicos de PMMA, tratados con cortes paralelos láser

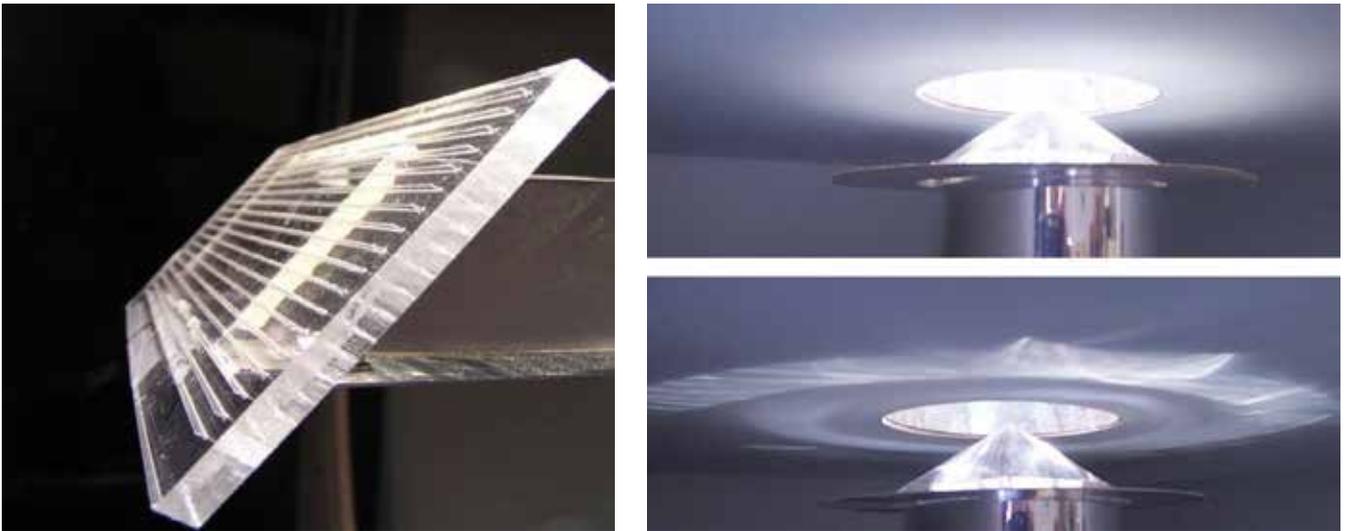


Figura 1.87: *Laser cut panels*, puebas y maqueta. Fuente: Verónica García Hansen, 2006. Innovative Design Device for Bringing Natural Daylight and Illumination into Buildings with Deep Floor Plan. Tesis doctoral, Queensland University of Technology.

en su interior, con el fin de producir superficies reflectantes dentro del cuerpo mismo del material, tal como una persiana de tablillas reflectantes. Estos elementos son llamados *laser cut panels* y fueron posibles gracias a la capacidad tecnológica de los cortes láser (Figura 1.87). Los cortes en el panel que producen esta serie de pequeñas superficies reflectantes, actúan bajo el principio óptico de reflexión interna total según su relación angular con el ángulo de incidencia (ni mayor ni menor al ángulo crítico) y como el corte que actúa de superficie reflectante es de un espesor mínimo, no afectan la transmitancia para los ángulos de incidencia que sobrepasan el ángulo crítico. El PMMA es un polímero de alta transmitancia y para protegerlo de la radiación que puede deteriorarlo (longitudes en el UV, por ejemplo) pueden estar integrados dentro de un paquete de vidrio de ventanas de termopanel, que filtren las longitudes de onda perjudiciales (García 2006). Los *laser cut panels* pueden ser utilizados en ventanas, como persianas, o como parte de sistemas anidólicos donde actúan en el ingreso del rayo, en desviadores intermedios durante el transporte de la luz en el ducto o en la salida, como medio de difusión.

### Filmes holográficos y cristal fotónico

Los filmes holográficos son delgadas membranas transparentes que interactúan con la luz bajo el principio físico de difracción con el fin de redireccionarla. Diminutas tramas impresas en el film actúan sobre determinados ángulos de incidencia dejando otros ángulos pasar si alteraciones. Como la difracción depende de la longitud de onda del rayo incidente, estos elementos ópticos holográficos pueden producir franjas de color que pueden ser manipuladas para ser visibles en mayor o menor grado. Tienen el problema de no poder ser incorporados en los programas de cálculo puesto que sus propiedades ópticas aun no pueden ser emuladas por los softwares, es por ello que en el proceso de diseño con filmes holográficos, o se utilizan resultados estándar ya conocidos o se implementan en modelos reales (maquetas).

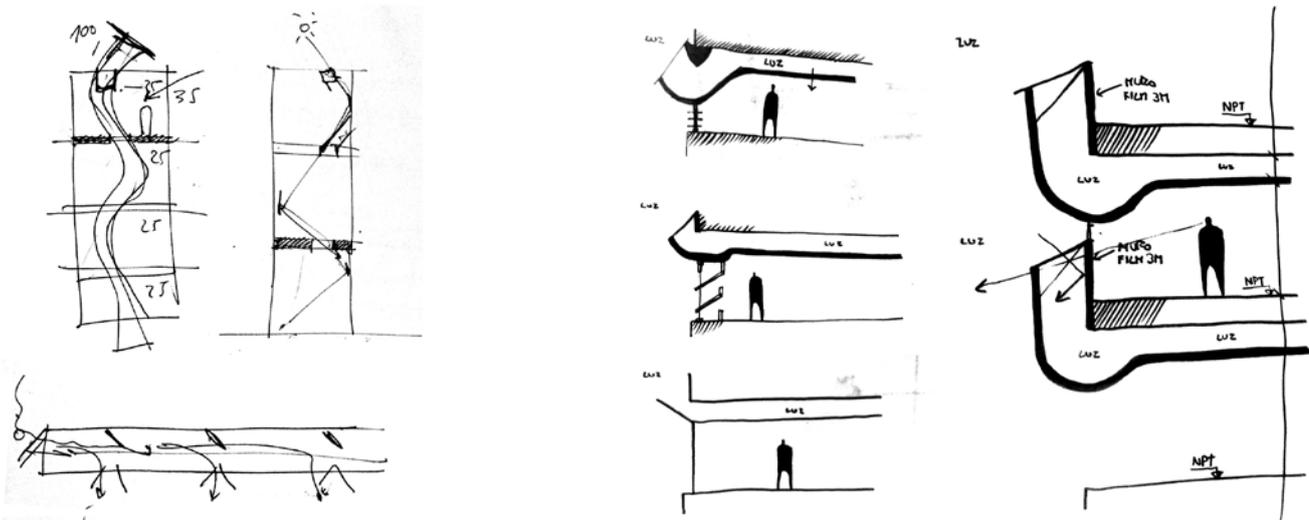


Figura 1.88: Croquis para el diseño de un sistema anidólico. Fuente: Víctor Nadal para proyecto FAU 2010.

## Guías de luz y lumiductos

Los lumiductos son un sistema que se compone de tres partes, 1. el colector, parte que recibe la luz; 2. el ducto transmisor, que puede ser por reflexión o reflexión interna total; 3. el emisor, que transmite la luz colectada al interior del edificio (Figura 1.91). La ventaja de estos sistemas es que pueden hacer viajar la luz hasta lugares recónditos, a veces pasando varias curvas que harían inviable el traspaso con la sola reflexión como un sistema anidólico (Figura 1.88). Fueron inventados en los años 70 en Estados Unidos y Japón pero no son muy populares en Europa debido a las características predominantes del cielo, mayoritariamente nublado, donde estos lumiductos no funcionan bien. De hecho, estos sistemas tienen un sistema muy diferenciado dependiendo de las características y ángulos de luz incidente. Cuando el rayo entra en un ángulo específico, pueden llegar a ser tremendamente eficientes (Ferrón 2009), pero si recibe los rayos desde otros ángulos o desde infinidad de ángulos como ocurre con días nublados, entonces su eficiencia es varias veces menor.

Existen algunos de estos sistemas que han incorporado en el punto de colección, algún dispositivo que es capaz de posicionarse de tal manera que el ángulo de incidencia sea siempre el indicado para obtener la mayor eficiencia. Además del seguimiento solar estos dispositivos pueden estar equipados con lentes concentradores de rayos como lentes fresnel por ejemplo, que al actuar como lupa pueden llevar una amplia área de colección a un punto de concentración varias veces menor, y por tanto varias veces más radiante. De todas formas se estima que un sistema de estos, con un área de colección de 1 m<sup>2</sup>, tiene un potencial de iluminación de aproximadamente 300 lx para un recinto interior de 65 m<sup>2</sup>, asumiendo una eficiencia de un 20% de todo el sistema (Ibid 161). Sin embargo, respecto de la luz artificial tienen la ventaja de no necesitar del consumo de energía y de producir varias veces menos calor en proporción a la luz producida. Entre las desventajas más severas están su relativamente alto costo de producción e instalación, su necesidad de mantención permanente con el fin de no aminorar su eficiencia y su rendimiento deficiente en condiciones de luz difusa (cielos nublados).



Figura 1.89: Maqueta de corte de un sistema anidólico. Fuente: [www.studioconatus.com](http://www.studioconatus.com).

### Lumiductos especulares

De entre los lumiductos el más popular es el que utiliza el principio óptico de reflexión especular a través de un tubo reflectante corrugado flexible, cuya salida exterior en la cubierta es un domo de acrílico transparente. En condiciones de cielos cubiertos con una iluminancia de 16 klux, estos sistemas son capaces de iluminar una habitación de 3.5 x 2.5 m con 180 lux aproximadamente, con un ducto de 330 mm de diámetro, o sea un factor de luz día de un poco más de un 1%. En otro caso, un ducto de 330 mm de diámetro, de entre ocho y doce metros de largo y cuatro curvas, puede entregar 76 lux en una habitación de 9 m<sup>2</sup>, con una iluminancia exterior de 80 klux, o sea una efectividad de factor de luz día de aproximadamente el 0.1%.

El problema de estos sistemas radica en su funcionamiento físico. Por una parte ellos no pueden coger más luz que la que reciben en el área de colección, por otra parte, la luz es conducida mediante múltiples reflexiones al interior del ducto, mientras más angosto es el ducto y más larga la distancia, más reflexiones debe realizar. Considerando que en el mejor de los casos el material del ducto tiene una reflectancia de un 0.9%, en un ducto normal en que el rayo debe reflejarse un estándar de 24 veces (0.924), el resultado es una salida de un 0.079% de la luz, lo cual indica la poca efectividad del sistema.

### Cielos anidólicos

Este sistema se basa en el principio del sistema anidólico cenital y tiene los objetivos de integrar mejor el sistema en el edificio y limitar el deslumbramiento de los ocupantes ubicados en la zona de recepción de la radiación solar que entra por la abertura en la envolvente (Figura 1.89). Tanto los cielos como los ductos anidólicos necesitan un espesor mínimo para que la cantidad de reflexiones no disminuyan a tal grado la cantidad de luz, que haga inviable el sistema. Los cielos, mientras más altos, menos reflexiones necesitan generar para hacer llegar la luz hacia la parte de atrás del recinto, pero existen pocos recintos que tengan la altura suficiente como para instalarlos. En un cielo instalado en



Figura 1.90: Sistemas anidólios aplicados en prototipos y sistema de recepción de luz en subterráneos. Fuentes: <http://leso.epfl.ch>.

Suiza (Baker, Steemers 2002, 162), se comparó el rendimiento con el de una ventana normal de doble vidrio y en la parte de atrás del recinto el factor de luz diurno aumentó en un 1.7. Utilizando un control de iluminación automático que fija en 300 lux las cantidades regulares de iluminación, el consumo eléctrico disminuyó en un 33% respecto al sistema de ventana normal de doble vidrio. Según este estudio esta cantidad puede incrementarse de manera significativa si el sistema de iluminación artificial es controlado manualmente ya que en el caso del sistema anidólico, el uso de luz artificial operado manualmente disminuyó siete veces comparado con el de la ventana de doble vidrio al mantener cantidades uniformes de iluminación en todo el recinto (Figura 1.90).

En relación a este sistema que utiliza aluminio de alta reflectancia, cabe preguntarse si el costo de la manufactura del aluminio, que requiere 200kWh x m<sup>2</sup> de 1 mm de espesor (Ibid, 162), sigue haciendo eficiente el sistema.

Este tipo de preguntas hace necesario abrir la investigación hacia el uso de nuevos materiales de alta reflectancia que sean una alternativa menos energéticamente exigente y de iguales resultados lumínicos.

En resumen, respecto de los sistemas más sofisticados de iluminación natural, es posible decir:

- La función principal es la redistribución homogénea de la luz dentro del recinto, más que incrementar la cantidad.
- La uniformidad de la luz hace disminuir el contraste entre zonas muy luminosas y poco iluminadas lo que mejora la percepción de luz natural.
- A grandes rasgos existe tres tipos de sistemas: reflectores externos o bandejas, elementos integrados al plano de la ventana y lumiductos.
- El impacto externo de estos sistemas se hace presente como un tema a estudiar, sobre todo en rehabilitación de edificios patrimoniales. También la mantención.



Figura 1.91: Captador de fibra óptica Parans©, Solar Decathlon 2012, Madrid. Captadores externos con lentes fresnel. Fuente: Archivo de la autora.

#### 1.3.2.4. Procedimiento general para diseñar un sistema de luz natural

- a. **Definición de las funciones y objetivos de desempeño.** Los objetivos deben estar definidos por parámetros cuantificables para evaluar la respuesta del sistema. Los casos de estudio deben proveer información para definir las opciones básicas y establecer objetivos con valores reales. Los sistemas por innovativos que sean deben siempre ser interrogados en cuanto a sus indicadores de desempeño.
- b. **Definición del caso en referencia.** Antes que nada se debe evaluar la factibilidad de solucionar el asunto con una ventana. Las alternativas simples deben ser estudiadas para evitar subir los costos de proyecto con sistemas más sofisticados y costosos. Esto puede partir por incluir la simple medida de cambiar el color del interior.
- c. **Examen detallado de las características del sistema propuesto.** Este paso incluye la selección del sistema o el diseño del mismo. Primero, verificar la entrada de rayos, ya sea por orientación, morfología, obstaculización o tipo de cielo. Luego esquematizar la trayectoria de los rayos sobre el sistema, poniendo especial atención a utilizar el real comportamiento físico y geométrico de la trayectoria solar y la respuesta óptica en cada una de las partes del sistema, con el fin de asegurar una respuesta eficiente del sistema ya sea para transmitir los rayos como para rechazarlos.

El asunto se complica cuando se involucran soluciones más sofisticadas como reflectores curvos, prismas o films holográficos, por ejemplo. Si no se posee un software que vaya a calcular el desempeño, entonces se debe basar el estudio en los conocimientos sobre las transmitancias y reflexiones de cada material o componente para poder dibujar los principales trayectos de los rayos de luz. Como el rayo de sol se va perdiendo en cada reflexión ya sea especular o difusa, y una parte de él es absorbida en cada paso por un material transparente, mientras menos veces lo haga menos energía luminosa se pierde y de ello depende la transmitancia. Lo óptimo o básico para uno de estos sistemas es lograr una transmitancia de entre 40% a 60%. Estos datos pueden ser entregados por el fabricante del sistema y



Figura 1.92: Emisor del luz natural sistema Parans. Proyecto de iluminación interior del estudio Carpenter/Lowings Architecture & Design. Fuentes: [www.parans.com](http://www.parans.com) y <http://carpenterlowings.com>.

ojalá junto con las figuras de transmitancia direccional, donde se indiquen los puntos máximos y mínimos de transmitancia según el ángulo de incidencia. El problema es que no todos los sistemas tienen esta información puesto que se necesita de un instrumento muy sofisticado llamado goniómetro para medir la luz emitida por el sistema aunque existen otros medios desarrollados por estudios en diversas partes del mundo (Ferrón op.cit.). Este hecho es un obstáculo para el desarrollo competitivo de los sistemas innovadores de transmisión de luz natural en el mercado aunque se espera que estos datos sean provistos por los fabricantes cada vez con mayor frecuencia y exactitud gracias al desarrollo de sistemas computacionales e instrumentos de medición más accesibles. Por otra parte, la experiencia de los proyectistas también contribuye a la elección eficiente del sistema adecuado

La próxima fase es atender la salida de la luz hacia el interior, lo que de alguna manera actúa de 'luminaria'. El dibujo de la distribución de la luz e iluminancia se mide de manera similar al de un artefacto de luz artificial (Figura 1.92).

d. **Integración con el diseño del edificio.** Algunas veces los sistemas requieren de ciertas adecuaciones del espacio interior para mejorar el funcionamiento del sistema. Por ejemplo en el caso de las bandejas de luz o cualquier sistema que utilice el cielo como segundo reflector, éste último debe garantizar una alta reflectancia. Tampoco debe tener protuberancias, cavidades u obstrucciones que puedan interferir con la distribución de la luz a través de él, como cielos acústicos, luminarias protuberantes, vigas paralelas al sistema, ductos de ventilación, etc. Luego, es necesario verificar los cambios que el sistema propuesto produce en el calentamiento, iluminación o enfriamiento del espacio interior.

Los sistemas se pueden experimentar con modelos a escala con características idealmente iguales a la realidad, lo cual no es fácil de lograr puesto que los fenómenos ópticos de los acabados de la situación real, en el modelo son difíciles de emular. Por otra parte, muchos componentes del sistema no existen en tamaños reducidos, como prismas o filmes, lo que hace que el modelo deba ser ensayado con los

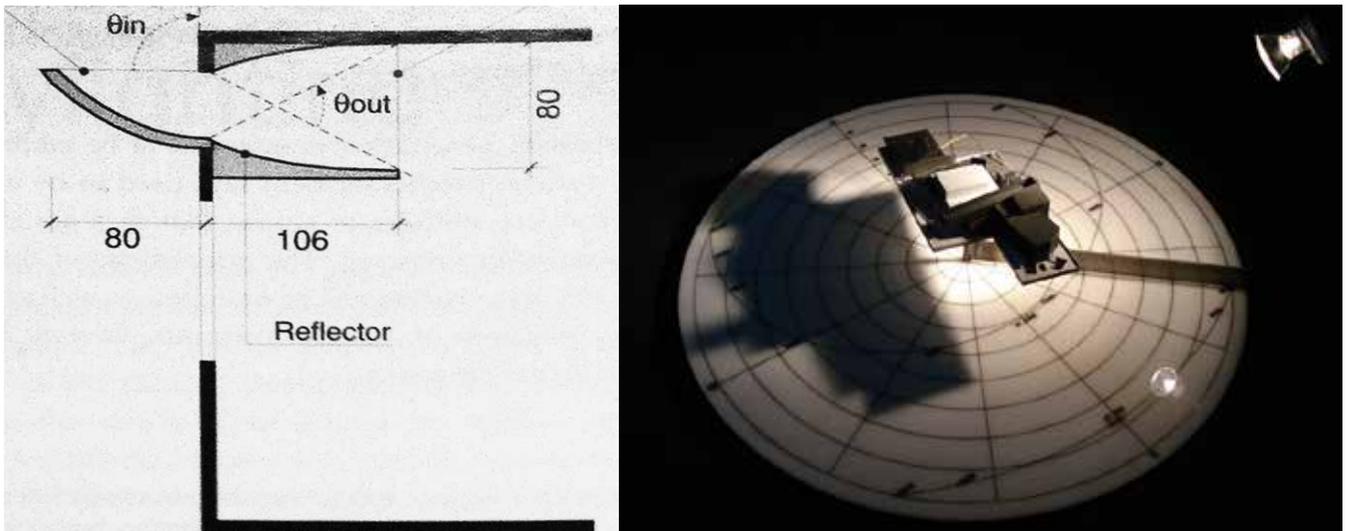


Figura 1.93: Esquema de reflexiones en un corte esquemático de un sistema anidólico. Fuente: Baker, Steemers. pág. 142. Heliódón. Fuente: maravogel.blogspot.com.

componentes a escala real. El modelo puede ser evaluado ya sea bajo cielos reales o artificiales (heliódón). Estos últimos tienen la ventaja de poder testear los sistemas en cualquier momento y bajo cualquier circunstancia exterior, aunque no siempre están disponibles en universidades u otros centros de investigación (Figura 1.93 y Figura 1.94).

Otra manera de realizar estudios y evaluaciones en los casos en que no se pueda hacer modelos, es realizarlos mediante programas computacionales, los que pueden entregar información tanto cuantitativa como cualitativa, cuando se trata de programas de visualización realística. Los niveles de iluminancia solar pueden ser también traspasados a programas que evalúen el impacto del sistema en el gasto energético del edificio. Se deben incluir algunos otros datos como materiales y detalles constructivos, servicios instalados, patrones de ocupación, etc. Imágenes fotorrealísticas producidas por estos programas pueden ser también útiles para la evaluación de la luminancia atribuida a cada pixel. Sin embargo, una de las funciones más importantes de estas imágenes es que pueden servir para la evaluación visual de orden subjetivo, cualitativo y estético de la propuesta.

Para la evaluación de discomfort, la sola inspección visual puede ser insuficiente, puesto que la visión parcial de la imagen, la iluminancia producida en la pantalla o la visión en papel, si la imagen es impresa, no se acerca a la realidad del rango observado en la realidad. Además de la manipulación involuntaria de los rangos de iluminancia que se producen al manipular la foto. Por ello sólo la inspección visual relacionada a aspectos de carácter cuantitativo puede ser realizada mediante la inspección realística de la propuesta. Los programas de simulación adicionalmente ofrecen otro tipo de medio de visualización cuantitativa.

En cuanto a la relación del sistema con el edificio también deben tomarse en cuenta las expresiones exteriores del sistema, el impacto tanto en la imagen de edificio como del entorno. Esto es necesario sobre todo en los casos en que la forma del sistema en el exterior tenga una presencia considerable como también para los casos en que se generen importantes cambios en la reflectancia externa del

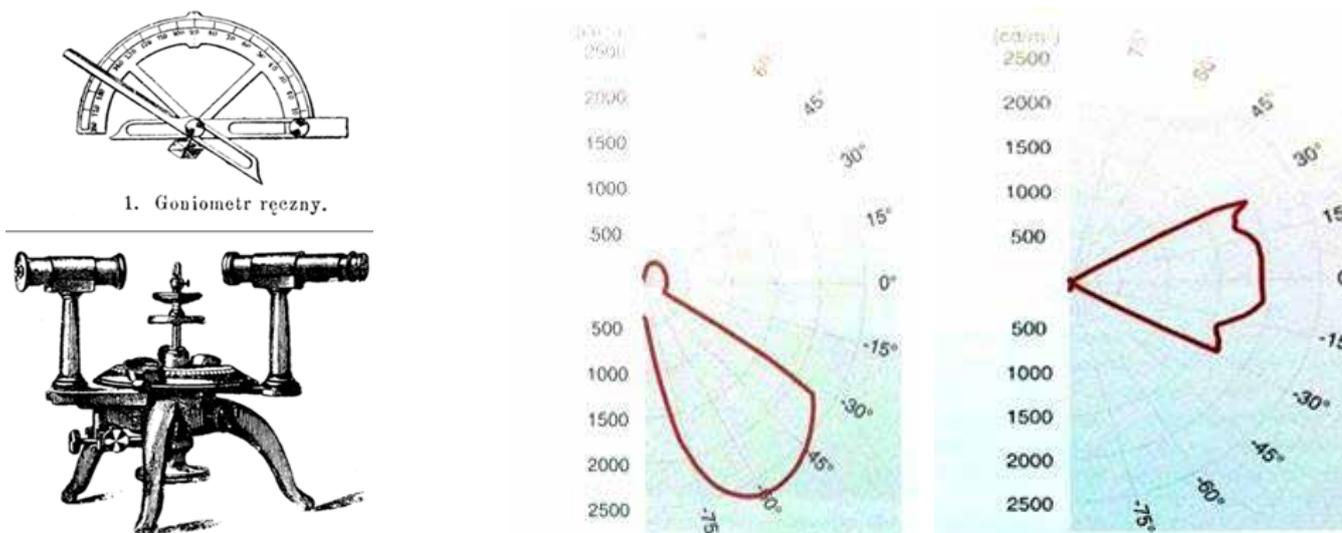


Figura 1.94: Goniofotómetro de 1900. Diagrama de distribución de la luz. Fuentes: www.wikipedia.com.

edificio, lo cual afecta no solo al recinto sino al entorno. Se debe tener especial cuidado por otra parte en la generación de puentes térmicos al colocar el sistema aunque en climas benignos como el de La Serena este factor no es de importancia gravitante.

Para la aislación térmica así como el resguardo de las zonas internas del sistema, éste debe quedar creado al menos en su zona externa con algún material transparente, como vidrio, que garantice un alto grado de transmitancia, sin embargo, si el cerramiento viene dado en forma horizontal el sistema se ve enfrentado a dos problemas, por una parte a la disminución de la transmitancia para rayos incidentes por debajo de los  $60^\circ$ , y por otra parte la poca pendiente del vidrio requeriría de una permanente mantención con el fin de evitar la acumulación de suciedad que disminuya su transmitancia. La salida hacia el exterior también debe proteger el sistema (que debe permanecer muy limpio para mantener su reflectancia) para lo cual puede instalarse un vidrio vertical simple, ya que no necesita ser una barrera térmica si la aislación más importante se instala en la parte exterior del sistema.

Si el lugar donde se instala el sistema es en extremo caluroso o recibe durante gran parte del día radiación directa, entonces para evitar el sobrecalentamiento en el interior del sistema se puede considerar algún medio de ventilación natural.

**e. Instalación y mantenimiento.** Las partes que componen estos sistemas suelen ser en extremo delicadas y exactas, los ángulos de posicionamiento deben cuidarse especialmente para lograr el desempeño previsto con los rayos de sol incidentes. También las partes reflectantes o transparentes deben ser rigurosamente protegidas de la suciedad deformaciones, sobre todo en el proceso de manipulación por parte de los instaladores. Esto hace que muchos de estos sistemas vengan preinstalados de fábrica y se coloquen en la obra como un elemento prefabricado que requiera el mínimo de manipulación y exactitud en la colocación.

La mantención es de vital importancia para asegurar una transmitancia adecuada. En lugares secos

con pocas lluvias anuales, la acumulación de polvo puede ser un problema constante por lo que la zona transparente de acceso de luz debe quedar accesible para su limpieza, ya sea desde el exterior como desde el interior. Estos medios de accesibilidad pueden en algunos casos reducir el área de transparencia y con ello disminuir la eficacia del sistema por lo que se debe siempre tener en cuenta los costos y beneficios. En los casos de sistemas mecanizados, los fallos deben ser también considerados como parte de la vida útil del sistema. Luego de la colocación se deben realizar mantenciones y controles periódicos tanto para la limpieza profunda de sus partes, como para la corrección de posibles deformaciones generadas por la exposición a la intemperie.

Es importante poder mejorar los sistemas de iluminación natural de los edificios existentes, tanto por las condiciones de habitabilidad como para el ahorro en consumo energético. Los cambios que pueden hacerse en un edificio existente pueden ser desde pequeñas intervenciones como la redistribución de mobiliario o subdivisiones interiores hasta otras más importantes como cambios en la envolvente y demoliciones parciales.

### 1.3.3. ESTRATEGIAS Y TECNOLOGÍAS EN REHABILITACIÓN

En el caso de la rehabilitación de edificios históricos, donde muchas veces las fachadas están protegidas de modificaciones, la colocación de sistemas con grandes colectores visibles en la fachada se hacen inviables. En estos casos los sistemas deben considerar la posibilidad de quedar ocultos dentro de elementos preexistentes de la fachada o en sitios no visibles desde la calle como la cubierta o patios interiores. También existe la alternativa de tratar los componentes del sistema como parte de una nueva composición de la fachada, en los casos en que la normativa en cuanto a rehabilitación así lo permita.

La rehabilitación presenta enormes posibilidades de mejorar las condiciones de iluminación natural y estas dependen en gran medida de las condiciones de cada edificio y el grado de intervención al que se puede acceder, sobre todo si se trata de la rehabilitación de un edificio de carácter patrimonial. A nivel estratégico, como se ha mencionado, importa la ubicación, entorno construido y orientación del edificio para cuantificar la cantidad de luz disponible. Estas estrategias son las mismas que en un proyecto nuevo pero en el caso de la rehabilitación es probable que existan más limitaciones en general por los entornos urbanos densos y las edificaciones posteriores más altas que las condiciones originales en las que fue proyectado el edificio original.

Con respecto a la orientación, sea cual sea el clima el este y el oeste son orientaciones difíciles de regular por el ángulo de incidencia solar en cualquier época del año. La orientación sur (norte en el hemisferio norte) sólo recibe sol directo en los días cercanos al solsticio de verano mientras que la orientación norte (sur en el hemisferio norte) recibe sol durante la mayor parte del día pero éste, debido al ángulo de incidencia, es más fácil de controlar con sistemas de sombreado superior.

#### 1.3.4.1. Estrategias según la disponibilidad de luz solar

- Incrementar el tamaño de las ventanas o abriendo nuevos vanos siempre y cuando esto sea posible, por ejemplo si está permitido por las normas urbanas y de resguardo patrimonial. Esta es una



Figura 1.95: Esquemas de obstrucción de los marcos de ventanas en un 10%, 25% y 40%. Arriba, esquemas de cómo el espesor de los marcos (para vidrios par) puede también disminuir e acceso de luz de una ventana. Fuente: Archivo de la autora.

solución muy efectiva puede ser ventajosa desde el punto de vista económico. Al aumentar el alto de la ventana se puede llegar más profundamente con luz al interior del recinto. Por ejemplo, en la zona entre tres y cinco metros de distancia de la ventana, una apertura vertical entrega cerca de el doble de luz que una apaisada. Colateralmente esto puede mejorar las condiciones de ventilación.

- Incrementar la transmitancia de los vanos ya sea disminuyendo la cantidad de marco o cambiando las zonas transparentes por materiales con mayor transmitancia. Este aspecto es de trascendental importancia puesto que los marcos de ventanas han cambiado ostensiblemente en cuanto a materiales y sistemas a través del tiempo. Un marco normal de ventana puede tapar entre un 5% y un 40% de la superficie transparente mirado de frente, en el caso de las *mashrabiyyas* la obstrucción puede llegar hasta el 90% (Figura 1.95, Figura 1.96 y Figura 1.100). Si se considera que el marco tiene además un espesor y que la luz viene normalmente den un ángulo desde arriba, el porcentaje de obstrucción puede ser aún mayor pudiendo incrementarse en el caso del esquema hasta llegar a un 11%, 28% y 55% (Baker, Steemers Op.cit. 83). En el proceso de aumento de la transmitancia de los vanos también pueden utilizarse cristales más transparentes que los originales puesto que los vidrios de más de cincuenta años presentan importantes deficiencias que perjudican la transmitancia (Figura 1.97). También puede tratarse de vidrios coloreados o translúcidos los cuales en algunos casos pueden reemplazarse por vidrios transparentes que ofrecen mayor transmitancia. Si se han agregado films que evitan las ganancias de calor éstos se pueden reemplazar por un vidrio doble que cumple mejor esa función y tiene mayor transmitancia lumínica. Sin embargo, algunas ventanas contemporáneas en PVC o aluminio proporcionan marcos más gruesos que los antiguos de madera, algunas más aún si están pensadas para vidrios dobles, lo que puede compensarse si se eliminan algunos de las divisiones internas que antiguamente eran necesarias para lograr tamaños de vidrio disponibles en el mercado, lo que hoy resulta innecesario. El problema de esto es que cuando se trata de un edificio de carácter patrimonial, parte de su valor puede encontrarse en sus ventanas y en ese caso se deben reemplazar por materiales idénticos a los originales mejorando la transmitancia y aislación.



Figura 1.96: Ejemplo real de sustitución de las ventanas en un proyecto de rehabilitación en Santiago de Chile, la ventana original de madera y la ventana nueva de PVC con vidrio par o termopanel. Fuentes: Hotel Casa Roja, Archivo de la autora.

- Aumentar el número de ventanas o vanos cuando no es posible modificar los existentes. Esto da la oportunidad de abrir vanos en los lugares donde más se necesitan, en los sitios más oscuros y con mayor dificultad de acceso de luz, lo cual contribuye evidentemente a incrementar los niveles generales de iluminación, pero a la vez a reducir los contrastes entre zonas muy iluminadas y muy oscuras, lo cual reporta en sí la eficiencia del acostumbramiento del ojo a la luz uniforme y de este todo hacer más eficiente la iluminación, aun sin tantas ganancias cuantitativas. Las nuevas aperturas pueden estar en la envolvente, tanto en muros como en la cubierta. En esta última, la ventaja es que la iluminación cenital es más eficiente (tres veces más que la vertical en cielos cubiertos) y puede ubicarse directamente sobre la zona más necesitada.
- Patios o pozos de luz. Es posible en una intervención mayor abrir un vano tan grande que pasa a transformarse en un patio o pozo de luz del cual pueden abastecerse de iluminación natural todos los recintos que sean colindantes a este nuevo espacio. Este patio puede darse en un edificio de una planta o de varias plantas, aumentando lógicamente la envergadura de la intervención (Figura 1.98 y Figura 1.99).
- Incrementar la reflexión de elementos de la envolvente que puedan redireccionar la luz hacia el interior sin absorberla. Una buena alternativa es cambiar el color de los marcos de las ventanas y del contorno del vano. Esto contribuye a redireccionar la luz hacia el interior y a disminuir el contraste del vano con el cielo evitando en algún grado el deslumbramiento. Si el contorno del vano es ancho, éste se volverá un área amplia y luminosa con una luminancia intermedia entre el exterior (cielo) el muro interior que se verá oscuro por el contraste.
- Incrementando la reflexión de elementos exteriores ya existentes que puedan redireccionar la luz hacia el interior. Esto puede lograrse tanto de forma activa con sistema de espejos heliostáticos o simplemente pintando de colores claros los elementos exteriores (Figura 1.101). En el caso de ventanas de los primeros pisos pueden cambiarse los pavimentos oscuros por colores claros. Si la ventana



Figura 1.97: Diferentes tipos de vidrio en ventanas de El Escorial. Imagen de cómo el vidrio de diferentes calidades puede influir en las cantidades de luz que se transite. Fuentes: Archivo de la autora.

da hacia alguna cubierta, esta puede ser incluso reflectiva de tipo especular (metal). Es el mismo principio que sucede en las regiones donde se acumula nieve en el invierno. En este caso existe riesgo es generar deslumbramiento pero en posición sentada difícilmente se puede ver la superficie del suelo exterior a menos que esté ya a gran distancia. La ventaja de esta estrategia es que la luz entra desde abajo iluminando los cielos del recinto que pueden redistribuir eficientemente la luz.

- Incorporar elementos adicionales que puedan incrementar la reflexión hacia el interior del recinto. Es posible e algunos casos incorporar en el mismo vano algún sistema de reflexión o redireccionamiento de luz, tal es el caso de las bandejas o repisas de luz, las cuales pueden estar inmediatamente externas al vidrio, internas o entremedio para tipos de ventanas especiales.
- En algunos pocos casos puede ser necesario reducir el tamaño de las ventanas, sobre todo en edificios de los últimos cincuenta años (modernistas), sin necesidad de incrementar los requerimientos de iluminación artificial. Con ello puede producirse un ahorro en ganancias térmicas que puede provocar el exceso de superficies vidriadas.

#### **1.3.4.2. Estrategias según las condiciones de la luz en el recinto**

- Mejorar la distribución de la luz natural dentro del recinto de tal modo que la luz pueda alcanzar mayor profundidad o áreas normalmente más oscuras. Los recintos de planta libre o sin muros intermedios evidentemente generan menos zonas de oscuridad y por lo tanto presentan una distribución más homogénea de la luz. Para la repartición o conducción de la luz hacia las zonas más necesitadas se puede utilizar elementos internos que reflejen la luz o tratamiento de los vidrios con sistemas de direccionamiento hacia los lugares necesitados o reflectantes. Si los cielos son de color claro, la luz puede reflejarse hacia arriba con excelentes resultados. Una de las medidas más comunes en las rehabilitaciones chilenas hoy en día es el retiro de muros interiores dejando espacios más abiertos y más accesibles a las fuentes de luz natural y las vistas al exterior. Este fenómeno responde a dos funciones



Figura 1.98: Ejemplo real de intervención en un proyecto de rehabilitación en Santiago de Chile, el pozo de la escalera era ciego y totalmente oscuro. Fuentes: Hotel Casa Roja, archivo de la autora.

básicas, por un lado la ya mencionada accesibilidad y distribución óptima de luz natural y por otra parte, la ampliación de los espacios y la simplificación de recintos donde se puedan realizar diversas actividades que han cambiado con las nuevas formas de habitar.

- Disminuir los contrastes molestos que impiden la adecuación del ojo a los niveles generales de luz. Más eficiente muchas veces que el incremento de luz es la redistribución interior y la obstrucción de fuentes directas que puedan ocasionar deslumbramiento. Este modo se basa en el principio fisiológico de la acomodación del ojo a las cantidades de luz que recibe, en particular por medio de la luminancia recibida. Mientras menos contrastes reciba más estable será el tamaño de la pupila y más eficiente el uso de la luz general del recinto. Para ello se pueden evitar las fuentes directas con sistemas que redirijan la luz o la tamicen o contrarrestar el deslumbramiento con el uso de colores claros en las zonas opuestas a la fuente. También, en el paso de un recinto a otro se pueden generar zonas intermedias para ir adecuando el ojo paulatinamente y así evitar la ceguera momentánea que sucede cuando hay un cambio rápido entre una zona muy clara a una más oscura. Otra manera de evitar el deslumbramiento consiste en la utilización de bloqueadores parciales de luz, los cuales suelen utilizarse en casos de radiación solar directa. Es común que en estos casos, en las horas de sol directo, se prefiera el bloqueo total de la luz con cortinas o cualquier medio a disposición y suplir las eventuales faltas de luz generadas con iluminación artificial. Sin embargo, si el bloque es controlado y se transforma en un filtro y además un redireccionador, los resultados pueden ser muy beneficiosos y confortables. Si es posible que estos sistemas sean automáticos y respondan ya sea a un cronómetro interno o a sensores de radiación los efectos pueden mejorar ostensiblemente.

#### **1.3.4.3. Incorporación de Sistemas Avanzados**

En la rehabilitación es a menudo factible incorporar sistemas más especializados de accesibilidad de luz natural basados en tecnologías más contemporáneas y que brindan por lo general una fuente de luz complementaria, ya sea a la natural o la artificial. En el caso de los sistemas de luz natural existen

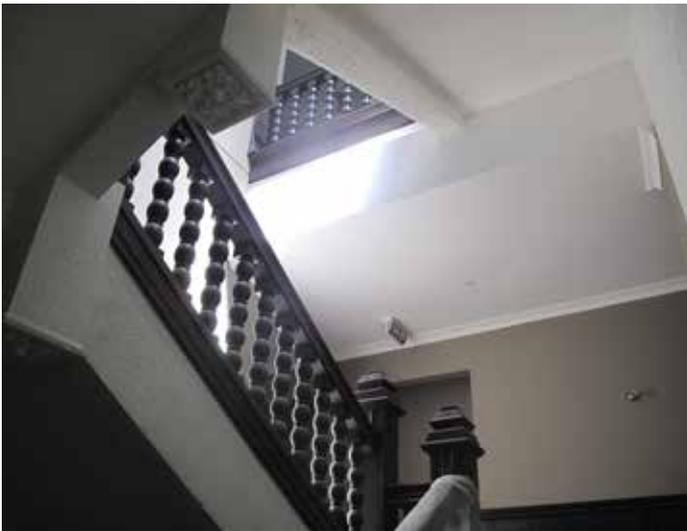


Figura 1.99: Apertura de una ventana cenital sobre el pozo de la escalera (el mismo que las fotos anteriores). La luz alcanza del 5º a 3º piso. Fuentes: Hotel Casa Roja, archivo de la autora.

también los que actúan en forma pasiva o activa con sistemas de seguimiento solar o heliostatos. Entre estos sistemas están los lumiductos de reflexión especular o de reflexión interna total que suelen ser menos invasivos, pueden acceder a zonas más complejas de llegar, pero tienen un alto costo económico y no son eficientes todo el tiempo sino cuando reciben sol directo en la zona de captura. Es por esto que a estos sistemas se les suele incorporar el heliostato que los vuelve eficientes más horas del día. Como los heliostatos consumen energía eléctrica, puede incorporarse un panel fotovoltaico puesto que se ubican en zonas que reciben gran cantidad de radiación solar.

Los lumiductos de reflexión especular, suelen estar contruidos con tubos rígidos o flexibles que materiales de alta reflectancia, como aluminio o acero. El sistema de captura está en la cubierta por lo general y sobresale en forma de domo para garantizar el acceso de sol durante todo el día y año. Los sistemas comerciales suelen tener en la zona de emisión un plafón igual que los de luz artificial.

La imagen que generan esos sistemas de alta tecnología en algunos casos puede ser contrastante con la arquitectura de un edificio histórico y este aspecto se debe considerar desde el principio en el proyecto de rehabilitación ya sea para evitarlo y ocultar el sistema como para hacerlo visible y en evidente diálogo entre lo histórico y lo contemporáneo.

Otra fuente de alta tecnología que puede aportar en una rehabilitación son los films para ventanas que pueden cambiar adecuadamente las prestaciones lumínicas, ya sea para redireccionar la luz hacia donde se necesita como para controlar su acceso. Estas intervenciones pueden pasar desapercibidas.

En Santiago de Chile, existe una fuerte tendencia en algunos barrios de del centro histórico de rehabilitar viviendas antiguas con fines comerciales, en un proceso de gentrificación. En estos casos las casas antiguas, por lo general de un piso en torno a un patio orientado al norte, se han transformado en pequeños bulevares que acogen unidades de comercio. Es interesante observar cómo se han incorporado sistemas y estrategias que mejoran las condiciones de iluminación natural, por lo general liberando



Figura 1.100: Arriba: Ejemplo real de intervención en un proyecto de rehabilitación en Santiago de Chile, imagen del cambio de ventanas antiguas de madera por sistemas nuevos de PVC y vidrio par. Fuentes: Hotel Casa Roja, archivo de la autora.

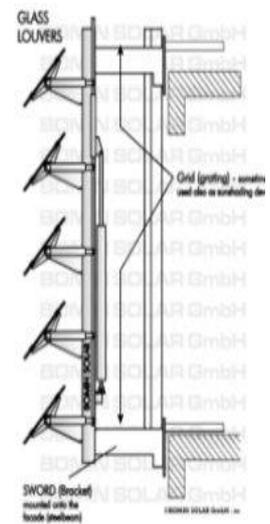


Figura 1.101: Centro: Estrategia de incremento de luz en barrios antiguos por reflexión en las fachadas frontales. Sistema de control solar de alta tecnología. Fuentes: Archivo de la autora.

el interior del exceso de compartimientos que la usanza antigua demandaba. También se usan claraboyas y se pintan los muros de colores claros, otro cambio respecto de la época anterior (Figura 1.102).

No es común que estas intervenciones hagan cambios en la fachada pues aunque la ley lo permite, se intuye que son parte de la imagen patrimonial que les da casi todo el valor que tienen. No se observa el uso de sistemas altamente tecnológicos, salvo algunos lumiductos comerciales o artesanales, lo que demuestra que en Chile estas tecnologías aún son desconocidas o están solamente al alcance de expertos.



Figura 1.102: Sistemas de incremento o control de luz natural en proyectos de rehabilitación en Santiago de Chile (Barrio Italia). Arriba: Aperturas cenitales. Centro: sombreadero y apertura de pozos de luz. Abajo: Estrategia de control del deslumbramiento por decrecimiento paulatino de la luz. Más abajo: patios linterna y sombreaderos en base a tenso-estructuras. Fuentes: Archivo de la autora y Un discurso de la luz (Maak, Pawlik 2011).



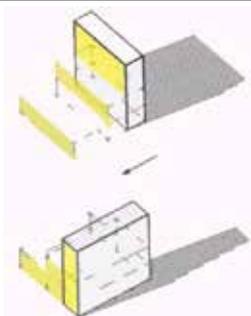
## 1.4. COMPENDIO DE ESTRATEGIAS, SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS

En las páginas siguientes se han sistematizado los dos últimos capítulos referentes a la construcción para el uso de luz natural, en tanto estrategias, sistemas y tecnologías, y la información recabada sobre las características de los materiales frente a la luz.

Se clasifica en primer lugar si se trata de estrategias, sistemas o tecnología, considerando las dificultades que, como se ha mencionado, esta clasificación conlleva. El resumen intenta evidenciar en forma clara, en orden de mayor a menor intervención, la técnica de la arquitectura para el uso de luz natural, lo que puede resultar una guía útil de consultar al momento de enfrentar la elección de un modo de iluminar naturalmente un proyecto de arquitectura, en particular para casos de rehabilitación de edificios existentes.

La clasificación se establece según Estrategias de captación solar, Estrategias de control solar, Sistemas de captación solar, Sistemas de control solar y finalmente Tecnologías para captación o control de luz.

Orientación favorable



El recorrido solar es cíclico por lo tanto es posible proyectar de acuerdo a él. La orientación del edificio puede responder a requerimientos de mayor cantidad de sol en ciertas partes o de menor, en el caso de climas muy cálidos. Por eso no es posible decir cuál es una orientación favorable pues depende del contexto y función. En el hemisferio sur la cara más soleada es la norte.

En rehabilitación, el cambio de orientación de un edificio es casi imposible por lo que no es en general un tema a considerar salvo para ampliaciones o nuevas partes de un edificio.

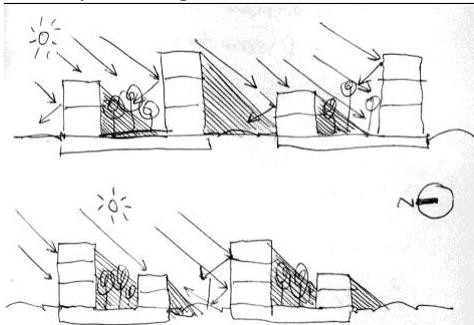
Altura y densidad



La morfología urbana en cuanto a su densidad y altura afecta enormemente el acceso solar a los edificios. Cuando se trata de ciudades densas, las fachadas reciben menos sol y menos aún si es densa y alta. Una ciudad baja y poco densa provoca mayor cantidad de acceso a todos sus edificios. En las regiones frías, el acceso solar es un beneficio que se busca a toda costa.

En rehabilitación se deben considerar los cambios urbanos que ha sufrido el entorno y actuar respecto de los cambios que ha provocado la disminución o incremento de sol. Si el proyecto considera la ampliación del edificio con cambios de altura, se debe hacer un estudio de las sombras que arrojará el nuevo cuerpo y su incidencia en el edificio existente.

Grano y morfología



El grano urbano entendido como la grilla y el tamaño de los elementos que conforman el tejido urbano, determina en gran medida las cantidades de luz que llegan al interior de un edificio. En países cercanos a los polos con escasa cantidad de luz solar, el grano urbano es una estrategia de vital importancia, pues determina el acceso solar, en forma similar que la orientación y la densidad.

El grano puede tratarse en forma urbana pero también a escala de edificio si se trata de un gran volumen o de varios cuerpos. Por lo tanto pueden realizarse cambios en la granulometría de un edificio en rehabilitación, agregado o sacando partes y cambiando su forma volumétrica. Estos cambios requieren de una intervención mayor, lo que a veces no es posible en edificios patrimoniales.

Patios captadores de luz



El patio de luz es un legado de la arquitectura de la casa romana. Se usa en occidente y en medio oriente, particularmente en la arquitectura árabe que muchas veces se plantea como una envolvente de un patio. Esta estrategia de captación de luz llega a América con la colonización española y es utilizada hoy en día con versiones contemporáneas de lo que actualmente se llama espacio atrio.

En rehabilitación algunas veces es posible realizarse un patio o agrandar las dimensiones de uno existente y es una excelente solución para ciudades muy densas donde los edificios contienen espacios mediterráneos en más de un piso. Pero ésta es una intervención bastante invasiva por lo tanto impracticable en casos de edificios con restricciones normativas.

## Apertura/cerramiento de la envolvente



Sin duda la apertura de la envolvente de piedra fue uno de los saltos más importantes en la historia de la arquitectura porque se necesitó inventar el arco para no quedar restringido al largo de los materiales monolíticos que actúan como vigas o dinteles.

Algunas veces es posible cambiar las condiciones de apertura de las envolventes en edificios existentes, ya sea agregando más vanos o eliminando algunos. Todo depende del proyecto pues es muy habitual que no sea posible modificar las fachadas de edificios históricos. En estos casos se puede trabajar el cerramiento del vano, lo que se verá en el sistema de ventanas.

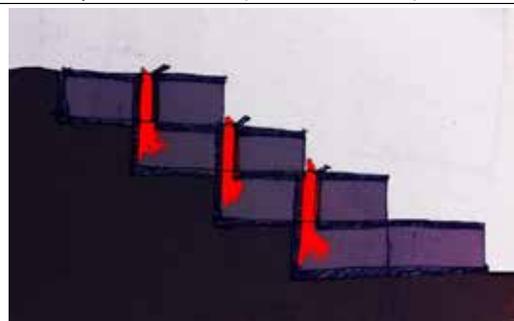
## Apertura/cerramiento de la techumbre



La apertura en la techumbre de un edificio reviste menores problemas estructurales que el muro porque, por una parte la techumbre esta construida generalmente con entramados en los cuales pueden dejarse huecos, y porque la luz que entra en forma cenital es tres veces mayor que en la vertical, por tanto los vanos pueden ser más pequeños e igual de eficaces. El problema es el control climático.

En rehabilitación la apertura en la cubierta puede ser más factible que la apertura en la fachada puesto que las cubiertas son menos visibles y por lo tanto afectan menos la imagen histórica del edificio. Esto hace que puedan incorporarse desde sistemas simples a sistemas altamente tecnológicos y que aparezcan en la techumbre a modo de chimeneas o ventanas.

## Retranqueo horizontal (escalonamiento)



El escalonamiento, cuando es posible, puede ser una buena forma de edificación densa manteniendo acceso al exterior y por tanto a la luz y la ventilación. Esta estrategia es ideal para construir en pendiente puesto que la crujía de los pisos inferiores no se ve perjudicada por la distancia entre fondo y frente. En ciudades planas se suele utilizar los espacios oscuros para aparcamientos.

Este tipo de estrategia es difícil de aplicar en un edificio existente pero se debe considerar al momento de agregar nuevos cuerpos a un edificio antiguo. En los casos que sea posible retirar partes del edificio existente puede realizarse considerando un escalonamiento, sobre todo si se trata de fachadas hacia patios interiores que afectan menos la imagen histórica del edificio.

## Retranqueo vertical



El retranqueo vertical puede ser una estrategia tanto de acceso como de control lumínico dependiendo de la orientación de los quiebres. En países oscuros se tiende a generar quiebres que generen fachadas más expuestas al sol.

Al igual que en caso anterior, este tipo de estrategia es difícil de aplicar en un edificio existente pero también se puede considerar al momento de agregar o retirar nuevos cuerpos a un edificio antiguo. También aquí es más factible si se trata de fachadas hacia patios interiores que afectan menos la imagen histórica del edificio.

**ESTRATEGIAS DE CAPTACIÓN DE LUZ**

**DESCRIPCIÓN**

**APLICACIÓN**

**Ancho de la crujía**



Sin duda un edificio delgado tiene mayor proporción de envoltente respecto del espacio interior. Si la envoltente es mayor, mayor es la posibilidad de dejar acceder la luz desde el exterior.

La forma general de los edificios en rehabilitación raramente puede modificarse, al menos en forma substancial por lo que un cambio en el ancho de la crujía es poco factible. Esto puede considerarse para ampliaciones o cuando sea posible retirar alguna parte del edificio histórico.

**Manejo de la reflexión exterior**



Si las condiciones lo permiten, el manejo de la reflexión que viene del exterior puede ser una importante fuente de iluminación interior, con algunas características peculiares, como por ejemplo que la luz reflejada suele venir de abajo o de los lados, no desde arriba, de donde estamos más acostumbrados a recibirla.

Pueden realizarse cambios en la reflexión exterior de un edificio siempre y cuando se trate de un conjunto. En los casos en que se encuentra inserto en un contexto urbano denso es menos frecuente que puedan mejorarse las condiciones de reflexión exterior a menos que se llegue a acuerdos con los vecinos.

**Manejo de la reflexión interior**



La reflexión interna de un recinto no es un invento nuevo, las tiendas de los mongoles por ejemplo son blancas por dentro con el fin de contrarrestar la oscuridad del pequeño vano superior. Nuevos materiales como cemento blanco, metales bruñidos, revestimientos cerámicos permiten un control muy preciso de la reflectancia interior.

Esta es una estrategia altamente factible de realizar en una rehabilitación, de hecho debe ser una de las más comunes, por su simpleza, bajo costo y gran eficiencia. Sólo en los casos en que el edificio mantenga características importantes de decoración de sus muros o cielos no es posible alterar la reflexión interior.

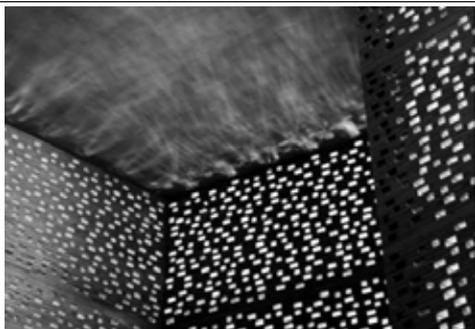
**Color - deslumbramiento**



El color puede alterar la percepción de la cantidad de luz en el ser humano sin necesariamente aumentar en realidad los niveles de iluminación. El manejo de la posición de las fuentes lumínicas evitando el deslumbramiento también es una forma de incrementar la visión con menores cantidades de luz pues la pupila se encuentra más abierta y por tanto requiere de menos luz.

Como el manejo de las reflectancias internas, esta es una estrategia altamente factible de realizar en una rehabilitación, siendo probablemente de las más comunes, por su simpleza, bajo costo y gran eficiencia.

## Translucidez o porosidad de la envolvente



También en la actualidad hay un sinnúmero de formas de hacer un muro, desde una piel compacta y hermética hasta una porosa que permite el acceso de luz y a veces aire. También puede ser translúcida puesto que los materiales hoy en día lo permiten, como los concretos translúcidos, sin necesidad de abrir vanos.

Si es posible cambiar el material de una fachada por uno poroso (a la luz) o translúcido, puede incorporarse como estrategia de rehabilitación. Lo más probable es que pueda aplicarse esta medida a nuevas partes de un edificio o se realice con materiales o técnicas altamente avanzados.

## Envolvente continua o discontinua



A medida que la técnica constructiva se ha desarrollado, la envolvente, el muro, ya no necesita ser una piel continua sino que puede presentar rugosidades que permiten el acceso de diversas direcciones de luz.

Tal como sucede con la modificación de las aperturas en la envolvente (vanos), sólo algunas veces es posible cambiar las condiciones de continuidad en edificios existentes. Todo depende de si es posible o no modificar las fachadas de edificios históricos.

## Obstrucciones interiores o planta libre



Un gran legado de la arquitectura moderna fue la planta libre, que pudo lograrse gracias al desarrollo de la arquitectura en acero. Esta nueva forma de espacialidad ha generado cambios profundos en la manera que utilizamos el espacio y hoy en día esta idea de libertad de uso interior del edificio es también una estrategia que se utiliza en rehabilitación de edificios históricos.

Es común en rehabilitaciones menores o de uso habitacional el retiro de muros interiores tanto para incrementar el acceso de luz como para modificar los tamaños de los recintos. En Chile, esta estrategia es frecuente y muy efectiva. Muchas veces se dejan vestigios de las estructuras originales ya sea como propuesta de rehabilitación o como propuesta estructural.

Densidad urbana



Así como la densidad y la forma del grano urbano pueden permitir el acceso de luz en ciudades oscuras, las ciudades densas, llamadas ciudades-sombra, pueden garantizar un control del exceso de radiación que se da en zonas muy soleadas y secas, como en los desiertos.

En rehabilitación es difícil controlar este aspecto pues las modificaciones de un edificio poco pueden cambiar la densidad a menos que se trate de intervenciones que alteren su propia densidad, agregando cuerpos en patios muy amplios o nuevos cuerpos adyacentes a estructuras existentes.

Orientación favorable a la sombra



El edificio a su vez puede también presentarse con orientaciones favorables a la luz pero no la radiación directa, con el fin de contrarrestar el exceso de sol que produciría deslumbramiento y aumento de la temperatura. En estos casos los edificios suelen abrirse hacia los puntos cardinales don de no hay sol directo (en Chile, hacia el sur).

En rehabilitación, el cambio de orientación de un edificio es casi imposible por lo que no es en general un tema a considerar salvo para ampliaciones o nuevas partes de un edificio.

Generación de sombra



Sin duda, una de las formas más arcaicas de mantenerse confortablemente respecto del acceso de sol es a través de la sombra. Esta estrategia es anterior a la arquitectura puesto que en la naturaleza hay un sinnúmero de situaciones que permiten el resguardo del sol, desde la sombra de un árbol hasta el cobijo de una cueva.

Esta estrategia es altamente factible en rehabilitación cuando es posible incorporar elementos extra en fachadas o patios. Por lo general la cubierta de los patios es una estrategia factible ya sea con sistemas efímeros o mediante nuevas estructuras sólidas y permanentes.

Disminución de las aperturas



Así como la apertura en la envolvente del muro permitió hacer llegar luz al interior de los edificios monolíticos, el control del tamaño del vano es fundamental para el control climático, tanto para controlar la cantidad de luz como de calor por radiación directa.

La reducción de los vanos puede ser una estrategia factible en rehabilitación cuando las condiciones normativas permitan alterar la imagen exterior del edificio. Sin embargo, al reducir las aperturas se corre el riesgo de generar deslumbramiento interior porque se reduce la cantidad de luz y se concentra en punto pequeños. Esto se debe contrarrestar con el tratamiento de la luz al interior.

## Orientación favorable de los vanos



Si un edificio no puede manejar el control lumínico a través de su orientación, si puede hacerlo al manejar la forma de los vanos, haciendo de estos los elementos orientados correctamente, tanto para ganancias como para control de luz.

Esta estrategia puede aplicarse en rehabilitación siempre y cuando sea factible alterar la imagen de la fachada. Sin embargo, esta solución puede aplicarse a vanos en la cubierta que por lo general son más factibles de aplicar en rehabilitación de edificios con protección normativa.

## Obstrucciones interiores



La obstrucción interior en los vanos es tan antigua como los vanos mismos. Ya los romanos utilizaban cortinas de tela, celosías de madera o piedra. Como estrategia es muy difundida, como sistema hay infinitas respuestas de toda índole.

Estrategia factible y muy eficiente en todo tipo de proyecto, incluso de rehabilitación. Se debe considerar las características del proyecto pero por lo general no alteran la imagen exterior que es lo que comúnmente resguarda la normativa patrimonial en Chile.

## Obstrucciones exteriores



El uso de elementos de obstrucción exterior al edificio, es muy antigua porque es la condición que impone el contexto inmediato. Siempre hay alguna condición lumínica dada por el entorno. El asunto es como manejarlo adecuadamente. El uso de vegetación tiene la ventaja de poder responder a los requerimientos estacionales de manera adecuada, tapando el sol en verano y dejándolo entrar en invierno.

Estos elementos pueden generar cambios en la imagen exterior de un edificio, lo que puede ser permitido o no según el proyecto y al norma. El uso de vegetación por lo general no está penalizado y puede ser una excelente estrategia de control climático en general porque puede manejarse el acceso diferido en invierno y verano.

## Disminución de la reflexión interior



En ocasiones, los recintos necesitan no tener luz en el interior, por ejemplo en los teatros, donde la luz debe focalizarse en la escena y el resto debe permanecer en penumbras. Sin embargo, cuando se encienden las luces, puede haber la misma iluminancia con o sin reflexión interior, pero lo que no habrá sin duda es luminancia, o brillo, por lo que el ojo no percibirá la luz.

Al igual que la estrategia para el incremento de reflexión interior, esta es una estrategia altamente factible de realizar en una rehabilitación, de hecho debe ser una de las más comunes, por su simpleza, bajo costo y gran eficiencia. Sólo en los casos en que el edificio mantenga características importantes de decoración de sus muros o cielos no es posible alterar la reflexión interior.

## SISTEMAS DE CAPTACIÓN

## DESCRIPCIÓN

## APLICACIÓN

### La Ventana



La ventana es la parte transparente o translúcida de la envolvente. Juega un papel muy importante en la composición de la fachada llegando a ser el total de ella en el caso de los muros cortina. La ventana es además el elemento más importante en la relación del interior con el exterior, tanto en lo que se refiere a luz, vistas e iluminación, calor, sonido y ventilación.

Los edificios antiguos mantienen una relación estilística muy estrecha con su sistema de ventanas por ello el recambio por sistemas más eficientes a veces provoca importantes cambios en la imagen exterior. Se debe considerar este importante aspecto al momento de proyectar las ventanas en una rehabilitación.

### Lucarnas, linternas y claraboyas



El acceso de luz por la cubierta es probablemente tan antigua como la construcción nómada, es probable que ya se utilizara en el encuentro de la estructura de las tiendas, tal como se usa hoy en culturas nómades del desierto. La ventaja de la lucarna es que es enormemente eficiente para dejar entrar luz, pero su eterno problema es el agua, que es muy difícil de combatir en ese punto del edificio.

Los sistemas que cierran las aperturas en la cubierta o en cuerpos superiores como linternas suelen ser menos visibles desde la calle por lo tanto pueden alterarse con más libertad en un proyecto de rehabilitación histórica. Las ventanas han mejorado enormemente en los últimos años en cuanto a eficiencia energética por ello vale la pena hacer cambios en estos sistemas.

### Lumiductos



El sistema de iluminación por lumiductos es una variante contemporánea y de alta tecnología del patio de luz. Utiliza el principio de reflexión interna en las paredes del ducto, la que puede ser reflexión normal o reflexión interna total en materiales transparentes.

La incorporación de sistemas altamente tecnológicos puede ser una buena solución para mejorar las condiciones lumínicas de edificios antiguos, sobre todo para llegar a recintos donde no es posible el acceso directo desde el exterior. Suelen ser de tamaños reducidos y pueden ser poco invasivos, lo que es compatible con la rehabilitación.

### Redireccionadores



Desde la revolución industrial, el sistema de prismas redireccionadores es muy común. Se basa en enviar el rayo de sol en el mismo ángulo de incidencia pero con sentido contrario, hacia el interior del edificio. Estos sistemas funcionan mucho mejor con rayos directos que con luz difusa por lo que a menudo se acompañan de heliostatos.

La aplicación de estos sistemas es altamente factible en rehabilitación porque pueden incorporarse al interior de las ventanas sin alterar la imagen exterior del edificio, o bien pueden reemplazar sistemas existentes de persianas puesto que son similares en apariencia.

## SISTEMAS DE CAPTACIÓN

## DESCRIPCIÓN

## APLICACIÓN

### Bandejas



Una variante similar a los redireccionadores son las bandejas de luz. La gran diferencia es que suelen ser elementos de mayor envergadura por lo que intervienen de manera distinta el interior del recinto. Además no necesitan el rayo de sol directo puesto que funcionan bien con luz difusa.

La magnitud de estos sistemas puede hacer más compleja su utilización en proyectos de rehabilitación pues se trata de alteraciones mayores del edificio original. Si son utilizados por dentro la alteración será menor respecto de la imagen exterior del edificio.

### Lightpipes



Derivado de los lumiductos, las *lightpipe* son un sistema altamente tecnológico que incorpora distintos materiales que juntos logran llevar la luz muy profundamente. En algunos casos son utilizados como pilares del luz puesto que alumbran durante todo el trayecto, no necesariamente al final de su recorrido.

Al igual que los lumiductos, la aplicación de estos sistemas es altamente factible en rehabilitación porque pueden incorporarse al interior del edificio y mejorar las condiciones lumínicas de recintos donde no es posible el acceso directo desde el exterior. Su salida al exterior puede ser discreta en la cubierta o en una fachada interior.

### Espejos heliostáticos



El uso de espejos para iluminar interiores tiene sin duda una componente mitológica. Sin embargo, hoy e día se utilizan sistemas, que aunque no son muy eficientes si logran llevar luz ya sea a patios interiores muy profundos, como a zonas urbanas que por su emplazamiento geográfico, se ven afectadas por la sombra gran parte del día. La manera más eficiente de utilizar estos espejos es un sistema heliostático.

Estos espejos suelen utilizarse en rehabilitación y son por lo general colocados en patios interiores o en las fachadas en forma que redireccionen la luz hacia las ventanas. Cuando están en la fachada se debe tener cuidado el cambio en la imagen que pueden provocar en un edificio histórico.

### Revestimientos reflectantes



Los revestimientos que reflejan la luz en occidente ya se utilizaban durante la época bizantina, no con el fin de iluminar sino de ilustrar alguna imagen sagrada. Hoy en día un edificio puede basar gran parte de su iluminación en el tipo de revestimiento.

Es posible hacer cambios en revestimiento en rehabilitación siempre y cuando la norma lo permita. Si se trata de muros interiores o de patios interiores se ve más factible su aplicación.

**SISTEMAS DE CONTROL**

**DESCRIPCIÓN**

**APLICACIÓN**

Cubiertas tela o removibles



Cubrirse de la intemperie es la idea primordial de la arquitectura, sin embargo a parte de la techumbre hay muchos sistemas de generar sombra, en espacios exteriores. El uso de telas para generar sombras es muy antiguo pero en la actualidad es toda una especialidad de la arquitectura basada en conocimientos en tensoestructuras y nuevas tecnologías en materiales adecuados.

La aplicación de estos sistemas en rehabilitación es factible puesto que se trata de dispositivos que son removibles y que por lo tanto no alteran la estructura general del edificio. Sí pueden alterar la imagen de éste cando están extendidas por lo que su diseño debe considerarse en el proyecto.

Aleros



El alero como generador de sombra tiene una ventaja ideal para zonas de alta radiación solar, permite mayor sombra en verano y mayor acceso de sol en invierno, por las diferentes ángulos solares. En Chile, un país con marcados cambios estacionales es un sistema muy usado y muy eficiente.

En un edificio sin alero, la incorporación de éste se ve poco factible ya que altera el remate superior del edificio. Sin embargo, en algunos casos en que existe una cubierta inclinada y visible, con o sin alero, este puede incorporarse o agrandarse siempre teniendo en cuenta la imagen del edificio original. Es posible proponer un alero externo pero se debe considerar el impacto en la imagen.

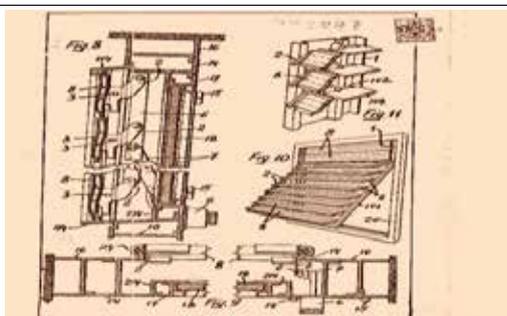
Cubiertas entramadas



Los sombreaderos de entramados son también sistemas muy arcaicos, probablemente más antiguos que la mampostería que no logró cubrirse hasta que se inventaron las bóvedas y cúpulas. En Chile se usan mucho con el nombre de parrón, llegando a constituir uno de los sistemas constructivos más identitarios.

La aplicación de estos sistemas en rehabilitación, al igual que los sombreaderos de tensoestructuras, es factible aunque son por lo general menos removibles. Sí pueden alterar la imagen del edificio pero por lo general son utilizados en patios interiores sin variar su imagen externa.

Persianas



El control solar en la ventana es un paso adelante en el desarrollo de la construcción. Se trata de sistemas complejos que deben dejar pasar luz o impedirla según el momento y las necesidades, por lo tanto siempre son un sistema que permite cambios y manejo del usuario.

Los sistemas de persianas son factibles de utilizar en rehabilitación y pueden ser muy eficientes. Se debe considerar las características del proyecto pero por lo general al estar al interior de la ventana, no alteran la imagen exterior.

## Cortinas



La cortina es uno de los sistemas más antiguos de control solar, anterior al vidrio. Se usó en Roma para impedir la vista al interior, controlar al fuga de calor en invierno e impedir el acceso de sol directo. Hoy es el sistema más común en las viviendas y existen un numero infinito de soluciones particulares.

Como las persianas, las cortinas son sistemas factibles de utilizar en rehabilitación y pueden ser muy eficientes. Se debe considerar las características del proyecto pero por lo general al estar al interior de la ventana, no alteran la imagen exterior.

## Postigos



El postigo es un sistema práctico de control solar, mas sencillo que la persiana tiene tres posiciones, abierto, cerrado o semi abierto. Se maneja para el control lumínico y la privacidad. En algunos casos tiene dividida la parte superior de la inferior para controlar de manera distinta ventilación, luz y vistas.

Muchos edificios históricos en Chile utilizan postigos lo más común es que éstos sean removidos. Si se trasmite la utilidad de este sistema puede que se valoren y se restauren. La incorporación de postigos nuevos altera la imagen si son colocados por fuera pero por dentro no tienen mayor incidencia que una cortina.

## Tamices



El control lumínico dado por los tamices es similar a una cortina, sin embargo se basa en un elemento rígido, normalmente inamovible y que por lo tanto pasa a ser parte de la fachada. Actualmente se utiliza a menudo como revestimientos exteriores a modo de piel puesto que permite una expresividad sensible de los edificios y un buen control climático si se utiliza en forma adecuada.

Como las persianas y las cortinas, los tamices son sistemas factibles de utilizar en rehabilitación y pueden ser muy eficientes. Se debe considerar las características del proyecto porque pueden alterar la imagen de la ventana ya que son fijos y permanentes.

## Ventanas entramadas



Antes que la cortina y por tanto del vidrio, los primeros controles solares que se produjeron para las ventanas fue el entramado de madera o piedra pe también en algo controlaba las vistas al interior y el ventilación. Por su puesto que no es un sistema eficiente en países fríos y húmedos pero muy práctico en lugares cálidos y secos. Se suele conocer con el nombre de *mashrabiya*.

Si el proyecto original no considera los entramados es difícil que puedan incorporarse sin alterar significativamente su imagen a menos que estas alteraciones sean parte de la propuesta arquitectónica, el clima y la norma lo permita.

**SISTEMAS DE CONTROL****DESCRIPCIÓN****APLICACIÓN**

---

**Quiebrasoles**

Los quiebrasoles son una textura extruida en el exterior de la envolvente de un edificio. Son prácticos no solo para impedir o controlar el sol sino las vistas. Pueden orientarse según la orientación necesaria de la fachada, para más o menos luz.

En rehabilitación pueden tener un fuerte impacto en la imagen exterior del edificio, por eso deben considerarse todas las estrictiones normativas y proyectuales antes de pensar en su incorporación.

---

**Muros entramados**

El cuestionamiento de los elementos arquitectónicos como símbolos, tales como la ventana, el techo, la puerta, hace que en la actualidad los muros puedan ser tratados como un sistema complejo que permite accesos de luz, aire, control de la vista, etc. en general pueden variar la forma en que se suele iluminar un espacio interior.

La incorporación de muros entramados ya sea como elementos añadidos o recambio de muros existentes debe considerarse con cuidado puesto que puede alterar significativamente la imagen del edificio. Si son utilizados al interior o en patios interiores pueden ser de gran utilidad y mayor factibilidad en una rehabilitación histórica.

---

**Pieles interiores y exteriores**

El desarrollo de materiales con características particulares permite la generación de pieles que pueden acompañar al muro tanto por dentro como por fuera. Dependiendo de las características de la piel, la luz se comportará de diferente manera.

Tal como los quiebrasoles y todos los sistemas que se incorporen exteriormente, en rehabilitación pueden tener un fuerte impacto en la imagen del edificio, por eso deben considerarse todas las estrictiones normativas y proyectuales antes de pensar en su incorporación.

## Materiales de alta reflectancia



El desarrollo de la fabricación de materiales de reflectancia controlada genera condiciones favorables para el manejo de la luz. En la actualidad algunas láminas metálicas especifican muy exactamente los niveles de reflexión llegando a pulidos con reflectancias especulares y de alta durabilidad.

Estas láminas pueden utilizarse como parte de sistemas existentes o nuevos en reemplazo de materiales que no sean tan reflectantes. La imagen eso sí puede verse alterada al incorporarlos porque son como espejos por lo que se recomienda en rehabilitación su utilización con moderación.

## Lentes



La invención del lente Fresnel ha dado paso al uso de este en algunos sistemas de captación solar para concentrar los rayos de sol desde áreas mayores hacia puntos específicos. Esta tecnología suele usarse en sistemas avanzados de transporte de luz como los sistemas de fibra óptica. El uso de polímeros permite que sean livianos y económicos.

Las láminas fresnel pueden reemplazar vidrios o estar incorporadas a sistemas de captación de sol en proyectos de rehabilitación. Su imagen es similar a la de un vidrio por lo que no debiera interferir sustancialmente en la imagen de un edificio rehabilitado.

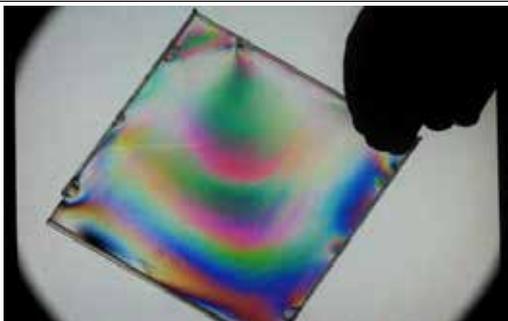
## Materiales translúcidos



La evolución de los materiales constructivos, en particular poliméricos, permite utilizar nuevas formas constructivas que generan iluminaciones distintas a las que estamos habituados. Esos materiales están revolucionando la arquitectura pues permiten no sólo construir de forma diversa sino que entregan calidades espaciales distintas gracias a la atmósfera lumínica que provocan.

Si estos materiales se ocupan en sistemas existentes como ventanas, lucarnas, etc. No debieran incidir significativamente en una rehabilitación. Sin embargo, las formas que ofrecen pueden ser incorporadas en una rehabilitación que acepte intervenciones contemporáneas.

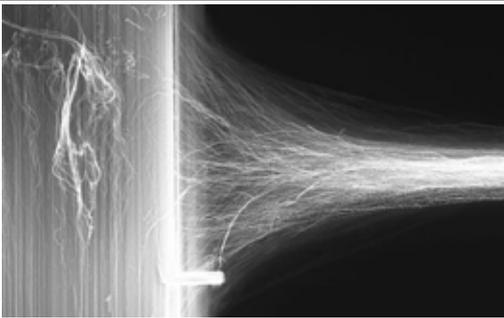
## Materiales polarizados



Los materiales polarizados en arquitectura permiten manejar la luz en forma específica separando el acceso de radiación sin aminorar la calidad de la imagen. Se usan en filmes para ventanas y sobre todo en la industria de la óptica sanitaria (anteojos de sol).

Como las láminas fresnel, los materiales polarizados pueden reemplazar vidrios o estar incorporadas a sistemas de captación de sol en proyectos de rehabilitación. Su imagen es idéntica a la de un vidrio por lo que no interfiere en la imagen de un edificio rehabilitado.

## Nano materiales



La tecnología en nano materiales promete cambios significativos para la industria arquitectónica puesto que podría reducir considerablemente los espesores, pesos y durezas de los materiales a su vez, entregar formas de iluminación distintas a las de los materiales convencionales, como el caso del Aerogel.

Este material se vislumbra como parte de algún sistema de captación altamente tecnológico, por lo tanto, en un proyecto de rehabilitación debe considerarse su factibilidad de uso en el marco de la factibilidad del sistema completo.

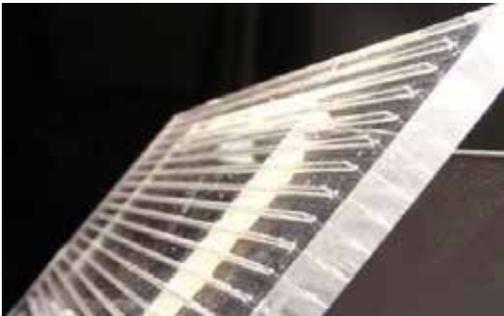
## Films



Existe un gran número de films distintos que se basan en diferentes tecnologías, desde micro prismas hasta membranas tratadas a nano escala. Sus usos son también muy diversos, desde control solar hasta filtros de color. Pueden variar enormemente la calidad de la luz y la imagen en los materiales transparentes, generalmente de las ventanas.

Estas láminas algunas veces pueden ser inocuas visualmente lo que permite su uso sin problema en rehabilitación. Más aún, pueden ser muy útiles para mejorar el desempeño de eficiencia energética de las ventanas antiguas. Si en cambio los films tiene tintes de color o reflectancias distintas debe considerarse el cambio que puede provocar en la imagen del edificio.

## Elementos de reflexión interna total



Siempre gracias al desarrollo de la industria del polímero, en este caso del PMMA, un acrílico de alta transparencia y ductilidad, hoy es posible generar sistemas complejos de transporte de luz basados en la tecnología que permite el modelamiento interior en el acrílico y por tanto ofrecer particulares trayectorias lumínicas. En la foto un *laser cut panel*.

Los *laser cut panels* pueden reemplazar vidrios o estar incorporadas a sistemas de captación de sol en proyectos de rehabilitación. Su imagen es similar a la de un vidrio por lo que no debiera interferir sustancialmente en la imagen de un edificio rehabilitado.

## Materiales retro reflectantes de bola



Este tipo de tecnología de retrorreflectancia o fluorescencia se utiliza en la actualidad casi exclusivamente en al industria del transporte, sin embargo es factible de investigar su utilidad como medio de utilización lumínica en arquitectura.

La aplicación de filmes o pinturas retrorreflectantes se prevé como parte de sistemas de captación de alta tecnología incorporados en proyectos de rehabilitación. Otro uso podría ser su aplicación en muros interiores o exteriores para aumentar la reflectancia pero no se sabe con certeza como es su vida útil ni como se vería alterada una fachada histórica con su utilización.

---

**Sistemas de control manual o domótica**

La domótica como sistema que suele facilitar las tareas del hábitat, en algunos casos puede ser útil para el control lumínico, en este caso controlando el heliostato como tecnología de seguimiento solar. De este modo es posible mantener iluminado durante gran parte del día un recinto sin acceso al exterior y por tanto a la luz directa.

La domótica es tecnología que va muy acorde con la rehabilitación pues permite que los sistemas utilizados puedan ser de menor envergadura y mayor rendimiento. Se debe considerar los requerimientos de instalaciones eléctricas y de aparatajes que requiere y que generan un fuerte impacto en la rehabilitación.

---

**Materiales retro reflectantes prismáticos**

También basándose en el principio del lente Fresnel, existen materiales capaces de redireccionar la luz y por tanto impedir el sobrecalentamiento por radiación directa si impedir la vista hacia el exterior.

Como las láminas fresnel, los materiales prismáticos pueden reemplazar vidrios o estar incorporadas a sistemas de captación de sol en proyectos de rehabilitación. Su imagen es similar a la de un vidrio por lo que no debiera interferir sustancialmente en la imagen de un edificio rehabilitado.





# CAPÍTULO 2.

## EL FACTOR HUMANO

Resulta imposible hablar de la luz sin entrar profundamente en su relación con el ser humano. Somos seres sensoriales, visuales en gran medida.

"La percepción no es algo que nos pasa a nosotros, o en nosotros (...) es algo que hacemos." Alva Noe argumenta que la percepción y la conciencia perceptiva depende de la capacidad de acción y de pensamiento o que la percepción es una especie de actividad reflexiva. La percepción no es un proceso en el cerebro, sino un tipo de actividad hábil del cuerpo como un todo (Noe 2004).

La percepción es una integración compleja y creativa, difícil de definir. Está dada en base a nuestra naturaleza biológica como seres vivos que somos y se inicia con el conjunto de fenómenos que nos informan de las características del entorno, mediante la captación por parte del organismo humano, de la manifestación de las distintas energías presentes en el ambiente. Francisco Varela y Jean Petitot (1999) describen el proceso perceptivo como un proceso de construcción, donde el 25% corresponde a lo real y el 75% es construido cerebralmente a partir de los archivos de mundo de los usuarios a través de segmentación, relaciones de contigüidad, relaciones de conexión y dependencia, y a partir de allí, la captación de totalidades que operan como interconexiones paralelas.

Esta hipótesis se inscribe en la línea de la llamada *Biología del Conocer* formulada por el Premio Nacional de Ciencias Humberto Maturana, en 1968 (Maturana 1968). Es imposible, en este espacio hacer un análisis detallado de esta teoría, pero se puede resumir en dos puntos: 1. La metáfora que interpreta el operar del sistema nervioso como un computador que analiza y clasifica una realidad externa es falsa. 2. El sistema nervioso en su operar construye modos de acción y percepción que son los objetos. Los objetos no son hechos del mundo externo, sino que construcciones dinámicas del sistema nervioso basado en su historial de interacciones con un mundo externo que no es conocible (Maturana et.al. 1995). Dicho de otro modo: la estructura del mundo no tiene que ver con el mundo en sí sino que con la estructura del sistema nervioso que interactúa con ese mundo. En otras palabras lo que Heisenberg ya anunciaba a mediados del siglo XX: "Lo que nosotros observamos no es la naturaleza misma, sino la

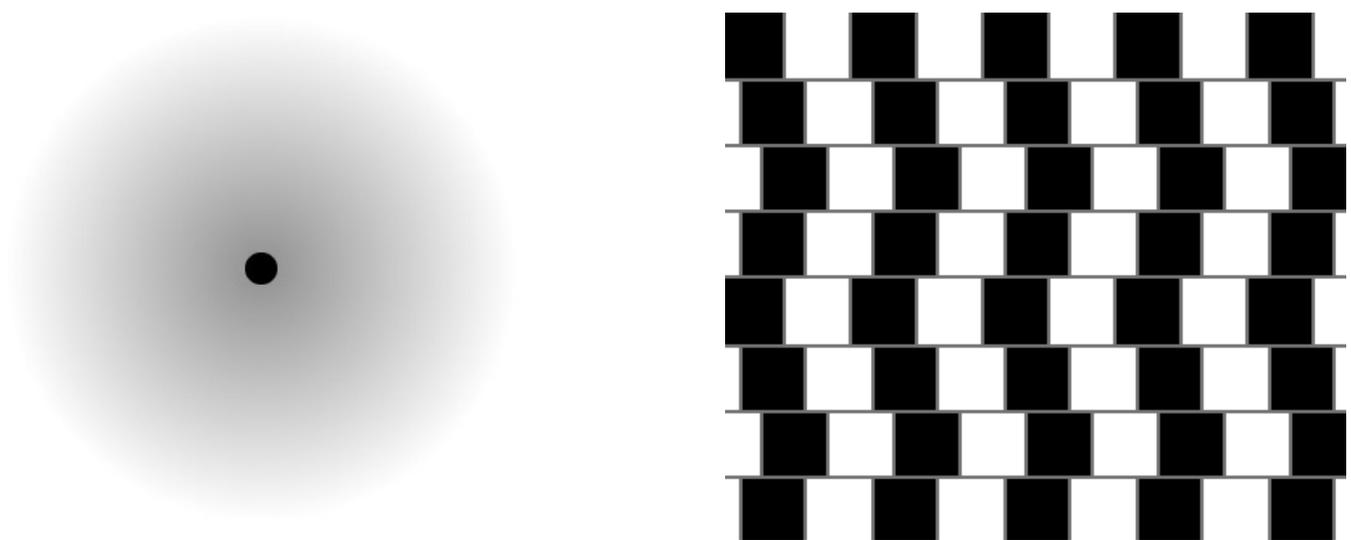


Figura 2.1: Ilusiones ópticas, de acostumbramiento y deformación. Las ilusiones ópticas tiene orígenes diversos en una gradiente que va desde procesos netamente fisiológicos o neurológicos hasta experienciales o culturales. Fuentes: [www.micheal-bach.de](http://www.micheal-bach.de).

naturaleza expuesta a nuestro método de interrogación” (Heisenberg 1958).

Para analizar la respuesta del ser humano frente a los estímulos podemos partir por comprender los sistemas de interacción que utilizamos y que normalmente llamamos sentidos. Serra y Coch (1995) distinguen el proceso de captación en tres niveles: primero un nivel físico, que recibe las manifestaciones energéticas existentes en el ambiente; en segundo lugar un nivel fisiológico-neurofisiológico, donde se recibe el estímulo en los órganos adecuados de nuestro cuerpo para luego transformar los estímulos energéticos en impulsos nerviosos (señales eléctrico químicas) y el transporte de estas señales al sistema nervioso central y cerebro; y por último, el nivel psicológico-cognitivo, que clasifica e interpreta en el cerebro el conjunto de señales eléctricas recibidas, las que contrasta con el almacenamiento de experiencias vividas por cada persona y donde se forma finalmente lo que Maturana llama percepción del objeto.

Para clasificar la manera de actuar de los sentidos es posible dividirlos en dos grupos: los sentidos endoperceptivos, que recaudan información sobre el estado interno de nuestro cuerpo; y los sentidos extraperceptivos, que nos permiten percibir el mundo exterior. Todos ellos poseen características funcionales: de especificidad, esto es, son estimulables por ciertas manifestaciones de energía; de excitabilidad, lo que significa que distinguen estímulos ligeramente distintos en ciertas condiciones; de limitación, por tanto trabajan dentro de ciertos límites dados según nuestra naturaleza fisiológica; y de adaptación a las repeticiones e intensidades, perdiendo sensibilidad a través del tiempo (Figura 2.1).

Entre los sentidos endoperceptivos se distinguen dos tipos, los cenestésicos, que informan sobre el estado de funcionamiento interno del cuerpo y los cinestésicos, que informan sobre nuestra posición (orientación y movimiento) con respecto al plano geográfico formando la propiocepción.

Entre los sentidos extraperceptivos en tanto, están los que conocemos más comúnmente: vista, oído, tacto, gusto, olfato, sentido criostésico (térmico), sentido álgico (percepción del dolor).

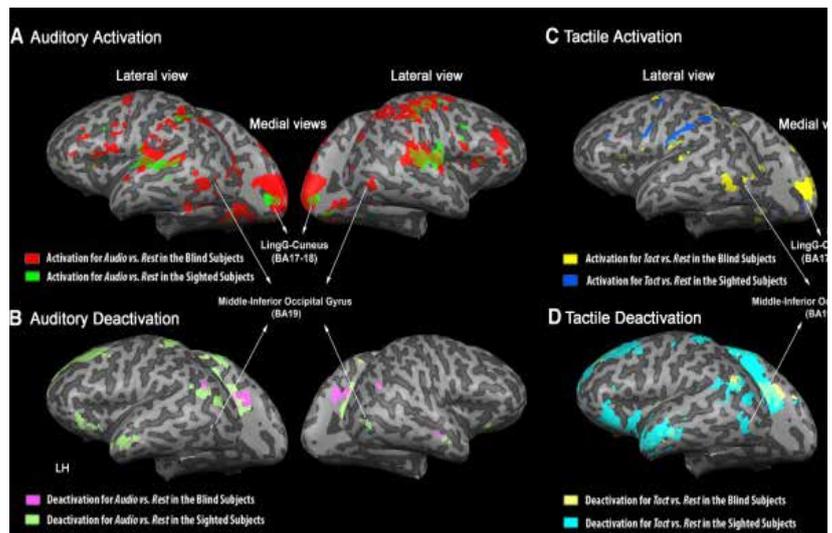
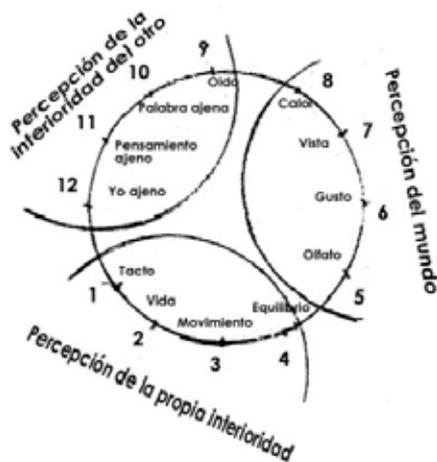


Figura 2.2: Modelo de Percepción de Rudolf Steiner, c. 1920. Imágenes de activación en el cerebro para percepción auditiva (izq.) y táctil (der). Fuente: Los doce sentidos del ser humano (Steiner 1917).

La radiación solar como estímulo físico interactúa con diversos órganos sensoriales: por su poder calórico (infrarrojo, onda larga), lumínico (luz, 400 a 700 nm) y a través del movimiento solar permite la orientación en el tiempo y el espacio (ubicación geotemporal). La luz, en particular actúa sobre el órgano que permite la vista en modo extraperceptivo, y al igual que el oído, responde con especificidad, excitabilidad, limitación, y adaptación a estímulos distantes. Según Pallasmaa (2006), en cierto modo, la vista es también una forma de tacto al exponer el ojo a la ‘interacción’ de una onda (entre 400 y 700 nm) o a una partícula (el fotón) al describir la luz en su forma dual, esto es, considerandola tanto en su alida de onda o como partícula. Por tanto, el tacto y no la visión, debiera ser nuestro modelo de percepción (Noe Op.cit).

Otro modelo sensorial fue planteado por el filósofo alemán, Rudolf Steiner entre 1909 y 1917 en su libro *Los enigmas del Alma* (Steiner 1917). En total el ser humano, según su visión, cuenta en realidad con doce sentidos, los ocho ya mencionados anteriormente, endoperceptivos y extraperceptivos, a los que suma los que sirven para la comunicación con otros seres humanos con quienes convivimos, lo que Steiner llama sentidos sociales (Figura 2.2). Steiner también reflexiona sobre las características de la percepción donde establece que existe un nivel de percepción suprasensible, donde no participan los sentidos, que presenta tres modos: Imaginación, Inspiración e Intuición. El modelo perceptivo de doce sentidos juega un rol fundamental en la obra filosófica de Steiner en combinación con su idea de las tres fuerzas del alma: pensar, sentir y querer, y los tres dominios del cuerpo: polo neurosensorial, polo rítmico y polo metabólico-motor. Sin duda esta teoría plantea una interesante manera de comprender al ser humano como un todo integral entre su propio ser y las relaciones que establece con el entorno físico, social y afectivo.

## 2.1. EL SISTEMA SENSITIVO DE LA LUZ

Se llama visión a la capacidad de interpretar nuestro entorno gracias a la luz. La visión o sentido de la vista es una de las principales capacidades sensoriales de ser humano. El sentido de la vista está dado por un órgano receptor, el ojo y las vías ópticas que transmiten la información al cerebro. El aparato está protegido por los párpados y por la secreción de la glándula lagrimal. Es movilizado por un grupo de músculos extrínsecos comandados por los nervios motores del ojo.

El ojo es uno de los órganos más importantes en el proceso de captación de información lumínica. Existen diversos tipos de ojo entre los seres vivos y en diferente grado de complejidad según el estadio evolutivo. Los primeros predecesores de los ojos fueron las proteínas fotorreceptoras llamadas manchas oculares que podían percibir luminosidad ambiental, distinguir la luz de la oscuridad, lo cual es suficiente para la sincronización diaria de los ritmos circadianos según los ciclos lumínicos del día y la noche y las variaciones lumínicas estacionarias (Land, Fernald 1992).

Los sistemas ópticos complejos comenzaron cuando las manchas oculares se fueron profundizando en una concavidad que permitió la diferenciación direccional o ángulo de recepción. Cuando la profundidad del ojo primitivo llega a cierto punto se produce el fenómeno de la cámara oscura (*pinhole*), siempre con la retina como telón de fondo. Al reducir el tamaño de la abertura, el organismo logra una proyección de imagen en la retina, lo que permite la detección fina de dirección e incluso la forma.

La aparición de un humor transparente tuvo como resultado prevenir la contaminación y llenar la cámara de un material con un alto índice de refracción que optimiza el filtrado de color y el bloquea de la radiación ultravioleta. Las lentes del ojo evolucionaron para mejorar la longitud y exactitud focal respecto de la posición de la retina, tanto en forma como en índice de refracción (Fernald, Russell 2001). El foco de las lentes oculares (cristalino y cornea) coincide también, al menos en el ojo humano, con la zona de mayor resolución retiniana, es decir, donde se concentra la mayor cantidad de células receptoras de luz y color, bastones y conos. El cristalino, la lente más poderosa del ojo humano, es una lente biconvexa, óptica y mecánicamente ideal para lograr una buena resolución. En nuestro ojo,

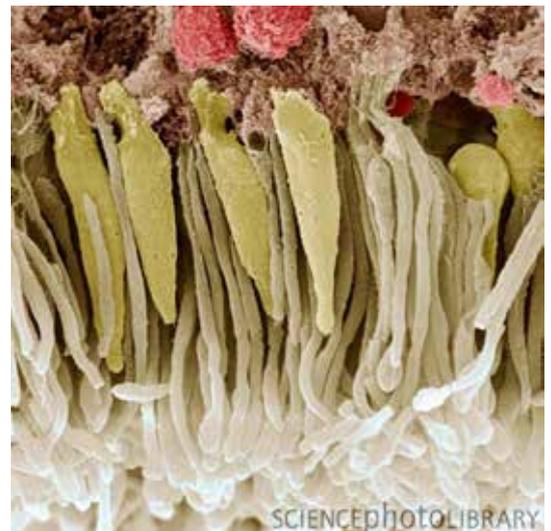
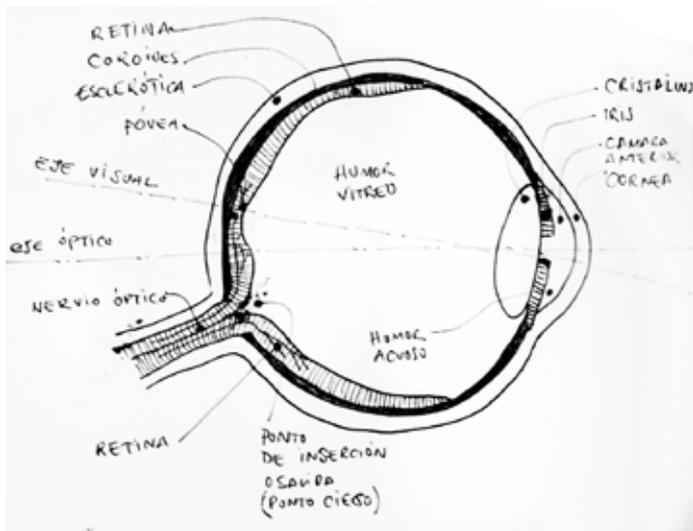
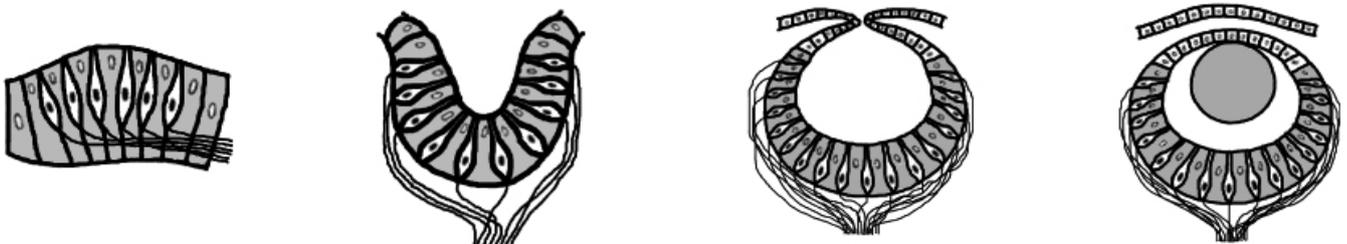


Figura 2.3: Arriba, el ojo humano y células neuronales de la retina. Fuentes: Archivo de la autora y scienciphoto library.com. Abajo: Evolución del ojo desde un conjunto de células fotosensibles (organismos prehistóricos) hasta el ojo moderno. En [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), mayo de 2013.



la capa no transparente —el iris— divide en dos las lentes: cornea (exterior) y cristalino (interior). El iris también oculta las imperfecciones ópticas en los bordes de la lente, las que aumentan gradualmente con la curvatura de la lente y su poder de resolución, lo que se relaciona con los requisitos de caza y supervivencia (Ather, Klyne 1985) (Figura 2.3).

Los seres humanos y casi todos los vertebrados contamos con distintos tipos de células fotorreceptoras. Las células fotorreceptoras de la retina se dividen al menos en dos tipos: conos y bastones, y se encuentran en grandes cantidades en el ser humano: de 4 a 6 millones de conos y entre 90 y 120 millones de bastones. Los conos actúan como células receptoras de color, son sensibles a la longitud de onda, mientras que los bastones, considerablemente más, son sensibles a la presencia o ausencia de luz.

La capacidad de ver los colores presenta ventajas selectivas para distintas especies, como el ser capaces de reconocer depredadores, alimentos y compañeros. De hecho, se cree que los mecanismos sensoriales simples pueden controlar selectivamente los patrones de comportamiento general, tales como el de escape, búsqueda de alimento y escondite. Se han identificado diversos ejemplos de patrones de comportamiento específicos de longitud de onda, los que se han separado en dos grupos: menos de 450 nm, asociados con las fuentes naturales de luz, y más de 450 nm, asociados con las fuentes de luz reflejada (Menzel, Randolph 1979).

## 2.2. EFECTOS DE LA LUZ EN EL HUMANO

La información lumínica que llega al cerebro a través del aparato sensitivo a la luz, el ojo, se separa en dos partes, cada una de las cuales introduce diferente información al cerebro después del paso de la luz por la retina. Es por ello que el sólo acceso de luz en el ojo y sus partes asociadas, aún no puede llamarse visión o efecto óptico. (Murgia 2002, 11) puesto que parte de la información que recibimos de la luz es transformada en efectos que son considerados no visuales. La separación se produce posteriormente al paso por la retina, donde una parte de la información deriva a la corteza visual, a través del Núcleo Genicular Lateral, y la otra pasa al hipotálamo vía Núcleo Supraquiasmático (SCN) (Figura 2.4).

El sistema visual capta la luz mediante el ojo, en el cual su primer elemento, el cristalino, como lente que es, reordena y concentra los rayos de luz en función de su punto de origen. De esta forma, reproduce sobre la retina, en posición invertida y a escala reducida, una imagen en correspondencia espacial con los estímulos que la han originado. No es el sistema visual sino el cerebro el que instala lo visto en la posición correcta y nos permite el reconocimiento de objetos. Y la información visual queda encerrada en tres datos básicos que en conjunto expresan algo existe allí afuera, cuánto es, cómo es y dónde está:

- Intensidad o brillo de la luz (amplitud de onda)
- Color de la luz (longitud de onda)
- Posición del estímulo y sus accidentes (coordenadas espaciales)

En la capa retiniana interior formada por los fotorreceptores, conos y bastones, los estímulos físicos de la luz, mediante una transformación electroquímica se convierten en señales dirigidas al cerebro. Pero no en una relación pasiva 'punto a punto' en que cada célula retiniana calza unívocamente con una zona cerebral: en la retina ya se inicia un proceso de tratamiento de la información por comunicación

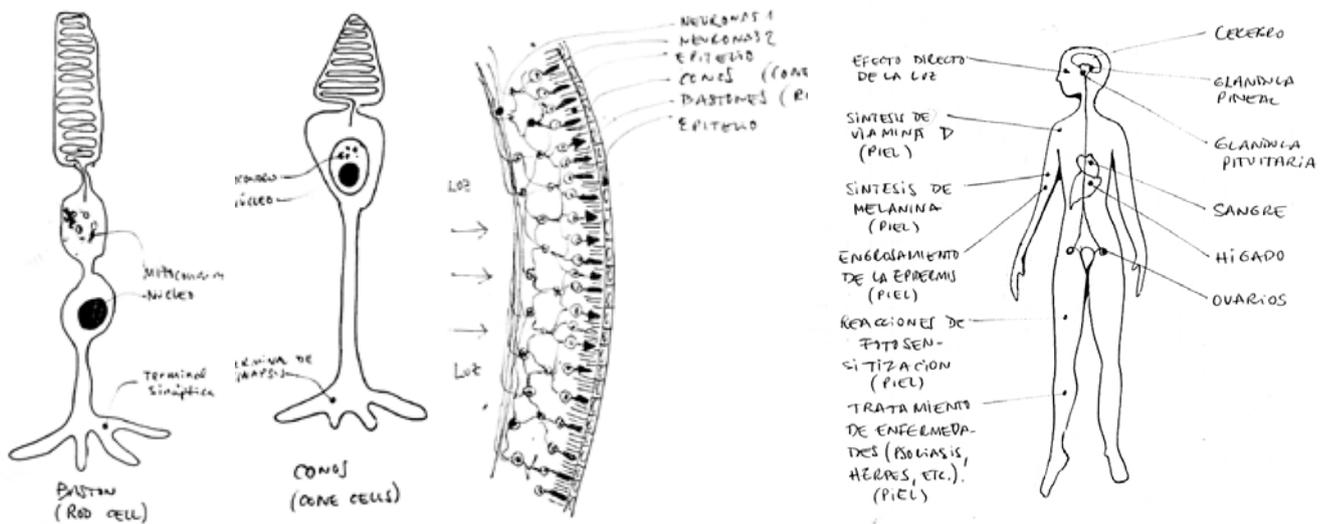
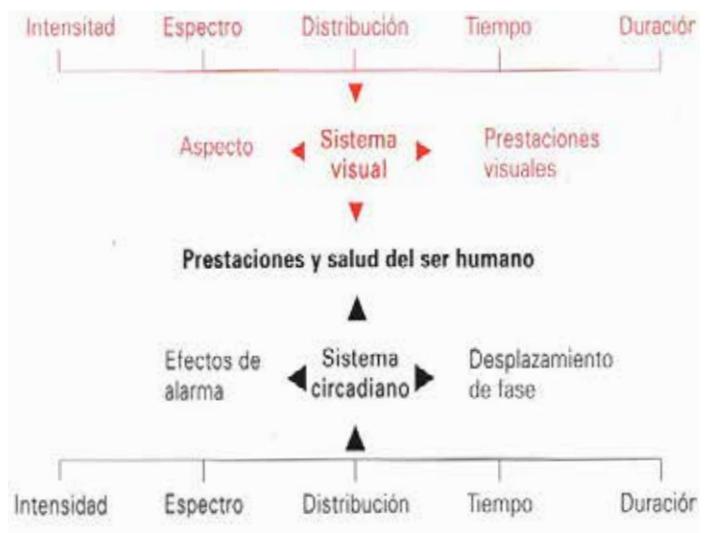
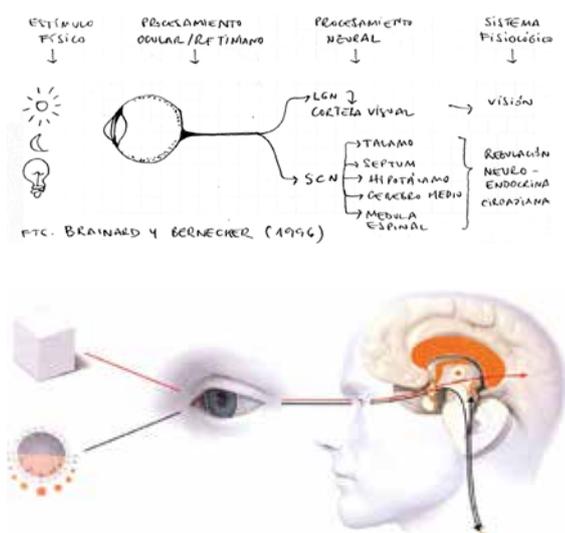


Figura 2.4: Retina y células receptoras: cono (cone) y bastón (rod). Órganos humanos afectados por la luz del sol. Archivo de la autora. Abajo: proceso fisiológico de percepción lumínica. Fuentes: Archivo de la autora y More than vision (Rea 2007 2).



entre receptores contiguos que, según su especialización, se activan en función de características de la luz y su posición dentro de la escena, aspecto fundamental a considerar en el diseño visual.

El nervio óptico, por su parte, al transportar dicha información, en una segunda fase de elaboración de la información, ofrece caminos alternativos a dichas señales también en función de las características del impulso. De modo que a nivel funcional, el nervio óptico y la retina, pueden considerarse extensiones cerebrales: reciben estímulos energéticos definidos por tres dimensiones de la luz en cuanto a su amplitud y longitud de onda, y la posición. Estos traducen su energía en información y su transmisión al córtex cerebral es el segundo elemento del proceso. Porque el estímulo neuronal primario no es aún visión: si bien contiene los datos iniciales de la retina (amplitud, longitud de onda y posición) más datos relacionales que aporta el pre-procesamiento de la imagen (en retina y nervio óptico), ellos continúan siendo sólo códigos que precisan de más procesamiento para generar la decodificación o representación visual y que constituyen una interface de adaptación del ojo receptor a las condiciones imperantes.

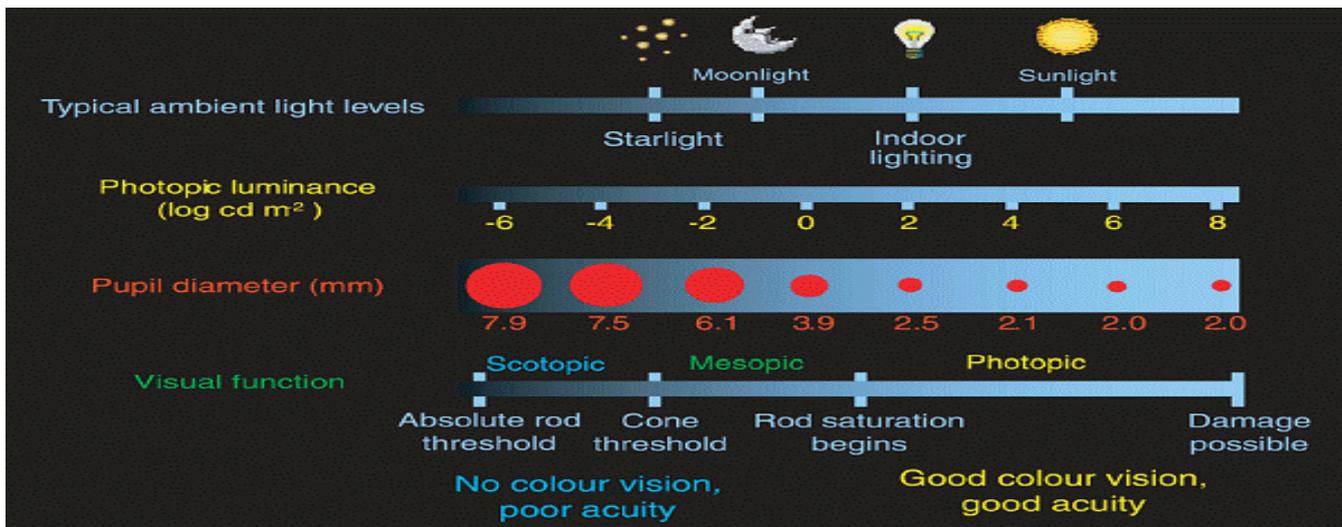


Figura 2.5: Correspondencia entre visión fotópica, mesópica y escotópica con distintos niveles de iluminación y sus fuentes. Fuente: www.visual-3d.com.

## 2.2.1. SISTEMA VISUAL - LA CONSTRUCCIÓN DE LA IMAGEN

En cuanto al sistema visual o también llamado efecto óptico (Murgia Op.cit.), su función final deviene en lo que comúnmente llamamos visión, lo cual significa que somos capaces de establecer y formar imágenes traduciendo el flujo electromagnético de la luz en una señal visual, mediante el complejo proceso fisiológico en el ojo y psicológico en nuestro cerebro. La luz que entra al ojo estimula las células fotorreceptoras, conos (entre 4 y 6 millones) y bastones (entre 90 y 120 millones), produciendo reacciones químicas que generan impulsos eléctricos a través de la retina. Es aquí donde se produce la traducción de la señal electromagnética en señal visual.

En la proceso de visión intervienen las mismas partes del aparato ocular donde la imagen con mucha luz se produce en un procesamiento en la retina. Mientras que las imágenes con poca luz, se producen en proceso complementario en el cerebro (interpretación). La adaptación a los niveles de luz para la formación de la imagen se produce en primer lugar, gracias a la regulación del diámetro de la pupila. Posteriormente por la adaptación de las células ganglionares de la retina donde este mecanismo amplía a cuatro órdenes de magnitud nuestra capacidad de percepción de luminancia con tiempos de adaptación a bajos niveles lumínicos de entre 5 a 60 minutos, mientras que en sentido contrario de poca a mucha luz, los tiempos de regulación y adaptación tardan menos de un minuto. Las diferencias de lumínicas entre un espacio y otro no debieran ser mayores a un factor de 3, diferencia que para el ojo toma alrededor de 0.1 seg adaptarse. Afuera los niveles llegan fácilmente a 1000 cd/m<sup>2</sup> y en un interior lo normal es un rango de entre 100 y 10 cd/m<sup>2</sup> (Baker, Steemers Op.cit. 170).

La adaptación. En el ojo, los mecanismos de adaptación a los niveles energéticos luminosos son dobles. Primero está la pupila, que modifica su superficie entre 1 y 16 veces, con un mecanismo de diafragma de tipo retroactivo, que se adapta reaccionando a la cantidad de luz que llega. Puede adap-

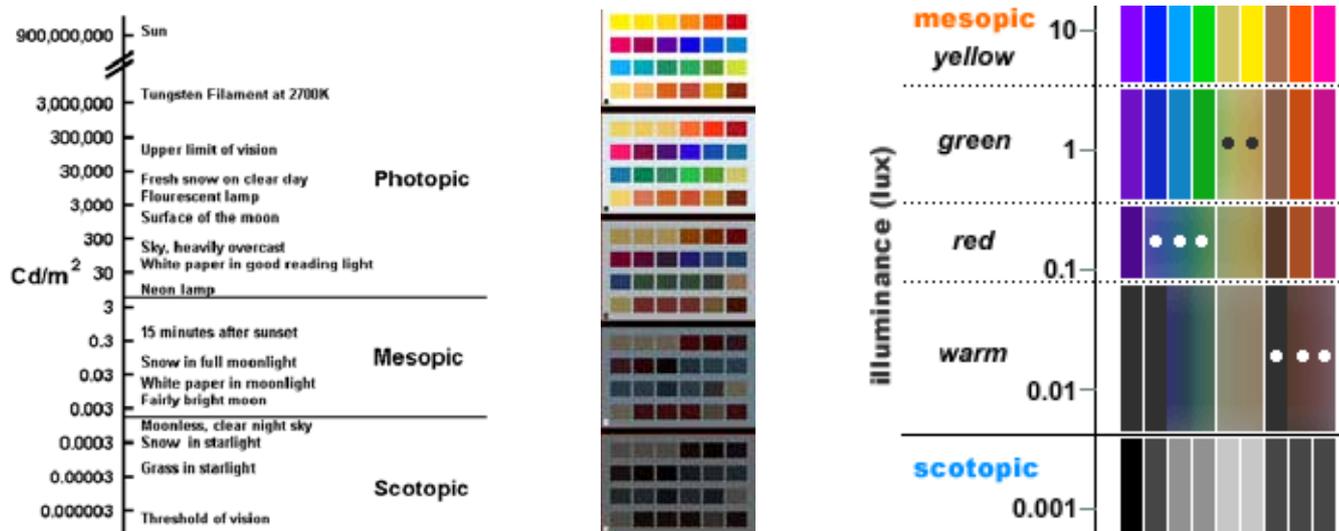


Figura 2.6: Correspondencia numérica entre luminancia, iluminancia y categorías de visión. Como vemos según las cantidades de luz: A medida que la luz disminuye, se va perdiendo la capacidad de ver colores, los conos necesitan altas cantidades de luz para funcionar. Fuentes: [www.visualexpert.com](http://www.visualexpert.com) y [www.handprint.com](http://www.handprint.com).

tarse muy rápidamente a las grandes cantidades de luz contrayéndose en pocos segundos, aunque en la oscuridad tarda hasta cinco minutos en llegar a su abertura o dilatación total. Esto se produce como mecanismo de protección pues el exceso de luz podría dañar las partes interiores del ojo.

El segundo mecanismo de adaptación es neuronal, y se produce en las células de la retina mencionadas anteriormente, conos y bastones. Por debajo de luminancias de  $0,001 \text{ cd/m}^2$  utilizamos los bastones que trabajan a niveles muy bajos de energía incidente, responsables de apreciar las variaciones de intensidad de la luz, esto es la amplitud de onda pero no su longitud, por lo que no hay sensibilidad al color. Al captar las intensidades de luz ubican los estímulos y captan movimiento por lo cual la visión con los bastoncillos es llamada visión escotópica (Figura 2.5).

Por encima de  $0,03 \text{ cd/m}^2$ , los conos aprecian tanto la cantidad de luz, brillo, amplitud de onda, como su color o longitud de onda. El ojo percibe colores mediante conos especializados con distinta sensibilidad a la longitud de onda. De modo que el color de la luz es consecuencia de energía en las distintas longitudes de onda del espectro y de una elaboración: el ojo humano discrimina las distintas longitudes y frecuencias de onda de la luz adquiriendo la sensación o temperatura de color. Este tipo de visión es llamada visión fotópica. En el ojo humano se encuentran los conos en un número importantemente inferior a la cantidad de bastones por lo que en situaciones de poca luz, lo primero que perdemos es la capacidad de 'ver colores' y tendemos por lo tanto a ver en 'blanco y negro' (Figura 2.6).

La visión fotópica ha servido de base para establecer las unidades de luz con que ésta se mide a nivel físico. Así por ejemplo, el flujo luminoso será el resultado de dividir el flujo radiante por el coeficiente de sensibilidad del ojo para cada longitud de onda, o sea para cada color y matiz. El valor máximo del coeficiente de sensibilidad resultante es 1 que corresponde a 555 nm de longitud de onda y al color amarillo-verdoso. Los coeficientes menores llegan hasta el azul índigo, en los 400 nm, y los máximos al rojo, en los 700 nm.

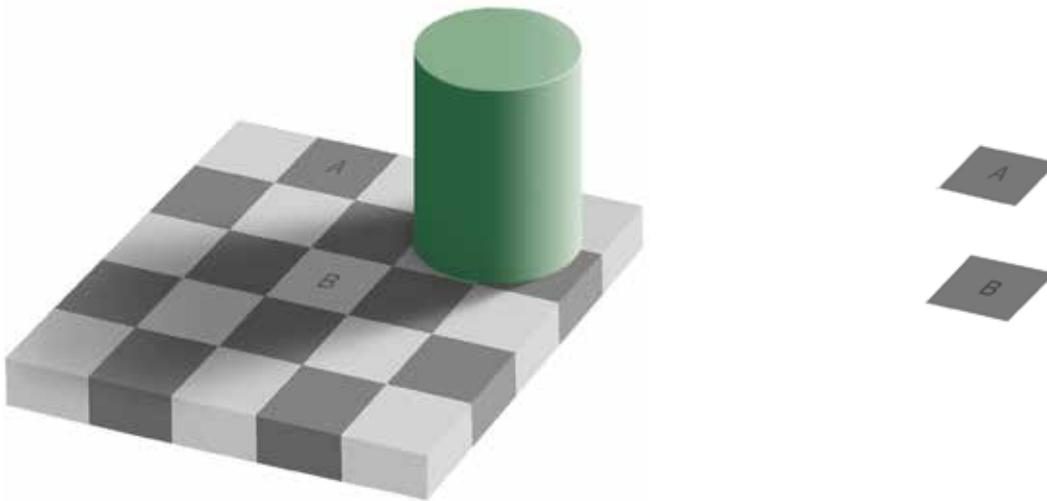


Figura 2.7: Ilusión óptica de distorsión del color (luminosidad del gris) respecto del contexto y la imagen que armamos: vemos lo que creemos no lo que en realidad vemos. Fuente: Edward H. Adelson.

Pero además de la sensibilidad a la cantidad de energía, para medir la percepción se tienen en cuenta también otros efectos lumínicos. Por ejemplo el efecto de la fusión de dos señales simultáneas de luz, la que hace que dos colores distintos se mezclen y den un nuevo color donde no se distinguen los componentes. Igualmente importante es el efecto de enmascaramiento, donde una señal muy fuerte puede hacer que se dejen de percibir otras más flojas, aunque de longitud de onda diferente.

### **Brillo aparente**

El ojo tiende a calibrar las luminancias de forma que la percepción nunca sea tan tremendamente diferente entre una y otra. Este fenómeno es el que contribuye a que podamos reconocer espacios y situaciones aún cuando los niveles de luminancia sean tan diversos y varíen tanto de un punto a otro. Esto hace difícil la medida de las cantidades de luz necesarias ya que el ojo no siempre 've' igual las mismas cantidades sino que éstas se deforman según el contexto. Las personas aprendemos a distinguir entre la luminancia del color del objeto y la iluminación que éste recibe, es por eso que no sólo vemos colores sino que los 'entendemos' más allá de si lo que vemos es realidad o no (Figura 2.7).

### **Campo visual**

Dentro del cono o campo visual, existen distintos tipos de zonas según la concentración de células fotorreceptoras lo que puede definirse como zonas con distinta resolución. La zona de visión más exacta, o zona de mayor agudeza visual, coincide con el centro de la retina, la fovea, donde se concentra la mayor parte de las células receptoras, en particular los conos. Hacia la periferia va disminuyendo la cantidad de células, tienden a desaparecer los conos y por ello las células encargadas de captar el estímulo lumínico son sólo bastones y en menor número lo que produce una visión menos exacta y sin color (zona llamada ergorama). Finalmente la zona panorama se extiende desde los 60° hacia el límite externo de la visión, dado por la cara y el máximo de rotación ocular. En esta zona se advierte más que nada el movimiento (variaciones lumínicas) antes que las formas. Sumado a las características resolu-

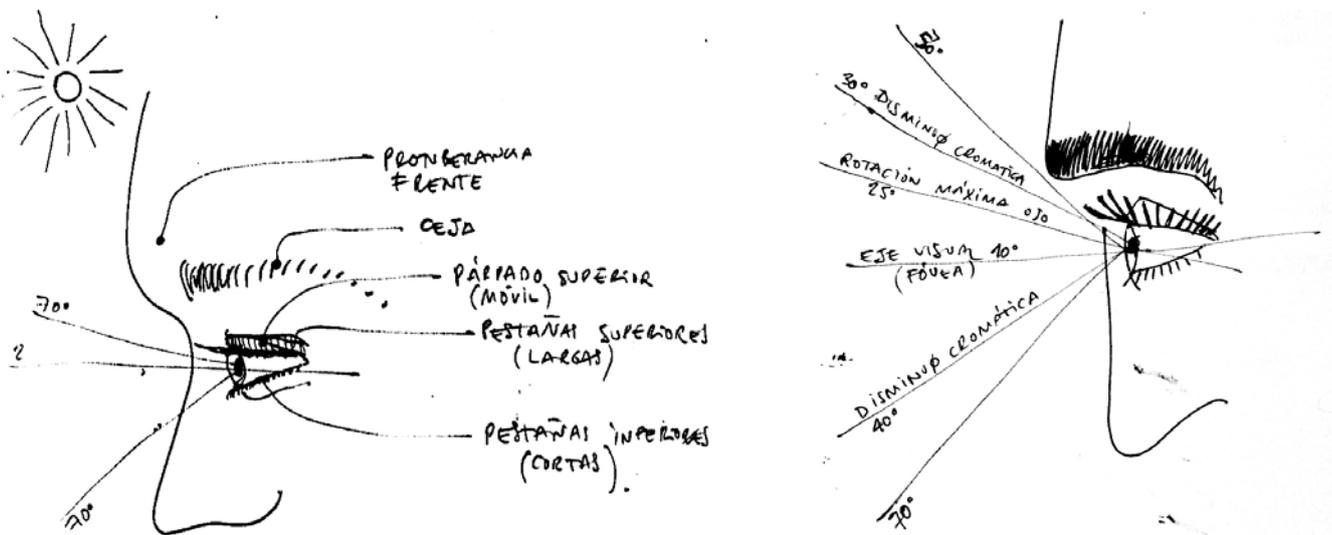


Figura 2.8: Anatomía del sistema visual y ángulos verticales de la visión. Fuente: Archivo de la autora.

tivas de la retina existe la captación posible gracias a la enorme rapidez de movimiento del ojo: cubre hasta 10° en 0.04 seg (Figura 2.8 y Figura 2.9).

El método de cuantificación visual 'J index', se basa en medir la diferencia entre el máximo de agudeza que puede tener una persona en condiciones óptimas de iluminación ( $A_{max}$ ) y la agudeza que tiene en el plano de trabajo ( $A$ ), donde  $J = (A_{max} - A) / A_{max}$ . La agudeza  $A_{max}$  se mide en forma simple con un test. La agudeza  $A$  en cambio se mide con tres medios: a. según el contraste de luminancia del objetivo (texto) y el fondo (papel); b. el contraste de luminancia entre el fondo (papel) y el entorno; y c. la iluminancia que llega al ojo.

### El enfoque y ubicación

Para el mecanismo de enfoque hay especies que mueven la lente hacia adelante o hacia atrás, otros regulan su forma mediante el delta en el espesor, otro modificando químicamente la lente y otros mediante el control del crecimiento del ojo. Los errores de coordinación aumentan a medida que aumenta la apertura. A medida que la especie se hace más grande, el medio de enfoque necesita desarrollarse a la par que el tamaño.

Para el sistema de ubicación la posición de los ojos es muy importante, hay animales que tienen los ojos a los lados de su cabeza para tener un campo de visión más amplio, con el fin de evitar depredadores. Los depredadores en cambio tienen los ojos frente a la cabeza con el fin de tener mayor agudeza visual y una mejor percepción de la profundidad (U.S. Department of the Interior 2009).

En el caso del ser humano, el hecho de tener los receptores (ojos) al frente y en lo alto de nuestro cuerpo define un sentido direccional que orienta nuestra percepción, por eso sólo podemos captar lo que está frente a nosotros. No así otros sentidos que tienen la capacidad de captar el espacio con mayor tridimensionalidad. Sin embargo, como percibimos usando simultáneamente todos los sentidos

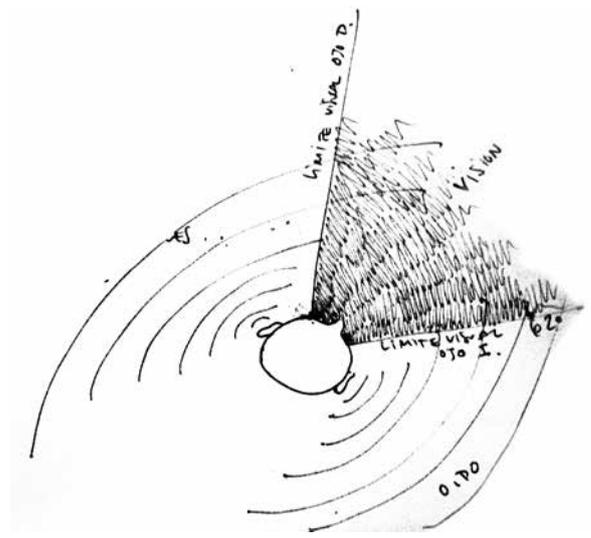
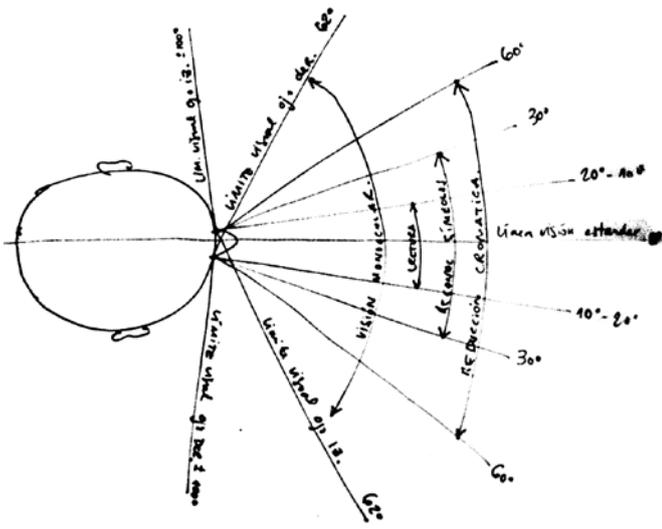


Figura 2.9: Arriba: Ángulos visuales horizontales y comparación entre el campo perceptivo visual v/s aural (auditivo). Fuente: Archivo de la autora.

Figura 2.10: Esquema de las áreas monoscópicas y estereoscópicas en diversas especies. Fuente: Archivo de la autora.

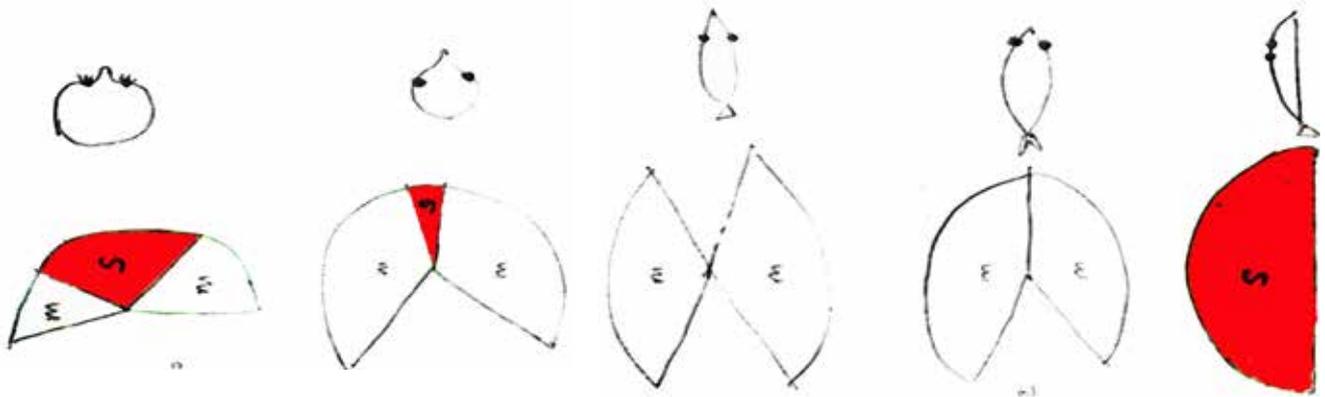
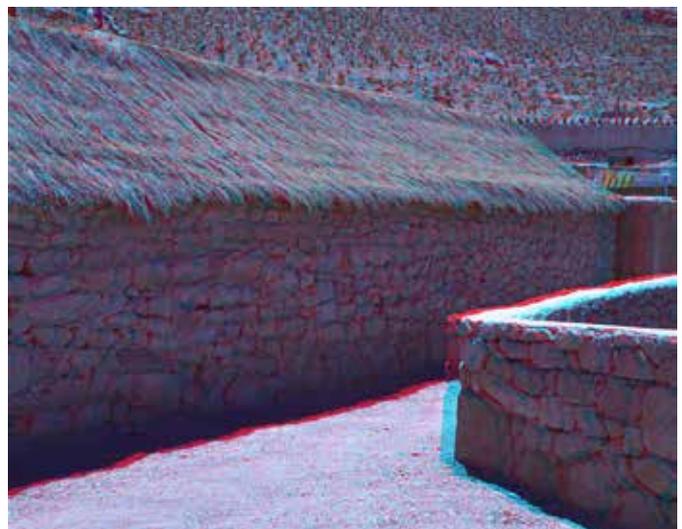


Figura 2.11: Imágenes 3D con sistema anaglifo, San Pedro de Atacama y pueblo de Caspana, Atacama. Fuente: Archivo de la autora.



(Merleau Ponty 1964), la vista se ve complementada enormemente en el proceso de percepción, no es posible imaginar el proceso visual sin la interacción experiencial de vivir con todos nuestros sentidos (Figura 2.10).

### **Construcción de profundidad**

La naturaleza estereoscópica de nuestro aparato visual o estereopsis, permite la captación de la profundidad espacial a través de la construcción de dimensiones perceptuales (Letelier en Fajnzylber 2013). Esto es un proceso mental que fusiona dos imágenes planas para crear una única imagen tridimensional, como estar en dos momentos a la vez o incorporar, en forma instantánea, la cuarta dimensión temporal que permite la construcción 3D a través de la visión en movimiento o paralaje.

Se puede construir profundidad de muchos modos distintos, entre ellos la estereopsis y paralaje: dos puntos de vista distintos ya sea instantáneamente o en el tiempo. Para Letelier, lo importante de la construcción de profundidad es en realidad el hecho de permitir el desempeño mediante la acción coordinada en el espacio tridimensional, esto es, ser capaces de tener movimientos calibrados, sin equivocación respecto de la posición de los objetos con los cuales interactuamos. Y dado que para el Homo Sapiens la manipulación de objetos está al centro del mundo biológico y social, la visión en 3D es muy importante para nuestra especie (Letelier Op.cit 43). La construcción de profundidad ya sea mediante estereopsis o paralaje depende en gran medida de la acción que debe ejecutar el observador. Por ejemplo, en el caso del cine 3D, que utiliza la estereopsis como medio para lograr la percepción de profundidad, la acción a lograr es la sensación de inmersión, crucial para generar la experiencia vivencial (Figura 2.11).

## 2.2.2. SISTEMA CIRCADIANO – GEOTEMPORALIDAD

Según establece George Brainard en el último congreso de la CIE realizado en 2014, en el arte y la ciencia de la iluminación arquitectónica hay cuatro objetivos tradicionales: 1) debe ser óptima para el rendimiento visual; 2) producir confort visual; 3) permitir la apreciación estética del espacio; y 4) ser eficiente energéticamente. Sin embargo, desde hace algunos años ya, la luz se aborda respecto de su influencia en la salud humana, lo que está produciendo cambios importantes en las futuras estrategias de iluminación arquitectónica (Brainard 2014).

La información lumínica que interactúa con nuestro sistema neuroreceptor (celulas neuronales de la retina), se divide e información que va, por una parte, a la corteza visual y estimula la producción de imágenes (efecto óptico) y por otra, a la estimulación del sistema endocrino responsable de la generación de hormonas relacionadas a los ciclos luz-oscuridad. Por ende, la información del ambiente lumínico produce un conjunto de efectos no ópticos que ponen en marcha el sistema endocrino y el sistema nervioso autónomo. La consecuencia vital es la generación de los ritmos biológicos de los organismos (Serra, Coch Op.cit.).

Los seres vivos, vertebrados, invertebrados, vegetales, mamíferos, contamos con múltiples sistemas que funcionan en modo cíclico: sueño-vigía, ritmo cardíaco, presión arterial, ciclo ovulatorio, conducta reproductoria, migratoria, hormonal, etc. Estos ciclos se ven influenciados por las variaciones de luz diarias, estacionales o anuales, entre otras, y se regulan en el organismo mediante un reloj biológico, estudiado por la cronobiología. Las variaciones lumínicas que inciden en la generación de estos ciclos son la cantidad de luz, el espectro, la distribución, el tiempo y la duración de la exposición (Rea 2007, 6).

El ciclo diario de una persona, o ciclo circadiano, está estimado en algo más de 24 horas (Rea Op.cit. 4), sumado a esto, si consideramos que las variaciones de un día a otro en promedio fluctúan en los 4 minutos, lo se hace evidente que la regulación con respecto a los estímulos externos, entre ellos, la luz, contribuyen a fluir al unísono con el ritmo natural del ciclo diario. El ajuste al proceso cambiante

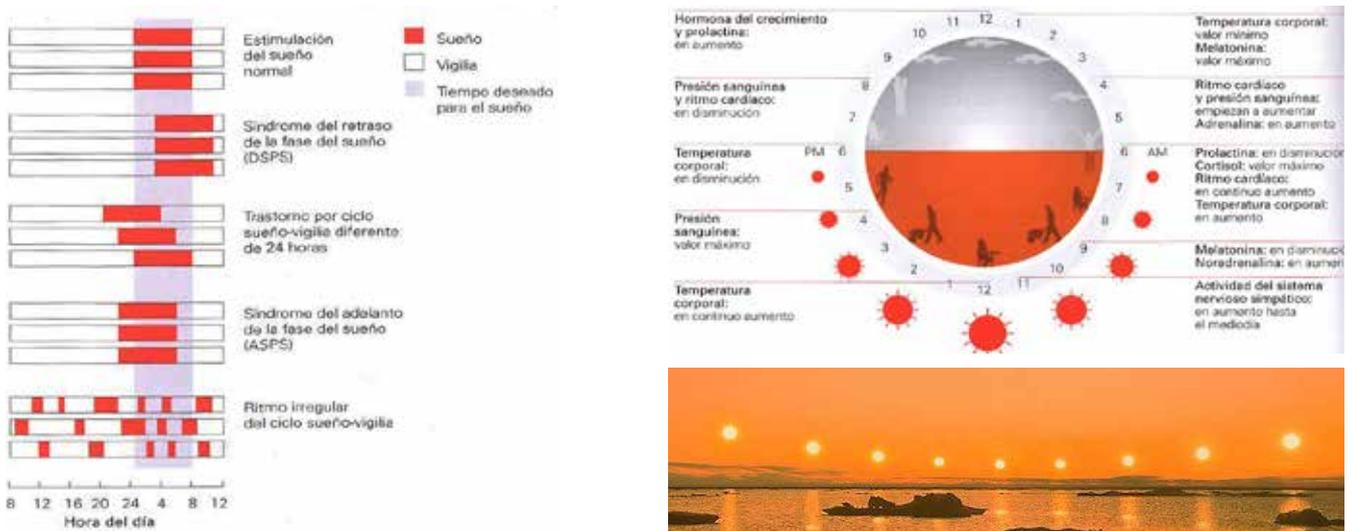


Figura 2.12: Gráficos del trastorno en el sistema circadiano. Correspondencia entre horas del día y funciones fisiológicas. Fuente: More than vision (Rea, et al, 2007. pág. 25, pág. 50).

de los ciclos diarios o estacionales, evidencia la adaptabilidad a los cambios que tenemos los seres vivos, por lo cual los ciclos circadianos refieren a un ciclo ‘cercano a’ una determinada frecuencia, no estática, no siempre igual.

Los desórdenes en los ciclos naturales a los que estamos sometidos por la civilización, ya sea por variaciones en las cantidades de luz natural o artificial o en el cambio brusco de un lugar geográfico a otro donde hay diferente hora y estación anual, generan por supuesto un desorden en los ciclos circadianos que regulan nuestras actividades como períodos de sueño, vigilia o alimentación. Estas variaciones pueden influir en nuestro estado anímico o emocional y generar alteraciones del ánimo. Incluso existe un tipo de depresión llamado depresión estacional, o invernal, que está asociado al desorden fotoquímico producto de la falta de estímulos lumínicos durante el invierno o en latitudes cercanas a los polos (Figura 2.12).

También se ha estudiado que la desconexión total o parcial con respecto al ciclo normal de luz-oscuridad puede producir alteraciones en el patrón sueño-vigilia y a su vez causar desajustes y estrés. Es por ello que mantener una relación constante con el medio ambiente natural y sus ciclos, en particular con las cantidades y cualidades de la luz natural, es fundamental para mantener el equilibrio que sustenta nuestra estabilidad tanto fisiológica como emocional (Figura 2.13 y Figura 2.14). La luz ha sido utilizada para tratar con éxito a pacientes con trastornos emocionales y trastornos del sueño, así como las personas sanas que tienen interrupción circadiana. Junto con estos beneficios de la luz, es importante tener en cuenta que la exposición inadecuada a la luz durante la noche está siendo examinada como un posible factor de riesgo de cáncer (Brainard. Op cit).

Durante la última década se ha producido un importante cambio en la comprensión de la entrada fotorreceptora de los sistemas circadianos, neuroendocrinos y de comportamiento neurológico en humanos y otros mamíferos. Estudios en humanos han confirmado que el sistema visual fotópico de tres conos no es el sistema fotorreceptor primario y que la región de longitud de onda más potente para

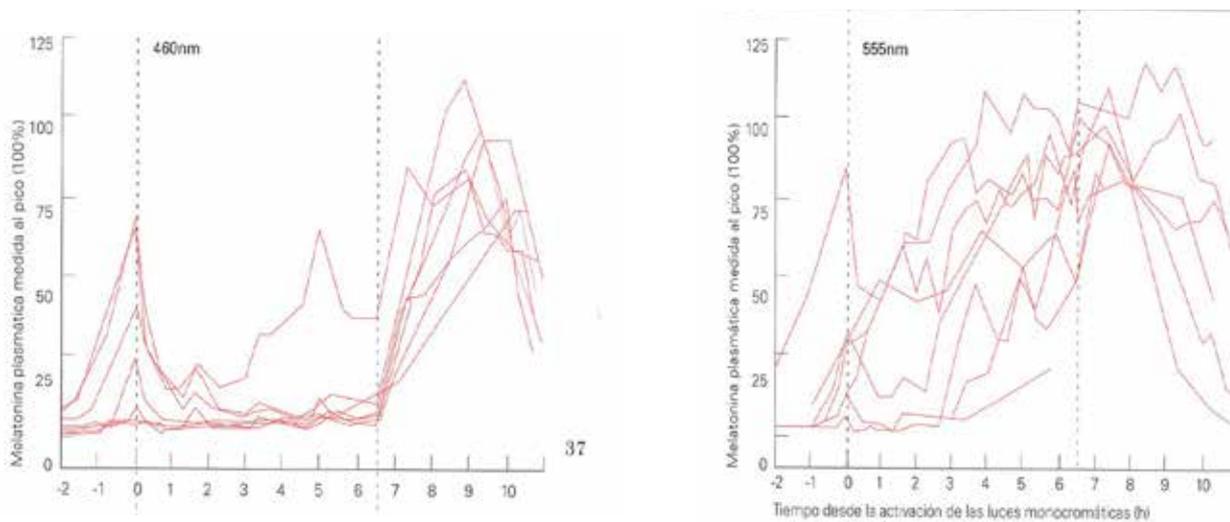


Figura 2.13: Arriba: Efectos de la luz con diferente longitud de onda en la secreción de melatonina, luz azul (450 nm) y verde (555 nm). Fuente: More than vision (Rea, et al, 2007. pág. 25, pág. 37).

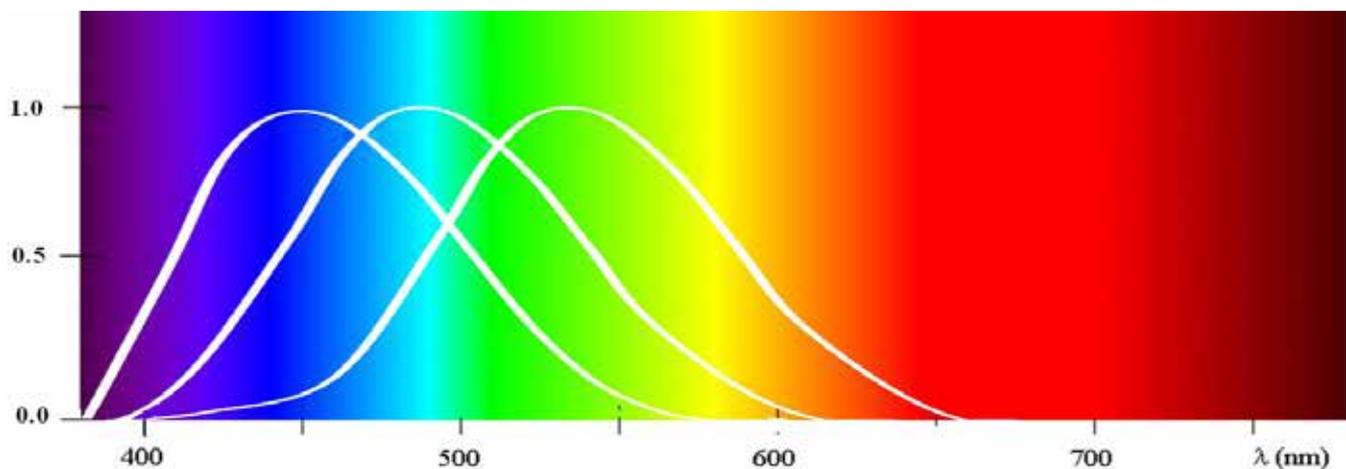


Figura 2.14: Centro: Curvas de fotorrecepción circadiana, fotometría fotópica y fotometría escotópica (en orden de izq. a der.). Fuente: Elaboración propia en base a EXPLORING THE POWER OF LIGHT: FROM PHOTONS TO HUMAN HEALTH (Brainard, CIE 2014).

esta respuesta está entre los 446 a 477 nm (azul violeta). Estos datos sugieren que hay otro sistema fotosensor, distinto al de conos y bastones, responsable de la regulación de la melatonina en seres humanos. Otros estudios, basados en comparaciones de longitudes de onda seleccionadas, indican que los ciclos circadianos son más sensibles a los cambios de luz de longitudes de onda más cortas (azul). Del mismo modo, ensayos clínicos de fototerapia para la depresión invernal indican que la luz azul, de onda más corta, puede ser particularmente potente para el tratamiento de este trastorno emocional (Brainard Op cit).

La mayor parte de estos estudios respecto de las cualidades y cantidades de luz y su interacción con nuestra salud física y emocional, son actualmente utilizados para establecer bases para una correcta iluminación artificial, sin embargo, la intención de integrar esta información a la presente investigación, radica en que la incorporación de luz natural puede ser un modo simple y económico de abastecer de patrones de luz ideal para nuestra salud, los espacios arquitectónicos donde nos desenvolvemos a diario, durante gran parte de nuestra vida.

## 2.2.3. PERCEPCIÓN INTEGRADA

### **Sensibilidad espacial**

Percibimos el espacio lejano con dos sentidos extraperceptivos que informan con precisión de su extensión y características, la vista y el oído. Ambos se complementan: la información acústica nos permite evaluar características del espacio que la visión no puede alcanzar, por la limitación de la vista en la dirección de retaguardia o en lejanía, en lo cual la compensa eficazmente el oído.

Para la percepción de entidades en el espacio es importante inferir su localización en una dirección. En el caso del oído, la dualidad de los órganos sensibles (biauralidad) es la que, apoyada en la experiencia, nos informa de la dirección de procedencia de los sonidos. En el caso de la vista, este mecanismo se hace dirigiendo la cabeza, en primer lugar, enfocando los ojos después y finalmente por la acción de músculos que controlan la orientación y que informan al cerebro, el que a su vez interpreta estas señales.

Otro elemento de la percepción del espacio es la apreciación de la distancia que, en el caso de la vista, se hace, por una parte, mediante la deformación del lente 'cristalino' que se activa al enfocar una imagen a cortas distancias. Por otra y para distancias mayores, la visión binocular permite saber la situación relativa de los elementos por la triangulación dada por el efecto de convergencia, estereoscopía o paralaje de los ojos, permitiendo evaluar las distancias próximas o más distantes, pudiendo estimarse con cierta precisión hasta los 200 m.

Ante sensaciones persistentes o repetidas los sentidos responden temporalmente al efecto según la exposición al estímulo. Se produce en general una adaptación (o acostumbramiento) a la persistencia de una sensación por estímulos constantes o repetidos, pérdida de sensibilidad que afecta tanto a nivel del órgano receptor como a nivel del cerebro. También hay pérdida de sensibilidad por la superposición de una sensación fantasma, cuando la exposición a un estímulo es en un tiempo prolongado o muy brillante lo que produce post imagen: hay persistencia de sensación al extinguirse el estímulo,

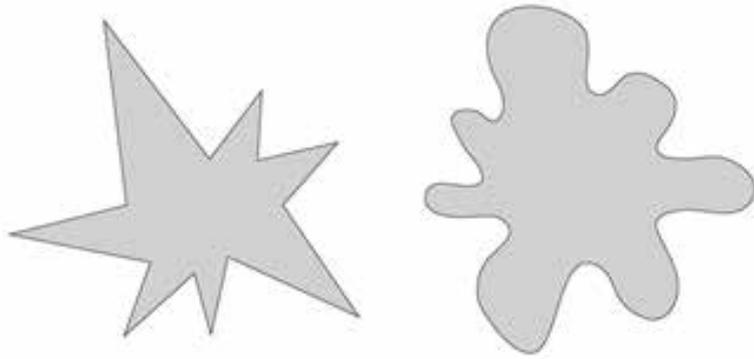


Figura 2.15: ¿Booba o Kiki? Todos asociamos el sonido a una forma, lo que viene dado por la experiencia. Las imágenes que nos parecen incompletas intentamos corregirlas, lo que nos produce una tensión permanente. Fuentes: Archivo de la autora y ffffound.com.

del orden de  $1/10$  hasta  $1/20$  de segundo, dependiendo de la intensidad de aquél y de la acomodación previa del sentido al estímulo. La persistencia de formas es la que permite ver imágenes de variaciones sucesivas como continuas en movimientos (aprovechado en catametrías para producir sinestias en el cine). En tanto la persistencia de colores se mantiene en la retina como su opuesto o complementario en las mismas cantidades de tiempo, entre  $1/10$  a  $1/20$  segundos.

Estos dos hechos relativos al tiempo influyen en nuestra adaptación a cambios súbitos de condiciones ambientales de un lugar o de un lugar a otro. Obedecen a que, los conos y los bastoncillos se sensibilizan a la luminancia media del campo visual en cada momento, pero necesitan un cierto tiempo para adaptarse a condiciones nuevas eficazmente. En general, como se ha mencionado en el capítulo anterior, se estima un tiempo de acomodación superior para pasar de la luz brillante a la oscuridad profunda y sólo pocos segundos para hacerlo de la oscuridad a la luz. Ello se expresa en una curva de adaptación de tipo logarítmico, con adaptación más rápida al principio y más lenta al final.

### **Aprendizaje de la percepción**

La habilidad de ver no es innata; se aprende a interpretar. Se desarrolla a partir de una capacidad genética y de un proceso de aprendizaje aplicado reiteradamente hasta obtener un “esquema estructural significativo” que le satisface. De gran intensidad durante infancia y paulatinamente decreciente con el pasar del tiempo, continúa, si embargo, durante toda la vida. Tiene una base inicial en la experiencia, con la que contrastamos las “experiencias visuales” con “experiencias vividas” para dar un significado a códigos visuales y otra relacionada con el aprendizaje cultural: interpretamos la “experiencia visual” conforme a códigos sociales. Arnheim (1971) menciona que la mente ensaya interpretaciones de lo que ve y las comprueba hasta que obtiene un “esquema significativo”.

San Martín (2003), por su parte, sugiere que “la realidad perceptual es físicamente errónea, cuanto menos incompleta o es una modificación de ella”. Y es porque en su elaboración participan nuestras

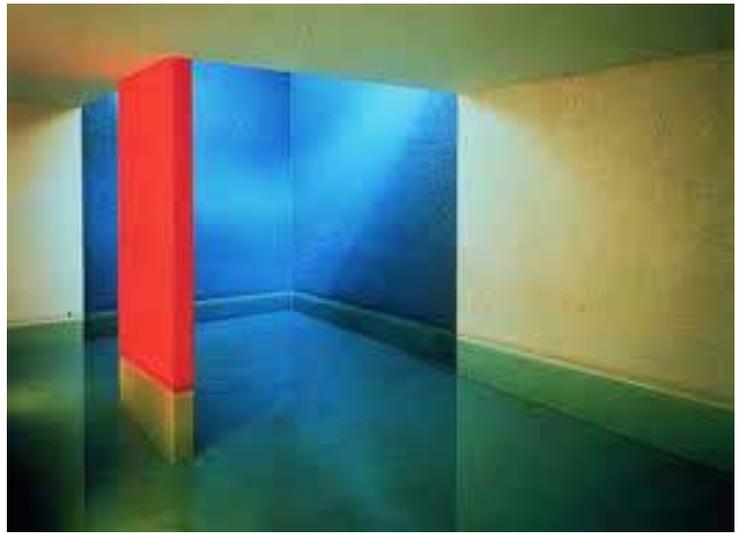


Figura 2.16: El rostro es casi imposible de ver, nuestro cerebro trata de corregir la imagen haciendo un calce, pero sólo hay una nariz y el calce no se produce. A través del color podemos jugar con la realidad ¿dónde comienza el agua? Fuentes: Luis Barragán y ffffound.com.

escalas de valores y experiencias personales, que nos sugieren el significado del mundo exterior. La percepción visual, entonces, no se limita a la detección del mundo sino que se prolonga y enriquece en su cualificación (Figura 2.15).

Podemos suponer que la primera codificación estímulo/impulso, la sensación simple, forma parte de mecanismos reflejos innatos. Y que la segunda codificación, impulso/imagen mental, la percepción, es la que requiere del aprendizaje. Las características fisiológicas del individuo y sus limitaciones (sordos, ciegos a los colores, etc.) y los aspectos histórico-culturales inciden en el aprendizaje perceptivo, a nivel y tipo de asociación de los diferentes estímulos sensoriales y en su consecuente integración. Y ésta puede engañarnos cuando se producen las que conocemos como "ilusiones ópticas" (Figura 2.16).

### **Las percepciones asociadas y la sinestesia**

Considerando un estímulo determinado, como sonido o color, y no de forma aislada, sino dentro del conjunto de estímulos a los que está acompañado en una experiencia, podemos suponer que, al ir generalmente acompañado de otras sensaciones o por el hecho de generar dentro del organismo humano procesos perceptivos complejos, queda asociado en la mente a un determinado conjunto de sensaciones. De la misma manera y en sentido inverso, determinados estímulos o conjuntos de estímulos pueden estar asociados con un estímulo concreto y particular. Por ello se llama sinestesia al efecto de asociación de estímulos diferentes, que produce modificaciones en las consecuencias sensoriales o perceptivas de estos estímulos, incrementando o disminuyendo las respuestas que ellos producirían en una situación neutra.

### **Realidad y memoria**

La descripción de los sentidos que hemos realizado puede parecernos parcelada pues su realidad integral no es observada 'desde afuera'. Lo que percibimos no puede ser considerado simplemente



Figura 2.17: Equívocos visuales. El punto de vista nos hace pensar la realidad de cierta manera, como las constelaciones: cuando vemos desde otra parte nos damos cuenta de que la realidad puede ser distinta. Fuentes: ffffound.com.

estímulos del 'exterior' porque la participación del observador es tan importante como lo observado, siendo imposible separarlas pues se modificarían las condiciones del todo. Según establece Heisenberg en su libro *Physics and Philosophy*, citado por Fritjof Capra (Capra 1975) "La realidad objetiva se ha evaporado y lo que nosotros observamos no es la naturaleza en sí sino la naturaleza expuesta a nuestro método de interrogación", puesto que medimos con la conjunción entre lo que captan nuestros sentidos y la experiencia adquirida durante la vida (nivel psicológico) (Figura 2.17).

Dicho en palabras del biólogo chileno Humberto Maturana en *La realidad: ¿Objetiva o construida? Fundamentos biológicos de la realidad*, (Maturana 1995) "A la realidad solo puede accederse sí se parte del hecho de que el observador u observadora son sistemas vivientes y por lo tanto la observación y el conocimiento deben ser explicados como fenómenos biológicos. Para explicar la realidad el observador, tiene dos maneras de hacerlo:

- a) la tradicional o explicación de la objetividad sin paréntesis, en la cual el observador supone que la existencia tiene lugar en forma independiente, que las cosas existen independientemente de si ellos la conocen o no;
- b) la radical u objetividad entre paréntesis, en la cual la existencia está constituida con lo que hace el observador, donde (...) no es posible hacer referencia a nada externo al observador para convalidar sus explicaciones, porque no es posible la objetividad y no puede referirse a nada externo al observador para validar las explicaciones. En consecuencia pueden existir varias explicaciones de acuerdo a distintos observadores y que se vive en muchas realidades explicativas y cualquier desacuerdo debe conducir a una reflexión de coexistencia. Lo que valida una explicación son las coherencias operacionales que las constituyen en su praxis de vivir independientemente del criterio de aceptabilidad." (Ibid, 25).



Figura 2.18: El conjunto de muchas pequeñas formas nos arma una imagen de algo que en realidad no está ahí. Cuando descontextualizamos lo que vemos nos damos cuenta de cómo es, o cómo puede ser distinto. Fuentes: ffffound.com.

En el proceso de percepción que opera en un nivel psicológico de acuerdo a lo que interpretamos según nuestra experiencia, este proceso puede explicarse también por los procesos neurofisiológicos que operan en nuestro proceso perceptivo, según Daniel Goleman, por medio de la “neuroplasticidad”, que significa que experiencias repetidas esculpen la forma, el tamaño y la cantidad de neuronas y sus conexiones sinápticas, llevando repetidamente nuestro cerebro a un registro dado, nuestras relaciones clave pueden moldear gradualmente ciertos sistemas de circuitos neurológicos” (Goleman 2006).

Desde el punto de vista neuropsicológico, para Vicente A. Huici (Huici 2010), el proceso de respuesta frente a un estímulo opera desde al menos dos tipos de memoria: una memoria de trabajo a corto plazo y vinculada a las funciones ejecutivas, y una memoria a largo plazo que implica un recuerdo permanente de manera implícita y explícita. La memoria implícita no es consciente y se refiere fundamentalmente al aprendizaje motor y a las respuestas emocionales. La memoria explícita que es consciente y declarativa, de manera semántica mediante el conocimiento de hechos externos, y de manera episódica con su componente autobiográfica (Figura 2.18).

En los diferentes tipos de memoria señalados, se suele producir un automatismo inconsciente en la recuperación del recuerdo ya que “si determinadas combinaciones de estímulos se repiten, pueden intensificar una ruta posible entre las muchas de una estructura neural” (Hubel 1979). Donde “una sinapsis que se usa repetidamente se hace más eficaz. Y esto es probablemente la memoria, es decir, un cambio físico, entre neuronas que puede ser permanente y que puede ser activado, evocado y, por tanto, recordado” (Mora 2009).

“La reiteración en dicha dinámica neuronal ratificaría el recuerdo, haciendo imposible recordarlo bajo otra perspectiva y este fenómeno articularía la formulación de lo identitario: recordar de la misma manera permitiría ser de la misma manera” (Huici Op.cit.).



Figura 2.19: En una intervención en un edificio histórico inevitablemente operan una serie de asociaciones dadas por la 'información' que guardamos. Ésta nos hace enjuiciar lo que está correcto y lo que no. Fuentes: jan-vormann-restaur-edificios-en-29-ciudades-con-legos y [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl).

## Historia y Memoria Colectiva

Para Halbwachs Historia y Memoria Colectiva son dos registros del pasado que si se enfrentan se suelen oponer a veces radicalmente en función de su condición. Así, afirmar que pueda existir algo como una memoria histórica le parece una contraditio in terminis ya que dicha expresión “asocia dos términos que se oponen desde todo punto de vista” (Halbwachs 1968, 68), puesto que habría que admitir que más bien la Historia, como registro del pasado, “no comienza sino donde termina la tradición, es decir, allí donde se extingue o se descompone la memoria social” (Ibid) (Figura 2.19).

La diferencia más significativa entre Historia y Memoria Colectiva para Halbwachs, radica en que la Memoria Colectiva es “una corriente de pensamiento continuo, de una continuidad que no tienen nada de artificial, ya que no retiene del pasado sino lo que todavía está vivo o es capaz de permanecer vivo en la conciencia del grupo que la mantiene” mientras que la Historia “se ubica fuera de los grupos, por debajo o por encima de ellos” por la sola “necesidad didáctica de esquematización” (Ibid, 70-1).

Santiago Ramón y Cajal en sus escritos autobiográficos establece “seguramente, cada recuerdo evocado no implica un estado de conciencia simple e inmóvil. El recuerdo es algo vivo, cambiante y plástico, que evoluciona, asimila y desasimila, nociones de espacio, de tiempo y personas y, en fin, que se desagrega y muere. Pero durante este proceso destructivo – y esto es lo peligroso- impone a la razón representaciones mutiladas o enriquecidas con datos espurios o arbitrarios. La verdadera explicación de este fenómeno regresivo nos la dará algún día no la psicología, sino la histofisiología cerebral, cuando se conozcan los mecanismos fisicoquímicos del recuerdo y de la asociación” (Ramón y Cajal 1941, 56-57).

## 2.3. CONFORT Y BIENESTAR HUMANO

### APROXIMACIÓN ERGONÓMICA

La ergonomía en el modelo Diseño/Ergonomía debiera establecer criterios de calidad que pudieran educar y regular el proceso de diseño del mundo que nos rodea desde las características de las personas y el entorno en las que éstas se desenvuelven. El adecuado diseño del ambiente es fundamental para posibilitar la salud, disposición y preservación de las personas para realizar sus actividades. Es importante en esta área las mediciones tanto objetivas (cuantificables) como las que surgen de la percepción de las personas (cualitativas). De la cantidad, intensidad, brillo, color, contraste y dirección de la luz, depende que las personas puedan o no alcanzar el confort visual en la satisfacción del sistema en el que enmarcan sus actividades. Los factores ambientales pueden ser considerados como riesgos psicosociales puesto que afectan la conducta de las personas y por lo tanto implican una carga mental.

**La comodidad visual**, para un propósito puramente informativo, depende de la facilidad de la visión para percibir aquello que le interesa. Y el primer requerimiento será que la cantidad de luz o iluminancia (lx), sea la adecuada para que nuestra agudeza visual pueda distinguir detalles de lo que miramos. De acuerdo ello, el primer "parámetro" a proveer es la iluminancia adecuada, con valores recomendables que varían entre combinan condiciones que permitan distinguir y condiciones que eviten el deslumbramiento.

**El deslumbramiento** (segundo parámetro para medir el confort visual), es el efecto molesto para la visión debido a un excesivo contraste de luminancias ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) en el campo visual. En general, este efecto se debe a que existe una pequeña superficie de mucha claridad (L1) en un campo visual que tiene un valor bastante más bajo (L2), y normalmente a causa de un foco visual único u obligado. El deslumbramiento puede estar dado por la aureola o destello que produce un punto luminoso sobre un fondo muy oscuro. Otro es el deslumbramiento por adaptación, importante en el diseño arquitectónico, que se produce al adaptarse el ojo a la luminancia media de lo presente en un campo visual cuando hay valores de luminancia muy variables en el recinto, lo que hace que los valores extremos queden fuera de la capacidad de adaptación y, por lo tanto, no se ven. Se considera deslumbramiento directo el que incide en la fóvea (parte de la retina), que también se llama incapacitante, ya que no permite ver a

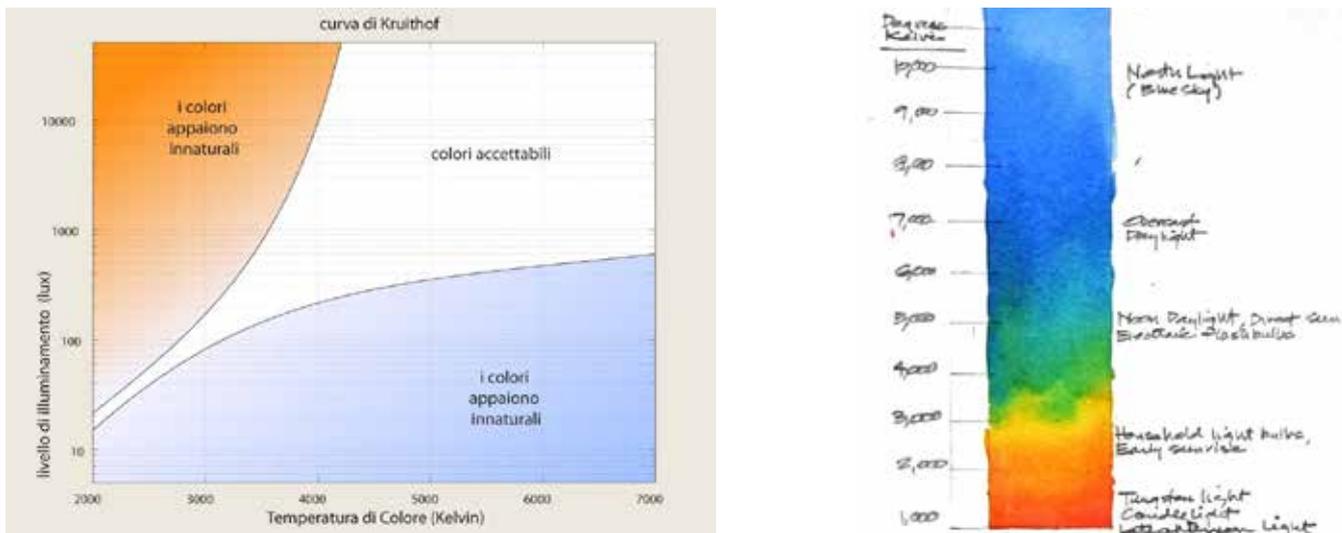


Figura 2.20: Gráfico de Kruithof. La región en blanco corresponde a los colores que nos parecen agradables. En el gráfico, el color y su traslado a grados Kelvin: los colores hacia el azul, que llamamos colores fríos, en realidad representan mayor temperatura. Fuentes: www.wikipedia.com y www.wetcanvas.com.

continuación prácticamente nada. Y si la incidencia se da en el resto de la retina, se considera deslumbramiento indirecto, que perturba la visión sin impedir la.

Un tercer parámetro de confort visual es **el color de la luz** o también llamada temperatura de color e índice de rendimiento en color, según su longitud de onda. El tipo de color de la luz representa, además de un factor de calidad significativa en la percepción, un elemento de molestia o de comodidad a considerar: cada color tiene además de la longitud de onda que lo define, una diferente amplitud de onda o brillo. En los años 40, el físico holandés Arie Andries Kruithof relacionó la temperatura de color de la luz en grados Kelvin, con su iluminancia en luxes, y define un campo de compatibilidad entre ambos valores, longitud y amplitud. Colores opuestos en la gama cromática (amarillo/violeta, opuestos en longitud) o también los que tienen un valor de brillo demasiado similar (rojo /verde, cercanos en amplitud de onda), tienden a vibrar al ojo si están contiguos. En un gráfico ideado por Kruithof, se establece que las condiciones de iluminación situadas dentro de la región acotada se evaluaron empíricamente por ser agradables, mientras que las condiciones fuera de la región fueron desagradables. La curva Kruithof se utiliza por lo general como guía para el diseño de iluminación artificial y sugiere utilizar luz con temperaturas de color correlacionadas con los niveles de iluminancia (Figura 2.20).

Par el caso de la luz natural, la iluminancia y colorido varían en el tiempo pero en proporción están en una correlación que nos parece siempre natural. Lo que podría alterar esa correlación en un espacio arquitectónico es el color de los paramentos interiores que afecta la visión directa y puede llegar a colorear la luz por las múltiples reflexiones internas. En estos casos, el color interior debiera ser acorde a las actividades que se realizan dentro del recinto. Por ejemplo, si es un lugar de trabajo donde se querrá obtener altas cantidades de luz, el color correlativo del interior debiera ser alto (5000 k por ejemplo), si por el contrario el recinto cumplirá funciones de descanso donde se recomiendan menores niveles de iluminación y menor temperatura de color puesto que ello se considera más agradable y relajante.

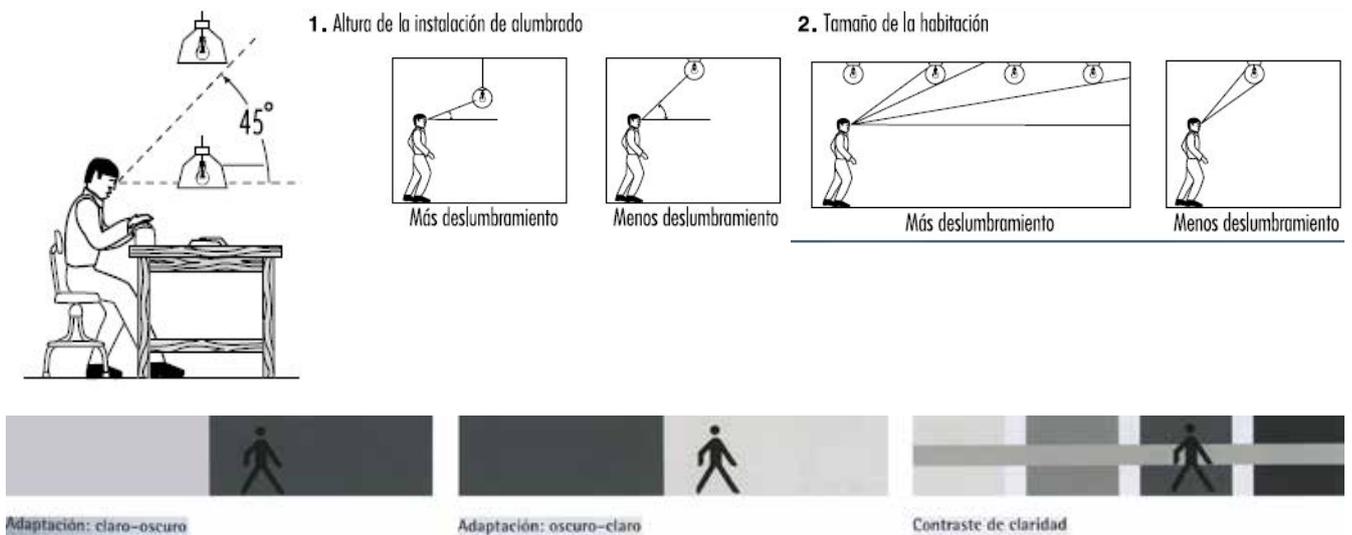


Figura 2.21: Arriba: Factores que afectan el deslumbramiento. Abajo: Traspasos contrastados y uno gradual luminancias. Manejar este aspecto puede influir en el confort visual para evitar deslumbramiento o ceguera momentánea por oscuridad. Fuentes: Apuntes de iluminación, cap 46.(Guasch 2011). Un discurso de la luz (Maak, Pawlik 2011).

Tres factores que se deben tener en cuenta en el ambiente luminoso: el desempeño visual, las condiciones psicológicas y la calidad visual (Baker, Steemers Op.cit. 170).

**El desempeño visual.** Algunos autores plantean que el ser humano obtiene más de un 80% de la información del exterior por medio de la vista. Las condiciones visuales plantean restricciones que tienen que ver con la tarea visual y las características de la persona que varían enormemente según la edad.

**Condiciones psicológicas.** El confort visual está dado antes que en sí mismo, en la ausencia de condiciones discomfortables, como el deslumbramiento o la falta de luz, entre otros. Estos son efectos de tipo consciente pero existen otros de tipo inconsciente que tienen que ver con la naturaleza cíclica y cambiante de la luz.

**La calidad visual.** En los aspectos visuales hay involucrados aspectos estéticos que juegan un importante rol en la apreciación humana de un ambiente. Estos aspectos han sido evaluados por diversos estudios aún mediante la utilización de parámetros subjetivos.

En el caso de la arquitectura, el confort visual puede ser más importante para un habitante que el ahorro energético (Ibid, 168). Los ocupantes de un lugar en general aprecian el acceso de luz natural y advierten una correlación entre la gratificación de su uso y la productividad (p. 168) aunque esta relación directa no ha sido suficientemente validada por estudios científicos. Sin embargo, sí existen efectos psicológicos de la luz natural que están fuertemente asociados a la salud y el bienestar. Por otra parte también hay una correlación conocida de malestar provocada por la permanencia constante en ambientes iluminados artificialmente.

Aiman Darwich y Pedro Fernández en su *Estudio de los factores ambientales en bibliotecas públicas de Barcelona y su influencia en la percepción por los usuarios* (Darwich, Fernández 2008) resumen en tres los factores que pueden ser evaluados para medir los niveles de confort visual:

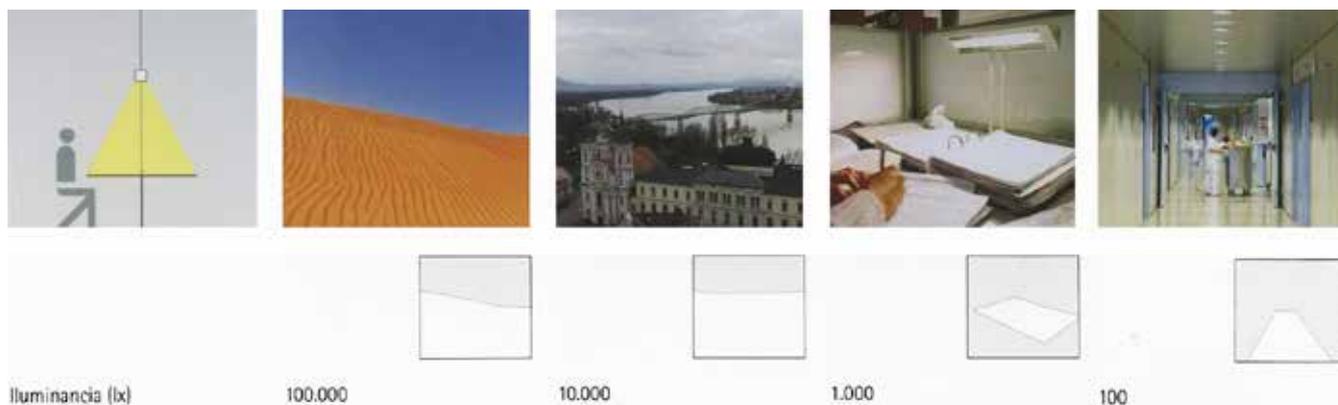
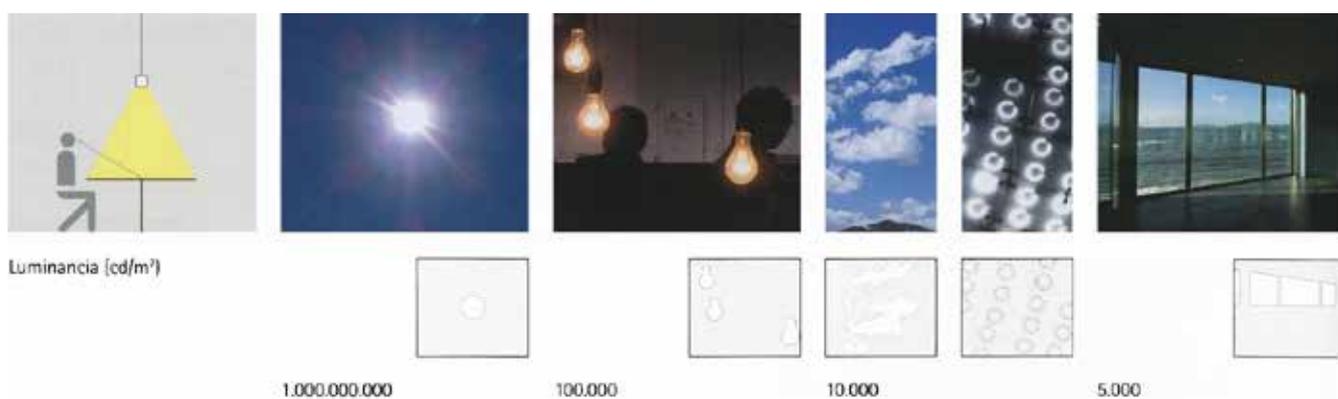


Figura 2.22: Arriba: Iluminancias, cantidades de luz presentes en el ambiente (lux). Abajo: luminancia o brillo, la información que en realidad llega a nuestros ojos (cd/m<sup>2</sup>). Fuente: Un discurso de la luz (Maak, Pawlik. 2011).



### Nivel de iluminación

Su objetivo es lograr el mayor rendimiento con fatiga mínima. Se mide en cantidad de luz en un área por un determinado tiempo. Las tareas de lectura, oficinas etc. deben ser lo más uniformemente iluminadas como sea posible lo que significa el menor cociente entre la iluminancia mínima y la media, sobre una superficie. La uniformidad del área de tarea no debe ser inferior a 0,7. La consideración de los niveles de iluminancia es normalmente suficiente para el análisis de las condiciones visuales salvo para casos específicos como carreteras (Ibid, 19) (Figura 2.22 y Figura 2.23).

### Deslumbramiento

Los brillos excesivos pueden ocasionar molestias y se dan por visión directa a la fuente de luz o a luz indirecta reflejada en una superficie muy reflectante (Figura 2.21).

### Equilibrio de luminancias

Luminancias demasiado elevadas pueden causar deslumbramiento. Contrastes de luminancias pueden causar fatiga debido a la adaptación constante de los ojos. Luminancias demasiado bajas o demasiado poco contraste puede ser monótono y no estimulante. Se consideran adecuadas relaciones de luminancias entre plano de trabajo y alrededores de <math>10:3:1</math> o <math>1:3:10</math>. Según la norma UNE-EN 12003, los márgenes de reflectancias útiles para los planos de trabajo son de 0,2 a 0,6 (p. 20).

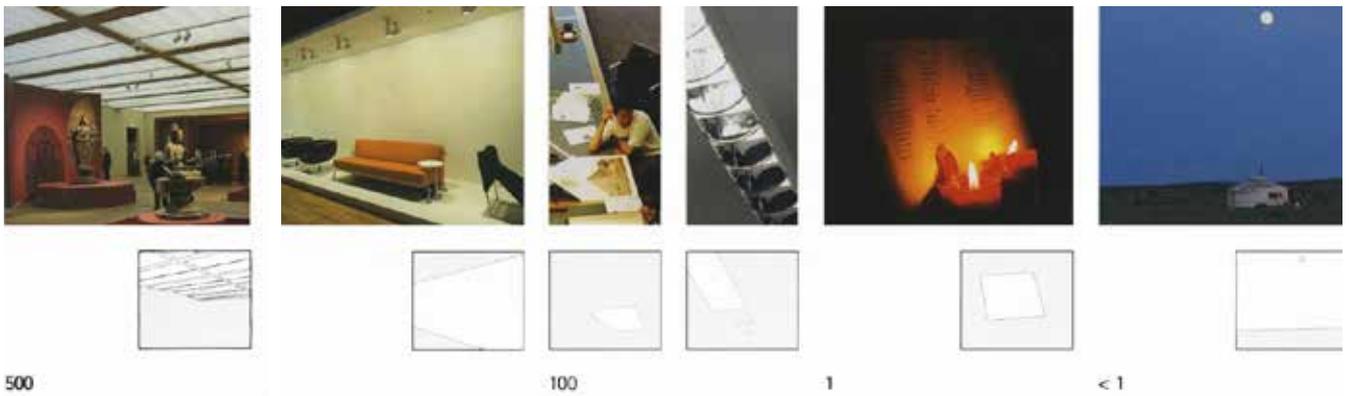
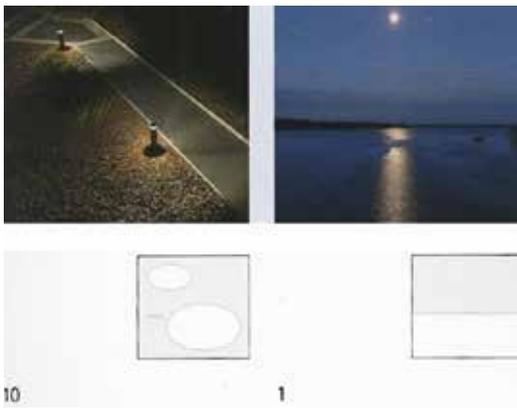
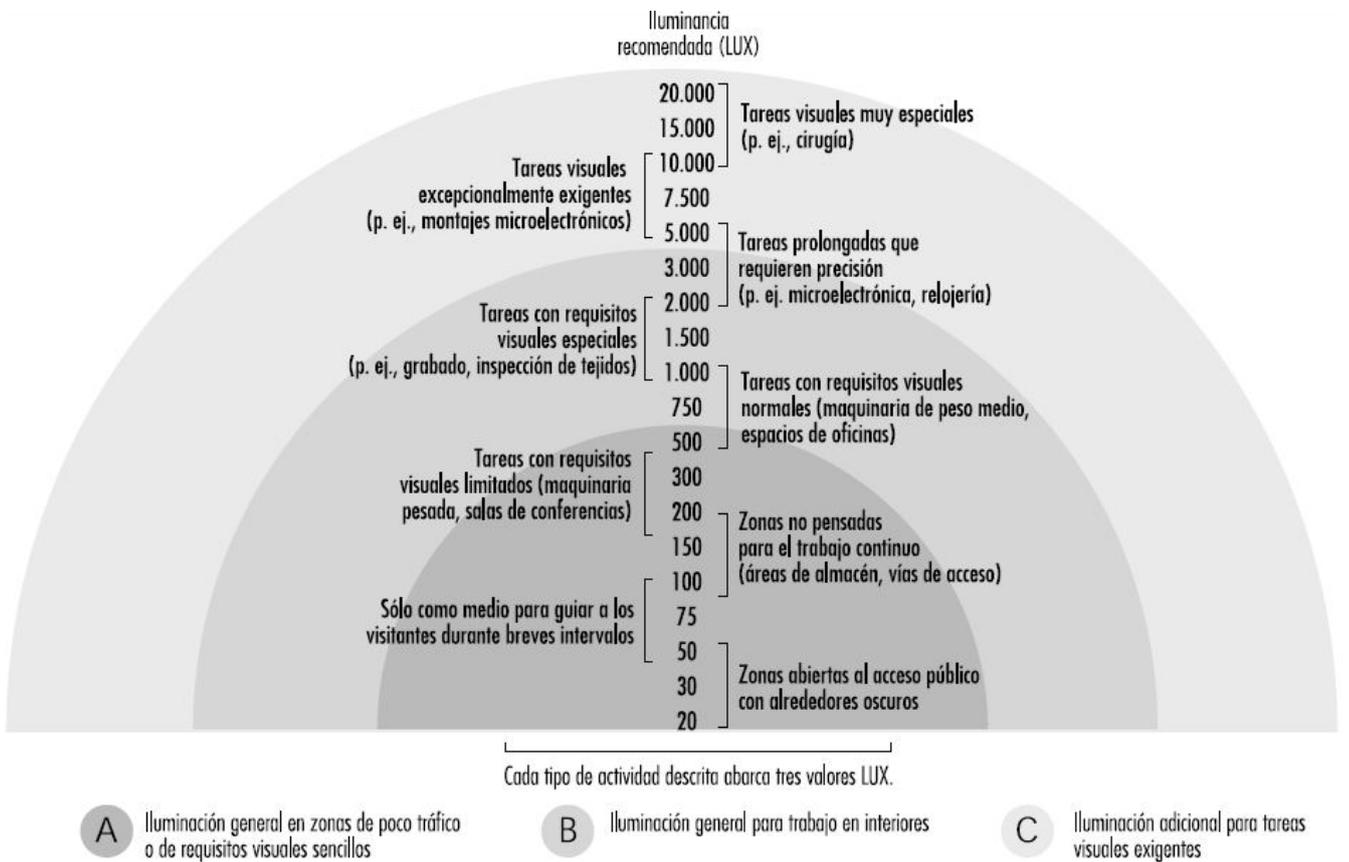


Figura 2.23: Niveles de iluminación en lux asociados a las tareas. Fuente: Apuntes de iluminación, cap 46.(Guasch 2011).



I. Illuminance Categories and Illuminance Values for Generic Types of Activities in Interiors

Type of Activity	Illuminance Category	Ranges of Illuminances		Reference Work-Plane
		Lux	Footcandles	
Public spaces with dark surroundings	A	20-30-50	2-3-5	General lighting throughout spaces
Simple orientation for short temporary visits	B	50-75-100	5-7.5-10	
Working spaces where visual tasks are only occasionally performed	C	100-150-200	10-15-20	
Performance of visual tasks of high contrast or large size	D	200-300-500	20-30-50	Illuminance on task
Performance of visual tasks of medium contrast or small size	E	500-750-1000	50-75-100	
Performance of visual tasks of low contrast or very small size	F	1000-1500-2000	100-150-200	
Performance of visual tasks of low contrast and very small size over a prolonged period	G	2000-3000-5000	200-300-500	
Performance of very prolonged and exacting visual task	H	5000-7500-10000	500-750-1000	Illuminance on task, obtained by a combination of general and local (supplementary lighting)
Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size	I	10000-15000-20000	1000-1500-2000	

Figura 2.24: Arriba: Rangos de Iluminancias por categorías (lux) y su equivalencia en luminancia (cd/m2). Abajo: detalle de las actividades y los rangos de iluminancia para desempeño y confort. Fuente: IES Lighting Handbook (IESNA, Ed. 1984). Derecha: Contrastes por color. Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo. Valores típicos de iluminación relativa y valores recomendados de reflectancia. Fuente: Apuntes de iluminación, cap 46.(Guasch, 2011).

**Educational facilities**

**Classrooms**

- General (see Reading)
- Drafting (see Drafting)
- Home economics (see Residences)
- Science laboratories ..... E
- Lecture rooms
- Audience (see Reading)
- Demonstration ..... F

**Hotels**

- Bathrooms, for grooming ..... D
- Bedrooms, for reading ..... D
- Corridors, elevators and stairs ..... C
- Front desk ..... E<sup>3</sup>

**Offices**

- Accounting (see Reading)
- Audio-visual areas ..... D
- Conference areas (see Conference rooms)
- Drafting (see Drafting)
- General and private offices (see Reading)
- Libraries (see Libraries)
- Lobbies, lounges and reception areas ..... C
- Mail sorting ..... E
- Off-set printing and duplicating area ..... D
- Spaces with VDTs ..... (see page 5-13)

**Reading**

**Copied tasks**

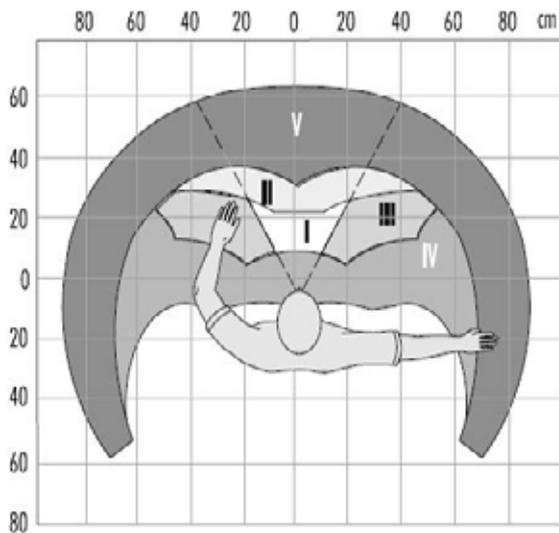
- Ditto copy ..... E<sup>3</sup>
- Micro-fiche reader ..... B<sup>12, 13</sup>
- Mimeograph ..... D
- Photograph, moderate detail ..... E<sup>13</sup>
- Thermal copy, poor copy ..... F<sup>3</sup>
- Xerograph ..... D
- Xerography, 3rd generation and greater ..... E

**Handwritten tasks**

- #2 pencil and softer leads ..... D<sup>3</sup>
- #3 pencil ..... E<sup>3</sup>
- #4 pencil and harder leads ..... F<sup>3</sup>
- Ball-point pen ..... D<sup>3</sup>
- Felt-tip pen ..... D
- Handwritten carbon copies ..... E
- Non photographically reproducible colors ... F<sup>3</sup>
- Chalkboards ..... E<sup>3</sup>

**Printed tasks**

- 6 point type ..... E<sup>3</sup>
- 8 and 10 point type ..... D<sup>3</sup>
- Glossy magazines ..... D<sup>13</sup>
- Maps ..... E
- Newsprint ..... D
- Typed originals ..... D
- Typed 2nd carbon and later ..... E
- Telephone books ..... E



**ZONAS VISUALES EN LA ORGANIZACION DEL ESPACIO DE TRABAJO**

	Movimientos de trabajo	Esfuerzo visual
Gama I	Movimientos frecuentes, implican que se emplea mucho tiempo	Gran esfuerzo visual
Gama II	Movimientos menos frecuentes	Esfuerzo visual frecuente
Gama III	Implican poco tiempo	La información visual no es importante
Gama IV	Aún menos frecuentes, poco tiempo	No requiere un esfuerzo visual en particular
Gama V	Deben evitarse	Debe evitarse

Figura 2.26: Arriba: Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo. Abajo: Valores típicos de ilum. relativa y valores recomendados de reflectancia. Fuente: Apuntes de iluminación, cap 46.(Guasch, 2011).

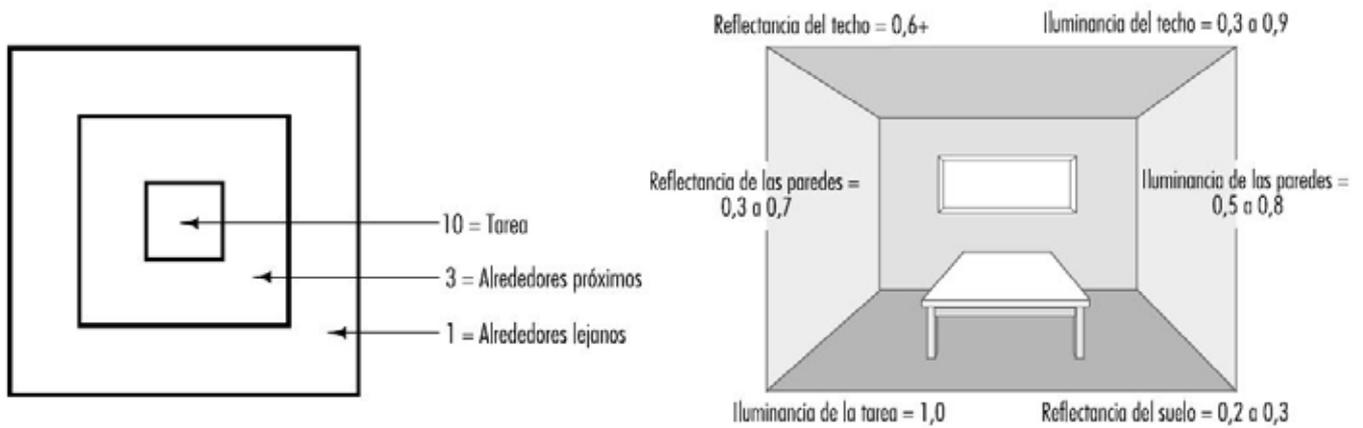


Figura 2.25: Contrastes por color. Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo. Valores aproximados de luminancia, a considerar. Fuente: Apuntes de iluminación, cap 46.(Guasch, 2011).

**Contrastes de color por orden descendente**

Color del objeto	Color del fondo
Negro	Amarillo
Verde	Blanco
Rojo	Blanco
Azul	Blanco
Blanco	Azul
Negro	Blanco
Amarillo	Negro
Blanco	Rojo
Blanco	Verde
Blanco	Negro



## 2.4. ASPECTOS DE PERCEPCIÓN Y CONFORT A CONSIDERAR EN ARQUITECTURA

### 2.4.1. FACTORES DE CUALIFICACIÓN DE PERCEPCIÓN

Teniendo en consideración lo subjetivo que puede resultar establecer factores a medir para analizar la percepción de una persona respecto de un espacio arquitectónico y la influencia de la luz natural en él, se han establecido tres áreas de la percepción que son resultado de lo investigado en el presente capítulo.

#### **Referenciación Geolumínica**

Esta área se relaciona con la percepción más cercana al proceso fisiológico que es casi inconsciente en el ser humano, pero que le permite comprender también en forma casi inconsciente el lugar donde está, el momento del día y el año. Este proceso que hemos llamado de referenciación geolumínica puede hacerlo gracias a la capacidad de percibir la cantidad de luz natural, el tiempo de exposición diaria y anual, la percepción del ángulo de incidencia de la luz y el color de la luz. De esta área se establecen los puntos Cantidad de luz, Tiempo de exposición, Percepción del ángulo de incidencia y Color de la luz.

#### **Percepción visual**

El área de la percepción visual se relaciona con la construcción del espacio percibida integralmente a través del uso de todos nuestros sistemas sensitivos pero fundamentalmente mediante la visión y su relación nuestra base de datos cognitiva: la visión estereoscópica que nos permiten construir profundidad, la capacidad de relacionar un objeto conocido con otro para comprender la escala y por tanto el tamaño de las cosas y la discriminación de entidades que nos permiten armar un esquema significativo y comprensible del espacio. La estereoscopía es posible de construir con una imagen 3D anaglífica, mediante dos puntos de vista en el modelo virtual.

De aquí entonces se establecen los puntos Profundidad/Tamaño, Esquema significativo y Discriminación de entidades que serán incluidos en el análisis de los casos de estudio.

### **Identidad y memoria**

La última parte que se ha incluido para incorporar en el análisis de caso tiene relación con una construcción casi netamente cognitiva puesto que recurre a nuestro conocimiento y significación de los objetos que percibimos. Es la información que guardamos en nuestra memoria y que nos hacen comprender un sinnúmero de aspectos que tiene que ver la situarse en un lugar, en el tiempo entendido como época dentro del contexto histórico. Si embargo, este punto ha sido analizado en forma racional por la investigadora, como si se tratara de un análisis objetivo que no tiene que ver con la percepción personal y propia de cada individuo. Esto porque la cantidad de información y su significación que puede darle una persona a un lugar es tan variable que sería imposible de cuantificar sin recurrir a una serie de herramientas anteriores y posteriores de medición subjetiva que no son incluidas en esta investigación. Por ejemplo a través de cuestionarios y entrevistas. Entre los aspectos a considerar que permiten la construcción están la Tipología arquitectónica y los Sistemas y tecnologías para el uso de luz natural existentes y su contraste con los nuevos que serán propuestos.

## 2.4.2. FACTORES ERGONÓMICOS

Siendo la Ergonomía una disciplina que busca la objetivación de los aspectos que influyen en el confort humano, los factores a considerar resultan menos relativos y más fáciles de establecer que los de percepción. Basándose en la información recabada sobre los factores que más influyen en el confort visual están

**Nivel de iluminación** (iluminancia, medida en lux), o cantidad de luz presente.

**Equilibrio de luminancias** (medido en proporción entre valores de luminancias, cd/m<sup>2</sup>) que es el responsable en gran medida del deslumbramiento.

**Deslumbramiento** (luminancia, cd/m<sup>2</sup>), factor a medir también a través de los niveles de luminancias que, aunque estén en equilibrio, pueden llegar a deslumbrar si se sobrepasan ciertas cantidades.

Los factores ergonómicos se analizan en relación a lo que establece la Norma Chilena sobre las cantidades de luz necesarias para cada actividad (lux) los contrastes entre luminancias establecido en las relaciones máximas de contraste entre luminancias (cd/m<sup>2</sup>). Además de esto, se han analizado los casos tomando en consideración las cantidades de luz y equilibrio de luminancias que establece la IES, Sociedad de Ingenieros en Iluminación Norteamericana (*Illuminating Engineering Society of North America*), los cuales se describen en el capítulo de Ergonomía.





## CAPÍTULO 3.

# HISTORIA DE LA LUZ EN LA ARQUITECTURA

Todas las maneras en que hoy construimos la luz tienen un origen en algún momento de la historia de la construcción humana, por ende, están en estrecha relación con la historia de nuestras civilizaciones, ciencia, cultura, anhelos y necesidades. La manera en que utilizamos la luz en nuestras construcciones, es la decantación y selección de estrategias, sistemas y tecnologías que hoy podemos leer como un hilo conductor a través de la Historia, partiendo por la más básica estrategia para perforar el muro a través del arco, una hazaña tan importante como la invención de la rueda y la escritura.

Jared Diamond en *Armas, Gérmenes y Acero* (Diamond Op.cit) advierte que las invenciones humanas más relevantes tienen origen en uno o unos pocos lugares, y se propagan como idea hacia otros territorios. La escritura por ejemplo, se inventó en Mesopotamia, China y la península de Yucatán (cultura Maya) y desde esos tres lugares se expandió hacia todo el resto del planeta, del mismo modo que ocurrió con la rueda y el arco.

La secuencia histórica propuesta en el presente capítulo, se basa en la secuencia de la Historia Occidental con el análisis de uso de la luz en Egipto como primera estación, pero cabe decir que antes de esta cultura, el ingreso de la luz hacia el interior de la arquitectura se dio probablemente mediante la apertura de la tienda en culturas prehistóricas y en el uso muy esporádico de del arco en Mesopotamia, lugar donde éste presumiblemente se inventó hace más de 6.000 años (Huerta 2004, 1). Todas las construcciones de las que hay vestigios hasta hoy en día utilizaron en sus inicios arcos falsos antes que arcos de clave, tanto en Eurasia como en América, donde se utilizó hasta la llegada de los colonos europeos en el siglo XV (Figura 3.1).

En el siguiente capítulo, se establecen los hitos de la historia de la construcción que han dado como resultado la manera en que hoy construimos la luz y al final del capítulo se resume en forma sintética, la relación entre la manera de construir con la luz y su significado histórico, siempre en ejemplos y aspectos que son relevantes en la construcción actual y que por lo tanto encontramos tanto en la arquitectura histórica como la arquitectura contemporánea.

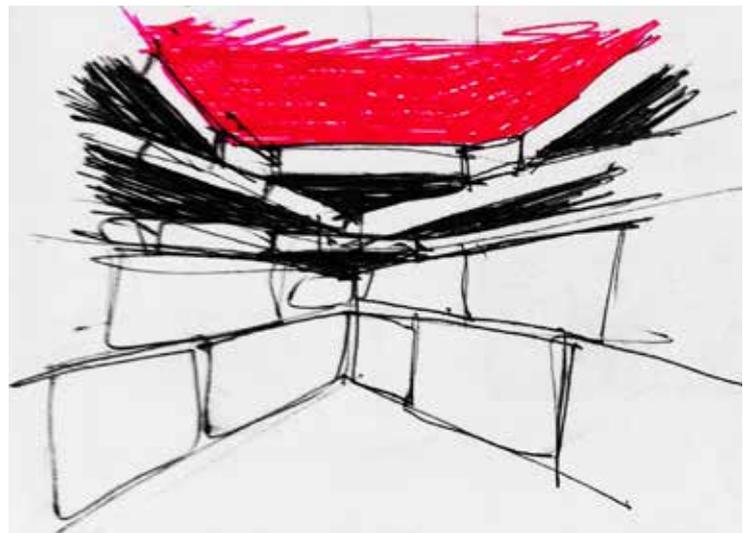
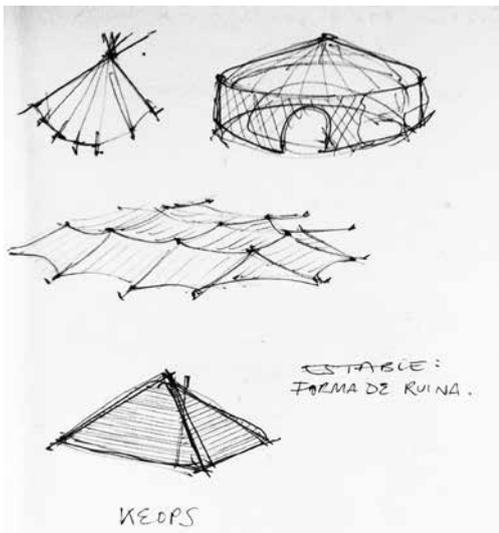
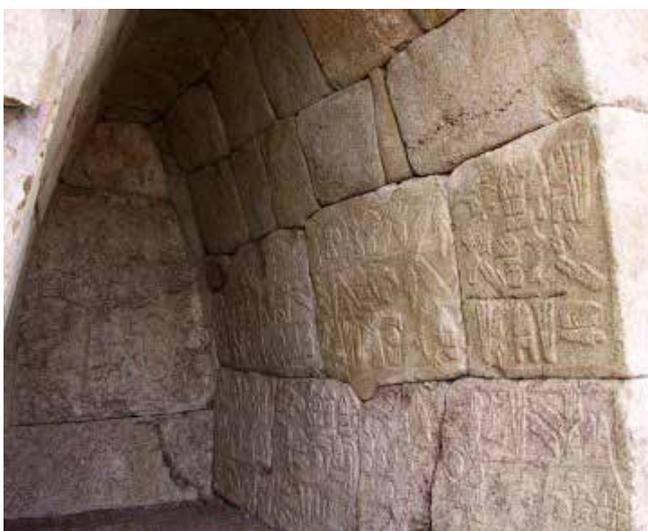
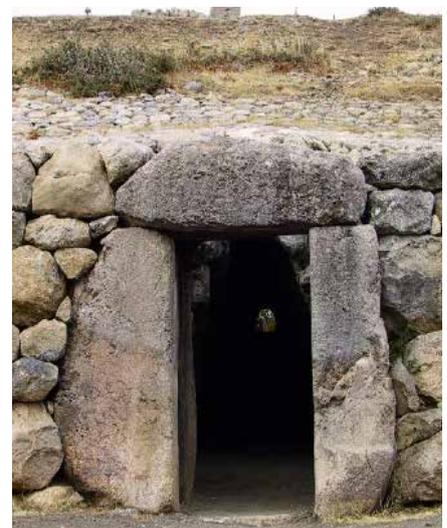
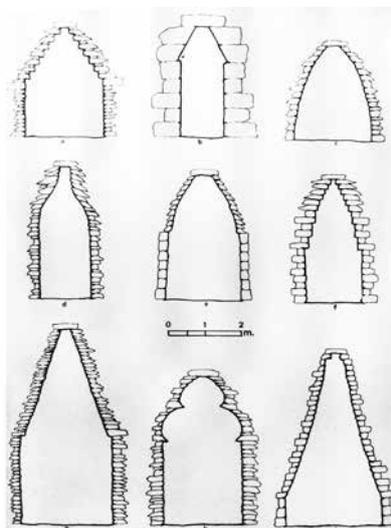
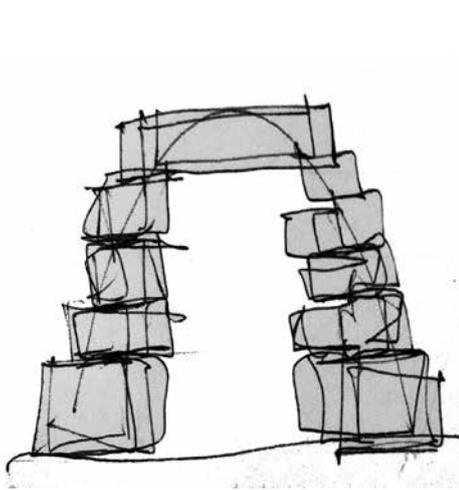


Figura 3.1: Esquemas de construcciones previas al arco. Arriba: tiendas, sistemas de entramados y semi bóvedas. Centro: falsos arcos, arcos mayas y vano por dintel monolítico. Abajo: Falsos arcos en la región de Hatusas, Turquía. Fuentes: Archivo de la autora.



## 3.1. EL TEMPLO DE RA

Panofsky, en su libro *El significado de las artes visuales* (1955), establece que el arte egipcio es mecánico y no-orgánico, es decir, el movimiento de un miembro o de una parte del cuerpo no modifica las demás. Los cuerpos vienen representados como alzados y plantas que se proyectan sobre una retícula de partes iguales. Esta retícula no es traslativa, es constructiva, fija las dimensiones y el movimiento. Esto refleja lo que Panofsky denomina la *Kunstwollen*, o voluntad artística, de los egipcios. Lo no variable, lo constante, el no-presente vivo, sino la eternidad. Hay forma pero no función.

Un buen ejemplo es la esfinge. La esfinge egipcia es un cuerpo que espera ser llamado a la vida, en una realidad mágica, una reconstrucción de la realidad. La esfinge griega en cambio, es un cuerpo que ha estado vivo, que plantea un ideal estético una imitación de la realidad.

Para Norberg-Schulz (1983), orden y constancia son los términos que mejor expresan las intenciones de la arquitectura egipcia y que parecen haberse mantenido constantes durante tres mil años. La pirámide, como manifestación típica, representa el equilibrio de las fuerzas verticales y horizontales, lo que parece estático e invulnerable por el tiempo, la eternidad. Sus monumentos están organizados axialmente en forma conclusa, sin intención de lograr una posesión dinámica del entorno, sino una condición eterna.

El enclave geográfico de Egipto es la primera clave para comprender la estaticidad de su arquitectura. Existen pocos lugares en la Tierra con una geografía tan simple y regular. El clima es seco y poco variable, el Nilo crece y decrece con regularidad y recorre el territorio invariablemente de sur a norte, definiendo su direccionalidad. El sol en su recorrido este-oeste marca la perpendicularidad al eje del Nilo y en conjunto, ambos dan origen a la trama ortogonal. Esta simpleza de la geografía facilitó la abstracción y simbolización de los conceptos existenciales fundamentales de donde derivan las divinidades como aspectos más generales de la naturaleza. Esta relación establece un sistema mitológico integrado, en el cual cada divinidad depende funcional y simbólicamente de las demás (Ibid 9).

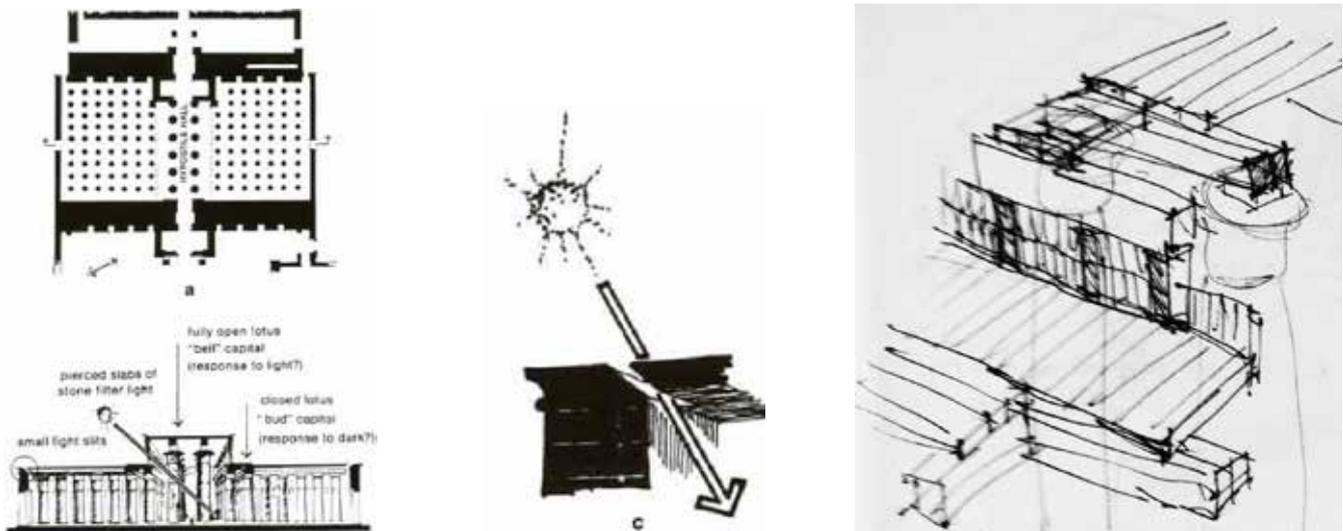


Figura 3.2: Templo de Amnun, Karnak: a. Gran sala hipóstila; b. Esquema de introducción de luz natural; c. Detalle del sistema de aberturas cenitales en la losa de piedra. Fuente: Baker, Steemers, 2002. Op. cit.

Para Norberg-Schulz, el edificio egipcio, en particular el templo, es una síntesis de cuatro ideas fundamentales que representan la cosmovisión egipcia: el oasis cerrado, la masa megalítica, el orden ortogonal y el recorrido en el eje.

En la cosmovisión egipcia, Ra es el sol, el gran Dios, origen de la vida, símbolo de la luz solar, dador de vida, así como responsable del ciclo de la muerte y la resurrección.

Para esta civilización, la luz solar dentro y fuera de los grandes templos de piedra, no cumplía la sola función de privacidad y protección, sino que debía generar una atmósfera apropiada para dioses, reyes o faraones. Las pirámides y los obeliscos medían el paso del tiempo con sus sombras y con ello los sucesos temporales con la exactitud de un reloj.

Las sombras en contraste con la luz permitieron hacer evidente la tridimensionalidad de las formas, tanto de los grandes gestos monumentales como de los sutiles bajorrelieves con que se llenaban los muros, frecuentemente alusivos a Ra, el dios sol. Pero esta tridimensionalidad no logró traspasar hacia la representación gráfica que siguió siendo siempre bidimensional y estática.

La luz se introducía al interior a través de claraboyas o estrechas ranuras en las losas de piedra de la cubierta que a veces constituyeron impresionantes mashrabiyyas. A pesar de que ya conocían el arco, las aberturas se hacían dejando el espacio entre vigas o perforando el elemento en sí mismo (Figura 3.2).

Los rayos de sol en el interior marcaban los ejes de las rutas procesionales, como en el caso de la gran sala hipóstila del Gran Templo de Ammón, donde la luz es introducida a través de las claraboyas ubicadas en las losas del eje central, sujetas por capiteles de lotus abiertos que simbolizaban la luz, el sol, Ra. En el hall oscuro, el cielo está sujeto por lotus cerrados que simbolizan la oscuridad y está iluminado por pequeñas perforaciones en el perímetro del recinto, generando un horizonte artificial que se



Figura 3.3: Acceso de luz en el templo de Ramses II en Abu Simbel, iluminación natural en el Santuario de Horus y grabado de la luz en un templo egipcio. Fuentes: Egipto (Wildung, 2001) y Description de l'Égypte (Taschen, 2010).

vislumbra sutilmente y revela el bosque de columnas. Las secuencias espaciales del templo acentúan la simbólica procesión desde la luz hacia la oscuridad (Baker, Steemers Op.cit. 9-10).

El templo de Abu Simbel dedicado a cuatro dioses, Ra, Path, Amón y Ramses (faraón), fue proyectado en función de la luz del sol. La luz fue utilizada como referencia mágica para potenciar las creencias y la sumisión de los egipcios a los dioses. Está excavado en la roca y cuenta con la mayor bóveda tallada de toda la historia de la arquitectura. En una de las habitaciones interiores aparecen los cuatro dioses ordenados de tal modo que Path, el dios de la oscuridad queda ubicado a la izquierda, seguido de Amón, dios del aire, Ra, dios del sol y Ramsés, dios en la Tierra. Dos veces al año la luz del sol penetra en el interior del templo hasta iluminar tres de las cuatro estatuas de los dioses. Path queda permanentemente sumergido en la sombra, mientras que la visión de los tres dioses iluminados en debió ser una fuerte imagen divina para el pueblo egipcio (Figura 3.3).

Los conocimientos de astronomía y la medición del tiempo, permitieron que este suceso ocurriera el 21 de octubre y el 21 de febrero de cada año, coincidiendo según algunos autores, con el día del nacimiento y la coronación de Ramsés (Cassinello 2010, 18).

En 1978, el templo fue trasladado para evitar que quedara sumergido en las aguas del Nilo que inundarían luego de la construcción de la represa de Asuán. En el traslado del edificio, una de las hazañas más conmovedoras del siglo XX, la orientación del eje solar queda levemente desplazada y a 60 m de altura respecto de su posición original. La consecuencia de esto es que el acceso de sol hasta los tres dioses ocurre hoy con un día de retraso.

## 3.2. PENSANDO LA LUZ, UN BAÑO DE SOL

Para Aristóteles y Empédocles en el siglo V a. C., la luz era la conexión metafísica entre la materia y el alma (Baker, Steemers Op.cit. 14) y por lo tanto no podía ser medida. Por el contrario, Euclides, un siglo más tarde trazó las primeras leyes físicas y geométricas de la luz, fundando una escuela de racionalización desarrollada posteriormente por Ptolomeo en el siglo I a.C. y sólo hacia fines del siglo XIX se vuelve a tener un acercamiento a lo racional y matemático.

En Grecia tenían un sofisticado conocimiento del sol y sus beneficios tanto para la salud humana como animal. Por ejemplo, sabían las ventajas de ubicarse al sur, por ejemplo, para recibir sol suficiente y en los ángulos adecuados (Ibid 7). Usaron relojes de sol para comprender los movimientos del sol durante el año y con ello acompañaron el diseño de edificios. Las ciudades de Olynthus y Priene organizaron sus viviendas en sentido ortogonal en torno a patios y pórticos orientados hacia el sur. Este sistema fue descrito por Sócrates, quien advierte las ventajas de la exposición solar al interior de las viviendas en invierno debido a la gran inclinación del sol, y la sombra que otorgan los pórticos en verano. A diferencia de los egipcios que se protegían constantemente del sol todo el año mediante las mashra-biya, los griegos se protegían selectivamente del sol mediante sus patios y pórticos, de esta manera se fueron estableciendo las primeras formas de control climático pasivo (Figura 3.4).

Vitruvio ya enuncia la necesidad de diseñar con distintos criterios las viviendas dependiendo de la ubicación geográfica, puesto que cada región tiene una distinta exposición al sol. Inclusive, Vitruvio advierte que la distribución de los diferentes recintos de una vivienda debe ser estudiada respecto de su exposición al sol. Por otra parte, está siendo posible la utilización de materiales translúcidos para las ventanas. En primera instancia se trata de finas planchas de piedra como selenita o mica, posteriormente será el vidrio en el primer siglo de nuestra era. este hecho queda descrito por Séneca en el año 65 d.C. del siguiente modo: “ciertas invenciones han surgido dentro de nuestra propia memoria, el uso de paneles en las ventanas que dejen entrar la luz a través de materiales transparentes” (Ibid 8).

En las regiones de cielos claros y calurosos como Egipto y Grecia, las obras maestras de la arquitectura explotaron la intensidad y direccionalidad de la luz solar para resaltar los efectos visuales de los edifi-

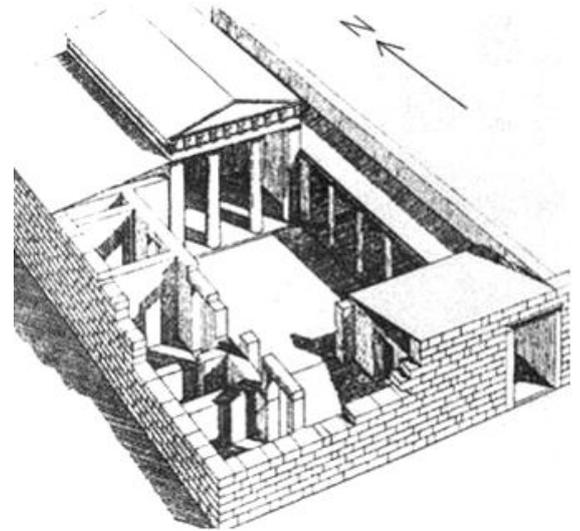


Figura 3.4: Arriba: Detalle de luz y sombra en el Partenón. Foto: Paco Lozano en [www.viajesyfotos.net](http://www.viajesyfotos.net), mayo de 2013. Reconstrucción de una clásica casa griega de la ciudad de Priene. Las habitaciones al otro lado del pórtico están orientadas al sur a través del patio (Fuente: Nick Baker, Koen Steemers, 2002 9).

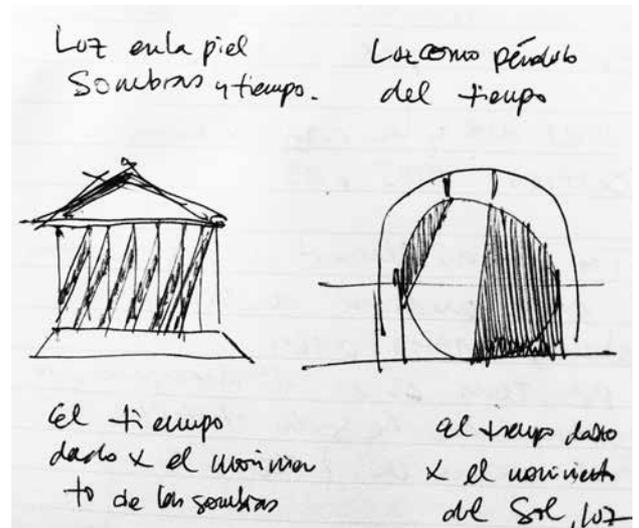
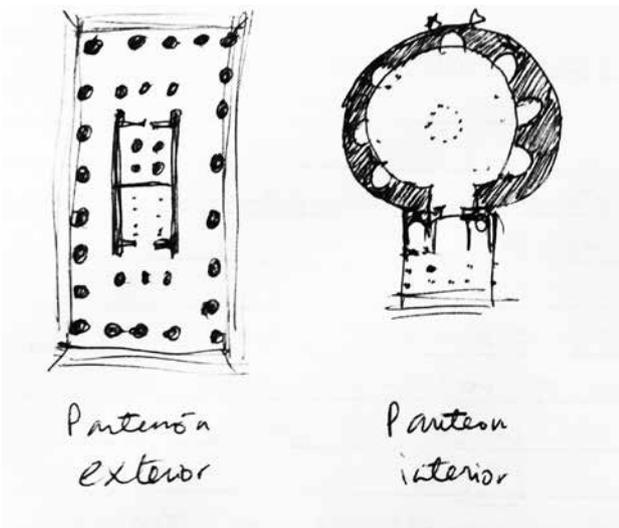


Figura 3.5: Centro: Comparación entre el afuera y el adentro en la arquitectura griega y la romana. Arquitectura exterior y arquitectura interior. Fuentes: Archivo de la autora.

cios. La espectacularidad y sutileza con que se usó la luz fue un vehículo de inspiración para los espectadores, lo que pudo controlarse gracias a la sabiduría de los sistemas constructivos de las envolventes y los conocimientos matemáticos en cuanto a la geometría solar. Esta sabiduría fundó la exquisita paleta de sutiles variantes de luz solar.

En Grecia los templos denotan una vasta comprensión de la geometría solar. Los accesos están ubicados al este, hacia la salida del sol donde la luz más joven del día ilumina los cuerpos labrados de las deidades griegas. En el exterior, las intensas sombras en los pilares de la fachada revelan la profundidad del espacio que separa esta línea de pilares con los muros de piedra ciegas que cierran el templo. Las estrías verticales de las columnas acentúan su naturaleza curva y generan un ritmo continuo de líneas verticales de luz y sombra.

La sombra variante sobre el detalle de los triglifos se sincroniza con el acelerado ritmo diario de la columnata. Del mismo modo que en Egipto, los bajorrelieves del tímpano se revelan con mayor claridad gracias a la tridimensionalidad que le otorga la luz direccionada del sol. La luz de los templos griegos es rápida, dinámica e intensa, lo que incluye a la arquitectura y la escultura en el variado rito de la vida (Ibid 11). La variante de la luz natural puede ser lenta y difusa o directa y contrastada, dependiendo del ángulo de incidencia sobre las fachadas, de la hora del día y la estación del año. La herencia de este claro-oscuro, la luz y la sombra, se ha transmitido por años y se encarna en la técnica gráfica de la ciografía.

Miguel Ibáñez en su ensayo 'La construcción de los límites' (en Casinello 2010) señala que la arquitectura griega está hecha para ser vista desde fuera, como un objeto. El Partenón no tiene adentro pero sí un afuera, un exterior perfecto. El interior es un residuo del exterior, un recinto mal iluminado, cerrado, descontextualizado, lo que denota que los edificios eran sólo sagrados y carecían de uso (Figura 3.5).

### 3.3. PERFORAR EL MÚSCULO MURARIO

A diferencia de la arquitectura griega, la romana concibe el edificio como un interior, lo que constituye uno de los aportes más importantes de Roma para la arquitectura. Esto se ve reflejado con claridad en el Pantheon que, según Ward Perkins (Ibáñez Op.cit. 13) es el primer edificio diseñado totalmente por un interior. En esta arquitectura lo esencial, más que los volúmenes son los espacios los que juegan con la luz del sol, el arte del vacío. Se crean recorridos, el tránsito de un lugar a otro, el umbral (Stierlin 2002, 228). Este hecho no es menor puesto que simboliza el paso desde la expresión de un mundo desfragmentado (Grecia) dado en las Ciudades Estado, a un cosmos coherente cuya expresión política es el Imperio (Ibáñez, op.cit. 14).

El elemento que según Ibáñez permite la creación de esta arquitectura es el muro. El muro es el medio por el cual es posible demarcar el territorio, el adentro y el afuera. En Roma la protección, en Grecia la indefensa. En Roma la sumisión, en Grecia la libertad. Orbis in Roma, Plus ultra en Grecia. El espacio se torna tenso y conflictivo, conjuntivo y disyuntivo.

A pesar de conocer el arco desde hacía 2 mil o 3 mil años, éste es explotado por primera vez en Roma. Según Rabun Taylor en Los constructores romanos (Taylor 2006), otros importantes aportes de la arquitectura romana, además del arco, son la bóveda, la cúpula y el cemento o calcestruzzo (Figura 3.6).

Estos elementos arquitectónicos no sólo se desarrollaron como forma o materia, sino que el estudio de sus esfuerzos mecánicos permitió mejorar las técnicas para proyectar y construir edificios de gran envergadura. El invento del óculo permitió repartir los esfuerzos y con ellos permitir el paso de luz cenital (Figura 3.7). El óculo es la ausencia de la clave y comienza a utilizarse cuando se descubre el principio de anillo de compresión (Ibid 64).

La construcción de arquitectura siempre sigue el patrón de la construcción sobre sí misma, no se puede partir una obra desde arriba por lo que se va construyendo desde lo que está abajo, con mayor razón cuando se construye a partir de pequeños fragmentos superpuestos uno sobre otros, el ladrillo.



Figura 3.6: Arcos romanos en Roma, Acueducto de Segovia y Pamukale, Turquía. Fuentes: Archivo de la autora.

Los romanos, siguiendo este principio descubrieron que modificando el espesor y la materialidad del muro, las bóvedas y cúpulas podían generar edificios más altos, amplios y estables.

En la construcción de arcos y ventanas las hiladas de atado sirvieron como alféizares. A menudo la altura de los alféizares es continua y coincide en la misma hilada. El arranque del arco de descarga o adintelado no es tan sistemático, salvo en las puertas donde los arcos de descarga arrancan en la tercera o cuarta hilada de atado. La altura de coronación de las puertas responde a la modulación de las hiladas mientras que la altura de las ventanas sólo era modular en relación a la altura medida desde el alféizar. Los vanos suponían una interrupción en el ritmo de trabajo. Las jambas se construían comprobando la verticalidad y ángulo recto en relación al alfeizar con una escuadra. Para la ejecución del arco se construían cimbras de madera, ya sea para los arcos de descarga como para los adintelados, aunque los arcos irregulares son presumiblemente hechos directamente en obra sin cimbras (Ibid 116).

Es de suponer que el arco de ladrillo dentro del opus testaceum, el muro romano por excelencia, es una redundancia estructural, pero permite imaginar el muro como una gran masa no homogénea, enervada por fibras de ladrillos encadenados en otros sentidos, como un músculo fibroso que responde a los esfuerzos que lo solicitan desde todas partes. La construcción del muro como un sistema, casi orgánico, hace posible suponer la durabilidad de la obra romana, que a partir del siglo III fue paulatinamente dejando de construirse.

Con el Imperio la arquitectura se liberó de toda servidumbre estilística y dejó de depender del adintelamiento, las vigas de madera y la cubierta plana. Aparecen los vanos hechos con arco, en contraste con los masivos muros, la ornamentación se hace detallada, atiborrada y efectista recurriendo al contraste entre luz y sombra. El exterior pierde importancia respecto del interior, de eso es prueba el Panteon, la Domus Aurea, las Termas de Caracalla, entre otras. La técnica y la función predomina por sobre la abstracción y la ciencia (Escarpa 2000, 31).

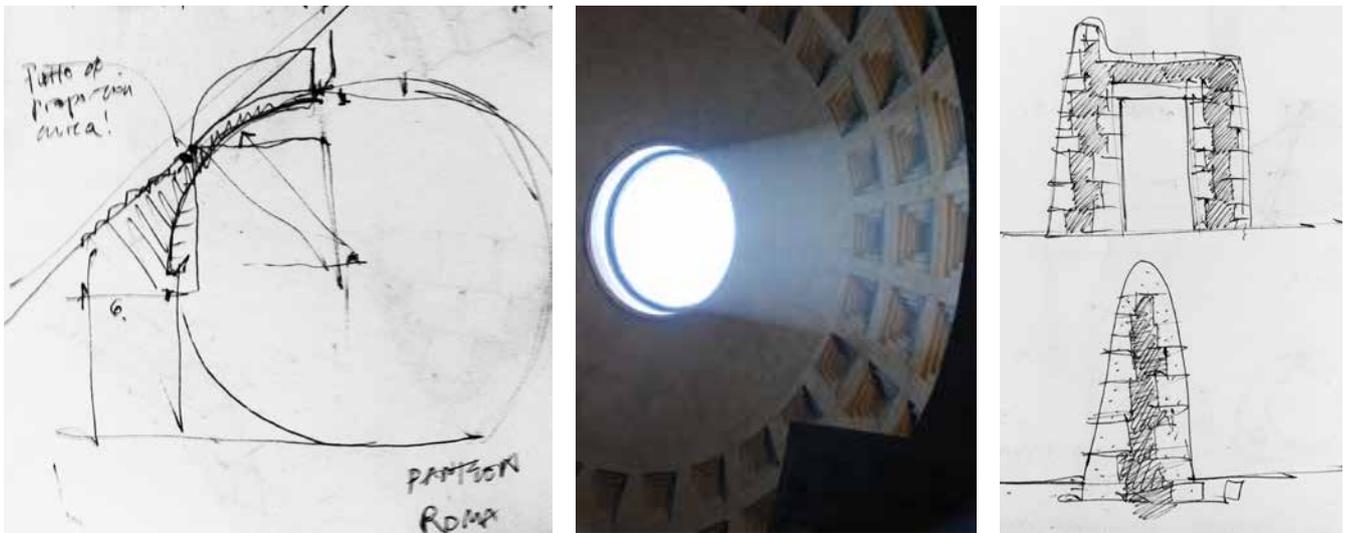


Figura 3.7: Esquema de fuerzas en la cúpula del Pantheon de Agripa, Roma. La luz entra por el óculo. Esquemas en corte del sistema murario romano. Fuentes: Archivo de la autora.

La utilización de la bóveda de arista permitió la utilización de claraboyas cenitales generando espacios diáfanos y muy luminosos, al contrario de los espacios resultantes de la bóveda de cañón que, por su estructura de apoyo continuo impide la apertura de vanos.

La cúpula romana es semiesférica y se presenta siempre sobre un tambor, lo que constituye un verdadero invento romano. Pudo ampliar su diámetro gracias al desarrollo de las técnicas de construcción en cemento, dando origen a cúpulas complejas que variando el peso del material, lograron estructuras muy livianas en la cima y densas y resistentes en la base.

La cúpula del Pantheon está formada en el interior con cinco filas de casetones, que decrecen en tamaño hacia el centro, donde está perforada por un óculo de 9 m de diámetro. Dicha ventana circular permanece abierta, y por ella entra la luz y todos los elementos de la intemperie. En el polo superior, la linterna descansa sobre un anillo que comprime los nervios longitudinales y estos a su vez descansan sobre el anillo transversal situado un nivel más abajo y así sucesivamente hasta llegar al tamburo. La altura de donde arranca la bóveda es la mitad de la altura de la bóveda y la altura total ésta coincide con el diámetro, pudiendo inscribir en el interior de la construcción una esfera completa perfecta.

En el Pantheon se demuestra un sutil y hábil uso de la luz, el óculo deja entrar un rayo de luz que, con el paso del tiempo, se desplaza por la cúpula marcando el ritmo diario y anual del movimiento solar. La nítida luz que rebota en las paredes de la cúpula produce una luz difusa que es suficiente para alumbrar durante todo el día el resto del espacio interior. Como dice Rasmussen, el óculo no sólo deja entrar la luz, sino que conecta al visitante con el mundo exterior, no el de la calle y los sucesos cotidianos, sino con la grandiosa bóveda celeste (Baker, Steemers Op.cit. 12).

El uso restringido de la luz en el interior de los templos egipcios y griegos, especialmente en los del sur, se debe en gran medida a la necesidad de crear una atmósfera adecuada a la contemplación, pero también advierte las limitaciones estructurales y constructivas que impedían abrir perforaciones de

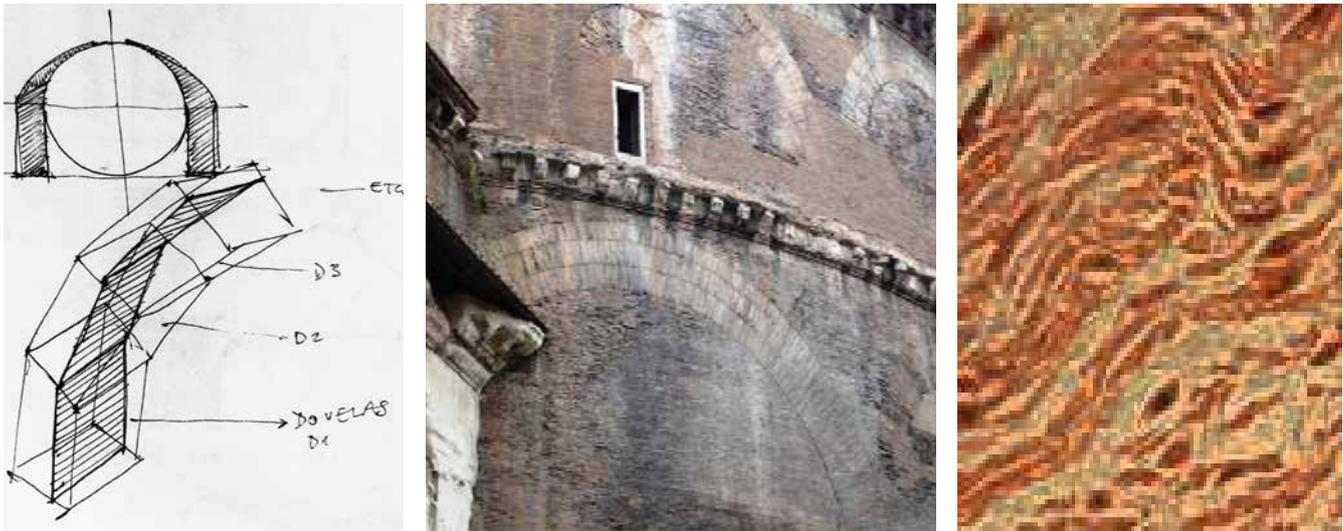


Figura 3.8: Esquema del plano de esfuerzos entre las dovelas de los arcos que componen la bóveda. Arco inmerso en el muro del Pantheon. Sección de un músculo humano. Fuentes: Archivo de la autora y smooth muscle composite.

mayores dimensiones. En este sentido, la invención del arco y la consecuente bóveda y cúpula, permitieron a los romanos abrir perforaciones de mayores tamaños para permitir el ingreso de luz natural y regular también las ganancias de temperatura a través de los vanos vidriados ya sea hacia el sur, con el fin de temperar el interior, o hacia el norte, con el fin de no generar incremento de la temperatura. Los vanos bajo grandes arcos permitieron iluminar naturalmente el interior de las basílicas y las dimensiones de estas grandes aperturas no volvieron a verse sino hasta el período gótico (Figura 3.8).

En la sociedad romana muchas actividades se realizaban al interior de los edificios lo cual se hacía más factible si los interiores estaban adecuadamente iluminados durante el día. Vitruvio fue tal vez el primer autor que describe el uso e importancia de la luz natural en cuanto a su cantidad y cualidad. “En el lado por el cual la luz debiera introducirse, dejar que una línea extendida desde la parte superior de la pared que obstruye la luz hasta punto en el que debe ser introducida, y si hay un espacio considerable de cielo abierto se podrá ver por encima de esa línea y no habrá ningún obstáculo para que la luz entre” (Baker, Steemers Op.cit. 11). El ángulo de visión del cielo que describe Vitruvio es determinado de esta manera en un modo similar al modo de la ‘componente de cielo claro’ que usamos hoy en día.

### La secuencia del vacío en la casa romana

La casa urbana en Roma fue tema de leyes y normas. Celso establece que el emplazamiento en el solar debe garantizar sol durante el invierno y ventilación. Tener buena vista y ser visible como factor de poder y propaganda también era importante, por lo que se privilegiaba la altura y otros puntos estratégicos (Figura 3.9).

La transparencia pasa a ser parte de una postura política en pos de evitar las sospechas del pueblo. Los juristas tratan de regular el uso de balcones y cuerpos salientes hacia la calle con el fin de evitar las pérdidas de luz natural en el espacio público o a los vecinos (Fernández 2003, 43). Para evitar la pérdida de suelo urbano proliferó el uso de servidumbres, entre ellas las de luces, que permitieran la

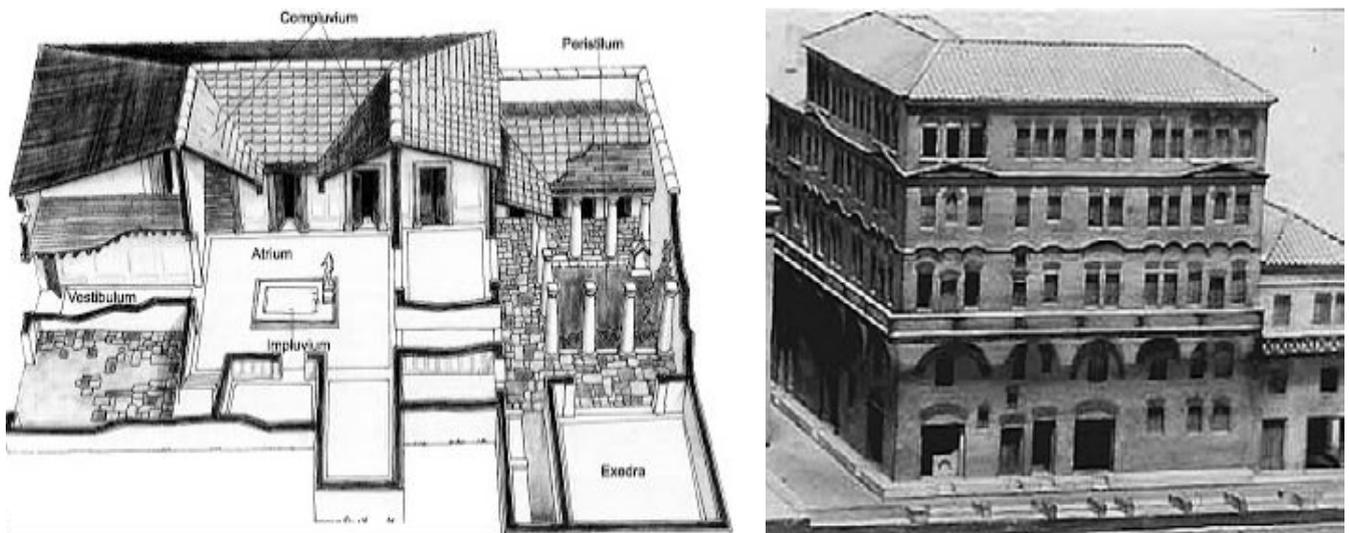


Figura 3.9: Casa romana y edificio urbano romano. Fuente: Alonso Pereira, José Ramón (2005): Introducción a la Historia de la Arquitectura, E. Reverte, Barcelona. Junta de Castilla y León. Insulae. Anónimo. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Domus>

suficiente iluminación solar de los predios y la vista del cielo, según dice Digesto (Ibid 49). Incluso se regula la vegetación en estas materias y se establecen normas para la servidumbre de vista.

En ciertas domus o viviendas rurales de alto nivel económico, las ventanas se agrandan con el fin de obtener una vista panorámica. Este hecho refuerza la idea de sociedad que aprecia el ocio y la recreación. Este modo de abrir ventanas con vistas, ya sea a la calle o a los paisajes circundantes, se hace extensivo no sólo a las clases pudientes sino a toda la ciudad, haciendo a los habitantes partícipes de lo que sucede en la calle.

Los profesionales que intervenían en la obra tenían que tener conocimientos interdisciplinarios, desde gramática hasta nociones de medicina para proyectar conforme a la salud. Por supuesto también debían saber de óptica para trabajar el tema de la iluminación solar y las vistas. A pesar de los enormes avances en materias de infraestructura sanitaria de las ciudades romanas, la higiene se presenta en forma desigual según el estrato socioeconómico, tanto en el interior de las viviendas como en el espacio público. Esto se observa también en la iluminación natural, las viviendas más pobres son menos iluminadas.

La casa romana es secuencial, con comunicación de recintos por medio de vanos (Figura 3.10). El corredor, interno o externo, articula las habitaciones como en medio-oriente, dando lugar a la casa bloque. Otra tipología es la casa en base a una secuencia de patios que da origen a las casas de patio, muy comunes y permitían el orden axial u el orden óptico desde la perspectiva. Las habitaciones daban al patio llamado peristilo y hacían juegos de ejes visuales axiales, ortogonales y simétricos. También existía la tipología casa en bayoneta, o la casa de dos ejes, la casa atrio con ordenación centralizada, circulación envolvente. Fueron comunes los pórticos hacia la calle que proporcionaban control climático, belleza y altura para edificar e 2º piso.

Los atrios son presumiblemente de origen Etrusco, de la ciudad de Atria. Hubo cinco tipos de atrio, de

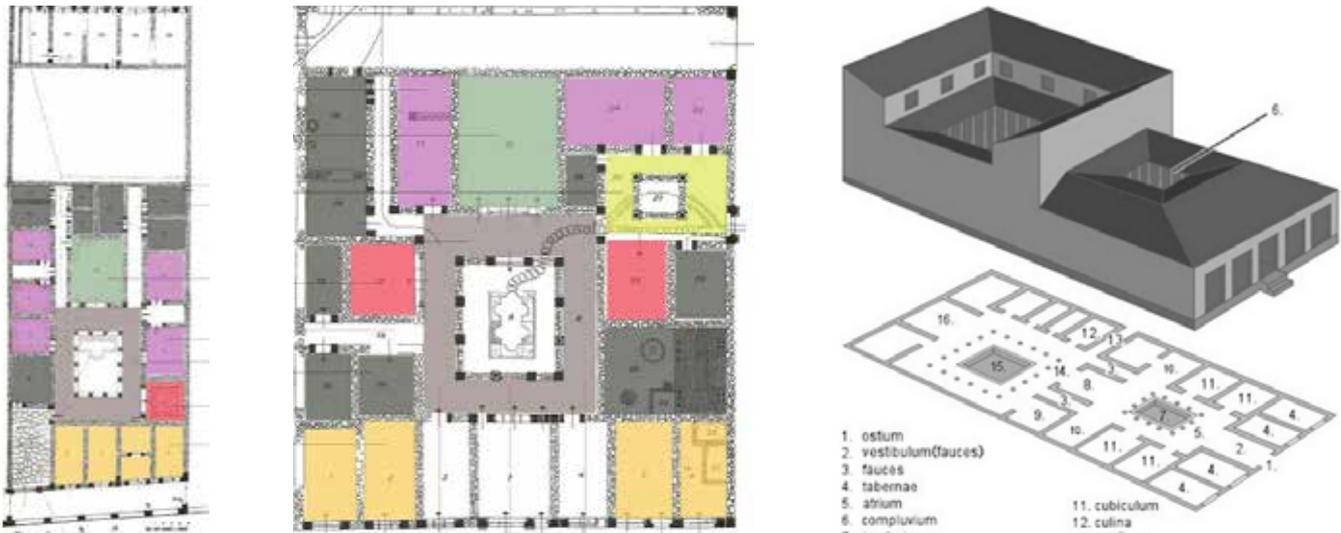


Figura 3.10: Planos y render de casas romanas. Fuente: Étienne, Robert (1960):Le Quartier Nord-Est de Volubili,E. de Boccard, París. ArteHistoria, La Página del Arte y la Cultura en Español. Disponible en: [www.artehistoria.jcyl.es/v2/videos/617.htm](http://www.artehistoria.jcyl.es/v2/videos/617.htm).

los cuales se destaca el toscano como pozo de luz que dejaba un tragaluz que permitía la iluminación natural y en la parte inferior se recogía el agua de lluvia, o impluvio que venía de la parte superior del tejado, el alero o compluvium. Su empleo se debe probablemente a la imposibilidad de abrir ventanas para la iluminación y ventilación, por clima y vistas hacia la intimidad. El atrio algunas veces deriva a otros cerrados que pierden estas ventajas originales, por ejemplo, el atrio testudinatum, sólo conserva la función de distribuidor. El atrio displuviado sacó la función de juntar aguas lluvia y deja sólo la de iluminación natural (Figura 3.11).

La luz natural recibida cenitalmente en los patios participó de la idea de orden axial de la casa romana ordenada en una sucesión de patios y pórticos que podían percibirse desde la entrada. La casa romana exterioriza parte de su intimidad desde la entrada al abrirse la puerta principal y la axialidad de luz natural que provoca la sucesión de patios logra verse desde afuera, desde la calle, al contrario de la casa musulmana que cuida preciosamente su intimidad (Ibid 198).

En los atrios se usaron *uela* que eran colgaduras de tela que tamizaban la intensidad lumínica, la radiación solar y aislaban de la temperatura exterior, a modo de temperador climático. Fueron elementos ornamentales y teñían el ambiente con los colores de la tela. A veces estaban hechos con pelo de cabra como aislante térmico e impermeabilizador (Ibid 125).

Para la iluminación de recintos mediterráneos se creó una determinada pieza llamada medianum que cumplía la función de distribuir tanto espacialmente el acceso a los demás recintos, como distribuir la luz, puesto que por lo general era un recinto muy bien iluminado. En este aspecto cumple la función parecida al patio, sin embargo esta habitación es cerrada y se ilumina por ventanas, no en forma cenital. Por su rol de hall conector e iluminador pudo cumplir funciones de reunión social y otras más específicas como cocina, sala de estar o comedor.



Figura 3.11: Imágenes interiores probables de una casa romana, habitación e impluvium - cumpluvium en el atrio. Fuente: B. Rodríguez Cerezueta.

Otra estrategia para el incremento de luz natural fue el balcón, frecuente en las primeras plantas donde además de luz permitía el uso de un espacio exterior y ventilación. Con el fin de que no obstaculizaran las vistas y la iluminación en la calle fueron sumamente normados debido a la profusa proliferación que alcanzaron hasta pasados al menos dos siglos de nuestra era. Los balcones reciben el nombre de tabulata si se refiere al tipo constructivo en madera o bien solarium en referencia a su utilidad. El término solarium también es usado para referirse a la terraza, elemento arquitectónico muy utilizado en la casa romana como espacio exterior (Ibid 200). Tan importante fue el confort que otorgaba la iluminación y la ventilación de las fenestraciones, balcones, terrazas y patios, que el valor inmobiliario de la casa romana los puso como centrales.

La puerta era un elemento importante y simbólico, último elemento de control, tuvo muchos nombres: foris, exterior; porta, portón; ostrium, interior; ianua, de acceso; lien inferum, umbral; limen suerum, dintel; foris o ualuae, hojas de la puerta; posticum pta. Lateral; posticum, postigos. La puerta simboliza protección, intimidad, obstáculo, canal de comunicación y propaganda. Ya utilizaban el sistema de gozne, las cerraduras, travesaños, campanillas y llamadores. El gozne era simbólico y representaba a Juno y Carna mediante una rama de espino: salud y unión. La puerta era el lugar de amuletos y ornamentos iconográficos. Como marco exterior a la puerta se usaron pilastras, columnas y arquitrabes. Era una frontera real y una frontera mágica. El portero, como símbolo de estatus, era un esclavo (Ibid 103).

La casa romana de Pompeya, el ejemplo mejor conservado, es hermética hacia al exterior, con pocos vanos y ornamentos, sólo los pueden presentar la puerta de acceso. Busca la privacidad e intimidad. El aire puro y la luz se logran a través de los patios, atrios y peristilos, con jardines y entornos aporticados pavimentados. También surgen hacia ellos galerías y ventanas pequeñas. La densidad de la ciudad presenta el impedimento de aperturas en la envolvente exterior del predio salvo la fachada frontal hacia la calle y las fachadas interiores hacia los patios, los que surgen en gran medida para posibilitar la apertura hacia el exterior, en el interior del predio. Las ventanas exteriores hacia la calle estaban



Figura 3.12: Piedra traslúcida, lapis specularis utilizado en las ventanas de casas romanas en territorio español. Fuente: <http://www.lapisspecularis.org/index.htm>. Cubierta del atrio en una casa romana, Planta y corte. Fuente: B. Rodríguez Cerezuola.

emplazadas a grandes alturas respecto al nivel calle en Pompeya y Herculano y es presumible que esto fuera generalizado en todo el Imperio. La apertura del vano era estrecha hacia el exterior y se ampliaba hacia el interior lo que permitía difundir el acceso de luz dentro del recinto. Este tipo de vanos se conoce como aspillera, arquera, saetera, lancera, tronera o ballestera y fue presumiblemente inventada con el fin de protegerse durante los períodos de guerra.

El uso de vidrio en Roma, sumado a las importantes innovaciones estructurales, como el arco, permitió agrandar considerablemente el tamaño de las ventanas sin tener que dejar escapar el calor interior durante el invierno. Esta importante innovación técnica en la construcción fue uno de los complementos que el Imperio Romano tuvo para avanzar en la conquista del territorio hacia el norte de Europa donde el clima va haciéndose cada vez más frío.

Sin embargo, los vidrios aún no eran accesibles a todo el mundo como material de construcción (Ibid 189), por ello se usaron toldos para paliar los rigores atmosféricos y aislar la vivienda de la intemperie. También se utilizaron los respiraderos, aperturas a nivel de calle que iluminaban y ventilaban los recintos subterráneos. Los vanos, al no tener vidrio presentaban la disyuntiva entre iluminación y aislamiento térmico. Las ventanas grandes se utilizaron en muros altos hacia la calle aunque tenían el inconveniente del control climático (Figura 3.12).

Los vanos se protegían de la intromisión mediante rejas metálicas o celosías de madera, cerámica o piedra. Con el mismo propósito también podían utilizarse cortinas, contraventanas y quizá algún tipo rudimentario de persiana. Estos sistemas de protección, junto con el vidrio y los espejos (specularia) parecen haber sido considerado jurídicamente como elementos de lujo aunque más tarde se reconocan como necesarios, no superfluos ni ornamentales, el uso del vidrio y celosías para ventanas. Séneca se refiere al vidrio como un material de lujo y de reciente aparición, por lo que puede presumirse que su uso debió darse durante la época imperial pero en forma reducida.

Los restos arqueológicos encontrados dan como uso alternativo al vidrio de ventanas fundamentalmente durante los siglos I y II d. C. en la provincia de Hispania, a la piedra o lapis specularis, un tipo de piedra de yeso selenítica especular traslúcido. Plinio el Viejo, en *Naturalis Historia*, cuenta que este mineral era extraído en la Hispania Citerior, en minas halladas a unos 150 km Segóbriga y aunque podía encontrarse en otros lugares como Chipre, Sicilia, la Capadocia e incluso en África, el de mayor calidad era el hispano. El principal uso del lapis specularis en la Antigua Roma fue para la fabricación de ventanas acristaladas, acoplándose en armazones, principalmente de madera aunque también se fabricaron de cerámica, que permitían ensamblar varias planchas con el fin de cubrir la superficie en función del tamaño de la ventana.

## 3.4. LUZ DESDE LA CÚPULA

A partir de la consolidación del cristianismo como fe religiosa, la iglesia se torna el punto central que organiza las ciudades en Europa y Bizancio, a diferencia de las urbes griegas y romanas más complejas y desarticuladas (Norberg-Schulz Op.cit 60). La iglesia, y a veces el castillo, son ahora el foco de la ciudad. Heredan de Roma la interioridad que había logrado la arquitectura romana, pero incluyen los conceptos de centro y recorrido, que se incorporan como una nueva manera de ordenar el espacio construido. A diferencia del orden axiológico y geométrico que los romanos aún conservan en sus ciudades como herencia de la cultura griega, la ciudad paleocristiana se ordena en forma más compleja, lo que demuestra que la religión es ahora un modo de vida, complejo y versátil.

La arquitectura se vive tanto como un interior como un exterior, pero en un contexto urbano. La idea de recorrido y centro se evidencia en el edificio característico de esta época, la basílica. El edificio se organiza en un cuerpo axial, formado por naves separadas unas de otras por columnatas interiores, y rematan en un alto ábside donde Cristo espera la llegada de sus fieles (Figura 3.13). En esta zona se levantan las cúpulas que coronaron el perfil urbano de este período, sobre todo en Constantinopla. La zona de recorrido puede ser circundante, en torno a la cúpula. La cúpula es una envoltura neutra de mampostería (Ibid 65), que logra un exuberante interior celestial.

Las columnatas de la nave no cumplen una función estructural tan importante pero sí contribuyen a la percepción de profundidad y movimiento longitudinal (Ibid 65). Las columnatas fueron reemplazadas por arcadas que reconstituían la idea de muro, aunque perforado y desmaterializado. La arcada se vuelve un motivo que aparece en las ventanas superiores de la nave y el transepto, dejando el interior iluminado, pero las naves laterales, bajas, siguen siendo oscuras. La aparición del mosaico brillante contribuye a desmaterializar el muro y hace del interior un lugar siempre cambiante.

“El esquema iconográfico de la iglesia bizantina muestra que el edificio era concebido como una imagen del Cosmos” (Ibid 67). La cúpula representa el cielo, de donde emana la luz divina hacia abajo, donde las naves representan lo terrestre (Figura 3.14). Este orden, sumado a la idea de la posición



Figura 3.13: Arriba: Iglesia de Santa Constanza en Roma. Fuente: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com) y [www.serturista.com](http://www.serturista.com), julio 2013.

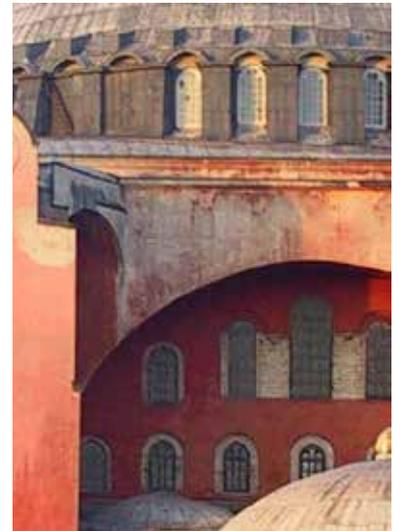


Figura 3.14: Centro: Chora Church y Santa Sofía, Estambul. Fotos: Leonardo Vera. Abajo: andamios para la restauración de la cúpula de Santa Sofía en Estambul y cúpulas excavadas en Capadocia. Fotos: Leonardo Vera.



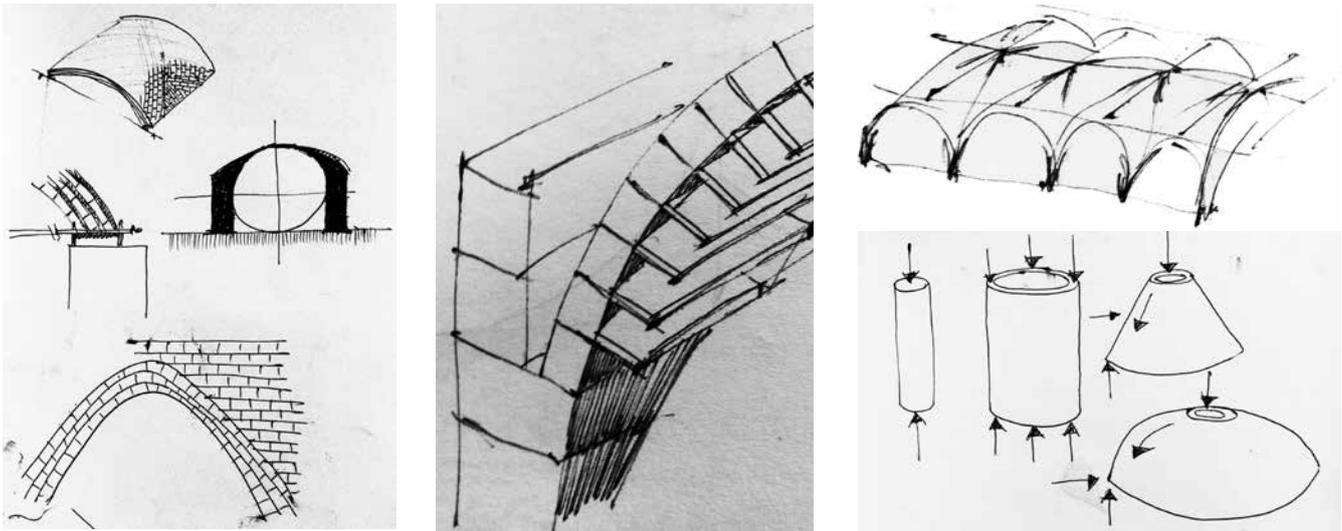


Figura 3.15: Desarrollo y evolución del arco, la bóveda y la cúpula. Esquema del sistema constructivo y esquemas de fuerzas. Fuentes: Archivo de la autora.

superior de la luz (natural) y la desmaterialización del muro, serán de gran importancia en el posterior desarrollo de la arquitectura románica y gótica.

En Santa Sofía se combinan con maestría los órdenes centrales y longitudinales. La cúpula central, a modo de baldaquino, está flanqueada de semicúpulas y conchas inscritas en un rectángulo de 70 m por 77. La cúpula, de 30 m de diámetro, está profusamente perforada en su tamburo, a diferencia de la del Pantheon (Figura 3.14 y Figura 3.15). Las perforaciones se logran mediante ventanas en arco que descansan en las pechinas de la cúpula. Las semicúpulas y conchas que se descuelgan de esta gran cúpula, también están perforadas mediante ventanas en arco. Muros y arcadas están recubiertos por mármol y mosaicos, que son iluminados por la luz que penetra en forma siempre lateral por las aberturas y esta iluminación cambiante vibra con los brillos de los materiales dando una sensación espiritual al interior. La luz divina se “irradia del centro del cielo” (Ibid 71), la cúpula baña los motivos dorados de ángeles y santos, así como del clero y los fieles que se congregan en su interior.

En síntesis, la arquitectura de este período, sobre todo arquitectura la religiosa, busca la desmaterialización de los límites y la interioridad espiritual. Esto se logra en gran medida gracias a la cantidad y ubicación de la luz en la cúpula o los grupos de cúpulas, la perforación y levedad del muro y la incorporación de elementos brillantes y cambiantes como el mármol y las teselas doradas del mosaico. En cambio, los espacios bajos o naves laterales logran la disolución del límite por la permanente penumbra en la que se encuentran, impidiendo distinguir los muros que contienen el confín. La cúpula concreta un símbolo cósmico, en su eje vertical descansa estáticamente sobre su estructura unificando las profundidades de la Tierra con el Cenit del cielo. Esta es una arquitectura que desde un inicio fue pensada en ser utilizada internacionalmente, tal vez por primera vez. Es la casa de Dios, no se haya en ninguna parte, por ello es posible identificar sistemas, símbolos y temas espaciales similares en diversos lugares del mundo.

### 3.5. DE LA MASA AL ESQUELETO DIÁFANO

Pese a los disturbios y las divisiones políticas, el período Románico posee una sólida unidad cultural. La característica más notoria de sus edificios, iglesias, palacios, castillos y monasterios, es la combinación de recinto macizo con una fuerte dirección vertical donde la torre se transforma en uno de los elementos más importantes y significativos de su arquitectura. La torre, ubicada en el acceso a castillos, iglesias y fortificaciones, se transforma en el acceso sagrado al *sacrum palatium*, sede del gobierno y la sabiduría divina del Estado. Las torres son por lo tanto, protección y trascendencia.

Su origen arquitectónico basado en el período bizantino y paleocristiano, se refleja en el ritmo interior, pero ahora en función de las dimensiones y movimientos del ser humano que la habita. La iglesia románica es a la vez fortaleza para el hombre y una puerta al cielo, los temas principales de la época (Norberg-Schulz Op.cit, 79).

A diferencia de los orígenes de la arquitectura occidental donde las civilizaciones se encontraban en las zonas soleadas cercanas al Mediterráneo, el románico es ya netamente un período internacional, puesto que la población civilizada hace siglos que se encuentra asentada por toda Europa, abarcando una extensa variedad de climas y condiciones geográficas. Europa era ahora un territorio extenso y peligroso, y a pesar de ello se sentía un espíritu de unificación dado por la religión compartida. Los lugares santos lo eran para todos los europeos cristianos y las iglesias y monasterios eran considerados lugares sagrados y refugios seguros, como embajadas de un territorio común y sagrado, al que se llega en peregrinación y penitencia. Esto exacerba el sentido de recorrido y meta, anunciado durante el período bizantino y paleocristiano, y se ve reflejado en el templo donde estos coinciden con la nave que remata en la cúpula o el altar.

En la arquitectura románica el muro es una superficie compacta donde los vanos sólo iluminan. La ubicación de éstos hacia el oriente y al sur, cumplen la función de iluminar para poder leer los íconos inscritos en pilares o pinturas. “El vano es un foco de luz” (Nieto 1978, 18). La vidriera es sólo una forma de cierre, donde se ya aparecen algunos íconos ilustrados sobre el vidrio, pero ellos no alteran la

percepción del espacio interior de la iglesia, la basílica. Y el pequeño vano es una respuesta al sistema constructivo de masa.

En algunos edificios religiosos se integró un pequeño cuerpo anterior, la capella imperialis o solarium, donde se ubicaban los emperadores. En él, mediante una pequeña abertura, se introducía el sol para hacerlo caer sobre el monarca, iluminarlo y entregarle confort.

Hacia fines de este período, la arcada del templo (interior en el templo bizantino) migra lentamente hacia el exterior, con el fin de acoger a los peregrinos. Este proceso confiere una imagen más diáfana y delicada del templo, lo que derivará en las estructuras de esqueleto de la arquitectura gótica.

Las arcadas que dividen las naves en el período anterior se desarrollan de manera de generar un ritmo que derivará en el sistema de crujías medieval. El desarrollo de la bóveda de arista, donde el peso se reparte en pilares reforzados alternadamente, hizo posible que se pudiese implementar el sistema de doble crujía, dejando los pilares intermedios en una especie de muro secundario, similar a la función de las arcadas del baldaquino, en el templo bizantino. Por otra parte es el primer indicio certero de la desmaterialización del muro que se haría concreto en el período gótico.

Los pilares cuadrangulares, que sostenían eficientemente las bóvedas, se integran al afán de desmaterialización o esqueletización al convertirse en un haz de fibras verticales (Figura 3.16 y Figura 3.17). Esto los hace verse más delicados, diáfanos y livianos y para construirlos se debieron utilizar piedras y mármoles de la mejor calidad (Huerta, 2004. p 30). Sin embargo, a pesar de su gran masa y el sistema empírico de construcción, algunos de estos sistemas se vieron debilitados o colapsados por los empujes de la bóveda de medio punto en los estribos (Huerta Op.cit. 108).

La construcción reiterada de arcos y bóvedas evidenció que el arco de medio generaba más empujes que el arco apuntado. Por esta razón empiezan a construirse arcos apuntados durante el románico,



Figura 3.17: Arriba: Ventanas de pequeños templos románicos en la provincia de Burgos. Castillo de San Jorge, Lisboa. Fuentes: Archivo de la autora.

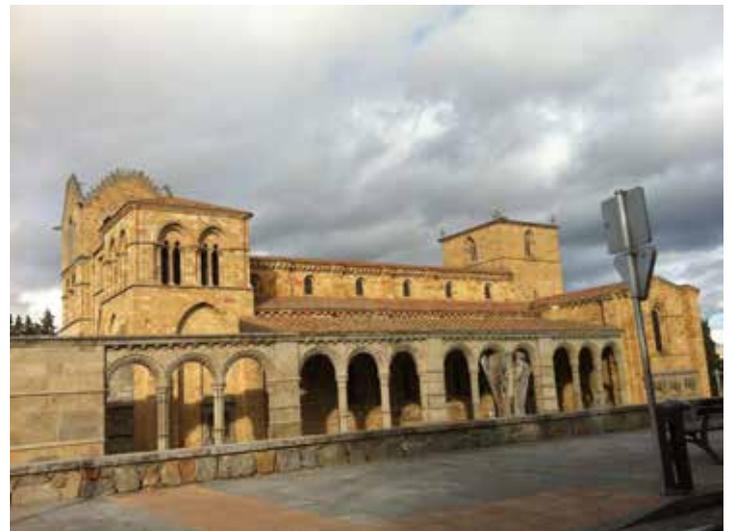


Figura 3.16: Centro: Puerta románica en una iglesia de la provincia de Burgos, Basílica de San Vicente en Ávila. Fuentes: Archivo de la autora. Abajo: Santiago de Compostela e iglesia de Surburg. Fuentes: [www.verdadyverdades-blogspot-com](http://www.verdadyverdades-blogspot-com) y [www.zum.de](http://www.zum.de)



como precedente al arco gótico (Huerta, 2004. p 124). Sin embargo, la pureza estructural, el claro recorrido de los empujes que alcanza la arquitectura gótica, aún no se logra durante este período, por lo que es posible definir la estructura románica como un sistema cavernoso que ofrece múltiples caminos para las fuerzas (Huerta Op.cit. 501). En este contexto, la apertura del vano sigue siendo una perforación puntual del muro, antes que constituirse en una característica constitutiva de éste, aunque se sistematiza el ritmo de vanos respecto de la estructura (Figura 3.19 y Figura 3.18). Aún siendo vanos relativamente pequeños, la luz es suficiente para bañar el crucero de la basílica románica.

En el románico italiano en Pisa, el efecto óptico de desmaterialización del muro y profundidad del templo dado por el ritmo de pilares en el recorrido longitudinal, se traslada al exterior. En este ejemplo, la arquitectura no es de integración entre torre y basílica sino de agrupación armónica entre elementos, que gracias al efecto óptico de la pilarización externa, los vuelve dinámicos y activos para el ambiente.

Norberg-Schulz establece que en síntesis, el románico aporta tres claves para la arquitectura: la introducción de elementos verticales; la articulación rítmica del espacio; y una nueva relación entre el interior y el exterior. En este contexto, la luz natural juega un rol importante, porque contribuye a lograr el efecto rítmico de vanos y evidencia la profundidad al iluminar los elementos verticales gracias a la proliferación de estas aberturas rítmicas. Por otra parte, se manifiesta de forma activa en la arcada exterior, como un espacio intermedio de control climático, que evidencia el paso del tiempo, como hace siglos lo hacía en el templo griego.

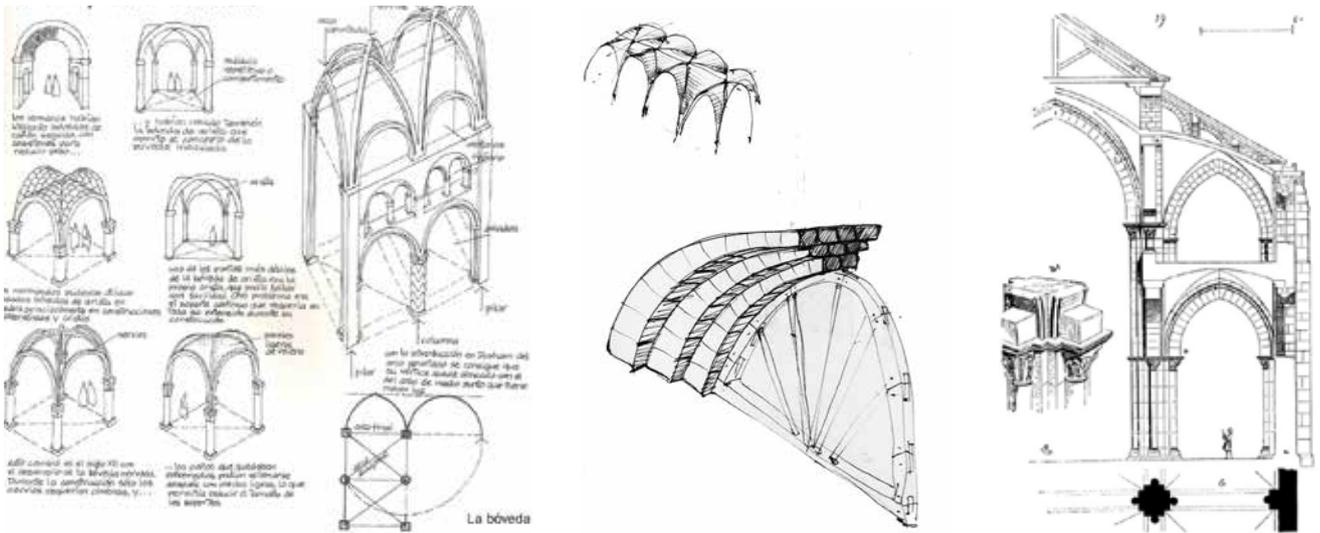
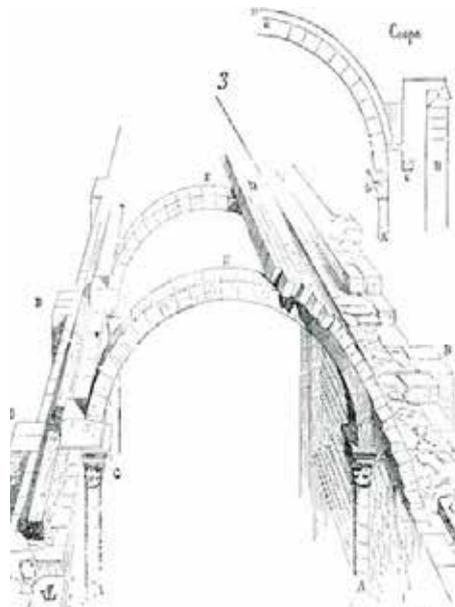
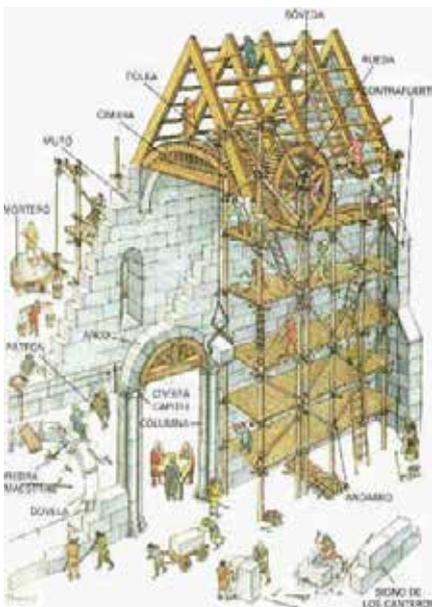


Figura 3.19: Arriba: Esquemas de bóvedas románicas y arcos románicos. Fuentes: [www.arqfdr.rialverde.com](http://www.arqfdr.rialverde.com), archivo de la autora y Construcción Medieval de Viollet Le Duc.



Figura 3.18: Centro: Detalle de un vitreaux románico en la Catedral de Dijon. Fuente: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com). Abajo: Sistema constructivo de la bóveda románica e imagen del interior de una iglesia románica. Fuentes: [www.arqfdr.rialverde.com](http://www.arqfdr.rialverde.com) y Construcción Medieval de Viollet Le Duc.



## 3.6. CONSTRUCCIÓN DE LA LUZ Y LA FE

Durante el Gótico, la luz y la sombra se explotaron con mucha mayor fuerza de lo que se habían explotado nunca, respecto de su sistematización e integración al edificio. La luz y la sombra son utilizadas fundamentalmente por su capacidad de evocar los misterios de la religión y causar devoción e inspiración en los fieles. La luz y el vano cumplen una diferente función respecto del Románico: durante el gótico, la luz es utilizada como un símbolo de las concepciones religiosas, “el espacio arquitectónico se define además de por la estructura y articulación plástica de los elementos que lo componen, por los valores que comporta su sistema de iluminación.” (Nieto Op.cit 13). La luz viene dada por la relación entre la normativa constructiva y los significados a los que obedece.

En el Románico, la desmaterialización de la masa construida había comenzado a lograrse (y buscarse) por medio de los juegos ópticos logrados con las pilarizaciones rítmicas exteriores y la introducción de elementos verticales. En el Gótico en cambio, la iglesia se vuelve en sí misma desmaterializada, transparente, e interactúa con el ambiente donde se inserta. Para lograr semejante proeza, fue necesaria la conversión del muro en la membrana diáfana y traslúcida que lo caracteriza, mediante la estructuración externa dada por contrafuertes, arbotantes, pináculos y demás elementos estructurales que se inventaron o explotaron durante este período.

La liberación de la carga estructural del muro permitió la utilización del vidrio como parte importante del área total del muro y el uso de color en él generó que la luz que ingresaba al interior coloreara el espacio interior durante el día. Esta asociación entre Dios y luz es uno de los temas centrales de la arquitectura gótica (Baker, Steemers Op.cit.).

Sumada a la idea de desmaterialización, los constructores góticos inventaron un sistema para que pareciera que la luz se viera como no-natural, no como un medio físico sino como interpretación subjetiva, sagrada, eliminando la observación objetiva. La vidriera colorada fue el medio preciso para lograrlo: la vidriera es un muro traslúcida que mediante la utilización del color, el brillo, los dorados y los reflejos, impide la comprensión de la forma del espacio, que ahora no se puede medir, no se puede



Figura 3.20: Iglesias góticas en España, Santa María del Mar, Barcelona, Catedral de Valencia y Catedral de Burgos. Fuentes: Archivo de la autora y blogs.libertaddigital.com.

cuantificar. Pero no significa que se agrande la vidriera dentro del muro, ésta se convierte en muro. Este es el principio de transparencia (Panofsky Op.cit. 89).

El aumento del tamaño del vano fue posible gracias a la invención de nuevos sistemas constructivos, los que se inventaron para poder modificar la perspectiva y percepción espacial (Nieto Op. cit. 26). No obstante el mayor tamaño de la ventana, no aumenta la cantidad de luz, que ahora debe pasar por varios filtros, sólo cambia la cualidad de la luz: color, posición, forma y tiempos (Figura 3.20).

La vidriera es el medio para modificar el espacio y es el soporte iconográfico. Pero la iconografía de la vidriera no hace referencia al soporte material, tanto del muro como de su emplazamiento urbano, hay una desmaterialización visual que según Jantzen genera la tensión entre materialidad y artificio para lograr ingravidez (Jantzen 1982, 32). Para Nieto, aquí se inicia la norma óptica de ficción (Nieto Op.cit. 32) donde el muro no es un muro, es traslúcido, estructurado por nervaduras, pintado con dorados brillantes, donde la estructura portante queda fuera del dominio visual del interior, los arbotantes. El color es un elemento en sí mismo.

A pesar de la importancia de la luz como manifestación divina durante el período gótico, ésta es una metáfora anterior a esta era, descrita por ejemplo en el Evangelio. De hecho, el brillo y el dorado venían usándose desde hacía varios siglos en el mosaico bizantino. Pero durante el gótico esta metáfora se manifiesta gráficamente en la vidriera, el vidrio es el material que deja entrar y salir a Dios. El oro es luminosidad y brillo, a diferencia que en épocas pasadas donde es riqueza terrena.

Según Grodecki (Ibid. 40), en el gótico es posible establecer la siguiente relación: Lux spiritualis: Dios (lux) v/s lux corporalis: manifestación de Dios (lumen).

Brillo: splendor veri (platónicos), splendor ordinis (San Agustín), splendor formae (Sto. Tomás). Todo esto es belleza.

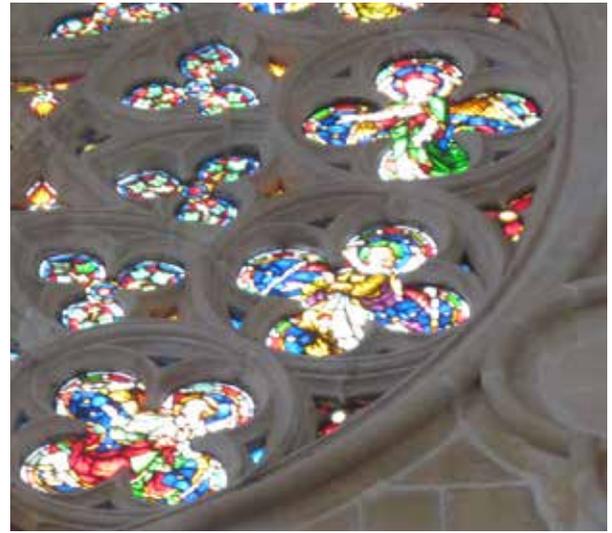


Figura 3.21: Patio del claustro del Museo de la Cerámica, Lisboa. Detalle del rosetón de la Catedral de Burgos. Fuente: Archivo de la autora.

Para Gombrich (1997), complementariamente, el oro es un símbolo y una metáfora que parte de la atracción hacia el brillo, y es de naturaleza biológica. El vidrio, además de transparente, también brilla, refleja, lo que es un valor inestimable (Figura 3.21).

Es por ello tal vez que la pintura gótica utiliza el fondo dorado, brillante con el fin de dar una sensación de ingravidez, un equívoco visual que impide la real comprensión. Nieto asocia este hecho al espacio aristotélico, según el cual el lugar no es independiente del usuario, por el contrario, ejerce una influencia y relación sobre ellos. La ingravidez es ficción, igual que la luz no-natural de la vidriera gótica. La pintura gótica no es monofocal (Figura 3.22), como la representación perspectivada del Renacimiento (Nieto Op.cit. 62), no hay representación volumétrica a través del uso de las sombras, del claro-oscuro. Tampoco hay un solo punto de vista, podríamos decir que es una representación estereoscópica, como nuestros ojos, pero con más de dos puntos de vista. Para Jantzen, se suprime la sombra en la pintura medieval porque la que hace sombras es la luz de naturaleza, no la luz divina.

En la coloración del vidrio aparece el amarillo de plata (sal de plata) que tiñe la luz de un color amarillo intenso modificando todos los colores que ilumina. Este fenómeno acercó los resultados visuales que se habían logrado con la pintura gótica al espacio interior construido en la nave de la iglesia. Nace una relación estrecha entre idea simbólica y tecnología.

En esta época nacen los tratados de pintura en vidrio y fabricación de vidrieras, los que siguieron escribiéndose hasta pasados los siglos XVII y XVIII. La idea es describir los procedimientos con el fin de liberar al artista de la preocupación teórica. Entre los tratados más importantes están *Diversarum Artium Schedula*, del monje Teófilo, un tratado técnico, metodológico, un libro de recetas que no habla sobre el simbolismo; *Técnica y estética de las vidrieras de la Edad Media*, de Viollet Le Duc, donde escribió sobre la vidriera como un arte capaz de modificar el espacio interior y a menudo se refiere a la luz y la óptica como condiciones esenciales a dominar en el arte de la vidriera; *Libro dell' Arte*, de Cennino Cennini quien describe la técnica de la pintura en vidrio como la pintura sobre un lienzo; Tra-

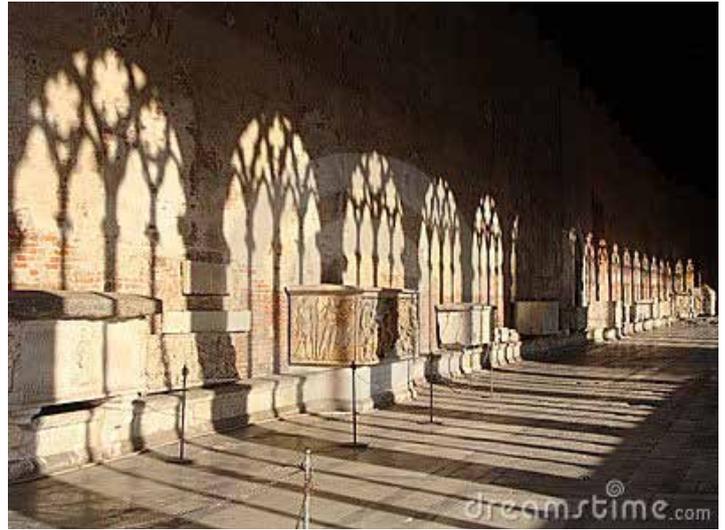


Figura 3.22: Bóveda de abanico en Bath Abbey y sombras de arcos góticos en Cementerio Viejo en Pisa, Toscana. Fuentes: es.fotopedia.com y es.dreamstime.com.

tado de Vite, quien describe las técnicas del maestro vidriero Guillermo Marcillat y donde se aborda el tema de la profundidad con los tonos de los vidrios, claros adelante y oscuros atrás y se incorpora el plomo en los dibujos, haciéndolo participar de las zonas oscuras; Pinturas sobre Vidrieras, de Francisco Herranz quien describe las técnicas del vidrio de color como base con retoques para las sombras, los volúmenes y los detalles de los rostros, y entrega instrucciones de cómo fabricar colores.

El gótico italiano se relacionó poco con la vidriera. El arte de coloración del vidrio en Italia siempre estuvo subordinado a la pintura y no a la arquitectura. La pintura es considerada un arte mientras que la pintura en vidrio sólo una técnica. Los vidrieros se proveían del dibujo del artista pintor y su tarea quedaba restringida al oficio y la gestión empresarial, no artística. La técnica de la vidriera italiana utilizaba vidrios de color sobre los cuales se retocaba con pintura para vidrio e incluso óleos, para dar las formas, los volúmenes y los detalles. El vidrio se cocía antes de unirse a las demás partes.

A medida que la religión católica se consolida, el oro y la luz tienen mayor relación con el poder. En el Medioevo la catedral es el reino de Dios sobre la tierra, entonces la catedral necesita luz, oro, brillo. La vidriera se hace necesaria para simbolizar el poder divino así como la pintura necesita el dorado tanto para lograr sus fenómenos ópticos como para hacer presente cuánto poder se tiene. Paulatinamente la opulencia se va apoderando de la catedral a medida que se consolida la relación entre luz y Dios.

Frente a la excesiva opulencia, aparecen detractores que vuelven a mirar desde una perspectiva externa. San Bernardo se opone a la artificiosidad del oro y la luz gótica porque genera una opulencia que contrasta con la pobreza del pueblo. Según él, el artificio no permite un verdadero acercamiento a Dios porque se utiliza una analogía captada mediante los sentidos (biológicos). Esto sugiere una idea adulterada de la divinidad, “lo temporal contra o eterno, la razón humana contra la fe, los sentidos contra el espíritu” (Panofsky Op.cit. 47).

Por ello San Bernardo propone un regreso a la situación anterior, un alejamiento a esta desviación o

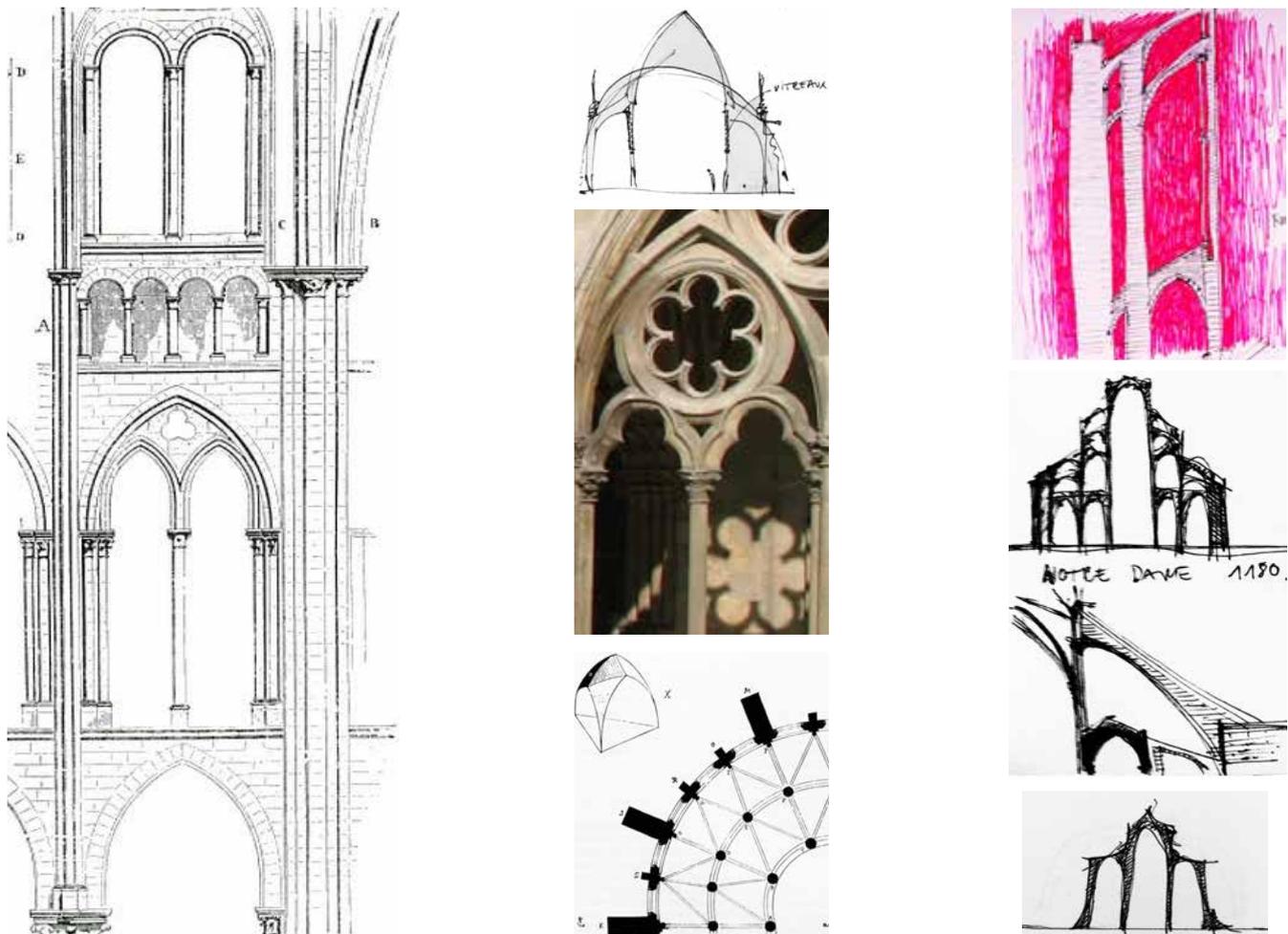


Figura 3.23: Estratos del sistema de murario y de arcos gótico. Detalles y planta de los arbotantes y contrafuertes. Fuentes: Construcción Medieval de Viollet Le Duc y archivo de la autora.

adulteración de lo religioso. Su propuesta artística, englobada en el arte cisterciense, es de naturaleza simple, donde se elimina lo innecesario, y se enfoca netamente en la estructura. El color debe eliminarse porque distorsiona el espacio, los vanos vuelven a ser incoloros, vuelven a ser focos de luz.

Hasta el siglo XVI el gótico ha llegado a construir vidrieras tan enormes (Figura 3.23) que se iguala en importancia la idea iconográfica y la transformación del espacio en vidriera. Desde ese punto comienza la disminución del tamaño y la preponderancia del mensaje iconográfico por sobre la modificación del espacio. El muro vuelve a ser opaco, sus aberturas vuelven a su función de foco aislado. Ya no hay arquitectura translúcida. La disminución del color y la posición de los vanos menos ocultos lograron que la cantidad de luz no disminuyera en el interior de la iglesia, volviendo a un tipo similar al Románico. Las vidrieras ahora como puntos de luz, enfatizan los primeros indicios de la perspectiva, que llegará en pleno con el Renacimiento, y prolongan artificialmente el templo, más allá de la realidad material utilizando ilusiones ópticas, esta vez no basadas en la luz como materia.

Lenta y progresivamente se inicia el abandono de los ideales góticos hacia una mirada desde y hacia lo humano.

## 3.7. LA LUZ DE VUELTA AL SER HUMANO

En el traspaso social desde un orden religioso a una organización laica da inicio al humanismo. En el plano económico, la organización humanista abandona el modelo feudal y el orden jurídico teocrático pero la religión y el cristianismo no desaparecen.

El humanismo abandona la caja cerrada de la iglesia y se evoca hacia el escenario abierto (Nieto, op. cit. Pág. 85). La figuración humanista en Italia es racional, incorpora los principios de la perspectiva. En los Países Bajos el acercamiento es empírico, la luz natural es el medio para articular la idea del espacio, el volumen y los cuerpos.

El invento de la perspectiva, como representación científica del espacio, rechaza el simbolismo gótico de la luz. (Nieto Op.cit. 14). La perspectiva introduce el punto de vista desde fuera del encuadre, hace notar el punto de proyección que es donde se encuentra el espectador. Aparece la idealización de la luz natural que ya no es metafórica. La luz natural contribuye al orden y medida de la realidad.

En el ámbito del color, importantes maestros como Leon Battista Alberti, desaconsejan el uso del dorado puesto que impide una observación objetiva, es incontrolable: dependiendo del ángulo la pintura se verá distinta. En el uso del oro y del brillo, el control de la luz no depende del pintor sino de la iluminación externa a la obra (Ibid 98). Para Alberti el pintor debe tener absoluto control sobre la realidad representada, lo que se logra con normativas regulares y científicas (Figura 3.24 c). Esto es una idea básica en la filosofía humanista.

Por su parte, la arquitectura renacentista abandona el microuniverso de la luz gótico y se basa en las proporciones y armonías compositivas de la idea de espacio ideal. Para Argán (1968), la arquitectura renacentista es representación, en el Gótico es determinación.

A fines del período anterior la representación gráfica seguía cercana a la bidimensionalidad que se separa lo divino de lo humano aunque ya se venían anunciando intentos de conseguir una cierta idea

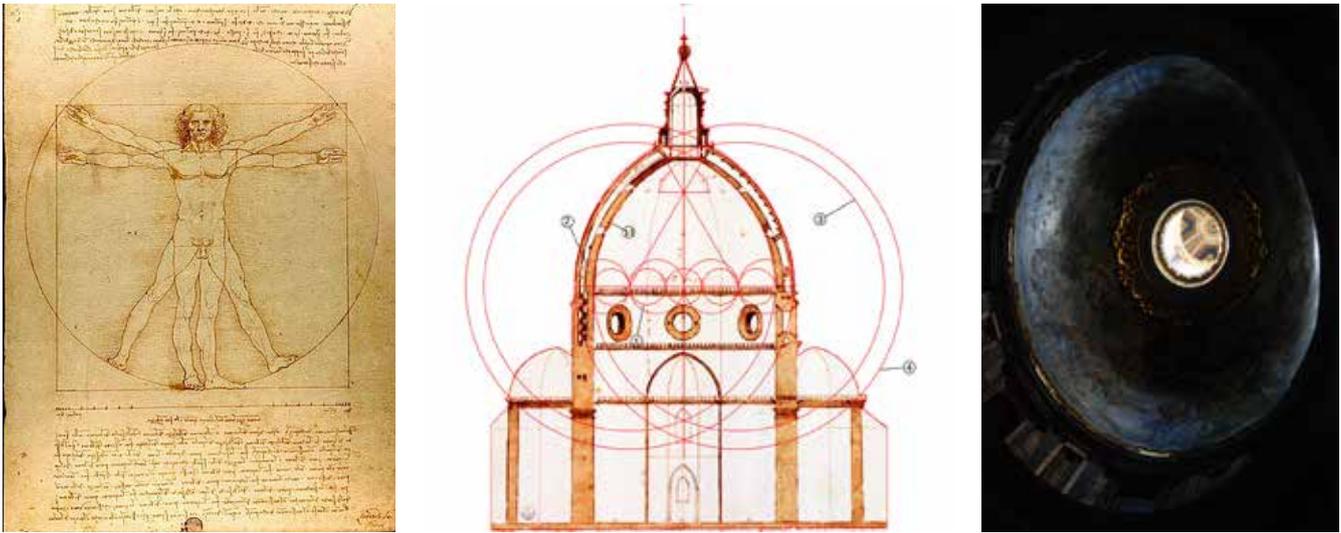


Figura 3.24: a. Estudio de las proporciones del cuerpo humano en El Hombre de Vitrubio, Leonardo da Vinci. b. Estudio de las proporciones de una iglesia renacentista. Cúpula lateral de San Pedro en el Vaticano. Fuentes: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), Roberto Corazzi e Giuseppe Conti, Università di Firenze y Leonardo Vera.

de perspectiva donde los objetos más alejados se sitúan en la parte superior de la composición y los más cercanos, en la inferior. El artista que se considera el antecesor del renacimiento italiano, el pintor gótico Giotto (1267-1336), comenzó a dotar de tridimensionalidad a sus composiciones pictóricas. Los artistas empiezan a buscar la sensación espacial a través de la observación de la naturaleza (Figura 3.24 a y b). Con las obras de Fra Angelico (1390-1455) y Masaccio (1401-1428), se logra la sensación de espacio mediante el uso metódico de la perspectiva cónica, donde las líneas paralelas de un objeto convergen hacia un determinado punto de fuga. Las figuras se van reduciendo en función de la distancia, lo que provoca la ilusión óptica de profundidad.

Entre los años 1416 y 1420, Filippo Brunelleschi, artista y arquitecto florentino, para poder representar los edificios en perspectiva, realizó una serie de estudios con la ayuda de instrumentos ópticos, como algún tipo de perspectógrafo. Con ellos, descubrió los principios geométricos que rigen la perspectiva cónica, una forma de perspectiva lineal basada en la intersección de un plano con un imaginario cono visual cuyo vértice sería el ojo del observador. Los objetos parecen más pequeños cuanto más lejos están, además, pictóricamente, tienen colores más tenues, poseen contornos más difusos y menos contraste.

En arquitectura, el invento de la perspectiva geométrica es el indicio del nuevo enfoque 'científico' del problema del espacio (Norberg-Schulz Op.cit. 119) que se traducirá en la utilización constante y rigurosa de las leyes de la geometría para la composición de los edificios en sus plantas y sus fachadas.

Brunelleschi es a su vez el responsable de uno de los hitos arquitectónicos que de alguna manera marcan el inicio del Renacimiento, la cúpula de Santa Maria dei Fiori, en Florencia (Figura 3.25). Este hecho hace considerar a Brunelleschi como el que da inicio a la arquitectura renacentista, que surge como ruptura con respecto al estilo precedente, la arquitectura gótica, buscando su inspiración en una interpretación del arte clásico y las verdaderas fuerzas de la naturaleza.

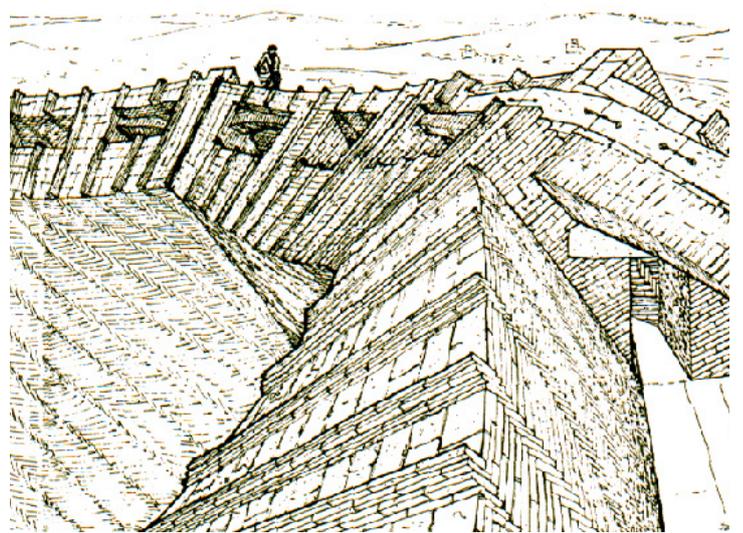
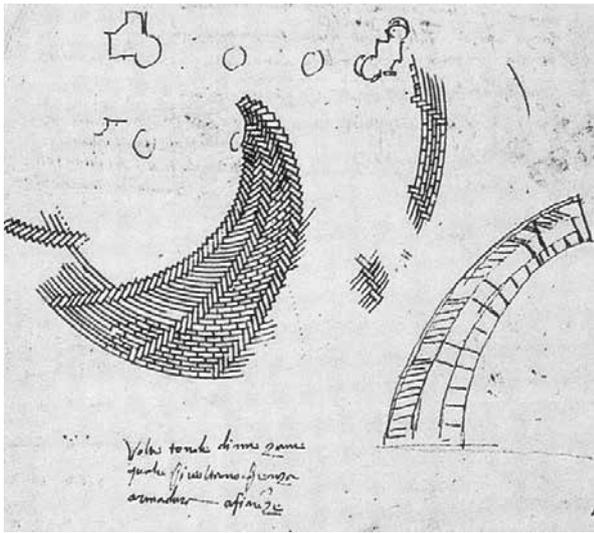
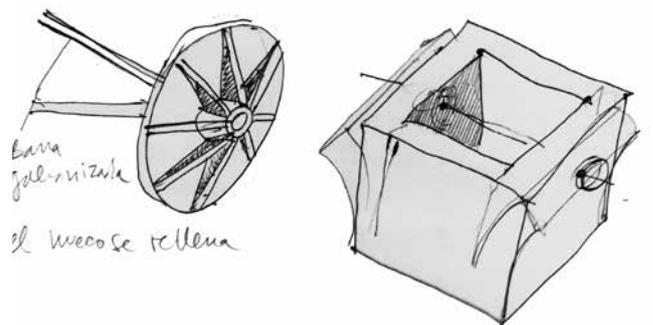
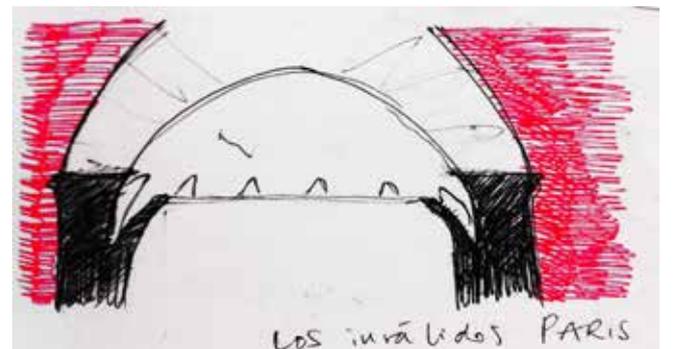
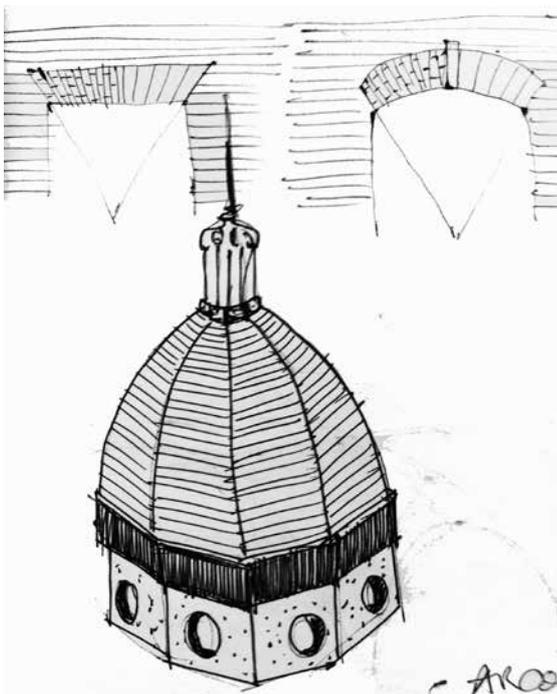
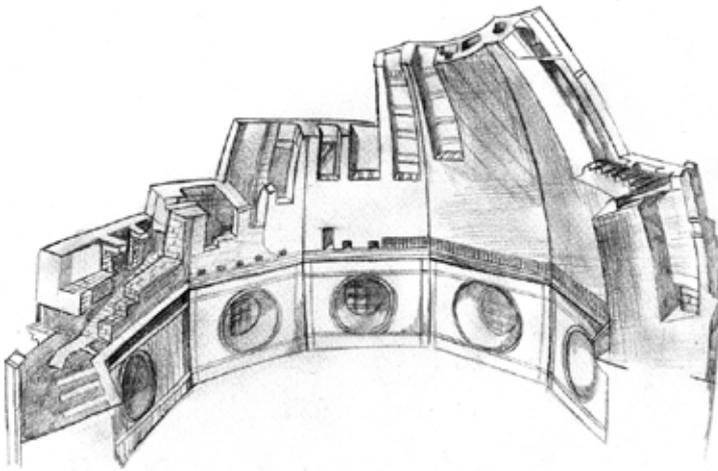


Figura 3.25: Arriba: Antonio da Sangallo il Vecchio. Disegno per una cupola a spinapesce, gabinetto dei disegni e delle stampe. Fuente: Elena Capretti, Brunelleschi. Giunti Editore, Firenze. 2001. Anónimo. Art Media Studio, Firenze. Luca Bardazzi, flickr. Agosto, 2013. Abajo: esquemas y fotos de la construcción experimental de la cúpula de Santa María dei Fiori. Fuentes: Archivo de la autora y Profesor Arquitecto Massimo Ricci.



La nave de catedral de Florencia es gótica y fue realizada por Arnolfo di Cambio, pero el remate estaba sin concluir pues se encontraba sin abovedar el crucero. Por la altura del edificio, la cúpula que cubriera dicho crucero no podía ser totalmente semiesférica porque los posibles empujes serían insoportables por los muros existentes. La solución que llevó a cabo Brunelleschi fue una superposición de dos bóvedas esquinadas, octogonales, o a falda, una dentro de otra, que estaban hechas de ladrillo, divididas en tramos a modo de gajos o faldas. Esta innovación permitía un reparto de esfuerzos, además de conseguir la sensación de ligereza. La cúpula es una estructura isostática de 100 metros de altura interior, 114.5 metros de altura exterior, 45.5 metros de diámetro exterior y 41 metros de luz (diámetro interior). La distancia entre ambas cúpulas se mantiene siempre constante. Su casquete alargado es un vestigio de su origen gótico. Está construida sobre un tambor poligonal de ladrillo, en el cual se abrieron óculos circulares, que proporcionan iluminación cenital al interior del crucero. Brunelleschi calculó con precisión inclinación de las paredes a la disposición de los ladrillos en un patrón llamado spinapesce (espina de pescado). Es probable que Brunelleschi se haya influenciado por la arquitectura de cúpulas y bóvedas romanas, que basaba gran parte de su técnica en la estabilidad propia del muro de ladrillo y sus revolucionarios aparejos (Bellini 2000).

Brunelleschi concursó también, al igual que lo había hecho para la cubierta del crucero, para coronar la cúpula con una gran linterna. Su diseño propuso una linterna octogonal con ocho arbotantes en radio y ocho ventanas arqueadas, de gran altura. Esta linterna aporta bajos niveles de iluminación al interior de la iglesia pero es un remate brillante que deja abierta la cúpula al igual que lo hace el Pantheon con su óculo abierto aunque sin la posibilidad del acceso de rayos solares (Figura 3.27).

La arquitectura religiosa renacentista vuelve la luz a su estado diáfano y natural, los muros y las vidrieras vuelven a ser blancos e incoloros. Las ventanas deben ser altas, donde se vea sólo el cielo, sin distracciones. Los muros blancos son solamente muros, no hay ornamentos ni coloración de pigmento ni de luz (Figura 3.26).



Figura 3.26: Arriba: Juan de Herrera: Basílica de El Escorial y Aranjuez. Fuentes: Leonardo Vera. Centro: Corredor de el Escorial, Juan de Herrera. Esquema del sistema de cadenas para contrarrestar los empujes del arco de medio punto renacentista. Fuentes: Archivo de la autora.

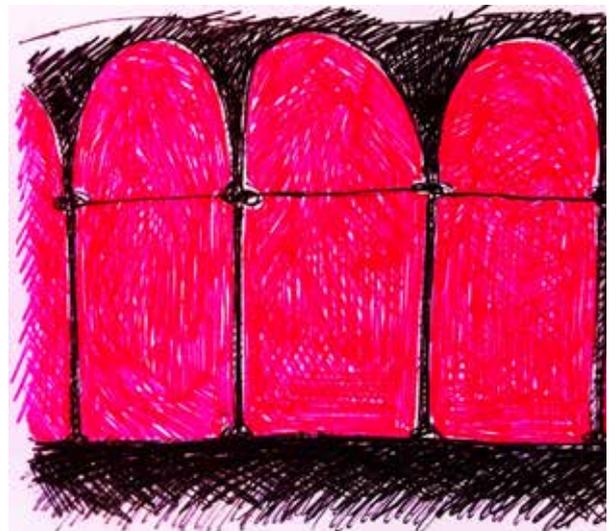
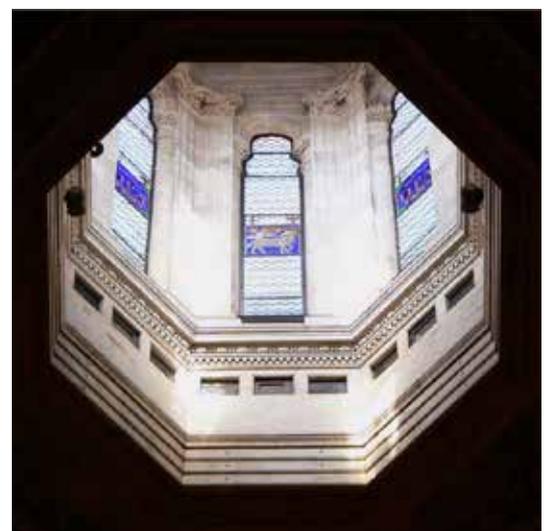


Figura 3.27: Abajo: Reconstrucción de la construcción de Santa María dei Fiori. Foto de la Linterna de la cúpula. Fuentes: [www.firenze.repubblica.it](http://www.firenze.repubblica.it) y Luca Bardazzi en [www.flickr.com](http://www.flickr.com).



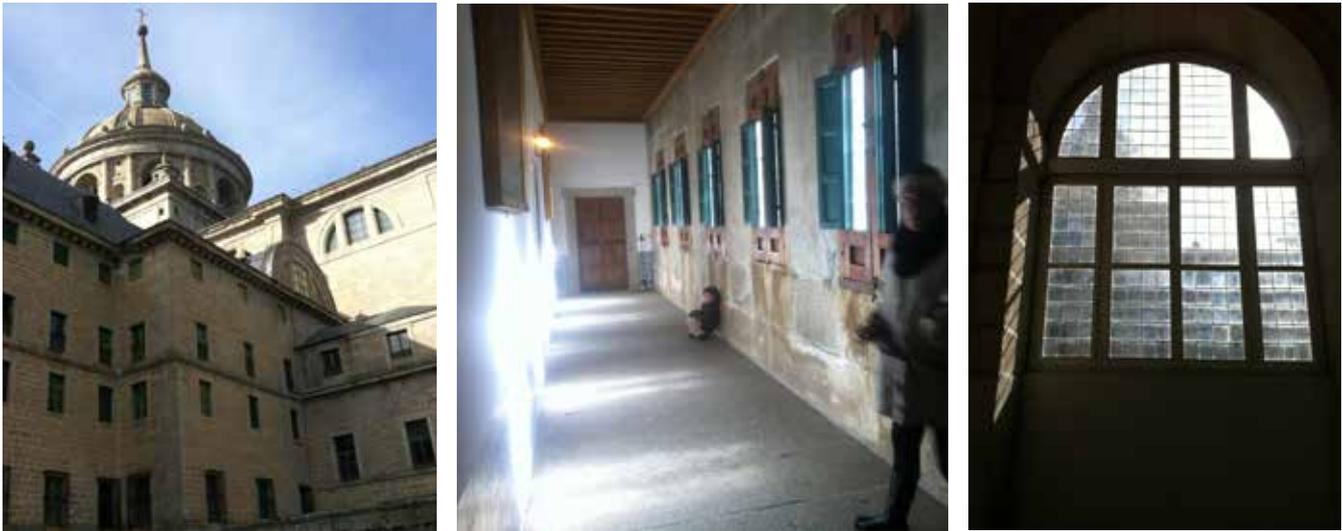


Figura 3.28: Luz natural incolora en El Escorial. Fuentes: Archivo de la autora.

A pesar de seguir siendo importante, el encargo religioso disminuye respecto del encargo laico. Aparece el mecenas como cliente que encarga la obra y el valor de ésta ya no cae en la ostentación, sino en el uso de los cánones de belleza objetivos de las proporciones. El arte es tan importante que el poder del mecenas se mide en el desarrollo de su política artística (Nieto, p 118). Del encargo del mecenas nace un nuevo tema arquitectónico que Norberg-Schulz llama el palacio urbano (p 119). Este edificio, a diferencia del castillo medieval que representa el poder, en el Renacimiento es el símbolo de la cultura, como base del poder aristocrático.

Las ideas renacentistas se crearon por convicción en Italia pero en gran medida se adoptaron por moda en Francia y España por representar 'lo moderno'. En España convive durante un tiempo la dualidad gótico-renacentista. En el siglo XVI hay iglesias góticas en Segovia y Salamanca, mientras que en Granada ya se incorporan los ideales del Renacimiento aunque sin abandonar los parámetros góticos del interior logrados con la luz no-natural: el advenimiento de La Reforma es una amenaza en España, lo que se refleja en la catedral de Granada cuya forma es renacentista en proporciones, enlucidos y color, pero el uso del oro en forma tradicional y sus vidrieras coloradas y colorantes del espacio interior, reflejan la presencia del gótico.

La Basílica de El Escorial es un buen ejemplo de la adopción de la vidriera incolora, donde se asume la adopción de los nuevos ideales católicos emanados del Concilio de Trento. Sin embargo, como las tradiciones populares requieren del color, se inventan artilugios que permiten la coloración intermitente: cortinas y velos de seda (Figura 3.28).

Durante el Renacimiento hay dos palabras que definen la relación con la luz: lux y lumen. Sin embargo, esos términos no tenían la clara diferenciación que tienen hoy en día: lux estaba asociado más bien al acato emocional de la luz, el cual no podía ser medido; lumen en cambio, hacía referencia al lo que somos capaces de ver y lo que puede ser medido. La dualidad entre razón y emoción, ciencia y poesía, una ambigüedad que hasta hoy presenta la luz para los seres humanos (Baker, Steemers Op.cit. 13).



Figura 3.29: Sistemas de mediación del tiempo a través del recorrido solar (sombra). Roma, El Escorial y el Observatorio de París. Fuentes: Archivo de la autora.

En el Renacimiento, la luz no se diferencia tanto del Medioevo al ser comparada simbólicamente con Dios, pero sí se incrementa su asociación con el sentido de la vida. Para Leonardo, la luz viene del sol y es el primer motor de calor y vida.

Un ejemplo de este principio puede verse en el diseño de la ciudad renacentista de Pienza. Allí los principios de orientación urbana se basan además de la geometría, en la mejor condición para la captura de la luz solar, según los postulados de Alberti, quien trabajaba para el Papa Pius II. Alberti describe la arquitectura como una disciplina intelectual y un arte social que necesita tanto del arte como de las matemáticas (Figura 3.29).

Las empíricas características naturalistas de la luz fueron seguidas por Andrea Palladio quien profundizó más aún en la necesidad de implementar estrategias, que basadas en principios matemáticos, permitieran la mayor cantidad de luz, sin incrementar la temperatura interior. Sin embargo, a pesar de las fórmulas y tratados, la luz seguía subordinada a los anhelos estéticos. Por ejemplo, en sus villas Ronda y Chiericato, no son aplicadas las normas descritas por él que aseguraban requerir un 7% de factor de luz diurna, sino que logran sólo de un 3 a 4% en una demostración empírica de que la cantidad de luz depende tanto de las necesidades funcionales como estéticas, emocionales y simbólicas (Ibid 14).

El Renacimiento revive el interés en la armonía visual y las proporciones inspirado en la arquitectura clásica, manipulando la luz con menor emoción pero con mayores conocimientos científicos y mayor eficacia para enfatizar, esta vez, la forma y dramatismo del espacio (Ibid 15).

## 3.8. EXPERIMENTANDO LA PERCEPCIÓN

Tanto el sistema político del Estado Francés como la iglesia Católica Romana son, durante este período, los poderes que influyen y resuelven sobre la arquitectura y el arte en Europa y sus extensiones territoriales en el Nuevo Mundo, particularmente la Iglesia en este último territorio. Como medio de comunicación y ejecución de las fuerzas, el arte y la arquitectura se desarrollan con el propósito de controlar, pero también persuadir al mundo de los ideales y doctrinas que representan estos dos grandes poderes, los mayores de Occidente en este tiempo.

En este contexto, la arquitectura barroca se presenta como una síntesis entre dinamismo y sistematización, movimiento y fuerza puesto que pertenece a un mundo organizado, jerárquico, absoluto, pero a la vez dinámico, expansivo, sin límites. También se lo puede definir como un gran teatro, donde todos participan con énfasis en el arte la sensibilidad y la belleza (Norberg-Schulz Op.cit. 151).

En la arquitectura barroca la luz es un tema central que exagera la exuberancia y las cualidades dinámicas del espacio, pero tiene como base la luz calma y clásica del Renacimiento. Para hacerla entrar en el interior del edificio, se perforan los complejos muros barrocos, con vanos a su vez también complejos. Se abren aberturas en las bóvedas y en las cúpulas para iluminar desde lugares insospechados y crear atmósferas dramáticas y místicas (Figura 3.30).

A diferencia del Gótico, en el Barroco la iglesia es una conexión ente el cielo y la Tierra y no una representación del cielo. Por eso, el uso de una luz misteriosa que genera espacios indefinidos tiene un significado de trascendencia (Baker, Steemers Op.cit. 15).

El espacio central de la iglesia barroca es normalmente iluminado por luz indirecta y adornado con frescos y relieves que hacen perder la noción de límite. Los frescos y relieves pueden ser vistos como parte de la arquitectura o como una visión del cielo. Es también frecuente que la fuente de luz se oculte de la vista tanto para evitar el deslumbramiento como para mantener el misterio de su procedencia. Son necesarias grandes cantidades de luz para lograr iluminar por reflexión el recinto interior y para



Figura 3.30: Luz natural en una cripta Narciso Tomé en la Catedral de Toledo. Abertura natural en un a cueva de sal, Valle de la Luna, San Pedro de Atacama. Fotos: Leonardo Vera.

generar el impacto lumínico deseado. En los edificios de menor tamaño, las ventanas son relativamente grandes pero son disimuladas en el interior con esculturas y colores para no resaltar como perforación en los muros, bóvedas o cúpulas.

Una de las obras más representativas de este período es la intervención de Narciso Tomé en la Catedral de Toledo (1721 – 1732) llamada Transparente, donde la oculta fuente de luz derrama un manto de claridad sobre el relieve y explota las características tridimensionales de la obra. Las superficies de esta obra no son brillantes ni genera destellos confusos, sólo basan su misterio en el derrame de la luz por las intrincadas formas que parecen derretirse desde lo alto.

Uno de los arquitectos más prolíficos y trascendentes del Barroco es Francesco Borromini (1599-1667), aunque por prolífico debiera hacerse una salvedad: más que la cantidad de obras ejecutadas, prevalece la importancia de cada una de ellas, y su influencia tanto a sus contemporáneos como en los siguientes períodos históricos que siguieron basándose en sus ideas revolucionarias de la concepción del espacio y su relación con la percepción del ser humano, no basada en la razón renacentista, sino en la intuición y la propia observación.

A pesar de ser considerado por sus contemporáneos como un arquitecto gótico, Borromini no basa su gran aporte en crear una nueva tipología arquitectónica barroca, sino en el método para tratar el espacio a través de los principios de continuidad, interdependencia, variación, vibración, ondulación, campo dinámico y contrapeso entre fuerzas externas e internas, que dialogan críticamente en el muro en un contexto psicológico (Norberg-Schulz Op.cit. 163). A diferencia de Bernini, su gran contemporáneo, que crea condiciones dramáticas para el dialogo dinámico entre los elementos contenidos en el espacio, Borromini hizo del espacio un acontecimiento vivo que expresa la posición siempre cambiante del ser humano en el mundo.

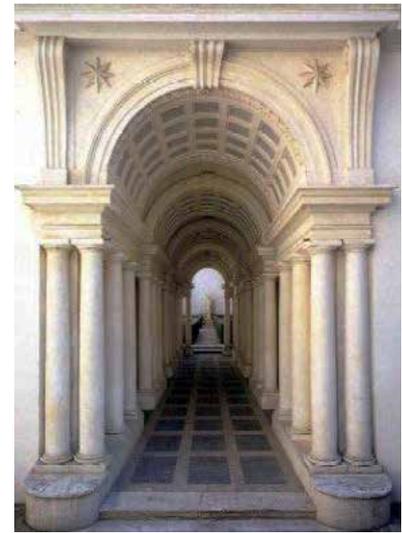
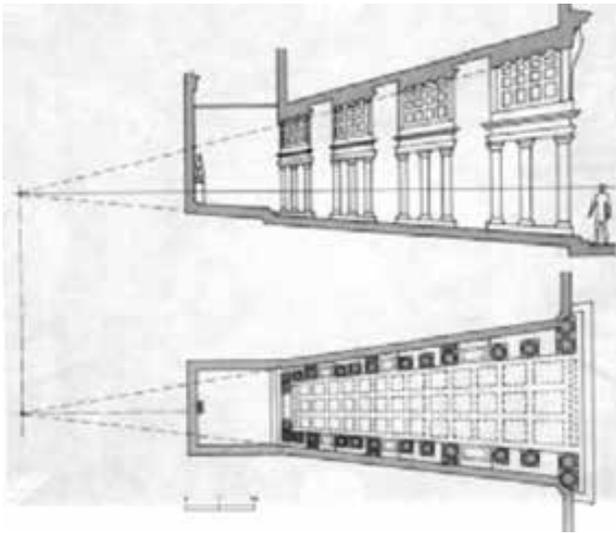


Figura 3.31: Pasillo del Palazzo Spada, Borromini. Fuente: Geni Rivali (Morrisey, 2007).

Una obra que ilustra con particular elocuencia el carácter de su obra y por tanto del Barroco, es la que realiza en el Palazzo Spada (Figura 3.31). Para la conexión entre dos patios del palazzo, donde no se disponía de demasiado espacio para realizar una galería grandiosa, el arquitecto recurrió a un ingenioso juego de perspectiva: realizó una galería de columnas en la que, según se avanza, el suelo va ascendiendo, el techo va descendiendo mientras que las columnas y los casetones que decoran la bóveda y el suelo decrecen, confluyendo todo en un único punto de fuga. Esta disposición en forma de embudo es imperceptible a simple vista y a ella se suma a la división rítmica del pasillo, en tramos entre los cuales se rompe la bóveda para dejar pasar la luz natural, reflejada en la arquitectura blanca. Con ello logra dar la impresión de una galería muchísimo más larga de que lo que en realidad es. A simple vista, la estatua que se encuentra al fondo del pasillo parece tener una escala humana, cuando en realidad mide sólo 60 cm de altura. A su vez, el pasillo parece mucho más largo y alto porque se logra dar la impresión de que las altísimas medidas del inicio (6 m) se prolongan en toda la galería.

En San Carlino alle Quattro Fontane, quizá la obra más importante de Borromini y del Barroco, el arquitecto hace uso su alto grado de conocimientos matemáticos y arquitectónicos, y a su vez incorpora uno de sus más destacados aportes, el muro ondulado. El muro ondulado parece responder a la interacción de las fuerzas internas y externas del edificio (Norberg-Schulz Op.cit 157) y sostiene en forma visualmente indirecta, la cúpula de ladrillo. Cuatro arcos sostienen el óvalo perfecto de la cúpula con profundos casetones en formas geométricas alternadas (octógonos, hexágonos, cruces) que componen un diseño muy especial. La cúpula está iluminada con dos focos de luz natural, en la base y la parte superior de la linterna. La luz cenital se introduce por la parte superior de la cúpula y se unen los sistemas lumínicos rasantes que se introducen por la base de ésta. El movimiento oscilante de las paredes y las formas rítmicas que salen y retroceden dan lugar a un cuerpo plástico y vibrante, cuya forma se acentúa por la ausencia de adornos suntuosos.

Borromini utiliza constantemente estos trucos en sus obras, jugando con formas curvilíneas en las que la incidencia de la luz es esencial para crear formas que sorprenden al visitante. Y como se trata de



Figura 3.32: San Carlino alle Quattro Fontane, Sant'Ivo alla Sapienza. Borromini. Fuente: Geni Rivali (Morrisey, 2007).

luz natural, son siempre cambiantes. Sin embargo, Borromini utiliza formas geométricas simples, sus cúpulas no son nunca proyectadas con curvas complejas como parábolas, elipses o hipérbolas, todas ellas responden a semicircunferencias simples (Figura 3.32). Esta tendencia ilustra de buena manera una de las dos escuelas que dominaron el Barroco, la Escuela Profesional, humilde y empírica, opuesta a la Escuela Culta Fiorentina, representada por Brunelleschi, Bernini y Da Vinci (Bellini 2004).

A pesar de las grandes diferencias que regían una y otra escuela, todos los maestros del Barroco parecen haber compartido ideas e inspiraciones entre unos y otros: estaban permanentemente atentos a la obra de sus pares. Es probable que respondiendo a esta afirmación, Gian Lorenzo Bernini (1598 – 1680) se haya inspirado en la perspectiva particular de Borromini para realizar la Scala Regia del Vaticano, entre 1663 y 1666, una espectacular entrada en la que también se han realizado estratégicas correcciones ópticas que logran un dinamismo del espacio, que sin duda debió ser desconcertante e inquietante para los habitantes de la Roma del SXVII ([romanizarte.blogspot.com](http://romanizarte.blogspot.com)).

Los juegos ópticos para generar incertezas en el espectador, aparentando inmensidad y magnificencia donde no la hay, son muy propios del arte y la arquitectura barroca y ellos se basan en la exacerbación de la textura, las formas sinuosas, el color, los brillos y hasta el uso del agua como espejo, con el fin de crear milagros sólo posibles en la ficción del teatro y gracias a la luz.

La idea del teatro barroco puede observarse con esplendor en la magnífica Piazza di San Pietro, en el Vaticano, el centro del mundo católico, proyectada por Bernini a mediados del siglo XVII. El espacio oval puede definirse como cerrado y abierto a la vez (Norberg-Schulz Op.cit. 152), en un gesto que parece abrazar la llegada de los fieles, para poder contener a toda la humanidad. Como obra barroca no carece de artilugios, las cuatro filas de columnatas que cierran el óvalo por sus lados, están organizadas de tal forma que desde los focos de la elipse sólo se ve la fila frontal dejando ocultas detrás las demás, en un juego simple de perspectiva. Al salir del foco aparecen las columnas ocultas y el espacio que cierra se llena de una masa cilíndrica de cientos y cientos de columnas de travertino. Los elemen-

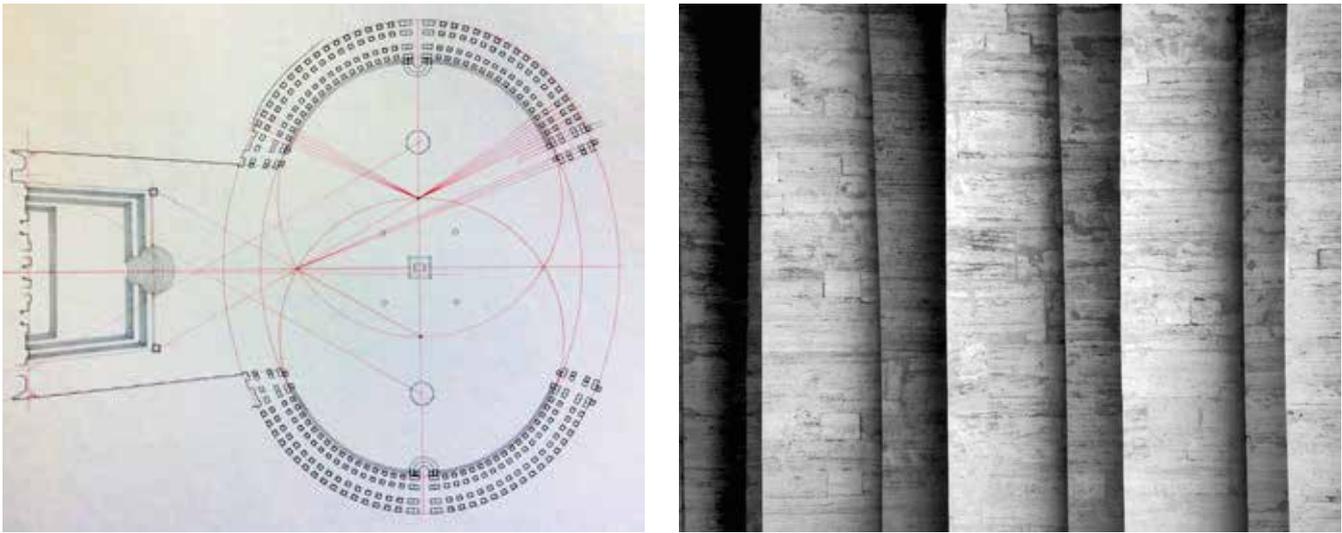


Figura 3.33: Geometría de la Piazza San Pietro, el Vaticano, Roma, Bernini. Fotos de la columnata. Fuentes: Libro Bernini, y Leonardo Vera.

tos espaciales más que definirse como plásticos, están en interacción (Ibid 152). Para rematar la puesta en escena, el obelisco central a modo de reloj de sol, va marcando el paso del tiempo, e introduce los conceptos de medición que venían desarrollándose desde el Renacimiento, y como hacía siglos lo habían hecho los obeliscos egipcios (Figura 3.33).

En Francia, el edificio para la iglesia adquiere menor importancia que el encargo civil, monárquico, el palacio urbano y el *chateau*. Este último, construido en las afueras de la urbe, fue un nexo conectivo entre campo y ciudad, artefacto y naturaleza. La organización interior del edificio se preocupó en profundidad de la funcionalidad respecto del acto de habitar y propone la independencia de espacios para lograr la privacidad. La tradición gótica tiene aún mucha influencia en la arquitectura francesa por lo que el muro sigue tratándose de alguna manera como un esqueleto relativamente diáfano. Puertas y ventanas de gran tamaño llenaban casi la totalidad del muro y estos remataban en cubiertas aún de morfología gótica. La fuerte pendiente de estas cubiertas dio paso al techo mansarda, habitable, que luego se transformará en un importante ícono de la arquitectura barroca de este período. El ritmo repetitivo donde el espacio intermedio de las pilastras está ocupado por una ventana que abarca todo el espacio, le da un cierto aire de invernadero, que vincula las estructuras transparentes del período gótico con lo que vendrá más adelante con la arquitectura de acero y cristal en el siglo XIX.

El barroco fue el primer período que se ocupó en forma activa de intervenir el territorio que estaba más allá de la urbe, o en directa relación con ella. La naturaleza se trataba civilizada y domesticada, en base a esquemas geométricos radiales u ortogonales que proponían centralización, integración y extensión. En Versalles el jardín propone un sistema de recorridos radiales *rond-points* que generan perspectivas infinitas y similares, con juegos de topografía y espejos de agua que introducen la componente mágica de la reflexión de la luz. Versalles, para Norberg-Schulz, representa la esencia misma de la ciudad del siglo XVII, autoridad, límite, dinamismo y apertura (Ibid 161).

Si la arquitectura del Renacimiento caracterizó la geometrización del mundo en base a un orden clásico-



Figura 3.34: Detalle de la linterna de Santa María dei Fiori. Escalera en espiral, Borromini. Fuentes: Nicolo Marchi en [www.flickr.com](http://www.flickr.com) y [www.revista.unir.net](http://www.revista.unir.net).

co antropomórfico, el Manierismo como período intermedio cuestionó la certeza de estas afirmaciones puesto que dejaban fuera el lado oscuro y natural del ser humano. El Barroco viene a incorporar de lleno todos los aspectos naturales y humanos en su expresión y preocupación. “El encanto de las fábulas despierta la mente”, señala Descartes, lo que puede extrapolarse al anhelo barroco: la participación activa, perceptual y psicológica del ser humano que contempla y habita el espacio que es dinámico (Figura 3.34), cambiante y personal, al igual que la percepción de la luz del sol, cambiante y presente siempre. De este modo el espectador adquiere conciencia de su propia existencia (Figura 3.35).

En la Europa del centro norte, las diferencias substanciales de temperatura entre invierno y verano hicieron surgir elementos de control climático de gran interés como las persianas. El diseño de las ventanas se hace cada vez más sofisticado, el dintel comienza a ser una pieza de gran importancia para el tamaño de la ventana, en lo posible de mayores dimensiones, por lo cual se transforma en un elemento de diseño cuyo material normalmente es la piedra, en reemplazo de la madera tradicional. Las piedras para los dinteles eran traídas de lugares específicos, a diferencia del resto de las piedras con las que era hecho el muro.

En un comienzo los grandes paños de ventanas fueron tapados con papel encerado, luego, entrado a el siglo XVII, prolifera el uso del vidrio. Ambos materiales permitían el acceso de luz y evitaban el traspaso de frío y calor entre interior y exterior en invierno y verano. A este sistema se sumaba por su puesto la persiana que contribuía en el control solar y la ventilación de los recintos. Sin embargo, como la mayor parte del tiempo las actividades se hacían al aire libre, a utilidad de las ventanas fue en primera instancia la alternativa para la evacuación del humo y los gases tóxicos emanados de la cocina y los sistemas de iluminación artificial como velas y antorchas. El interior de estas viviendas medievales y proto-medievales con ventanas sin vidrios, cubiertas sólo con persianas y los interiores ennegrecidos por el hollín, contrastan enormemente con los elegantes interiores de las catedrales góticas, bañadas de color por el uso de vidrieras coloradas (Baker, Steemers Op.cit. 8).



Figura 3.35: Caravaggio y la luz en La llamada de San Mateo. Vermeer, Mujer sosteniendo una Balanza y Camera Obscura, de Willem Jacob. Fuentes: Light! A. Bluhm, L. Lippincott, 2000. Ed. Thames-Hudson, Londres.

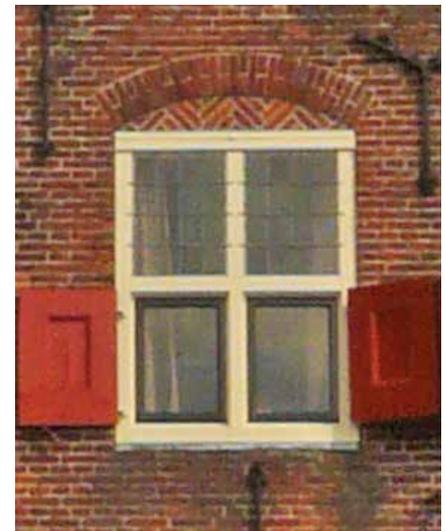
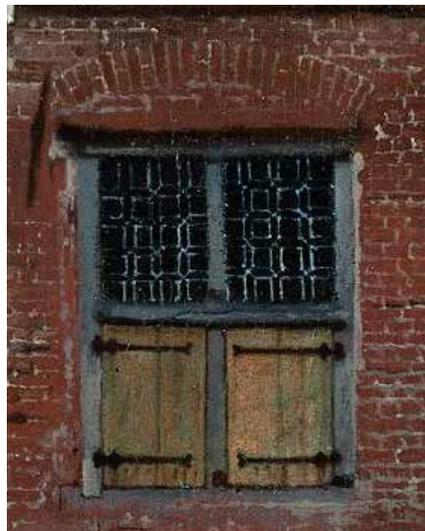


Figura 3.36: Ventanas medievales en la arquitectura holandesa, pintura de Vermeer, detalle de la ventana e imagen de las ventanas en la actualidad. Fuentes: [www.wikipedia](http://www.wikipedia) y Richard Tulloch.

La ventana domestica holandesa de la Edad Media hasta fines del 700 es particularmente interesante por las condiciones de las casas que resultaban en extremo angostas debido al alto costo del suelo (Figura 3.36). La ventana estaba normalmente dividida en cuatro partes, las dos primeras cerradas externamente con un sistema de persianas, originalmente sin vidrio y las dos partes superiores con vidrio fijo. Las persianas se abrían para la ventilación y la luz plena del día. Posteriormente toda la ventana se cubrió con persianas pudiendo lograr un mejor control lumínico durante el día. En la pintura de Vermeer (Figura 3.36) puede verse aún que en la arquitectura tradicional holandesa, la luz entra marcadamente de uno de los dos lados y genera un juego de luces y sombras que denotan la tridimensionalidad del espacio y revela los detalles del interior. También puede verse en sus pinturas los múltiples modos de apertura de las ventanas y las diferencias en la cualidad de la iluminación que cada modo produce en relación a las actividades que se realizan al interior del recinto.

### 3.9. LUZ DEL SOL EN AMÉRICA PRECOLOMBINA

La relación entre las culturas precolombinas con la luz solar parece estar más cerca de una relación con el Sol como fenómeno mágico, religioso o científico, que como fuente de luz confortable para el hábitat. El sol y en general los fenómenos astronómicos fueron, al igual que para todas las culturas humanas, de importancia capital para la comprensión del mundo y la creación de una cosmovisión propia. Entre las culturas precolombinas americanas hay grandes diferencias en sus estadios de desarrollo, los mayas fueron por ejemplo, incomparablemente más evolucionados que los amerindios de la Patagonia, al extremo sur del mundo. Este hecho puede deberse a diversos fenómenos, los que pueden establecerse al menos dos de importancia gravitante: en primer lugar, los americanos del sur tardaron 10 mil años más en llegar a su destino desde Bering que los americanos del norte, y en segundo lugar, la cantidad de gente que llegó a concentrarse aquí en el sur fue tan poca y en condiciones geográficas tan extremas que difícilmente pudo haber constituido una civilización desarrollada (Diamond Op.cit).

En este capítulo se tratan cuatro grupos culturales: el más importante de todos los americanos precolombinos, los Mayas que llegamos a constituir un pueblo con tecnología constructiva; Tiawanaco como cultura preincaica; los Incas, como civilización trascendente cuya influencia abarca parte del territorio chileno (lugar de la investigación); y los Mapuches, el pueblo aborígen más importante y numeroso de este país y que, a pesar de no desarrollar casi una cultura constructiva, de todos modos presenta la cosmovisión de nuestros ancestros y entrega algunas claves de su tecnología, en un contexto geográfico y territorial particular.

### 3.9.1. LA CIVILIZACIÓN MAYA

Los mayas fueron la cultura americana prehispánica que logró los más amplios y profundos conocimientos astronómicos. Era un pueblo agrícola para lo cual crearon un sistema de calendarios y entendieron el movimiento del sistema solar mediante la utilización de las matemáticas. En este sentido eran igual de evolucionados que las culturas europeas contemporáneas (Castedo 1970, 44).

Sus ciudades desde el inicio muestran organización urbana y dentro de ella, a diferencia de otras civilizaciones precolombinas, se construyeron edificios de gran complejidad, como observatorios astronómicos y pirámides que marcaban el tiempo agrícola. Sus edificios con bóvedas de piedra salediza, son un distintivo de esta cultura.

En Tikal, una de las más importantes ciudades, se coronan los edificios en una reiteración rítmica. El adorno se transforma en un motivo de uso casi obligatorio. Se logra una verticalidad única y una delicada esbeltez, también característica, donde pueden observarse los arcos y las bóvedas mayas, también llamada falsa bóveda o bóveda de piedras salientes. Los muros se llenan con bajorrelieves que son interpretados como una respuesta a la exuberancia de la selva en complejidad. Se advierte temor al vacío y necesidad de mostrar la tridimensionalidad de la materia en lo construido. La ornamentación es saturada y sobrepuesta: barroco (Ibid 48). Este tipo de ornamentos y bajorrelieves se logró por un acabado dominio del estuco, la talla en piedra y el uso de la policromía. Las formas geométricas se fueron depurando hasta llegar a altos grados de abstracción.

Hacia fines del imperio, en Chichén Itzá se incorpora el concepto de arquitectura curvilínea. También aparecen celosías, pilares y posteriormente columnas para construir extensas salas hipóstilas, sobre las que se apoyan estructuras de madera para las cubiertas. En algunos casos hay bóvedas de mampostería maya, que en algunos casos representan importantes proezas arquitectónicas (Figura 3.39).



Figura 3.37: Pirámide de Chechén Itzá. En el borde de la escalera las sombras del ocaso en el solsticio de verano dibujan el cuerpo de la serpiente. Fuente: [www.ilpuntozero.com](http://www.ilpuntozero.com)

### Simbolismos mayas en base a luz solar

El Templo de Kukulcán, la principal pirámide de Chichén Itzá, demuestra los conocimientos de matemáticas, geometría, acústica y astronomía que los mayas poseían, que provienen de su característica sociedad agrícola. Los mayas observaron el comportamiento de las estaciones, las variaciones de las trayectorias del sol y las estrellas, y combinando sus conocimientos, lograron registrarlos en la construcción del templo dedicado a su dios Kukulcán. El calendario maya es un calendario agrícola solar al que llamaban Haab, el cual cuenta con 18 meses con 20 días cada uno, más cinco días adicionales, los nefastos. El templo de Kukulcán cuenta con cuatro escalinatas, que en total suman 364 peldaños, más la plataforma superior del templo, o sea 365 unidades.

Un segundo calendario utilizado por los mayas, llamado Tzolkin (sagrado), consta de 13 meses y cada mes tiene 20 días, de tal forma que éste cuenta con 260 días. Los ciclos del Tzolkin y el Haab se fusionaron en una rueda calendárica de modo que cada 52 años, o ciclos, comienza a repetirse la combinación de ambos. Los números de ambos calendarios están presentes de manera compleja en la pirámide de Kukulcán. De esta forma, y acorde a los calendarios utilizados por los mayas, se puede deducir que la pirámide no solamente dedicada al dios Kukulcán, sino que también observa la cuenta del tiempo dando particular relevancia a sus ciclos.

Los mayas observaron con gran atención el movimiento aparente del sol en su trayectoria anual, por los posibles fenómenos de luz y sombra generados durante cada día del año. Construyeron la pirámide de Kukulcán teniendo en cuenta todas estas variables, por lo que orientaron la fachada NNE con una inclinación aproximada de  $20^\circ$  con respecto al norte geográfico. Así, al atardecer de los equinoccios de primavera y otoño, se observa en la escalinata NNE de la pirámide de Kukulcán una proyección solar serpentina, consistente en siete triángulos isósceles de luz invertidos, como resultado de la sombra que proyectan las nueve plataformas de ese edificio durante el ocaso (Figura 3.37 y Figura 3.38). Este fenómeno ocurre en marzo y septiembre, y puede observarse aproximadamente durante un período

de cinco días en las fechas más próximas a los equinoccios, con una duración de 10 minutos. Después comienzan a desaparecer paulatinamente. Los mayas realizaban una serie de preparaciones durante cuatro días y el quinto era motivo de gran celebración.

En la zona arqueológica de Mayapán, existe una pirámide de menores dimensiones, pero de iguales proporciones y dedicada por supuesto a Kukulcán. La proyección ondulada del cuerpo de la serpiente también puede ser observada en el ocaso de los equinoccios, sin embargo hoy no es posible verla en su esplendor debido al deterioro de la estructura en sus fachadas SSO y ESE. Sin embargo, es probable que si se restauraran las escalinatas y las balaustradas, se podría apreciar un efecto que evocara el ascenso del cuerpo de la serpiente a la pirámide por la escalinata de la fachada SSO ([www.milenio.com](http://www.milenio.com)).

Desde la última década del siglo XX, los arqueólogos comenzaron a observar los fenómenos de luz y sombra que ocurren en los solsticios de verano e invierno, pero sólo en junio de 2007 se realizaron estudios minuciosos por astrónomos del Instituto Tecnológico de Mérida e investigadores del Instituto Nacional de Antropología e Historia, quienes corroboraron que durante los primeros minutos del amanecer del solsticio de junio y durante un período de 15 minutos, la pirámide de Kukulcán es iluminada en las fachadas NNE y ESE por los rayos del sol, mientras que las fachadas ONO y SSO permanecen en total oscuridad. En otras palabras un 50% de la pirámide permanece iluminada y un 50% permanece en la oscuridad marcando con este simbolismo el momento exacto del solsticio.

Este efecto de luz y sombra ocurre de forma semejante durante el solsticio de diciembre, pero en el atardecer las fachadas iluminadas son las opuestas: ONO y SSO mientras que las fachadas NNE y ESE permanecen en la sombra. El fenómeno se debe a la orientación de +/- 20° con respecto al norte geográfico, y la latitud en donde se encuentra ubicada la pirámide.

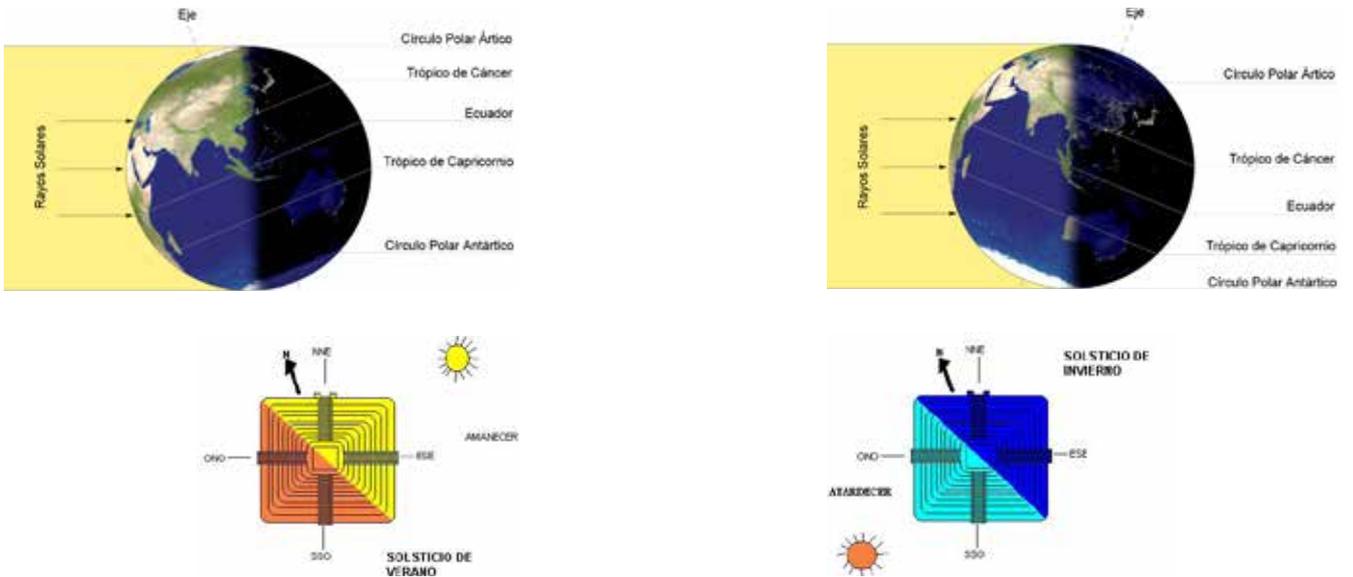


Figura 3.38: Arriba: Estudios de asoleamiento de la pirámide maya de Kukulcán. Fuente: Blueshade y Jaontiveros, [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

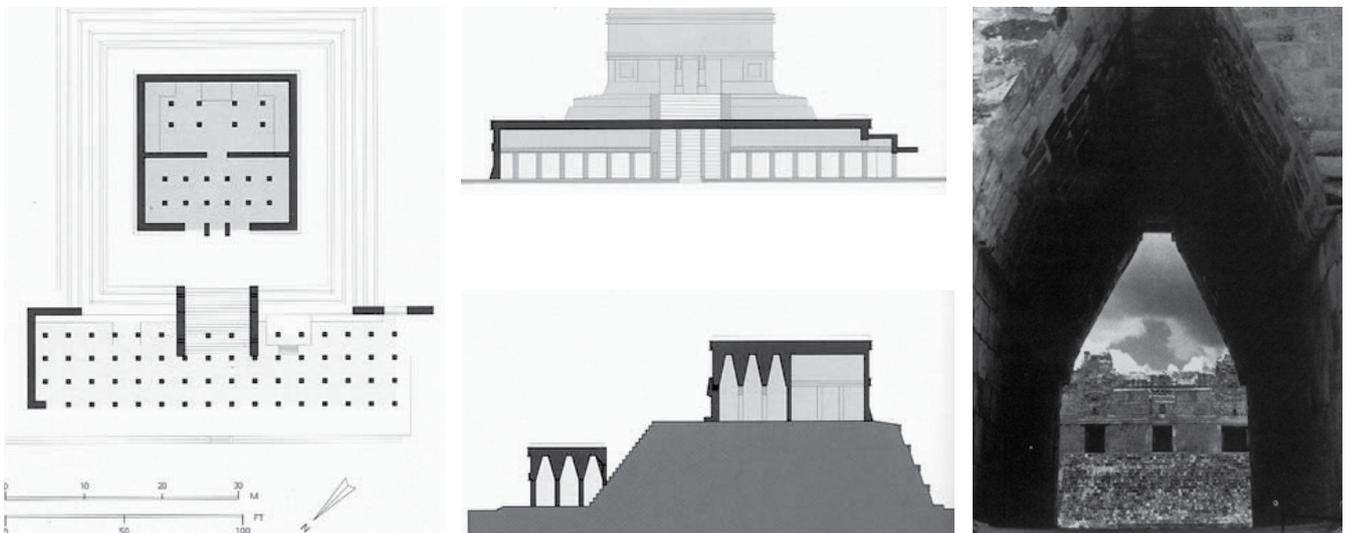
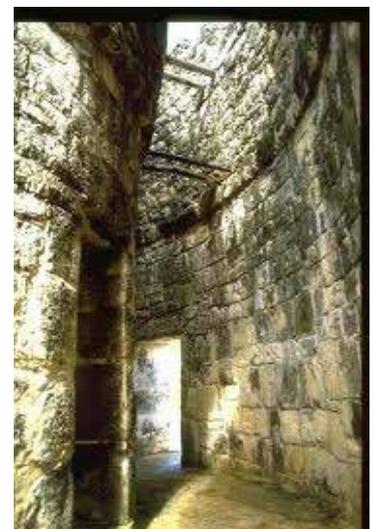
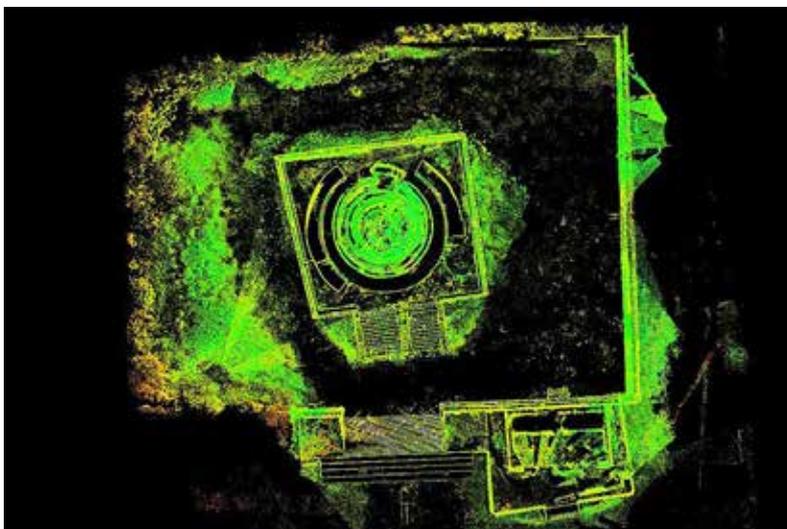


Figura 3.39: Centro: Planimetría del templo maya. Se observan los arcos falsos que permiten la ocupación interior del templo, aunque con pilarización intermedia. Fuente: [www.almendron.com](http://www.almendron.com).

Figura 3.40: El Caracol, Chechén Izá en una imagen saltelital y una vista desde el interior perimetral. Muros curvos y luz cenital. Fuente: [www.cyark.org](http://www.cyark.org) en wiki y Clive Ruggles-University of Leicester.



Para que la pirámide de Mayapán, que fue construida con características semejantes a la de Chichén Itzá, pueda mostrar los mismos fenómenos de luz y sombra, su orientación tuvo que tener una ligera variación debido a que no se encuentra en la misma coordenada de latitud que la de Chichén Itzá. De esta forma, la construcción de estas pirámides parece ser un calendario arquitectónico que marca los solsticios y equinoccios, fechas importantes para los ciclos agrícolas.

Cuando la órbita de la Luna se encuentra en la misma posición equinoccial del sol, también es posible ver en la alfarda de la escalinata NNE la figura proyectada de la serpiente en un espectáculo natural nocturno.

En la estructura conocida como el Observatorio, Caracol o Edificio Circular (Figura 3.40), también se han registrado efectos de luz y sombra durante los equinoccios. En el Códice de Dresde se ha interpretado que los mayas estudiaban en este edificio la trayectoria orbital del planeta Venus. A simple vista se puede ver que Venus aparece y desaparece en el horizonte occidental y oriental en diferentes momentos del año, lo que toma 584 días en completar un ciclo. Los mayas se dieron cuenta que cinco de estos ciclos de Venus equivalen a ocho años solares, por lo tanto Venus aparecería en los extremos norte y sur en intervalos de ocho años.

De los 29 eventos astronómicos posibles (eclipses, equinoccios, solsticios, etc.), se piensa que 20 se pueden encontrar en la estructura del Caracol. Sin embargo, dado que una parte de la torre del Caracol se ha perdido, es posible que los otros nueve eventos también puedan haber sido observados por los mayas (Stockton 1986).

### 3.9.2. TIAWANACO

La cultura Tiawanaco se inició alrededor del 2000-1500 a.C., y colapsó alrededor del año 900 o 1000 d. C. Tiawanaco es también el nombre de la ciudad que representa el centro de la civilización, una cultura preincaica que basaba su economía en la agricultura y la ganadería, y que abarcó los territorios de la meseta del Collao, entre el occidente de Bolivia, el sur del Perú, el noroeste de Argentina y el norte de Chile, regiones desde las cuales irradió su influencia tecnológica y religiosa hacia otras civilizaciones contemporáneas a ella. Presenta una fuerte manifestación artística y cultural que, según algunos autores, puede en parte provenir de su origen asiático (Benavides 1941, 3). En esta cultura preincaica se observan reglas de simetría, repetición, alternancia y armonía de color, en forma muy poco compleja, extremadamente simple.

En esta ciudad se aprecian las distintas expresiones artísticas y tecnológicas: muchas de sus construcciones arquitectónicas poseen orientaciones astronómicas específicas; los grandes templos tienen el cielo por bóveda; los muros que cierran los espacios sagrados se alzan en tabla-estacado; los segmentos de sillares se adosan a gigantescos pilares logrados con un solo bloque de piedra. Acudiendo a la construcción de varias terrazas escalonadas se construyen inmensas pirámides.

Entre los templos y monumentos donde puede verse con mayor claridad su tecnología constructiva y su desarrollo científico respecto de la observación solar y astronómica se destacan las siguientes construcciones.

Templete semisubterráneo (Figura 3.41). Se halla a más de 2 m por debajo del nivel del área circundante, de planta casi cuadrangular, está conformada por muros con 57 pilares sustentantes de arenisca roja y sillares del mismo material. Estos muros están adornados interiormente por 175 cabezas enclavadas, en su mayoría trabajadas en piedra caliza. Todas las cabezas son diferentes entre sí, mostrando rasgos de diversas etnias. El sistema de drenaje, elaborado mediante canales hechos en piedra, presenta un perfecto declive del 2% que aún funciona en la actualidad, y que desembocan en un recolector.



Figura 3.41: Helena y Lorenzo en el templo de las cabezas, Tiawanaco, Bolivia. Puerta del Sol en Tiawanaco al momento de su redescubrimiento. Fuente: Archivo de la autora.

Kantatayita o Luz del amanecer. En esta estructura de planta rectangular se encuentra un dintel de arco rebajado de piedra andesita gris, que es una de las piezas más extraordinarias en cuanto a sus detalles de acabado, presentando un friso con depurado trabajo iconográfico. Esta pieza es la prueba del empleo de detalles curvos en la arquitectura de Tiawanaco.

Pirámide de Akapana. Es una imponente estructura piramidal, con 8.000 m de perímetro, 7 terrazas escalonadas, 18 m de altura.

Kalasasaya o Templo de las Piedras Paradas. Aquí se verificaban con exactitud los cambios de estaciones y el año solar de 365 días. En ambos equinoccios (otoño, 21 de marzo y primavera, 21 de septiembre) el Sol nacía por el centro de la puerta principal de ingreso, a la que se accede por una magnífica escalinata. En el solsticio de invierno (21 de junio) lo hacía en el ángulo murario NE y en el solsticio de verano (21 de diciembre) se marcaba por el ascenso en el ángulo murario SE. Este muro es conocido como pared balconera o chunchukala. Hacia el lado norte, se observan dos bloques en los que en su tercio superior, se practicó un orificio que imita a escala, un aparato auditivo humano, y mediante el cual se pueden escuchar ruidos o conversaciones que se producen en sitios alejados. Estos amplificadores de sonidos nos permiten ver cómo el mundo precolombino conocía y aplicaba la acústica.

Putuni, Putuputuni o Palacio de los Sarcófagos. Se cree que este lugar fue el lugar de entierro de las altas personalidades Tiwanacotas. Es notable en estas cámaras, el sistema de cerramiento que consiste en una puerta corrediza de piedra, que se desliza al ser humedecido el piso. La entrada muestra rebajes escalonados que terminan en un pórtico (hoy desmantelado). En la parte oeste de la plataforma y a una profundidad de unos dos metros existen canales matrices que probablemente servían para evacuar aguas servidas y que conformaban uno de los más perfectos sistemas de alcantarillado.

Pumapunku o Puerta del Puma. Esta edificación se erigió al finalizar el período clásico de Tiawanaco, puesto que la técnica es mucho más depurada y evolucionada que el de otras construcciones, desta-



Figura 3.42: Dintel ornamentado. Los bajorelieves se advierten mejor con la luz del sol a ciertas horas del día. Fuente: [www.chileprecolombino.cl](http://www.chileprecolombino.cl)

cando el impecable manejo del material lítico. Sobresale en este recinto ceremonial la presencia de grapas y anillos de cobre arsenical utilizados para la unión de los elementos constructivos, tanto en el sistema de canales de drenaje como en el refuerzo de las plataformas.

**Puerta del Sol.** Es una escultura monolítica en piedra andesita que en el pasado formó parte de otra estructura mayor, posiblemente ligada a Kalasasaya o Akapana. La puerta del sol tiene 3 m de alto, 4 m de ancho y aproximadamente pesa 10 tons. En su decoración sobresale la figura principal de un personaje en alto relieve denominado Señor de los báculos o Dios Sol, alrededor de éste se encuentran 48 figuras en bajo relieve representando seres alados y hombres arrodillados. También destacan los trompeteros debajo de los seres alados. Existen teorías que afirman que estos trompeteros marcan los movimientos solares, por lo que la puerta del sol sería un calendario solar.

**Puerta de la Luna.** Es un monumento de 2.2 m de alto y 25 centímetros de espesor. Se trata de un arco monolítico en piedra andesita que presenta relieves en alto y bajo relieve (Figura 3.42). Al parecer la Puerta de la Luna se ubicaba al ingreso del cementerio y fue trasladada a su actual ubicación, en una elevación cerca al Putuni. Se supone que debió estar orientada según los puntos cardinales, así todos los solsticios, 21 de diciembre y 21 de junio el Sol, sale por la puerta o por uno de los extremos de ella.

### 3.9.3. LA CULTURA INCA

El imperio Inca o Tawantinsuyu, Imperio de las Cuatro Regiones, se expandió en América del Sur desde Colombia hasta Chile central en una extensión de cerca de 5 mil km de largo y una población estimada de 10 millones de personas (Figura 3.43 a). Instauraba en las provincias (Chile entre ellas) el culto solar y un régimen de gobierno basado en alianzas con las autoridades locales y en la redistribución de bienes y servicios (Berenguer 2009).

En el territorio Inca, con sus 10 millones de habitantes en la época de Yupanqui (entre 1456 y 1461), las ciudades se organizaban geográficamente. En ellas hay puentes, escaleras, plazas, murallas, calles largas y estrechas, templos, conventos, oratorios, palacios, talleres, cuarteles y casas, construido armónicamente con el paisaje y la geografía. La red de caminos se presume que debió tener una extensión de más de 33 mil km (Ibid 25).

Sus obras de alfarería y textiles muestran la delicadeza del dibujo y los conocimientos de patrones geométricos, lo que demuestra que se hallaban en un ciclo normal de desarrollo que fue cortado abruptamente con la llegada de los conquistadores (Castedo Op.cit. 6).

Durante el desarrollo de la cultura Inca se observa una evolución constructiva desde el megalito, al sillar poligonal incaico, endentado y regular, hasta el aparejo de adobe perfecto. El sillar endentado es de tal complejidad y prolijidad que en él se puede interpretar emotividad y compenetración, por ejemplo en los muros del Templo de Sacsahuamán.

En esta cultura americana tampoco se inventó el arco ni la bóveda y las aperturas se hicieron mediante dinteles monolíticos y por hiladas sobresalientes, similares a las de la cultura Maya (Figura 3.44). La techumbre se construía de madera rolliza ligada y cubierta de paja.

En su arquitectura, perfectamente planificada en un urbanismo riguroso, se advierte un sentido plástico, megalítico, solemne, estable y compacto, a diferencia de la arquitectura mesoamericana que busca

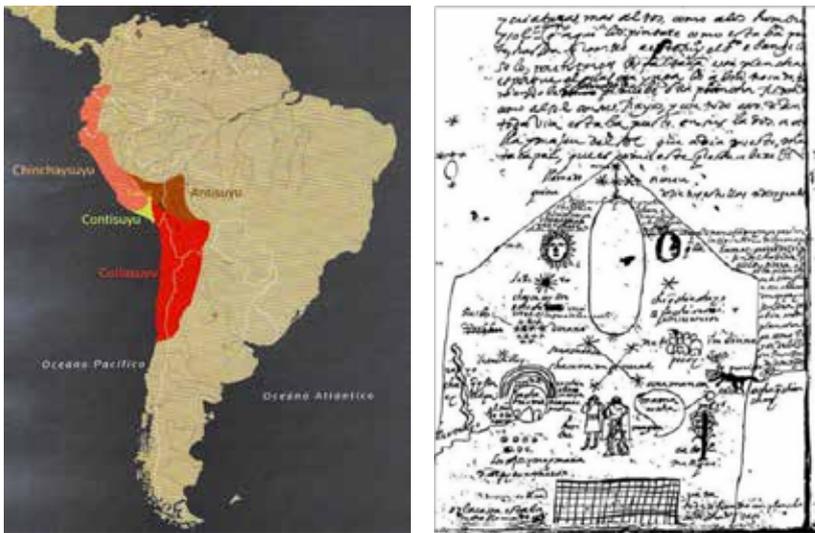


Figura 3.43: a. Mapa del Tawantinsuyu en America del Sur andina. b. Planimetría y estudios de orientación cardinal del Templo de Coricancha. Fuentes: Chile bajo el Imperio de los Incas (Berenguer 2009) y [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).

una expresión de infinitud y dramatismo mediante la elevación vertical y el contraste de luz y sombra que mueve las superficies y denota la tercera dimensión (Ibid, 98). En la arquitectura inca, la piedra está desnuda, funcional, uniforme con cánones creados en Cusco, su capital, y repetidos por todo el imperio (como Roma).

A su vez, el ataludamiento de los muros y la escasez de aberturas representan la solidez estructural que se transmitirá a Chile debido a su utilidad frente a los sismos. Estas formas ataludadas o escalonadas son para el autor (Ibid, 5) signo de temor o defensa hacia fuerzas de la naturaleza más poderosas que el ser humano (sol, luna, viento, mar, rayo, serpiente, etc.).

Entre los templos que demuestran su condición constructiva y cosmovisión está el templo de Coricancha, en Cusco: gran recinto amurallado en honor al sol, Templo del Sol (Figura 3.43 b). El sol se refleja en un disco de oro al amanecer e ilumina con el reflejo. A los lados se levantan las capillas a la Estrella, el Relámpago, el Trueno y el Arcoíris (casi todos fenómenos lumínicos). Más tarde este templo fue parcialmente demolido y sobre construido con un templo religioso español que dejó los muros incas como base para sus nuevas construcciones. El templo tenía un hermoso muro en el frontis proveniente de una fina cantería, decorado únicamente por una banda continua de oro puro de una palma de alto, a tres metros del suelo, y un techo de paja fina cortada. En uno de los bloques de la segunda hilada se observan tres agujeros que pudieron ser utilizados para evacuar las aguas de las lluvias del patio interior. Las piedras que componen el templo tienen un leve almohadillado en los lados que expresan la sobria estética de la construcción en el Imperio Inca.

En Ollantaytambo se encuentra el Templo de las Diez Ventanas, de sillería de piedra con enganches y muescas en la piedra para su traslado y además como puntos de apoyo para poner los maderos de las techumbres.

Una de las obras más relevantes hoy por su emplazamiento y estado de conservación es la ciudad de

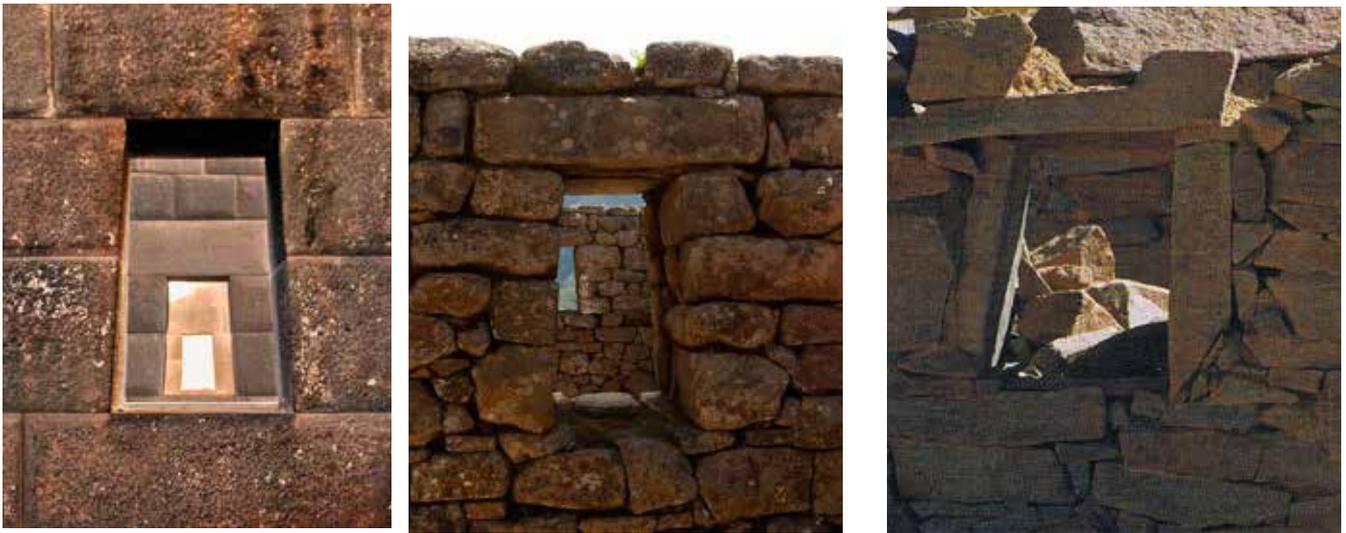
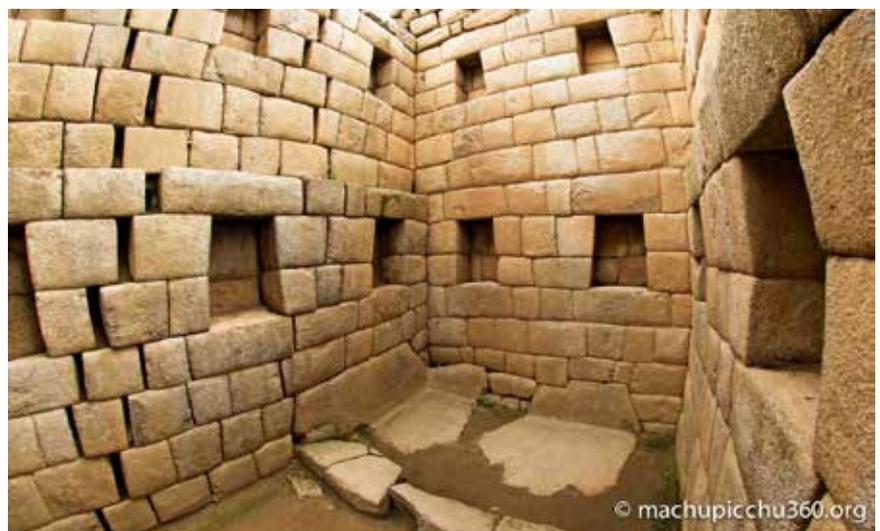


Figura 3.44: Arriba: Ventanas incaicas descrecientes en perfección: Templo de Coricancha, Machu Pichu y Norte de Chile. Fuentes: Coricancha-Cusco-hd\_departments.rwu.edu y Chile bajo el Imperio de los Incas (Museo de Arte Precolombino, 2010).



Figura 3.45: Centro: Detalle del ensamblaje de piedras para los vanos en la arquitectura inca de Machu Pichu. Fuente: www.machupicchu360.org. Abajo: Ventanas ciegas y puertas en Machu Pichu. Fuente: www.machupicchu360.org.



Machu Pichu (Figura 3.45). Se trata de una ciudad unitaria, pensada como una sola unidad habitable, un urbanismo perfecto o un templo a gran escala. Los frentes y dorsos de sus unidades habitacionales elevaban sus tímpanos para sujetar techos a dos aguas. Allí puede verse el Palacio de las Tres Ventanas que dan al Levante.

Es difícil sacar una conclusión respecto del uso de la luz del sol en su condición funcional, puesto que no existe ninguna obra que se encuentre en pie completamente techada, con la cubierta original. Por eso sólo puede presumirse que el uso de la luz tenía una solución funcional mediante el uso de ventanas ubicadas en el centro del muro para solucionar el tema estructural. A su vez, el sol, como deidad principal, participaba activamente de lo construido en su aspecto astronómico y astrológico como imagen divina y seguramente demarcación del tiempo, tal como ha hecho la mayor parte de las civilizaciones en este estadio evolutivo.

Se evidencia que en ninguna parte del territorio americano se utilizaron materiales transparentes para seguir dejando pasar la luz pero cerrar el espacio de la intemperie. Esto se debe que probablemente no existieran los avances tecnológicos que si existían en Europa durante el período de la llegada a América. Pero además demuestra que el clima no hacía inminente la búsqueda de soluciones para aislarse del frío exterior puesto que los territorios más habitados y civilizados, desde México hasta el centro de Chile, presentan climas benignos durante todo el año.

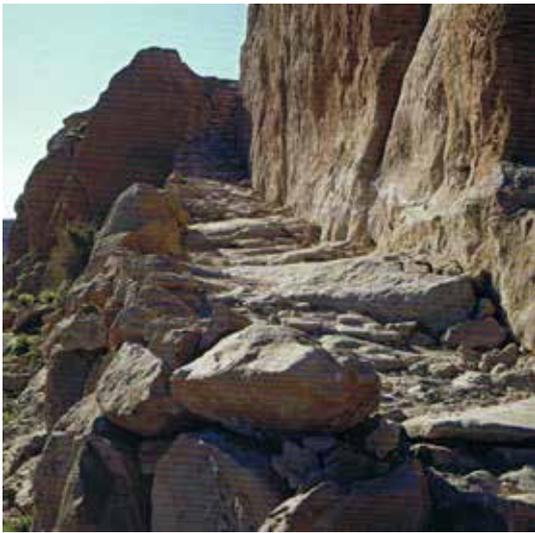


Figura 3.47: Arriba: Parte del camino del Inca en territorio chileno. Imagen del desierto de Atacama donde se encuentran vestigios del camino del Inca. Fuente: Archivo de la autora.



Figura 3.46: Centro y abajo: Construcciones de piedra que conservan sistemas constructivos andinos precolombinos. Fuente: Archivo de la autora.



### 3.9.4. CULTURAS EN EL NORTE DE CHILE

En el territorio chileno, contemporáneamente a la cultura Tiawanaco o incluso antes, coexistían algunas culturas menores que desarrollaron ciertas técnicas constructivas. Un caso particularmente importante por su antigüedad es la Aldea de Tulor, de 3 mil años de antigüedad (Barón 2013) uno de los sitios arqueológicos sedentarios más antiguos del norte de Chile. La Aldea está compuesta por una serie de estructuras circulares interconectadas entre sí y que poseían diversos usos y funciones de acuerdo a las actividades cotidianas que se desarrollaban en su interior. Su arquitectura comparte muchas similitudes con la observada entre las culturas preincaicas. En esta aldea se produce la consolidación de un nuevo modo de vida más productivo que depredador de los recursos naturales del entorno, lo que se complementa a una milenaria tradición de pastoralismo. La vida más sedentaria genera una transformación social de la comunidad que habitó en este conglomerado habitacional, surgiendo como consecuencia de ello la estratificación del grupo social. Los materiales arqueológicos recuperados en este sitio dan cuenta del significativo intercambio cultural, explicado entorno a las estrategias económicas articuladas por estas poblaciones pre-incaicas y que se expresan en diversos soportes materiales como la arcilla, la madera, el hueso, el cuero y los textiles (Figura 3.46).

Lo que antiguamente contó con alrededor de 200 habitantes, hoy es un museo que recuerda a una aldea sepultada por arena. Existe una reproducción de dos unidades habitacionales de la época, construidas de barro y rodeadas de murallas y vías de intercomunicación asentadas sobre canaletas que le atribuyen el carácter de bóveda. Las construcciones alcanzan alturas de hasta 2 metros con techos cónicos afirmados por postes de madera, las cuales pueden ser apreciadas desde lo alto a través de un mirador habilitado para los visitantes ([www.tulor.cl](http://www.tulor.cl)). A diferencia de las construcciones incaicas, ésta presenta una planta circular y cubierta cónica de paja pero recubierta con barro. La materialidad es barro, al parecer amalgamado con agua, que forma en conjunto con la cubierta una única unidad visual. Las perforaciones del muro se hacían al parecer con dinteles de madera. Presumiblemente, esta arquitectura permitió antes que nada refugiarse del sol en el interior y a la sombra de sus volúmenes en el exterior. Es probable que la iluminación natural al interior proviniera de una única apertura que servía a la vez de puerta de acceso (Figura 3.48).

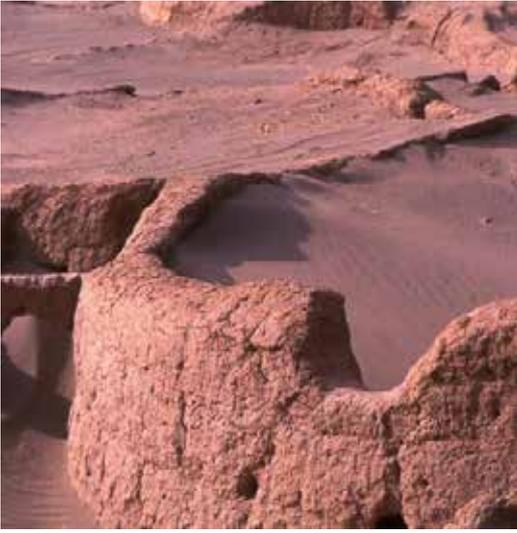
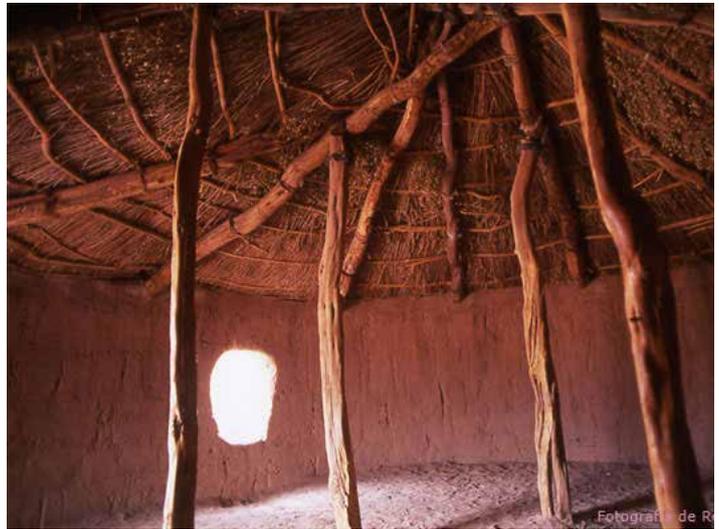
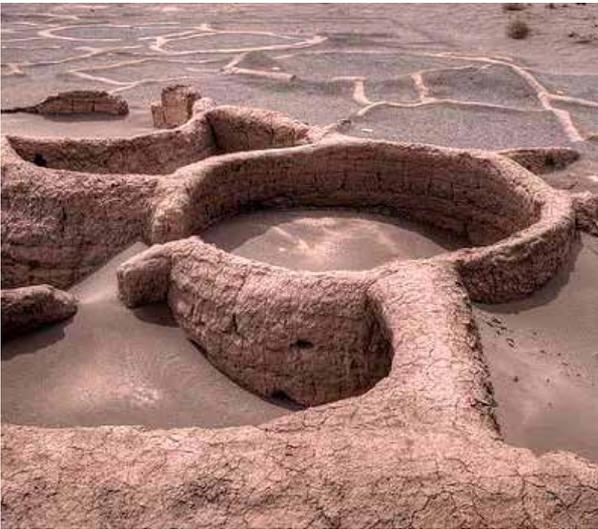


Figura 3.48: Arriba, centro y abajo: Aldea de Tulos, San Pedro de Atacama, Chile. Interior reconstrucción habitáculo de Tulo. Vista aérea del asentamiento. Muros y sus perforaciones de la aldea original. Fotos: Renato Srepele en [http://www.mav.cl/renato\\_srepele/tulo/](http://www.mav.cl/renato_srepele/tulo/), agosto 2013.



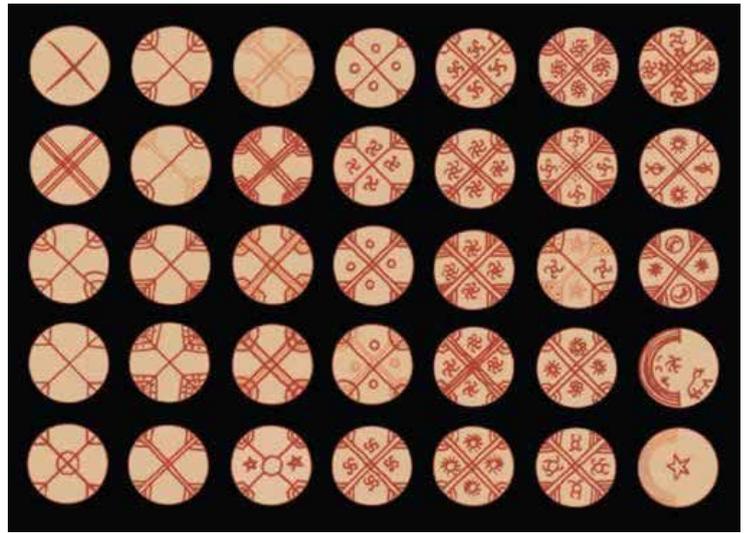


Figura 3.49: El Kultrún, instrumento musical y ceremonial. Sus dibujos representan los puntos cardinales y sus significados para la cultura Mapuche. Fuentes: [virgiliotovar.blogspot.com](http://virgiliotovar.blogspot.com) y [www.mapuche-nation.org](http://www.mapuche-nation.org).

### Norte chileno

En el territorio chileno del norte, la población existente convive con el imperio inca, a veces sometidos, otras veces en un sistema de acuerdo mutuo. La arquitectura conserva las características mencionadas de la arquitectura civil inca, volúmenes de piedra, vanos con dintel monolítico, para puertas, ventanas o troneras, techumbre con estructura de madera y cubierta de paja. La cubierta era una fuente de expresión plástica puesto que estaba teñida con tierras o raíces de colores rojizos y ocre. Además articulaba la estructura con un tirante para las vigas que formaba un ritmo interior diferenciado de la textura de paja de la cubierta. Las cubiertas van adquiriendo cada vez más importancia hacia el sur donde en el territorio central de Chile, tierra del pueblo mapuche, la unidad habitacional es definitivamente la sola cubierta que recibe el nombre de ruca.

### 3.9.5. MAPUCHES

El mapuche es el grupo indígena más numeroso de Chile. A la llegada de los españoles, habitaban gran parte del centro y sur del país, en ambientes y paisajes diversos, que iban desde la región sub-andina hasta la costa y desde climas templados cálidos a climas fríos lluviosos, lo que implicaba diversas adaptaciones y consiguientes diferencias culturales ([www.chileprecolombino.cl](http://www.chileprecolombino.cl)).

La cosmovisión mapuche reconoce el wenu mapu , como el espacio lejano donde se encuentra el sol, las estrellas y la luna; el ragin mapu como el cielo que contiene las nubes y el vuelo alto de los pájaros y el naüg mapu, como el espacio de aire que comparten los árboles, los cerros y también los pájaros, un espacio aéreo cercano. El püyü mapu es la corteza o suelo donde habitan los animales y el mapuche, donde crecen las plantas; bajo el éste se encuentra el minche mapu, lo profundo y las fuerzas negativas (temblores y terremotos). Si bien el mapuche habita y pertenece al püyü mapu y el naüg mapu, que definen su territorio tridimensional e inmediato, la percepción de los demás espacios son parte de su ordenamiento cotidiano, productivo y ceremonial, rectores lejanos (Figura 3.49).

Dentro de su territorio inmediato o cotidiano, el ordenamiento es articulado por el meli witxan mapu (los cuatro lados de la tierra). Su referente principal, a diferencia de la cultura occidental, es el oriente o Puel Mapu, pues de ahí sale el sol, la fuerza positiva. Cada punto tiene un significado que conecta el referente natural con lo espiritual, dándole cualidades de éste asociadas a la experiencia ancestral, como la fuerza de la destrucción del mar que viene del Lafken mapu.

En función del meli witxan mapu se ordenan los sitios ceremoniales, las edificaciones, los lugares mortuorios, la siembra y los accesos; por eso, cada referente del espacio que estructura esta visión es parte indisoluble de la relación entre el che (pueblo) y el mapu (tierra). El entorno que llamamos medioambiente, estructura su vida y su muerte y tiene expresión tangible en cada lugar habitado por los mapuche, tal que la elección del lugar de la comunidad, el lof mapu, debe estar rodeado por los referentes de meli witxan mapu (Durán, Bórquez 2009).



Figura 3.50: Ruca Mapuche tradicional, exterior e interior. Fuentes: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) y [www.educarchile.cl](http://www.educarchile.cl).

Se cree que antes del siglo XVI su asentamiento era disperso y de carácter trashumante. Los cronistas españoles asignaron varios nombres al grupo residencial local: levo, lof, rehue. Estos grupos estaban constituidos por casas (rucas) distantes donde habitaban los varones miembros del patrilineaje con sus mujeres (que provenían de otras comunidades bajo un sistema de residencia patrilocal) y sus hijas solteras. La ruca era la vivienda tradicional de la unidad familiar extensa. Son edificaciones de diferentes tamaños y formas (rectangulares, circulares y elípticas), cuya estructura más común se forma con una fuerte armazón de madera de roble, recubierta en el techo y a veces también las paredes con manojos de paja que la aíslan de las temperaturas extremas y la protegen de la lluvia. No tienen ventanas sino sólo una entrada orientada hacia la salida del sol, el Puelmapu (Tierra del Este, lugar donde moran las deidades). Al interior, el fogón (kutral) ocupa el centro y como permanece siempre encendido, ennegrece las paredes con su hollín y mantiene alejados algunos microorganismos. Hay muy pocos muebles y artefactos domésticos que cuelgan del techo y paredes (Figura 3.50).

Entre sus manifestaciones artísticas tecnológicas más importantes se destacan las joyas en plata, la producción cerámica, el tallado de maderas nativas, la cestería, la música y la danza, los instrumentos musicales como el kultrún y la truruka. Todas ellas expresan la cosmovisión y festejan los ciclos vitales de este pueblo.

El kultrún (Figura 3.49) lleva inscrito en su parte frontal la icnografía cardinal que denota la cosmovisión del pueblo mapuche: Pikun Mapu, simboliza el Norte; Willi Mapu, que representa al Sur; Puel Mapu, representa al Este y Lafken Mapu, que representa al Oeste. También simboliza el Arco Iris en sus cuatro extremos, que le da los colores, alegría y belleza a la naturaleza, además se grafican también el Sol, el lucero, las estrellas y la Luna. Al Sol le daban gracias por ser el gran benefactor de los seres vivos que proporciona la temperatura adecuada para las siembras y cosechas y también como abrigo natural de la humanidad. La Luna favorece el crecimiento de las plantas y la fertilidad en las mujeres. Las estrellas proporcionaban la claridad y las fuerzas positivas para el tránsito nocturno de longkos guerreros y werken, que eran los mensajeros. El lucero es una constelación admirada y respe-



Figura 3.51: La fuente única de luz en el interior de la ruca mapuche es la puerta. Una ruca mapuche actual. Fuentes: [www.educarchile.cl](http://www.educarchile.cl). y [www.latercera.cl](http://www.latercera.cl).

tada, era un punto de guía que usaban como la brújula de hoy en día. El número cuatro representa los cuatro pilares fundamentales que sostienen el equilibrio del universo, también se reconoce el centro, que es el eje central de la Tierra donde está ubicado el Pueblo Mapuche ([www.scoquimbo.cl](http://www.scoquimbo.cl)).

Respecto del uso de la luz como necesidad biológica o funcional en el interior de sus recintos es rudimentaria, tal como lo es su arquitectura. En la ruca, la luz parece no haberse logrado más que por la puerta de acceso y tal vez alguno que otro rayo por la abertura superior de la cubierta, por donde sale el humo del fogón. El interior de la ruca es oscuro por el poco acceso de luz y también por el uso de madera y paja como revestimiento y suelo de tierra, de colores oscuros. Además, hay permanentemente humo dentro de la casa, lo que en conjunto con la oscuridad del entorno, no permiten un interior claro. Por el contrario, la fuente única de acceso de luz, sumada al humo y oscuridad no permiten la reflexión interna y se produce un fuerte contraste entre la entrada de luz y la oscuridad, provocando además de baja iluminación, un fuerte deslumbramiento que empobrece aún más la capacidad de visión interior (Figura 3.51).

### 3.10. TÉCNICA DE LA LUZ EN AMÉRICA COLONIAL

En España, los períodos artísticos se desarrollaron de forma similar al resto de Europa, con la gran diferencia de la influencia árabe que impregna todos los períodos con sus características: transposición de formas dadas en la técnica del estuco de yeso, cantería en piedra, madera tallada y dorada, artesonados, puertas de tablero, canes de los aleros recortados o esculpidos, celosías, rejas de madera calada, balaústres tornados, arcos de herradura trilobulados y mixtilíneo, uso masivo del ladrillo y el adobe, revestimientos de pisos y muros en azulejos, etc. (Benavides Op.cit. p 7) (Figura 3.52).

Arquitectónicamente, los españoles prefirieron los espacios profundos pero compartimentados, los patios con aporticados livianos, pavimentos, jardines y juegos de agua y el uso de colores intensos.

En el momento de la Conquista, en España ya se fusionaba el gótico plateresco con la arquitectura renacentista, particularmente influenciada por la escuela herreriana clasicista y severamente austera. Pero un siglo después volvían a florecer las exuberancias del barroco mudéjar, de expresividad emotiva y multicultural que durará en América al menos hasta el siglo XVIII.

La corriente estilística que desplaza al Barroco en América ocurrió a partir de este período, derivada de la Ilustración en un movimiento que se denominó Neoclásico. Tal como su nombre lo indica, este estilo volvió la mirada a los clásicos, más incluso que los maestros renacentistas. Pero en este período es precisamente cuando empieza la búsqueda americana de la independencia y lo que se vio reflejado en un fraccionamiento cultural e incluso antagonismo entre americanos y europeos.

Pero los trasposos culturales, cabe mencionar, no se producían instantáneamente, lo que ni siquiera hoy sucede, incluso con las ventajas de comunicación y facilidades de traslado de que disponemos. En esos años, los contagios culturales, que siempre iban de este a oeste, esto es, desde España hacia América y nunca al revés, tenían un retardo de entre 30 y 50 años, sobre todo si se trataba de tierras tan lejanas y geográficamente inaccesibles como el territorio chileno (Ibid, 9).



Figura 3.52: Arriba: Pintura sobre azulejo con motivos alusivos a la llegada de los colonos a América y el territorio salvaje encontrado. Abajo: motivos geométricos de los azulejos de revestimiento y decoración. Museo del azulejo de Lisboa, Portugal, siglos XVI al XVIII. Fuentes: Elaboración propia.



Por otra parte, España como la receptora del oro que manaba desde América, vivía una época de esplendor económico por lo cual los artistas encontraban un gran mercado para sus obras y no tenían incentivos para venir a este territorio salvaje. Este hecho hizo que muy pocos artistas y sobre todo los arquitectos, vinieran al continente, de modo que paulatinamente la arquitectura que se hacía en un continente y otro se fue diferenciando. Sólo las primeras obras y las más importantes mantienen una estrecha relación con la arquitectura gótico-renacentista española, puesto que los planos y alzados se elaboraban en la península y se enviaban a las colonias para su ejecución.

Es probable eso sí, que artistas como talladores o carpinteros de origen árabe sí hayan preferido radicarse en este continente, puesto que habían sido desplazados de España el mismo año en que Colón llegó a América. De ser esto cierto, podría explicar la proliferación del plateresco y posteriormente el churrigueresco que floreció en América en notables ejemplos mexicanos.

En resumen, Benavidez (Ibid, 17) establece que fueron cuatro los períodos que son visibles en América



Figura 3.53: Cánones de la arquitectura de Juan de Herrera en Aranjuez, imperantes en España en tiempos de la conquista. Foto: Leonardo Vera.

como aporte de la arquitectura española: el Plateresco, de 1450 a 1550; el Clasicismo, de 1550 a 1650; el Barroco Churrigueresco, desde 1650 hasta 1750; y el período de Reacción Clasicista desde 1750 a 1850.

### LA LUZ EN EL VIRREINATO DEL PERÚ

Chile forma parte del territorio regido por el Virreinato del Perú, entre los siglos XVI y XIX, que abarcaba casi la totalidad del Cono Sur exceptuando el territorio de Brasil, bajo el dominio de Portugal (Figura 3.54).

El primer asentamiento español en este territorio se produjo en los edificios existentes mientras que en los templos sólo algunas veces se instalaron las órdenes religiosas. En la mayor parte de los casos los templos se demolieron y se construyeron otros sobre los cimientos.

Esta situación duró poco tiempo porque las ciudades en general sufrieron incendios debidos las cubiertas eran de madera y paja, producidos durante las disputas entre americanos y españoles. Sobre los muros que se mantuvieron en pie, principalmente los muros incas de sillería de piedra endentada, se construyeron muros de mayor altura en piedra o adobe, y se cerraron los edificios con cubiertas de madera y teja, tal como se hacía en España. Muchas de las piedras que se utilizaron en estas reconstrucciones provenían de otros edificios incaicos que sí habían sido demolidos. Es probable que los muros de piedra incas fueran admirados por los españoles que veían en ellos semejanzas con la arquitectura pura y sobria de Juan Herrera (Ibid, 20) (Figura 3.53).

Por lo general, el desarrollo de las ciudades se dio en forma tranquila y sin grandes alteraciones exceptuando los terremotos, puesto que la población indígena estaba totalmente sometida para el siglo XVI en casi todas las capitanías que componían el Virreinato, exceptuando la capitanía chilena. En

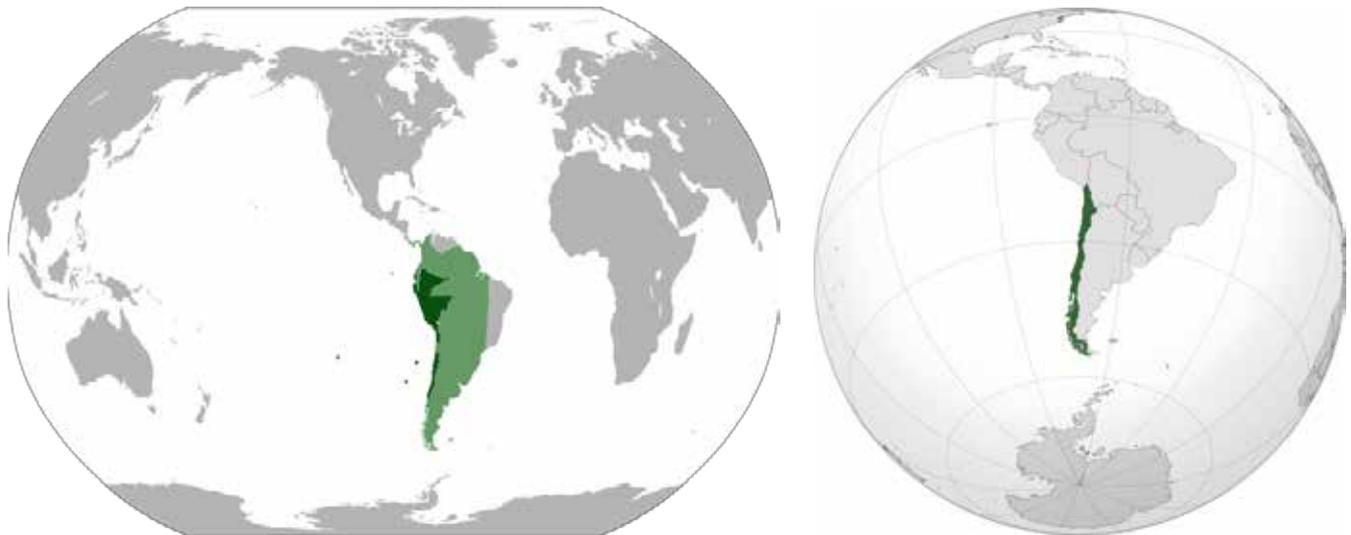


Figura 3.54: Virreinato del Perú: Extensión verde claro, hacia 1550, en verde oscuro su extensión final en 1810. Mapa del actual territorio chileno para su comparación. Fuente: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), agosto de 2013.

esta capitanía los aborígenes, particularmente el pueblo mapuche, nunca fueron sometidos y por ello permaneció sumido en una permanente situación bélica. Por otra parte, esta zona del continente es particularmente sísmica, lo que impedía que las construcciones pudiesen hacerse con la misma esbeltez con que se hacían en Europa.

Además de los terremotos y las guerras, el clima, las características geográficas como la altitud, la geología y disposición de materias primas también alteraron la implementación de una arquitectura importada.

En la catedral del Cusco se pueden observar rasgos de la sobriedad de la arquitectura herreriana. Sus muros, pilares y los arcos están contruidos en sillería de piedra y ladrillo y sostienen el complejo sistema de bóvedas de ladrillo con reminiscencias del gótico español. Es un edificio robusto que asemeja en este aspecto a la arquitectura incaica. Su robustez no permite grandes aperturas en sus muros por lo que el interior de la iglesia se sume en la penumbra. Para contrarrestar este efecto, el altar está recubierto completamente de láminas brillantes con el fin de ser visto, aún con bajos niveles de iluminación. Sólo las torres de los campanarios presentan grandes aberturas, pero éstas no tienen incidencia en el interior de la iglesia y cumplen una función acústica más que lumínica. Es probable que la penumbra y la sobra hayan casado un efecto agradable en los habitantes puesto que la situación geolumínica de altiplano del Cusco presenta importantes niveles de radiación solar.

Esta situación respecto de la iluminación natural se repite en todas las iglesias cuzqueñas de este período, con algunas variaciones como la iluminación natural de la cúpula de la Iglesia de la Compañía que presenta cuatro ventanas en el tamburo y una linterna, lo que permite iluminar la cúpula con luz natural blanca en el tamburo pues los vidrios, al menos actualmente, son incoloros (Figura 3.55).

Otro tema importante en la arquitectura española americana son los conventos de distintas órdenes religiosas que se establecieron en Cusco, Arequipa -segunda ciudad del imperio en importancia- y el

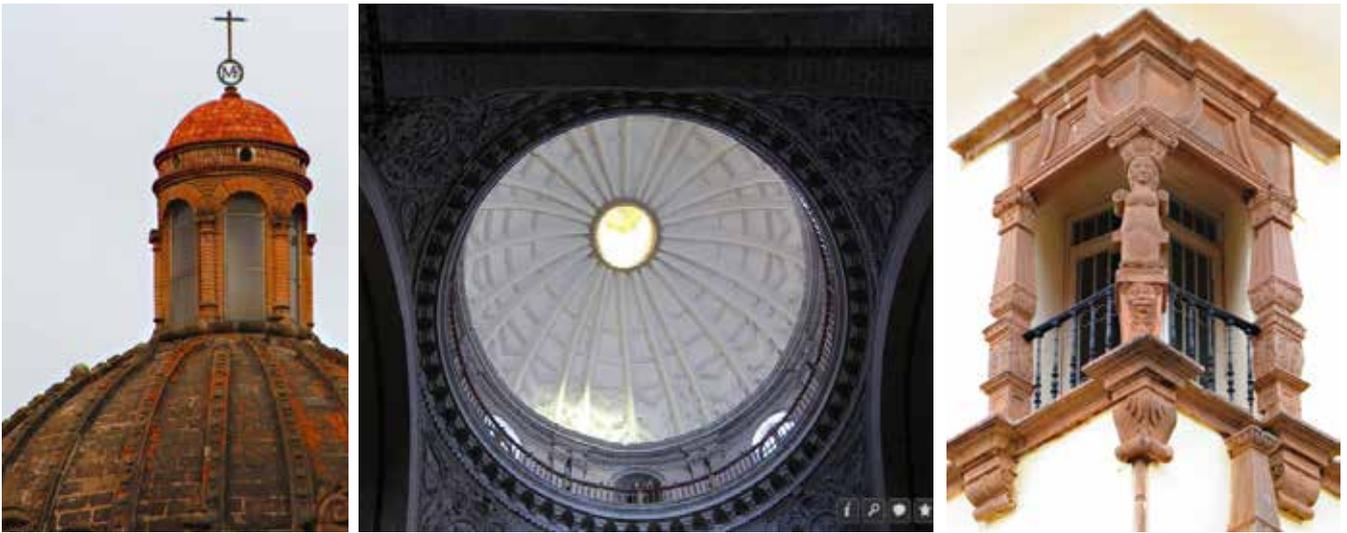


Figura 3.55: Cusco: Linterna Iglesia el Triunfo, Cúpula Iglesia de la Compañía de Jesús y Ajiméz de la Casa del Almirante. Fuente: kokocusco y nebuluos en [www.flickrriver.com](http://www.flickrriver.com), agosto de 2013.

resto de las ciudades del Virreinato. En general los conventos presentan unidad espacial y estética con organización planimétrica similar: recintos interiores cubiertos por artesonados de madera nativa labrada o bóvedas de cañón corrido de una crujía, donde los cruces se resuelven con cúpulas y cupulines. Circulación por galerías exteriores o semiexteriores en uno o dos de sus costados que encierran los patios interiores. Se advierten ritmos dados por las arcadas que cierran los corredores en torno a los patios, arcos de estilo mudéjar, románico o bizantino, azulejos y retablos en relieve con motivos europeos y americanos, que contribuyen a la generación de patrones rítmicos en las fachadas interiores (Benavides Op.cit. 31), tanto por sus diseños como por sus exuberantes sombras.

El convento de Santo Domingo es un caso interesante porque fue construido sobre el más importante templo incaico de la capital del imperio Inca, el templo de Coricancha. Se trata de un convento de la Orden de Predicadores que recibe el terreno luego de la repartición de los solares en 1534.

La superposición de ambos edificios advierte la enorme diferencia funcional, formal, estilística y constructiva. Los colonos agregaron un atrio triangular que sirve de entrada al templo colonial donde el muro giraba en ángulo recto hacia la calle Ahuacpinta, del que aún se conserva un tramo original de casi sesenta metros de largo.

El claustro presenta características representativas de este tipo de edificio construidas en Cusco y otras ciudades del Virreinato durante los siglos XVII y XVIII (Figura 3.56). Se organiza en torno a patios que son rodeados por corredores cerrados por arcadas dejando un espacio de transición semi-exterior. En el caso de los dominicos, el claustro es de dos pisos, la arcada superior coincidentemente presenta el doble de arcos que la inferior y sus pilares son más pequeños y delgados que los del primer piso. Esto da una imagen de geometría estructurada pero los ritmos generan distintas vibraciones en uno y otro piso, siendo el superior mucho más ligero y vibrante, sobre todo cuando a la pilarización se suma la sombra listada del sol directo. La esbeltez de las columnas y sus capiteles advierte indicios de la influencia mudéjar en este período arquitectónico (Ibid, 32).

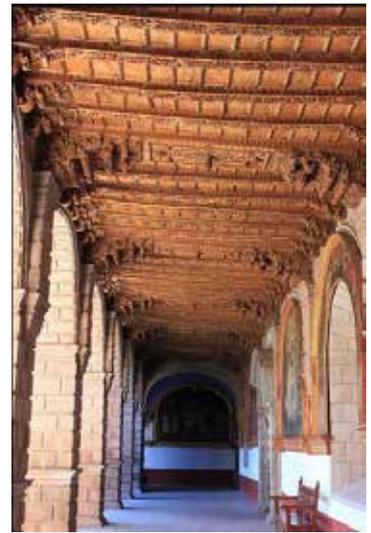
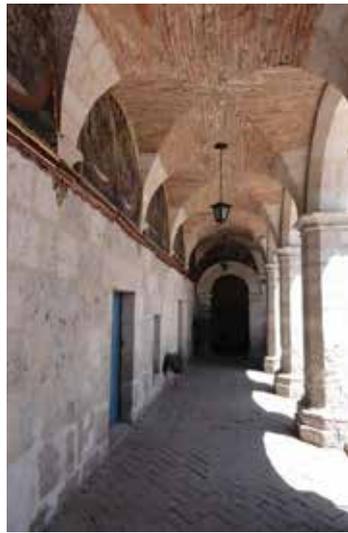


Figura 3.56: Arriba y centro: Claustros Americanos. Fuentes: mercedcusco.blogspot.com, Claustro de las novicias en Arequipa, flickr.com, todounviajefran.blogspot.com y Claustro de los naranjos en Arequipa.



Figura 3.57: Abajo: Claustro plateresco en Valladolid. Fuente: José L Filpo





Figura 3.58: Templo de Coricancha, Cusco. Intervenciones de la Colonia y contemporáneas. Fuentes: flickr.com

Hoy, las obras de museización han incorporado nuevos sistemas constructivos y tecnológicos que generan un contraste entre los tres períodos, incaico, colono y contemporáneo, que se advierte fuertemente en los sistemas de apertura y sus cerramientos transparentes (Figura 3.58).

La vivienda también compartió parte de estos atributos: patios, arcos y arcadas, claustros, apertura de ventanas en muros incaicos preexistentes, balcones de madera, teja en las cubiertas. La planta recrea la casa tradicional del sur de España: patios, zaguanes como acceso único para personas y calesa, portadas platerescas o barrocas, dinteles adornados ya sea originales de la casa incaica o con motivos españolizados. Se ve la influencia árabe en los arcos de los patios, pilares y columnas así como en forma de las ventanas ajimesadas, balcones de madera con cierre tipo *mashrabiya* y artesonados interiores (Ibid, 35).

## SOMBRA EN ATACAMA

Hacia el sur, donde se inicia el Desierto de Atacama, la zona altiplánica que comparte Bolivia y Chile tiene influencia en la arquitectura chilena de todo el norte. Se basó en la construcción casi provisoria de volúmenes compactos repartidos sin orden riguroso por el territorio. Su función era la de dar cobijo a las pequeñas comunidades de pastores semi-nómades o trashumantes, o dedicadas a la minería. Las viviendas, así como los corrales, se hacían en pircas de piedra y barro con cubierta de maderas nativas (muy escasas) o cactus y paja de ichu, el pasto local. Se trata de volúmenes de planta rectangular muy simple, con pequeñas aperturas para la puerta y sólo algunas veces para ventana de iluminación y ventilación (Figura 3.59).

La arquitectura religiosa es generalmente construida en adobes o piedra. De planta rectangular con un campanario único independiente de la nave que podía estar adosado a esta o en el cierre perimetral



Figura 3.59: Arriba: Iglesia de Curahuara de Carangas, Bolivia. Fuente: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com), agosto 2013. Centro: Iglesia de Chiu-chiu. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.60: Abajo: Iglesia de San Pedro de Atacama. Parrón de sombra en San Pedro. Fuente: Archivo de la autora.





Figura 3.61: Bisagra y puerta de cactus en Toconao, Puerta de la Iglesia de Achauta, Campanario de Caspana. Fuentes: Claudio Cortés Aros, Aike Parvex en flick y archivo de la autora.

del recinto eclesiástico. Forma un conjunto asimétrico. Sus muros son ataludados y robustos, en gran medida por las condiciones sísmicas pero también para dar refugio de la inclemente radiación solar. La luz proviene de la perforación de los muros en pequeños orificios y de la puerta de acceso, la mayor fuente lumínica. Nunca de la cubierta, nunca de color. Algunas veces, el uso de corteza de cactus como material para la construcción de puertas o postigos permite el paso de una luz tamizada hacia el interior.

Es importante en este tipo de poblados la sombra que producen los propios volúmenes puesto que la radiación exterior es altísima. De este modo se forman las llamadas ciudades sombra (Pattini, op.cit) al igual que las ciudades desérticas del norte de África. En la actualidad y es probable que desde el origen de estos poblados, también se utilizan las fibras vegetales para la construcción de sombreaderos exteriores, que arrojan sombras tamizadas que contrastan con la violencia de la sombra de los volúmenes. Hoy, estas sombras que dibujan texturas se han transformado en un distintivo de la arquitectura altiplánica (Figura 3.60 y Figura 3.61). La estructura de sombreadero como elemento anexo exterior a la vivienda se transformará en Chile en un elemento de suma importancia en las viviendas rurales y urbanas hasta mediados del siglo XX, desde esta región hasta el sur. Se trata del parrón, estructura de madera autoportante que sustenta en cada pilar una planta de parra, planta caduca que da sombra en verano y deja pasar el sol en invierno. A diferencia del parrón del centro sur de Chile, el del norte necesita sombra todo el año, por eso vienen bien las cubiertas de fibras vegetales.

## EL NORTE CHICO Y CHILE CENTRAL

A medida que se desciende hacia el sur en el territorio chileno, la madera se va haciendo cada vez más accesible. Esto permite que los muros y tabiques de la arquitectura civil, se puedan construir en un sistema todavía vigente: la quincha. Se trata de un sistema constructivo que forma un entra-



Figura 3.62: Hacienda el Tague, Norte Chico. Contrucción de quincha: barro, madera y paja, sistema constructivo híbrido entre originario y europeo hacendal. Resulta climáticamente adecuado para esta región (Blaitt 2013). Fuente: Archivo de la autora.

mado de madera o fibras vegetales sujetas a un marco o estructura portante, que se rellena de barro. Las primeras construcciones que se hicieron en el norte de Chile hasta un poco al sur de Santiago, se realizaron en este sistema puesto que era rápido y se contaba con las materias primas necesarias en todo el territorio. Se trata además de un sistema que responde bien al clima seco, con gran oscilación y amplitud térmica (Figura 3.62 y Figura 3.63).

La inexistencia de plantas metalúrgicas impidió el uso de metal en las primeras construcciones. Tampoco existió el vidrio hasta ya avanzada la Colonia por lo que los cerramientos de las ventanas se hicieron mediante rejas o postigos de madera. El poco metal que llegaba se utilizaba en los elementos imprescindibles como clavos, goznes y cerraduras.

Este sistema constructivo se repite en Chile hasta el siglo XIX: barro, paja, adobe y polvillo (para los estucos), madera y arcilla cocida para pisos y cubiertas (Benavides Op.cit. 109) y se incorpora con mayor regularidad el metal en la fabricación de rejas. Luego ya de dos siglos, se construye con más seguridad, siempre respetando la cuadrícula española del damero. Siguen siendo construcciones de volumetría simple que sólo presenta ornamentaciones en el portal, algunos pilares de esquina, aleros con canes labrados, puertas labradas, y rejas decorativas donde se advierte un cierto barroquismo (Ibid, 109).

Del siglo XVI en Chile, sólo permanece en pie una iglesia franciscana (Figura 3.64 y Figura 3.65). Se trata de un edificio de sillería de granito sin labrar, con planta en cruz latina orientado de poniente a oriente. Dejaba aperturas hacia el norte y el sur pero en el siglo XIX se le construyeron dos naves laterales a cada lado y presumiblemente las ventanas fueron transformadas en pasadas hacia las naves laterales. Actualmente el muro norte (mayor accesibilidad de luz) sólo presenta tres ventanas altas y pequeñas en forma de arco. También recibe luz por una pequeña linterna sobre el crucero. El cielo es un artesonado de madera oscura que recubre también el interior de la linterna. El artesonado se sostiene con canes labrados con motivos clásicos que advierten la retirada del plateresco y la llegada de la arquitectura renacentista (Ibid, 129). La puerta de acceso, también labrada en maderas nativas revela



Figura 3.63: Interior del Galpón de Esquila de la Hacienda el Tangué, Norte Chico. La luz natural viene dada por lucarnas en la cubierta y perforaciones longitudinales de los muros. Fuente: Archivo de la autora.

una influencia árabe y fue tal su importancia que es probable que haya sido fuente de inspiración para las generaciones de talladores que la conocieron (Ibid, 131).

El claustro es de planta cuadrada y los corredores presentan arcadas de robustos pilares antisísmicos de estilo toscano. El segundo piso del claustro, reconstruido tras el terremoto de 1647 es de madera con cubierta de teja. En extremo simple y ligero contrasta fuertemente con la sólida estructura inferior que lo sustenta. Hoy, el patio del convento está cubierto por árboles y plantas por tanto la luz que llega a sus corredores está filtrada por las sombras de la vegetación, espesa en verano y más ligera en invierno. Muros gruesos, formas macizas. Lleno sobre vacío, disminución de la altura por piso y en pisos. Introducción de soleras, cuñas, llaves y diagonales en la técnica del adobe (Ibid, 155).

## Siglo XVII

La arquitectura religiosa y de vivienda fue una arquitectura popular que carecía de profesionales. “Muestra tendencias regionales de en el uso de los materiales propios de cada región, en la manera de implantarse en su medio geográfico, y en el manejo de la luz, las proporciones y los símbolos.” (Ibid, 170)

Las construcciones hasta el siglo XVII aún carecen de vidrios puesto que el vidrio plano aún no llega a Chile. El acero o hierro es un bien caro y escaso que se reserva para clavos y bisagras. Las rejas son en extremos imples por esta causa. Las puertas son de tableros cuadrados, rectangulares o abizcochados que en algunos casos presentan una balaustrada superior que permite la visión, acceso de luz y ventilación cuando los postigos están abiertos. Las ventanas son similares, sin vidrio se protegen a partir de postigos practicables por la parte de arriba y la de abajo separadamente. Los postigos también son tableros con diseños similares a las puertas. A falta de hierro, las rejas suelen ser de balaustras de madera torneada. La forma de estas balaustras son la expresión del sentido artístico y el dominio de la técnica de los artesanos carpinteros.



Figura 3.64: Iglesia de San Francisco en Santiago. Campanario, claustro y corredor del claustro. Fuentes: Archivo de la autora, Oliver William Letts y Davepope en flick.

Luego del terremoto de 1647, las construcciones se realizan exclusivamente en un piso, incluso abandonando la necesidad de altura que se requería para dar importancia a los edificios. El orden general de las casas se establecía en torno a patios, tal como la arquitectura colonial del primer período. El portón y el zaguán eran lo suficientemente anchos para dejar el paso de caballerías y carretas. En la fachada, el acceso es el lugar con mayor ornamentación donde se exhibía la capacidad económica y artística de los propietarios y el escudo familiar. Las proporciones de estos ornamentos como frontones, cornisas y pilastras reflejan más los cánones estilísticos del arte aborigen que los clásicos o renacentistas, lo que ocurre tanto aquí en Chile como en el resto del Virreinato.

Aparece un elemento típicamente nacional, el pilar de esquina, de piedra, madera o ladrillo que permite el reforzamiento de la esquina y deja dos aberturas a cada lado. Estas aberturas servían a menudo como acceso a algún local comercial.

Las disputas por el poder de las distintas órdenes religiosas exploran más en arquitectura religiosa que en el plano de la vivienda. La Compañía de Jesús propaga el barroco español e italiano mientras que los franciscanos siguen una línea más austera italiana, típica de Asís. Las iglesias se construyen en piedra tanto en Santiago como en La Serena.

### **Siglo XVIII**

La orden Franciscana trae un importante contingente de arquitectos, ingenieros, constructores, ebanistas, herreros, alfareros, relojeros, pintores, plateros y otros oficios, de origen bávaro, tirolés, austriaco y luxemburgués. Estos profesionales forman una escuela que aporta importantes influencias a la arquitectura religiosa de la época, sin embargo, la expulsión de esta orden el todo el territorio dominado por España trunca su continuidad docente.

En La Serena, del siglo XVII se conserva hasta hoy el templo de Santo Domingo que fue construido so-

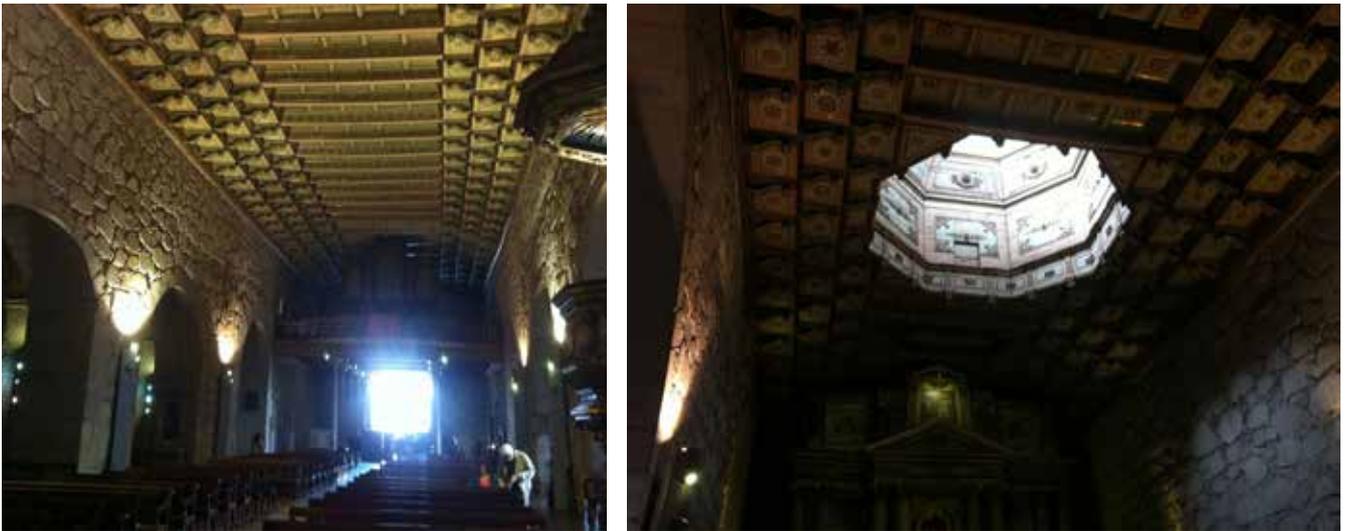


Figura 3.65: Interior de la Iglesia de San Francisco, luz natural desde la puerta de acceso y desde la linterna, la oscuridad contrasta con la luz y se produce deslumbramiento. En el cielo, un artesanado de madera ornamentado. Fuente: Archivo de la autora.

bre las fundaciones del templo anterior, destruido por el incendio de Sharp. Este hecho le otorga una forma en extremos alargada de nave única. El color y la textura son particulares por el uso de piedra calcárea. Su frontis presenta un gran portal en el acceso con proporciones propias de la época que se repetía en todo Chile. Se advierten también en sus ornamentaciones la influencia del arte atacameño mitad español mitad aborígen.

En la arquitectura civil de la Serena se advierte un especial interés en la decoración de los portales y accesos de piedra donde se advierten influencias aún barrocas y clásicas que hermanan el arte chileno con el arequipeño y boliviano (Ibid, 199). Se utiliza el pilar de esquina y se repite el patrón de la construcción en torno a patios. Los patios, visibles desde la calle, muestran la belleza de los jardines interiores que se dan exuberantes y floridos por las ventajas del suave y tranquilo clima serenense.

El asentamiento de la agricultura, el comercio y la minería del norte provocan en Chile un primer auge económico que permitió la importación sistemática de materiales que antes eran escasos y exclusivos. Es el caso del hierro, la loza, el vidrio con formas y plano, la cerrajería y la literatura profesional de arquitectura y construcción.

Hacia fines del siglo XVIII la reacción neoclásica contribuye a establecer el rostro definitivo de las urbes que fueron sufriendo cada vez menos destrucción con los terremotos. El verde en este período se mantiene dentro de los patios mientras que todo el espacio urbano exterior se mantiene sin vegetación.

La arquitectura civil muestra también las influencias arequipeñas y limeñas en el uso del balcón corrido saliente con estructura y trama de madera. Este balcón suele abarcar gran parte de la fachada o toda ella y sobresale en gran volumen sobre la calle. Estos balcones fueron el palco principal para las expresiones teatrales públicas que se hacían en la calle. En muchos casos constituyen una circulación exterior entre recintos, y los protegen del exceso de sol veraniego y la lluvia invernal de las marcadas

estaciones del centro y norte de Chile. Hacia fines del siglo XVII se va perdiendo la rigidez del tablero rectangular de las puertas y postigos y se pasa a una expresión más barroca y bávara. Lo mismo sucede con las forjas y rejas, la accesibilidad al material permitió trabajar formas más complejas y artísticas, acorde a las influencias estilísticas europeas y americanas.

La distribución mantenía los patrones previos: se accede por un ancho zaguán a un primer patio sin corredores, un pasillo lo conectaba con el segundo patio, rodeado de corredores al que daban las habitaciones y al fondo, un tercer patio de servicio que muchas veces terminaba en una chacra familiar donde crecían hortalizas y árboles frutales.

### 3.11. LUZ MODERNA, LUZ DE LA RAZÓN

Los procesos sociales que comenzaron a gestarse en el siglo XVIII removieron las bases del sistema barroco que imperaban en el mundo occidental, y éste tardó un tiempo considerable en reestabilizarse debido a que las estructuras que quedaba habían perdido identidad y se sumían en un innumerable tipo de sistemas coexistentes y estilos basados en diversos períodos históricos. Las ciudades, cada vez más pobladas y con mayores demandas de urbanidad están empezando a generar problemas sociales, de salubridad y hacinamiento. Es por ello que de la orfandad en que durante un tiempo queda sumida la sociedad, surge con fuerza inusitada los inicios de las más importantes revoluciones que ha tenido la civilización, la revolución social y la revolución industrial.

La modernidad y la revolución industrial son tiempos de rápidos cambios en el mundo. En particular respecto de la luz, el gran salto cualitativo y cuantitativo es el nacimiento de la luz artificial. Este invento nace de un período rico en investigación y descubrimientos científicos que vienen desarrollándose desde hace un par de siglos, a través de la obra de Newton, Huygens, Descartes y Leeuwen, entre otros (Figura 3.66 a y b). Sin ir más lejos, el término de luz natural es inventado como concepto en el S XIX para diferenciarla de luz divina, luz de estudio, luz de , pero fundamentalmente, luz artificial (Blum, Lippincolt 2000, 19).

La luz natural es la luz del sol, las estrellas y la luna. Puede ser medida o pintada como cualquier otra substancia. En contraste con la luz artificial, adquiere la connotación de saludable, espiritual y verdadera, y se relaciona a la moral y la física. La luz artificial se la asocia por el contrario a lo vulgar y sensual al mismo tiempo.

Para fines del S XIX, la luz natural se hace cada vez más rara, el arte rehúye de ella puesto que la luz artificial permitió la vida en un mundo nocturno y bohemio que encandiló el arte y la cultura de la época. Los pintores que usaron luz natural en esa época son pocos, Chardin, Valenciennes, Vernet y Canaletto, quienes son considerados naturalistas y se relacionan a la reacción en contra de la acelerada urbanización del mundo y la nostalgia de la vida rural.

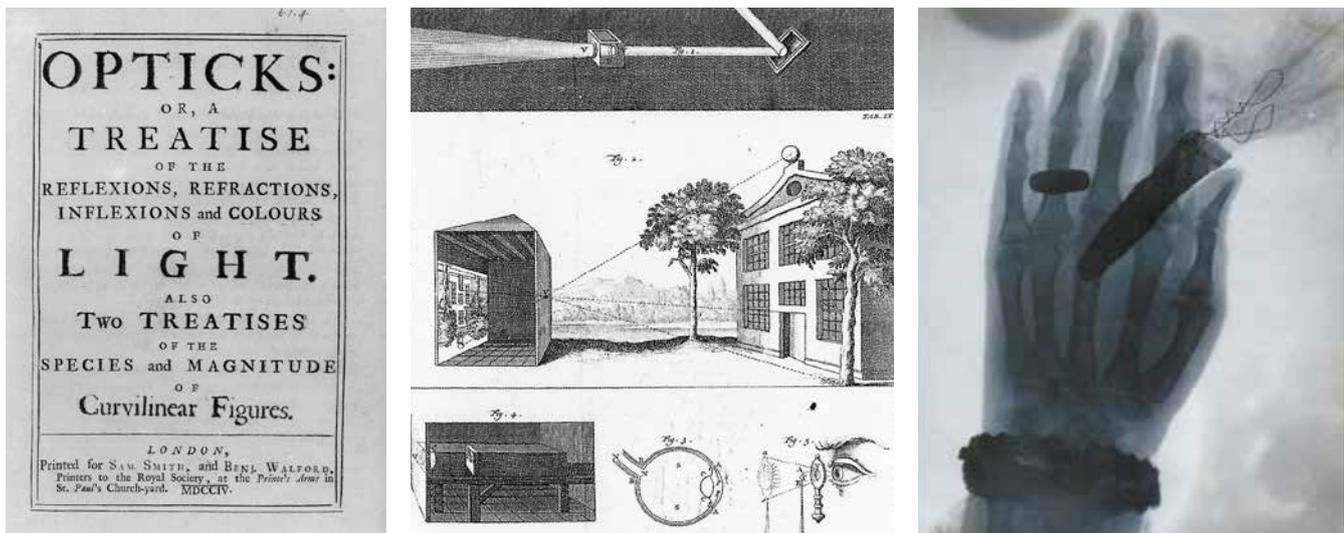


Figura 3.66: a. Tratados sobre óptica y b. estudios geométricos de la reflexión. c. Primeras imágenes de rayos X. Fuente: Light! (Blum, Lippincott, 2000).

La luz artificial genera importantes cambios en el uso del espacio doméstico. El fuego, el hogar es cambiado en un principio por la lámpara de aceite, pero luego ésta viene cambiada por la luz eléctrica que, con su enorme potencial, puede además iluminar la ciudad de noche y permitir la vida nocturna de sus habitantes, tal como hoy nos ha cambiado la vida doméstica la televisión y la computación.

En el espacio habitable, el lugar no es el mismo de día que de noche, nacen nuevas inseguridades y costumbres relacionadas a la vida nocturna que antes de la luz artificial eran imposibles. Con la luz artificial fue posible extender los horarios de trabajo y estudio permitiendo poner en práctica los ideales de la Revolución Francesa (Ibid, 35). La luz artificial que antes significó poder y dominio, ahora pasa a ser el símbolo de los héroes de la Revolución. La noche se transforma en el lugar del peligro, la intimidad y el descanso.

La vida nocturna genera preguntas existenciales, nace la ciencia ficción. Se iluminan las fuentes como un espectáculo, aparecen los fuegos artificiales. Las luces artificiales se potencian con otros efectos, la transparencia romántica, la luz de estudio, los caleidoscopios, las lentes (Figura 3.67).

El socialismo exige luz natural para los trabajadores, el sol se representa como símbolo de esperanza, salud y trabajo público. Se confirman estas funciones al estudiar la relación entre la luz del sol y la producción de vitamina D en la formación ósea. Nacen las iniciativas de salud pública que buscan incrementar los niveles de sol con el fin de hacer higiénicos y saludables los hábitats (Figura 3.68 b).

Por su parte el capitalismo utiliza la luz como símbolo de progreso, Lux, Sun, Electrolux. La luz viene representada en la moneda y los billetes. La Estatua de la Libertad porta una antorcha (Figura 3.69).

Se descubren las luces invisibles, los rayos infrarrojos, ultravioleta, rayos X, rayos gamma (Figura 3.66 c). Mientras más se sabe más se comprende lo que no se sabe. Hacia principios del siglo XX se inician los estudios científicos y fisiológicos que distinguen la 'cantidad de luz' v/s la 'luz percibida'. Se distingue por primera vez la diferencia entre la luz del día (daylight) y la luz solar (sunlight). La luz del sol es cálida, genera sombras nítidas, es cambiante, direccional. La luz de día es ambiental, cambia poco,

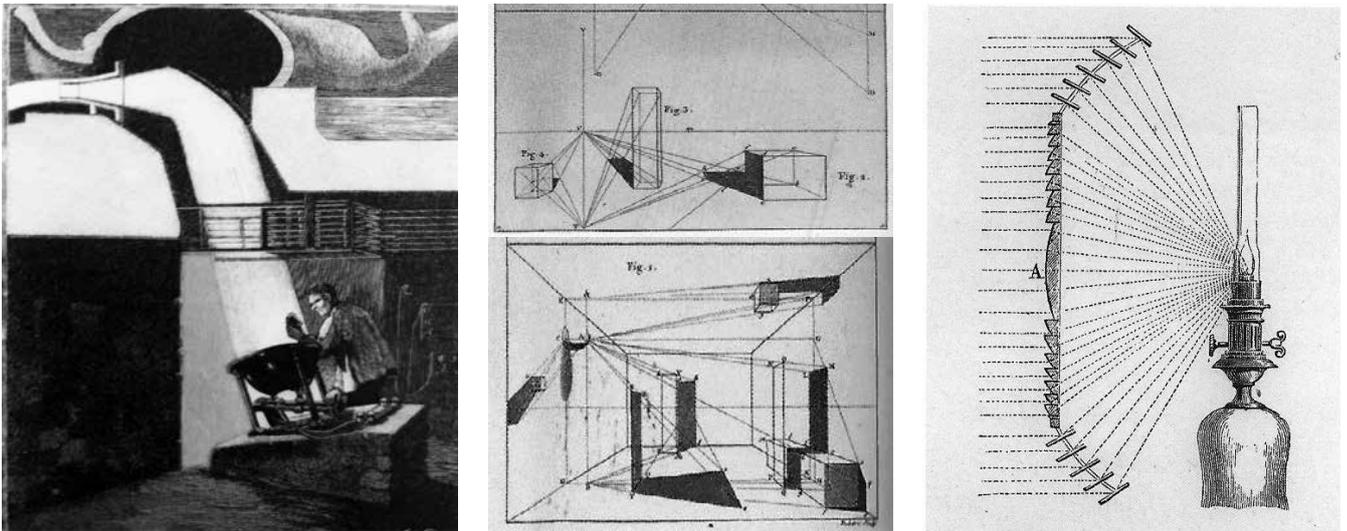


Figura 3.67: La luz artificial en el teatro, estudio de sombras, el lente de Fresnel. Fuente: Light! (Blum, Lippincolt, 2000).

genera sombras tenues y sin dirección. Se disecciona la luz en su forma real y natural, se establecen las diferencias entre luz directa y luz reflejada. Richer señala: “sólo vemos diferencias de luz, no los objetos en sí mismos” (Ibid, 104).

La revolución industrial trajo consigo las ventajas de los nuevos sistemas constructivos, que desde el gótico, no experimentaban la libertad de la amplitud del tamaño libre. En particular, el uso del acero permite grandes luces y a su vez, en conjunto con el desarrollo del vidrio permite la creación de ventanas limpias, grandes y sin elementos de estructuración internos.

El uso que se le dio a esta pareja vidrio-acero en invernaderos trae consigo asociada la idea de vida y salud, por la potenciación que la luz natural produce en los seres vivos que habitan los invernaderos. El invernadero por otra parte pasa a constituir una nueva parte de la casa, al acceso o en el exterior de las zonas públicas, en modo de generar un espacio de transición entre exterior e interior para reducir los tremendos contrastes climáticos e hacían ineficiente algunos edificios en determinados climas (Baker, Steemers, Op.cit. 19).

De este período resalta la obra de Sir John Soane, arquitecto inglés, probablemente uno de los más grandes manipuladores de luz natural. La mayor exponente de la obra de Soane es su propia casa, hoy convertida en el Museo Soane de Londres. Los espacios más famosos de la casa son los que están en la parte posterior del museo, el área del domo, la columnata y el corredor. Este último recinto se trata de un pasillo iluminado principalmente desde la parte superior y utiliza los principios de la ingeniosa iluminación ideada por Soane para los pasillos superiores en el Banco de Inglaterra, pero en este caso en muy menor escala. El techo abovedado de la sala de desayuno, con incrustaciones de espejos convexos, ha influido en los arquitectos de todo el mundo. En relación al rol de la arquitectura, Soane declaró: la arquitectura civil es esencial tanto en sus aspectos artísticos como científicos (Ibid, 18).

La Biblioteca Nacional de Francia es un ejemplo temprano de aplicación de los avances y principios estructurales del acero y el vidrio (1859 - 1868). En base a altas y esbeltas columnas de acero, el espacio

interior se cierra mediante cúpulas perforadas cada una por un óculo que permite el ingreso de luz natural. La luz también es introducida por ventanas orientadas al norte que entregan una luz constante, sin sol directo, durante todo el día (Figura 3.68 a).

Sin duda, uno de los avances más importantes que la dupla acero-vidrio, sumada a la creación del ascensor (y la cuerda de acero), aportan a la arquitectura es la factibilidad de realización de la edificación en altura, originada en Chicago a fines del siglo XIX como consecuencia de la reconstrucción de la ciudad luego del incendio de 1871.

Durante el Art Nouveau la luz juega un papel importante, en especial y por primera vez, la luz artificial generada eléctricamente forma parte de la propuesta de diseño. La luz natural es introducida al interior de manera diferente a través de los intersticios de las estructuras de acero que parecen dibujar las líneas de empujes estructurales. Los avances en la fabricación de vidrio permiten dar las caprichosas formas que estos intersticios producen, no sólo en cuanto a su silueta, sino muchas veces construyendo la arista curva de un volumen translúcido (Figura 3.70). La planta se limpia de muros y se avanza hacia la planta libre que deja recorrer la luz por el interior sin obstrucciones (Figura 3.71).

El incentivo al uso de nuevos materiales promueve la utilización del vidrio como pavimento, permitiendo el traspaso de luz de un piso a otro y pudiendo acceder a recintos completamente mediterráneos. En ciudades compactas como Bruselas o Ámsterdam, la iluminación con luz diurna del corazón central de los edificios de varias plantas genera cambios importantes en la percepción del espacio puesto que pasan de un modo históricamente oscuro y tranquilo a uno luminoso y dinámico (Baker, Steemers, Op.cit. 20).

El advenimiento de la luz artificial genera importantes requerimientos técnicos tanto para la producción de energía suficiente como para el desarrollo del aparataje eléctrico. Este hecho genera la necesidad de creación de un organismo científico regulador que permita la generación de conocimientos cuantificables en cuanto a energía e iluminación. En este contexto nace la CIE, *Commission Interna-*

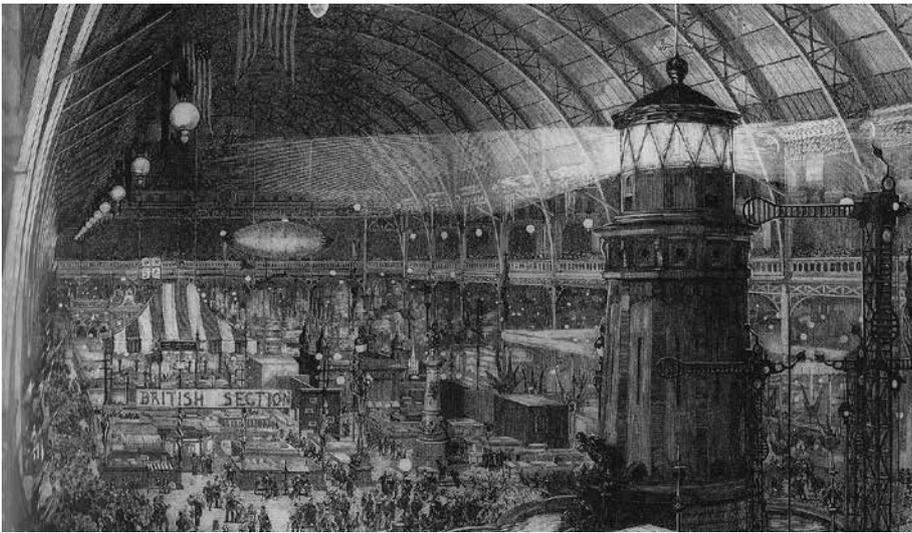
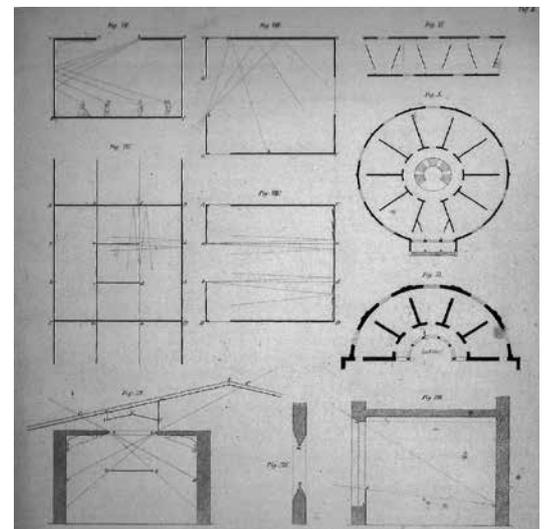
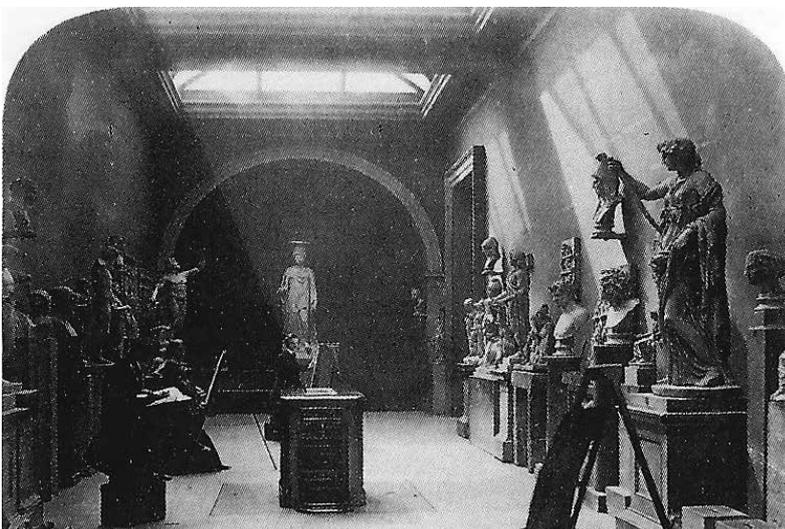


Figura 3.69: Arriba: Iluminación artificial en una feria nocturna. Centro: Luz natural en lugares públicos, funcionalidad y salud. Salle Labrouste. Fuentes: Light! (Blum, Lippincolt, 2000).



Figura 3.68: a. Biblioteca nacional de francia. b. Luz natural como higiene. Fuentes: Salle Labrouste

Figura 3.70: Luz natural en el museo. Estudios de iluminación en arquitectura. Light! (Blum, Lippincolt, 2000).



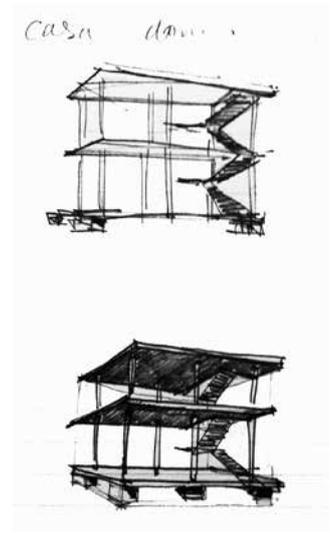
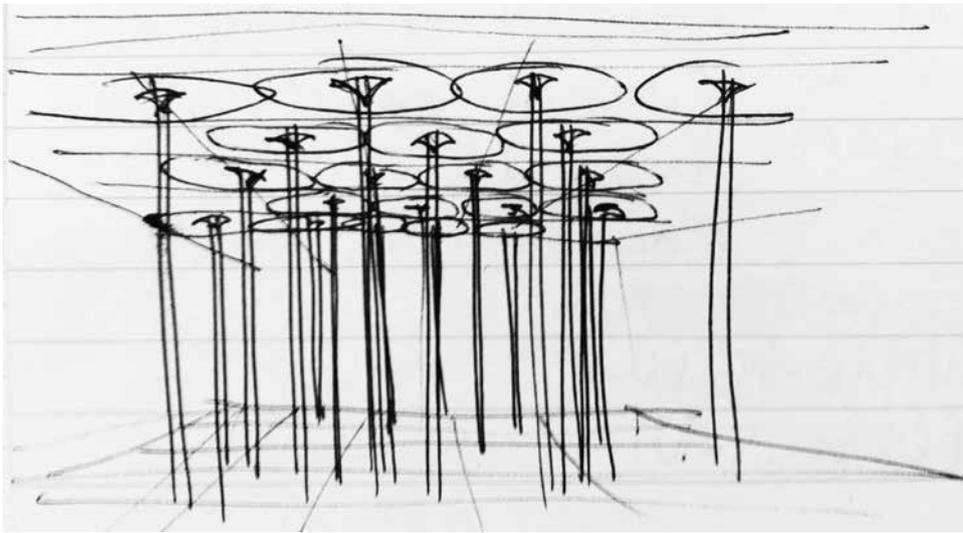


Figura 3.71: Esquemas de los nuevos sistemas estructurales en base a hormigón armado que permiten el traspaso de la luz. Fuentes: Archivo de la autora.

*tional d'Eclairage* (Comisión Internacional para la Iluminación) quien por primera vez desarrolla conceptos científicos en cuanto a fotometría y da lugar a la creación de la ingeniería en iluminación y la luminotecnia. Así se inicia la investigación para cuantificar los niveles de luz con el fin de satisfacer las necesidades humanas.

Dado que la luz comienza a ser materia de estudio y de consumo desde el momento en que aparece la luz eléctrica, hay consenso entre los expertos de la época en que los niveles de iluminación deben aumentar para mejorar las condiciones de confort. En este contexto aparece el uso del bloque de vidrio para acceder con luz natural, ya estimada como saludable y sin costo (a diferencia del alto costo de la luz artificial de aquel entonces).

La posibilidad de construir grandes paños vidriados provocó un cambio trascendental en la arquitectura, su estética, su uso y su percepción interior. Aparecen ventajas y desventajas de la luz, a grandes rasgos la virtud de la iluminación y las desventajas del deslumbramiento, la pérdida de la privacidad y el sobrecalentamiento del interior en verano. El deslumbramiento y la intimidad comienzan a tratarse con elementos en las ventanas como persianas u opacidades del vidrio. El calor, con la generación de frío con aire acondicionado pero este implemento aumentó drásticamente los niveles de consumo energético. Los avances en estructura y envolvente, sumado al proceso de modernización de la sociedad en general, provocaron no sólo cambios en el aspecto exterior del edificio, sino en el funcionamiento interno, puesto que la piel exterior se vuelve luminosa y expuesta por lo que los recintos que dan al exterior deben comportarse de manera diferente. Para evitar la exposición de la intimidad, el bloque de vidrio y sus derivaciones son de gran utilidad pues su naturaleza translúcida más que transparente permite el acceso de luz sin la vista directa.

En estas materias el bloque de vidrio fue fuente de numerosas experimentaciones y avances. Se utilizó tanto en paramentos verticales como muros y ventanas y horizontales, en cubiertas, canopias y pavimentos externos que, por medio de la re direccionalidad de la luz, podían introducirla en sótanos y entresijos. El bloque de vidrio complejiza y enriquece la arquitectura de fines del siglo XIX, reemplaza

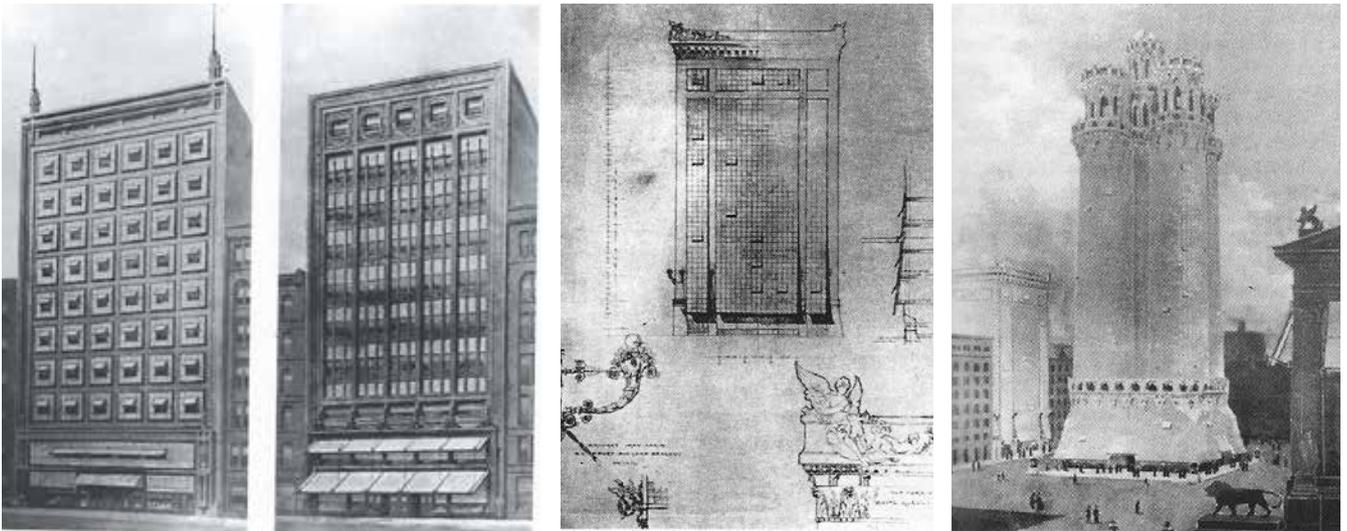


Figura 3.72: Láminas del concurso de la Luxfer. Wright y Adamo Boari. Fuente: Glassblock (Corrao, 2010).

la transparencia por translucidez, la arquitectura puede analizarse ahora como estructura y función (Corrao Op.cit.).

Una de las empresas más importantes en la fabricación de bloques fue la Luxfer Companie. Esta compañía desarrolló prolífica investigación en vidrios prismáticos, vidrio para pavimento, canopías redireccionadoras para fachadas y bloques para muros con motivos artísticos. Sin embargo, los precedentes son muy anteriores, en 1704 Richard Cole inventa el difusor cónico que capturaba los rayos solares y los difundía en forma uniforme hacia el interior.

La Luxfer trabajó bajo el nuevo modelo de concursos donde participaron importantes arquitectos como F. L. Wright, Bruno Taut y W. Gropius. Su intención era desarrollar investigación en aplicaciones para los bloques en los conceptos de la nueva arquitectura. Las propuestas de Wright introdujeron grandes áreas translúcidas modulando las dimensiones desde el tamaño del bloque, pero sus propuestas no abandonaron del todo los conceptos clásicos de modulación por piso ni uso de cornisas. En ese sentido la propuesta de Adamo Boari, un joven arquitecto italiano es infinitamente más radical, cubre toda la fachada con bloques Luxfer lo que genera un verdadero *proto-courtainwall*. Incrementa en un 20 por ciento la cantidad de vidrio y con ello la cantidad de luz natural y genera un nuevo paradigma en el concepto de envolvente (Figura 3.72 y Figura 3.74).

Los edificios de varias plantas hicieron posible la creación de halles y recintos de más de un piso, donde frecuentemente fue posible iluminarlos con luz natural ya sea por el perímetro o por la cubierta con luz cenital. Esos espacios muy iluminados, sobre todo si la orientación es sur (en hemisferio norte) son dinámicos y cambiantes durante el día y durante el año. Ejemplo de esto es el edificio Goteborg Town Hall en Suecia, de Gunnar Asplund de 1937 (Baker, Steemers Op.cit. 23).

Algunos ingenios de luz del modernos de Alvar Aalto pueden verse en la Biblioteca de Rovaniemi, lucarnas puntuales (lightscoops) y linternas cónicas. Estas últimas no permiten el acceso de sol directo por su profundidad, están estudiadas para las importantes inclinaciones solares de Finlandia. La luz

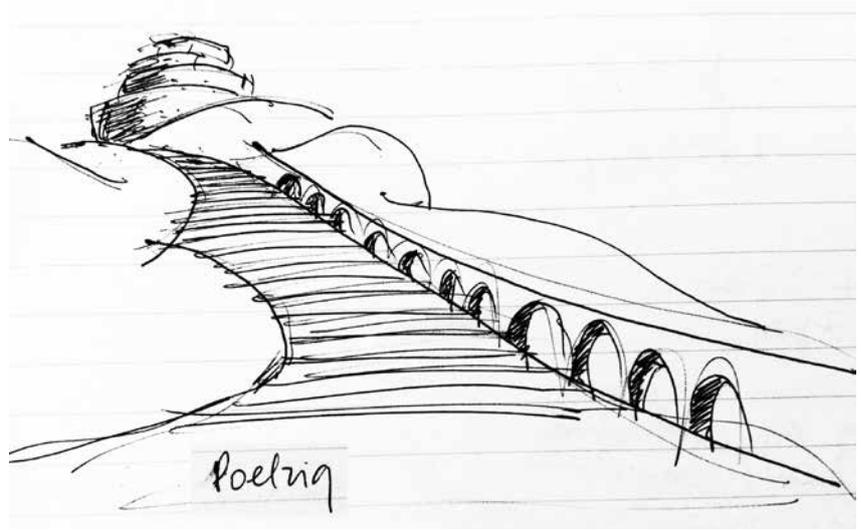


Figura 3.73: Glassblocks: Pabellón de Cristal de Bruno Taut. Ideales utópicos del expresionismo de Poelzig. Fuentes: Archivo de la autora.

que producen ilumina los planos horizontales, lo que genera un efecto de percepción dinámico. Los puntos de luz en cambio tienden a iluminar elementos verticales. Las paredes de todos estos sistemas de luz son blancas para asegurar la iluminación difusa por reflexión.

Le Corbusier incorpora cañones de luz (*canons de lumiere*) en direcciones diversas y usando vidrios colorados con el fin de colorear la luz. La diversa rugosidad del concreto de los muros sumado a la coloración de la luz hace contrastar las diferencias entre lo terreno y lo divino (Ibid, 24).

A principios del siglo XX la producción en serie es casi por completo automática, incluida la mecanización del proceso de fabricación del vidrio plano y la fabricación de bombillas para luz eléctrica. En 1879 la Corning Glass Works la producía serialmente en un proceso en gran parte automático. A principios de 1900, se logran paños de vidrio de hasta 12 metros de largo por 75 centímetros de ancho, a través del sistema de soplado de cilindros con aire comprimido (Vásquez 2006). Para el segundo decenio de 1900, la industria era capaz de producir 120 metros de vidrio en un espesor de 3 milímetros, con ello el total de vidrios requeridos para la construcción del Crystal Palace habrían sido posibles de fabricar en dos días (Persson 1969, 8-19).

La diferencia entre soporte y estructuración del vidrio se había planteado como problema desde los invernaderos del siglo XVIII pero sólo al inicio del siglo XX este problema se entiende conceptualmente separando las funciones de cerrar y soportar. Este hecho genera la idea clara de fachada vidriada, sacando la estructura portante del edificio de la cara expuesta de la fachada. Al construirla se generó de inmediato un problema que hasta el momento sólo había sido importante en los invernaderos: el control de la temperatura interior frente a la radiación directa sobre la fachada de vidrio.

El problema fue tempranamente abordado en a fábrica Giengen/Brenz, en 1904, que dio origen a la doble fachada de vidrio ventilada con cámara de aire. Este sistema utilizaba un vidrio transparente por el interior y un traslúcido por el exterior, permitiendo la iluminación natural en forma controlada por un sistema adicional de extractores y celosías (Vásquez Op.cit 21).

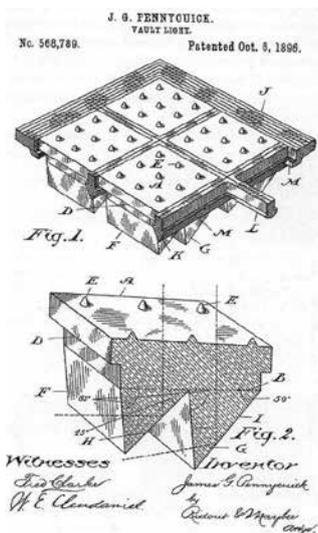


Figura 3.74: Glassblocks: Planimetría para patente, uso urbano en una galería de Madrid y planta de la Ronchamp, de Le Corb. Fuentes: [www.google.com/patents.com](http://www.google.com/patents.com) y archivo de la autora.

Otro importante avance tecnológico fue la invención de la fachada ligera capaz de trabajar a flexión dada su estructuración en base a materiales elásticos. Este elemento se comportaba como una piel externa sin funciones estructurales que por el contrario, pendía de la estructura portante del edificio. Por esta causa, debía ser liviana y eficiente en cuanto a sus funciones: eficiencia lumínica, aislación térmica, aislación hidrófuga y aislación acústica.

En el edificio de la Fabrica Fagus, Walter Gropius y Adof Meyer idearon un sistema transparente de encuentro de esquinas tan efectivo que hasta hoy es utilizado. Este edificio, gracias al tratamiento que le da al vidrio y no por su forma exterior, es considerado por Banham como la primera obra del movimiento moderno (Ibid). Para Banham, sin embargo, la combinación más brillante lograda entre vidrio y acero en este período fue el Pabellón de Cristal de Bruno Taut que realizó en bloques de vidrio de la Luxfer Prism. Bruno Taut utilizó los sistemas de bloque en el Pabellón de Cristal en 1914 y la Luxfer participó como su principal sponsor. La casa se transforma de noche en un elemento luminoso y su brillo se transforma en una idea que permanece en el imaginario colectivo de los arquitectos expresionistas, *glowing from inside*, la idea utópica del edificio luminosos como el nuevo centro social, la corona de la ciudad, ideal de arquitectos expresionistas como Taut (Corrao Op.cit. 21) (Figura 3.75).

Para la época el vidrio se había convertido en el material capaz de realizar los anhelos y aspiraciones existenciales de la época lo que queda plasmado en las obras del poeta Paul Scheerbart y de Taut. Scheerbart recopila en *Glarchitektur* (1914), libro dedicado a Taut, una serie de relatos fantásticos que utilizan el vidrio como material revolucionario que va más allá de la arquitectura, involucrando a la cultura en general (Scheerbart 1914), ataca el funcionalismo por su falta de artisticidad y defiende la sustitución del ladrillo por el cristal (vidrio). También describe la importancia de ciertas soluciones técnicas como la pared de vidrio doble por su eficiencia térmica, el bloque de vidrio como material translúcido y portante y la lámina de vidrio laminado como un material prácticamente irrompible. En términos prácticos, Taut utilizó el vidrio para exponer las potencialidades de los nuevos materiales en relación con sus ideales, lo que queda establecido en su libro *Arquitectura Alpina* y la creación utópica



Figura 3.75: AEG, Peter Berens. Fuentes: digilander.libero.it y www.wikipedia.org.

del grupo La Cadena de Cristal (donde Taut utilizó el pseudónimo Glas), así como para dar soluciones concretas a la habitabilidad de la vivienda y su necesidad de luz natural, lo que puede verse en las obras urbanísticas que realizó entre los años 1924 y 1931 (Figura 3.73).

A partir de la década de 1930 la arquitectura abandona el uso de bloques translúcidos y prismas. Las razones son varias entre ellas, la luz artificial se hace más accesible al bajar el costo de la electricidad, disminuye la innovación en arquitectura debido a los conflictos internacionales, se desprestigia el sistema debido al alto costo de mantención y limpieza, la arquitectura de carácter racional busca la transparencia y fidelidad de la imagen por sobre la translucidez.

El período entre guerras se caracteriza por la búsqueda de un lenguaje universal, común y consensuado en los valores que se saben los positivos, racionales y funcionales. De ahí que luego de la llamada Modernidad el período que lo continúa se le denomine Funcionalismo. Este período se distancia de los historicismos anteriores y busca la depuración completa del lenguaje, que otra vez vuelve a ser universal. Es arquitectura de volúmenes simples, pieles delgadas con gran cantidad de vidrio que carecen de ornamentos y detalles (Figura 3.76). Otra particularidad del período es que la gran influencia de este período se produce en sentido contrario al que había ocurrido desde el siglo XV, de oeste a este, de América hacia Europa.

En la década del 50, el vidrio había alcanzado un nivel de producción muy eficiente y de alta calidad. Entre los productos que había logrado la industria del vidrio estaban: las vidrieras dobles con cámara de aire sin condensación, que ahorraban, según sus fabricantes, hasta un 23% de calefacción; el Termolux, vidrios translúcidos con fibra de vidrio; los vidrios reflectivos; las láminas absorbentes de calor; vidrio templado con excepcional resistencia mecánica; vidrio templado de color fundido; vidrio estructural transparente; vidrio arquitectural; bloques, baldosas y ladrillos de vidrio; y por último el vidrio laminado de seguridad (Vásquez Op.cit. 38). Estos avances tecnológicos permitieron a los arquitectos no sólo proyectar edificios con formas novedosas sino controlar cada vez más las condiciones de confort térmico, acústico y, por supuesto, lumínico.



Figura 3.76: Loui Kahn en het Kimbell Art Museum, Fort Worth. Lingotto, edificio Fiat, Torino, arquitecto Giacomo Mattè-Trucco. Palazzo dello sport, EUR, Roma, P. L. Nervi. Fuentes: [www.metalocus.es](http://www.metalocus.es), [crazyweblog.blogspot.com](http://crazyweblog.blogspot.com) y [www.flickr.com](http://www.flickr.com).

Paralelamente al desarrollo del vidrio, en estados Unidos se desarrolla la industria de las fijaciones que, en conjunto con los avances en el proceso de fabricación del vidrio, permitirán la creación del muro cortina. Estas fijaciones en la década del cincuenta comenzaron a hacerse en aluminio, dejando atrás varias décadas de trabajo conjunto con el acero.

En Francia, se industrializa y comerciaba el vidrio con cámara de aire estanco que permitía el control térmico, y los vidrios armados con perfilería de aluminio. Estos avances resultaron ser una solución factible al no logrado muro neutralizante que intentó Le Corbusier en la década del 20, dado que en aquella época no era posible el control de la circulación de aire, lo que fue logrado una vez que Gustav Lyon logra hermeticidad y control de ventilación mediante el sistema de aire puntual (Ábalos 1992).

Al final del la década del cincuenta, la industria del vidrio en particular la compañía Pilkington, logra avances muy importantes en la fabricación del vidrio flotado experimentando con diversos metales en estado líquido. El vidrio logrado se denominó float y hoy cerca de la totalidad del vidrio plano sigue fabricándose de la misma manera.

Durante los 50s, las primeras indagaciones en el muro cortina pueden considerarse tradicionales porque aún cada paño funciona en forma independiente del resto, tal como si se tratase de una ventana normal solucionando en forma independiente los problemas de estanqueidad y dilatación. El primer edificio que utiliza la estructura externa en forma de piel vidriada es el Lever House, de Gordon Bunschaft y el grupo SOM, en 1952, donde los vidrios vienen sobre montantes de acero inoxidable fijados a la estructura del edificio. En este y otros edificios de la época se utilizaron vidrios de color que tenían capacidad de absorción térmica lo que permitía disminuir el consumo energético del sistema de climatización. El proyecto de la Lever House también incorporo el sistema de limpieza exterior, consistente en el carro deslizante similar al empleado por Le Corb en el Palacio de las Naciones.

Gracias a estos avances la arquitectura en altura tuvo siempre presente resolver tres aspectos fundamentales: la estructura, la climatización y el cerramiento (Vásquez Op.cit. 40). En estos aspectos el



Figura 3.77: Rascacielos en N.Y., Crystal Cathedral, Philip Johnson y Museo Pompidou, París. Fuentes: [www.michael-wolff.com](http://www.michael-wolff.com), [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) y archivo de la autora.

edificio de Seagram de Mies van der Rohe, es un ejemplo emblemático puesto que soluciona el muro cortina sobre una subestructura que se transforma en parte de la expresión formal del edificio, con vidrio de color en masa, que lograba un control térmico mayor de la radiación solar directa.

Entre la década del 50 y el 70 la construcción en vidrio sufre un retroceso debido a la crisis energética dada en esos años y a la creciente conciencia ambiental que surge en la sociedad. Empiezan a ser considerados como inviables los costos, tanto económicos como medioambientales, asociados al consumo energético de climatización dado por las ganancias térmicas que generaban los muros cortina (Figura 3.77). Si bien se utilizaban vidrios de color o reflectivos, esto no era suficiente para garantizar un bajo consumo energético en climatización, además los vidrios muy reflectantes u oscuros disminuían considerablemente la iluminación natural tan deseada por este sistema. Se inicia entonces un período de investigación científica que permitiera la explotación de la capacidad inherente de los materiales translúcidos, de captar energía.

Hasta 1970 no existen avances en relación al bloque de vidrio. A partir de allí las innovaciones se desarrollan en torno a la puesta en obra y nace el concepto de postura en seco por sobre la puesta en húmedo que es la forma tradicional. En la actualidad el bloque es frecuentemente utilizado puesto que las desventajas técnicas han podido mejorarse gracias a los nuevos conocimientos en materiales y sistemas constructivos. La apreciación contemporánea hacia la sensualidad de la incertidumbre vuelve a valorar la calidad de la luz tamizada por la translucidez del bloque (Figura 3.78).

Por otra parte se da inicio a la eliminación de la carpintería como elemento visual y puente térmico. Los primeros ejemplos pueden verse en la obra de Norman Foster en el edificio Fred Olsen Limited Amenity Center y en la Faber and Dumas Head Office donde introduce juntas de neopreno en el primero y de silicona en el segundo, acercándose cada vez más a una lámina continua de vidrio templado.

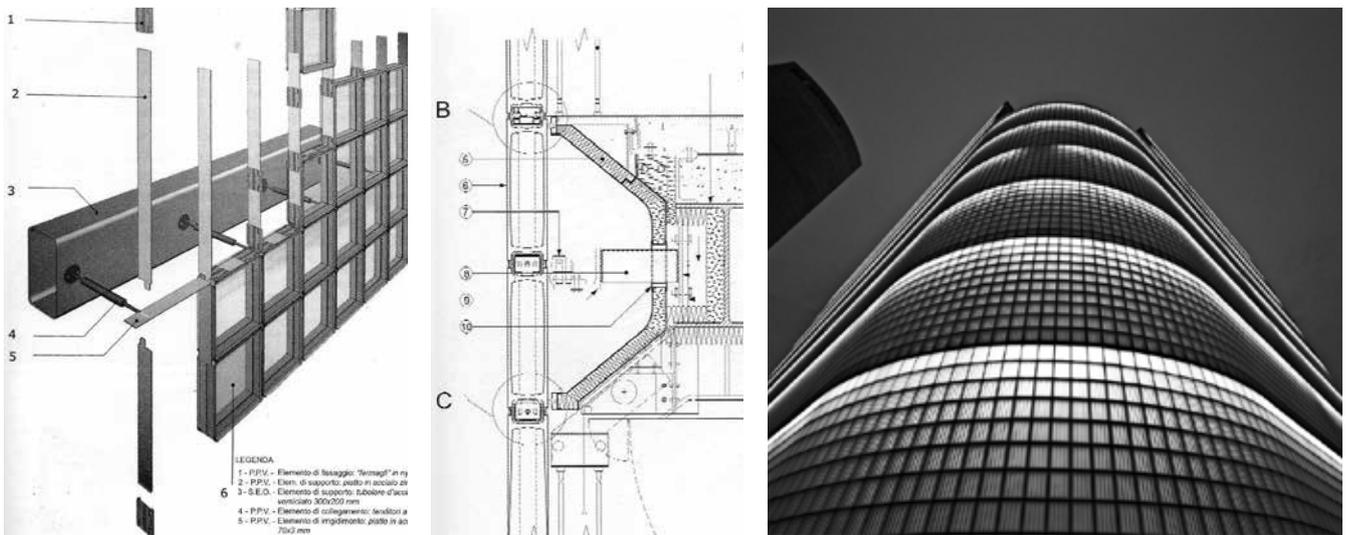


Figura 3.78: Sistemas contemporáneos de fijación de los glassblocks. Universidad de Deusto, Bilbao, R. Moneo. Fuentes: Glassblock (Corrao, 2010), flickr.com.

La eliminación total de la carpintería reemplazada por las juntas de silicona estructural adherente es actualmente una solución a la ruptura del puente térmico con muros integrales con desmaterialización de la junta. Un buen ejemplo de esto es la Pirámide del Louvre proyectada por Pei en los años ochenta.

En la actualidad el control térmico sin pérdidas de transmitancia se ha transformado en uno de los aspectos más importantes a resolver por la industria del vidrio, por eso, a parte de los avances en materia de carpinterías, puentes térmicos y cámaras de aire entre paneles de vidrio, hoy se trabaja sobre vidrios con distinta transparencia luminosa o energética, dependiendo de la ubicación del edificio y las condiciones climáticas del lugar.

## 3.12. HISTORICISMO Y MODERNIDAD EN CHILE

Los vestigios de la arquitectura más antiguos y comunes en Chile no tienen más de cien años. Hablar de nuestro patrimonio construido es, la mayor parte de las veces, referirse a la arquitectura construida hacia fines del siglo XIX y principios del XX, época en la cual se plasmaban los ideales de la modernidad, la ilustración, el neoclasicismo y el eclecticismo.

La revolución francesa repercute indudablemente en toda Europa y de ahí se expande a todas las colonias americanas a pesar de que ya estamos en los albores de la Independencia en la mayor parte de los países de América colonial. El arte se ve renovado a la par de los cambios políticos y sociales.

En Chile, la arquitectura previa y contemporánea al neoclásico, se sistematiza en la construcción antisísmica, que la lleva a robustecer los muros y disminuir considerablemente el tamaño de los vanos y su cantidad para mantener la integridad estructural del muro. Esta característica de la arquitectura genera interiores oscuros, aún cuando por lo general se trata de edificios de una sola crujía, correspondiente a la organización en torno a patios. El edificio de este tipo tiene pocos recintos mediterráneos, por el contrario, la mayor parte de ellos mantiene por lo regular un acceso directo en alguno de sus muros con el exterior, donde se pueden practicar ventanas (Figura 3.79).

Desde el norte hasta la zona central de Chile esta característica genera un fuerte contraste lumínico entre el interior y el exterior porque hasta la zona de Santiago el clima es fuertemente luminoso durante la mayor parte del año.

Uno de los edificios más emblemáticos de este período es el Palacio de la Real Casa de Moneda, del arquitecto italiano Joaquín Toesca (Figura 3.81). Toesca llega a Chile a fines del siglo XVIII por lo que su obra abarca este período hasta los inicios del siglo XIX. La Moneda fue encargada como edificio para acuñar monedas, tal como lo señala su nombre, sin embargo, gracias a la grandiosidad del edificio hoy se utiliza como Palacio de Gobierno. La Moneda es un edificio de bellas proporciones (Benavides Op.cit. 255), que se organiza en un eje de norte a sur, en torno, en un principio, a ocho patios, con volúmenes de doble crujía perforados por sus caras exteriores. Actualmente, debido a las diversas



Figura 3.79: Casa Carmona, La Serena. Historisista o ecléctica. Fuente: Restudio.

transformaciones que ha sufrido conserva sólo cuatro patios . Se construyó en ladrillo de arcilla y no en adobe, por lo que ha resistido varios terremotos sin destruirse. Los muros son revestidos con estuco de cal y arena. Se utilizó piedra para algunos detalles arquitectónicos como dinteles, balaustas y escaleras. El espesor de los muros, los contrafuertes y la alta proporción de lleno sobre vacío denotan las medidas de precaución antisísmica que tomó Toesca. Los vanos, a pesar de su pequeña proporción respecto del total, son de gran tamaño, cerrados por rejas de hierro forjado traído de Vizcaya. Su estilo es clásico simple, sin influencias de la arquitectura americana que se había desarrollado durante los tres últimos siglos donde se mezclan los estilos europeos y las geometrías precolombinas. Es característico de este edificio el ritmo de pilares contrafuertes de orden clásico que se distribuyen uniformemente en toda la fachada y las evidentes simetrías totales y parciales. La reiteración de pilares y sus correspondientes basamentos y capiteles de líneas clásicas, provocan un ritmo característico y fachadas vibrantes, sobre todo cuando el sol las ilumina de costado produciendo claro-oscuros fuertemente marcados. Una vibración que llenan de líneas y sombras las caras exteriores del edificio.

En cuanto a la imagen general de la arquitectura durante el período neoclásico, se conserva el espaciamiento entre vanos del período anterior (colonial), hay poca decoración con reminiscencias al tipo de arquitectura del Classic Revival, que tiene lugar en Estados Unidos después de la Independencia, fuertemente influida por la personalidad del presidente arquitecto Thomas Jefferson, quien propone una arquitectura inspirada en Grecia y el neoclasicismo francés (M. de la P. 1979).

En Chile, este es un período de gran auge constructivo, con una fuerte influencia de técnicos en la construcción que han llegado al Chile por el auge de la minería. Estos constructores extranjeros se establecen en distintos lugares del país y desde ahí forman carpinteros regionales.

Hacia fines del período, dentro de las características estilísticas, encontramos que se hace menor el espaciamiento entre vanos, la carpintería decorativa de portadas y vanos se hace más rica y elaborada y se generaliza el antetecho que realza la portada. A la vez que las fachadas se enriquecen con pilastras de carpintería, y hace su aparición la tejuela de alerce, derivada del auge maderero de Chiloé (Ibid).



Figura 3.80: Teatro Huemul y su gran lucarna. Galerías comerciales vidriadas en Santiago de Chile. Fuentes: Elaboración propia y [www.uchile.cl](http://www.uchile.cl).

Las características estilísticas en Chile se debieron en gran parte a las habilidades de los maestros carpinteros extranjeros y regionales pero también a la transferencia cultural que se dio entre las ciudades del territorio donde se tranzaban las economías nacionales y regionales. Por lo menos entre las ciudades de La Serena, Santiago y Valparaíso debió existir un intercambio que también fluyó entre los estilos de las construcciones relevantes. La itinerancia de los arquitectos durante el siglo XVIII facilitaba el traspaso de ciertos modelos formales que habían sido traídos desde una provincia cultural, es así que Filippo Juvara habría influenciado a Sacchetti, activo en España, a Vanvitelli que a su vez influenciaría a Sabatini, arquitecto de Carlos III, y éste finalmente a Toesca (Benavides Op.cit.).

Superado el período neoclásico, el historicismo y eclecticismo penetran en el gusto dominante de arquitectos y clientes hacia fines del siglo XIX y hasta casi tres décadas del XX. El neo romántico, el neo bizantino y el neo gótico fueron los estilos obligados. El neocolonial, se gesta a comienzos del siglo XX, con el centenario de la Independencia Americana como hito en la búsqueda de una expresión propia. Posteriormente, la Exposición de Sevilla de 1929 y también otras vertientes como el estilo Californiano o Mission desde los Estados Unidos, serán influencias importantes en su desarrollo. En medio de todo esto aparece también la polémica surgida por las propuestas del realismo socialista que proponía la vuelta al figurativismo y una crítica radical a los planteamientos de la arquitectura moderna.

En la arquitectura civil la gama de posibilidades de inspiración histórica no tenía prácticamente límites. En este período se encuentra una carpintería muy elaborada que no se ciñe tan estrictamente a un orden, como lo fue en el período Clásico.

Mientras decaen el neoclásico y el eclecticismo, llegan a Chile las corrientes que se habían gestado en Europa varios años antes. El Art Nouveau trae una nueva propuesta se expresa en el arte de la pintura, pero será en la arquitectura y en las artes aplicadas donde se relaciona más directamente con los grandes progresos técnicos e industriales que caracterizaron las últimas décadas del siglo XIX (Figura 3.80). Revolucionario en sus proyecciones sociales, el nuevo movimiento ya no mira hacia lo antiguo



Figura 3.81: Arriba: La Moneda y Estación Central de Santiago. Abajo: La Moneda durante su bombardeo en 1973 y hoy, con la plaza iluminada con los reflejos de los edificios que la rodean. Fuentes: [www.memoriachilena.cl](http://www.memoriachilena.cl) y [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl).



sino que busca en el mundo contemporáneo los estímulos y los medios de concretar la nueva forma de expresión. Los motivos ornamentales más diversos inspiran su decoración: incrustaciones calcáreas, algas marinas, elementos de la vida orgánica e inorgánica, arabescos abstractos, composiciones geometrizzantes, donde las formas ondulantes y vegetales destacan singularmente.

En 1937 se instala la primera planta de vidrio plano en Chile coincidiendo con el inicio de su utilización masiva para la arquitectura moderna nacional (Vásquez Op.cit.).

### 3.13. LA LUZ EN LA ARQUITECTURA DE HOY

Observar lo contemporáneo desde lo contemporáneo es una tarea compleja y muy difícil de argumentar objetivamente. La evolución de la arquitectura es continua y aún no han quedado plasmados los actos u obras que van a advertir lo relevante. Tal como menciona Buch (op.cit.), el fenómeno autocatalítico del desarrollo tecnológico, o sea que se autoacelera por su propio progreso, hace imposible prever cuáles serán las características y necesidades del futuro, incluso cercano, entonces, se hace imposible prever cómo será vista la arquitectura de hoy y qué de ella quedará como importante. Hasta fines del siglo XX, por ejemplo, nadie predijo la importancia que tendrían las comunicaciones de internet, aun cuando ya se sabía de la revolución que estaba generando la computación. Estos cambios afectan evidentemente la conformación de la estructura y organización de las sociedades humanas y por supuesto tienen un impacto en la arquitectura.

Entonces, hablar de lo contemporáneo no es más que reducir el pasado a un período pequeño de tiempo. Haciendo este ejercicio, es posible describir algunos hechos observables en el pensamiento actual, lo que ha descrito Sofía Letelier en el texto *Pensamiento Contemporáneo Postmoderno* que se cita a continuación (Letelier 2005).

“El valor del resultado de los actos que daba el racionalismo se desplaza desde lo explícito y perfecto de los ideales, hacia los procedimientos en su valor de expansión de la experiencia, lo que Proust y Arteaud ya habían ensayado (Deleuze 1997).

El lenguaje acepta mayor potencia y determinación en lo indeterminado, en lo indiscernible, por el esfuerzo de devenir aquello que se implica. Se abren mundos insospechados y una personalización del discurso, desde los deslizamientos y recomposiciones semánticas (Ibid, cap. ‘Literatura y Vida’ y ‘El procedimiento’). Se hacen evidentes nuevos planos de realidad al reparar en las continuidades tautológicas e infinitas que pueden descubrirse en todo texto, y lo engañoso de las dualidades con que entendemos la realidad, cuyo descubrimiento moviliza o paraliza (Ibid, cap. ‘Sobre Lewis Carroll’ y ‘Lo perceptible/Imperceptible en Beckett’).

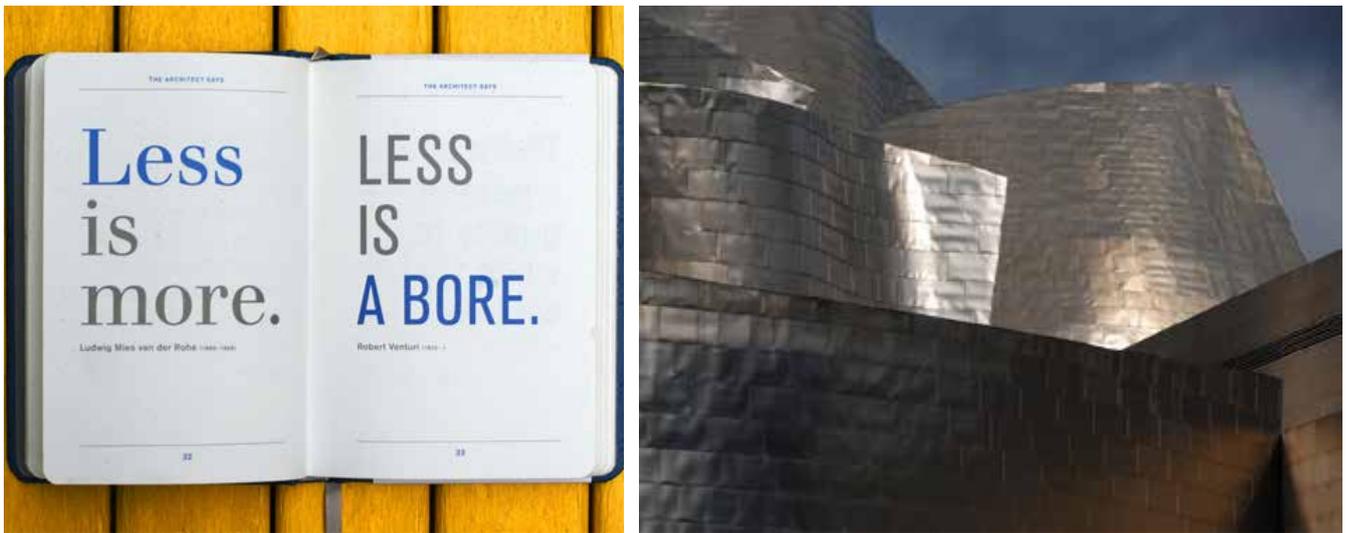


Figura 3.82: Confrontación: Mies van de Rohe y Robert Venturi. Fuente: <http://www.brainpickings.org>, en marzo de 2014, del libro *The Architect Says: Quotes, Quips, and Words of Wisdom*, de Laura S. Dushkes. Image XXX. F. Gehry, Museo de Bilbao. Fuente: Archivo de la autora.

El concepto de tiempo, sufre una ‘dislocación’ y se vuelve hacia la intimidad, como Kant ya lo había concebido dos siglos antes (Ibid, cap. ‘ Cuatro fórmulas poéticas’). Se instala así una revaloración de la memoria, pero de tiempo subjetivo y se releen las preexistencias como huellas o indicios en su valor personalizado y local.

Pierden vigencia los ‘metarrelatos’, especialmente los paradigmas reduccionistas (sobresimplificados) y legitimistas (necesidad de demostración de a las ideas) que regían el período moderno racionalista, aceptándose el ensayo, la complejidad y lo inacabado. Se sustituye la legitimación por una justificación, más centrada en las diferencias (Lyotard 1979).

El advenimiento de una atmósfera de desencanto (anticipada por Nietzsche), trae la estigmatización de los metadisursos, valida la fragmentación y la convivencia de múltiples minirrelatos ad-hoc, junto con la decadencia de los ideales de unificación. La relativización y pérdida de focos y propósitos comunes permite abatir y cuestionar las fronteras de las nociones y del conocimiento.

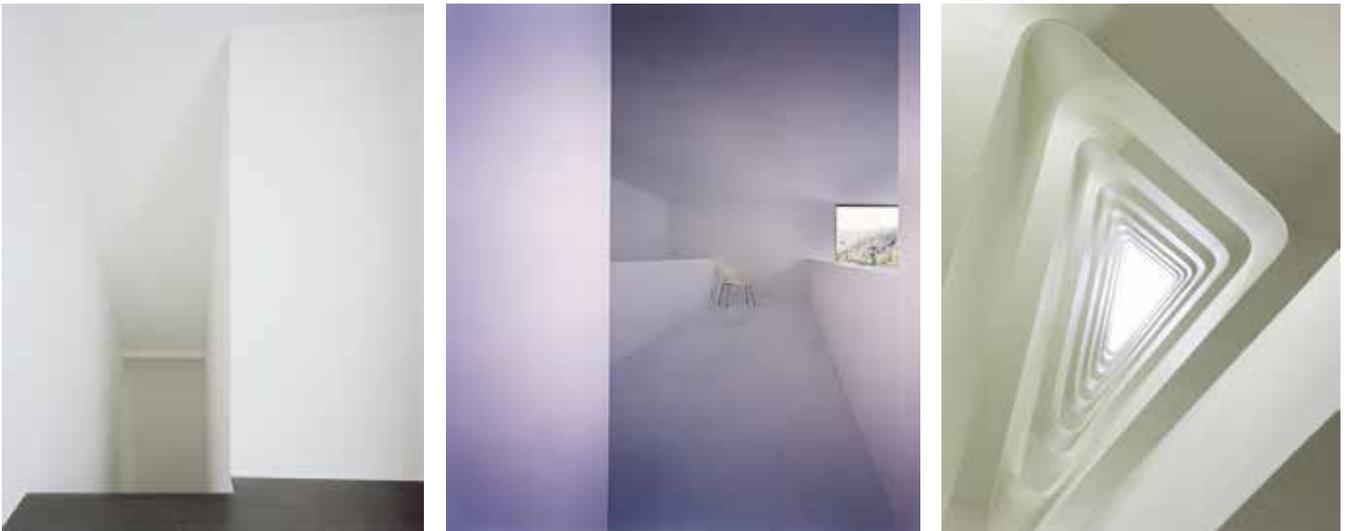
El mundo posmoderno concibe una realidad sistémica más que estructurada, abierta e inestable, determinada por la mirada (Lyotard, Op.cit.). Se asume la incertidumbre de aceptar la Historia como un proceso discontinuo, asincrónico y multidireccional, que cuestiona hasta la idea de misma de vanguardia al negarle el rol de normatividad a la Historia. Así, al exaltar la diversidad aparece el individualismo y un relativismo axiológico (Hopenhayn 1994).

Estas características propias del pensamiento contemporáneo, apelan a un sujeto emocional, evocativo y sensitivo, que se mueve en una simbólica existencial, con rechazo a las utopías. Es un sujeto que acepta un hibridismo de expresiones buscando la vitalidad que nace de la complejidad/ambigüedad/contradicción (Venturi 1966) (Figura 3.82). Es un individuo que busca alejarse del logocentrismo y de egocentrismo, siente rechazo a la síntesis en totalidades explícitas y sospecha de la pura orientación sensorial, ausente de sentido (Hopenhayn Op.cit).

El pensamiento contemporáneo tiene una expectativa positiva sobre el azar, una valoración de lo subjetivo, una preferencia por el fenómeno por sobre la realidad física, considera la realidad y su circunstancia como un sistema abierto y dinámico, acepta la complejidad sin buscar lo simple, hace énfasis en el procedimiento por sobre el propósito, sospecha de las representaciones, opera con una forma de conocimiento paralogica, reconoce y se abre a las características imperfectas de lo humano: lo indecible, lo indeterminado, lo ambiguo, lo contradictorio, la multiplicidad de significados. Recurre a mecanismos que plantean un desafío: la provocación, el humor, la tensión. Evita la obviedad de lo evidente.

La complejidad que se destapa puede mover tanto a la impotencia como a la inventiva. La definición originaria de la crisis alude, justamente, a un momento de máxima inflexión cuyo desenlace está poblado de incertidumbre: nadie garantiza un salto dialéctico hacia una fase superior, y ninguna sociedad está exenta de riesgos de colapsos sucesivos. Al calor de esta ambivalencia, vamos y volvemos del entusiasmo a la desesperanza. Postmodernos por osmosis, en medio de una modernización pendiente (Letelier 2005).”

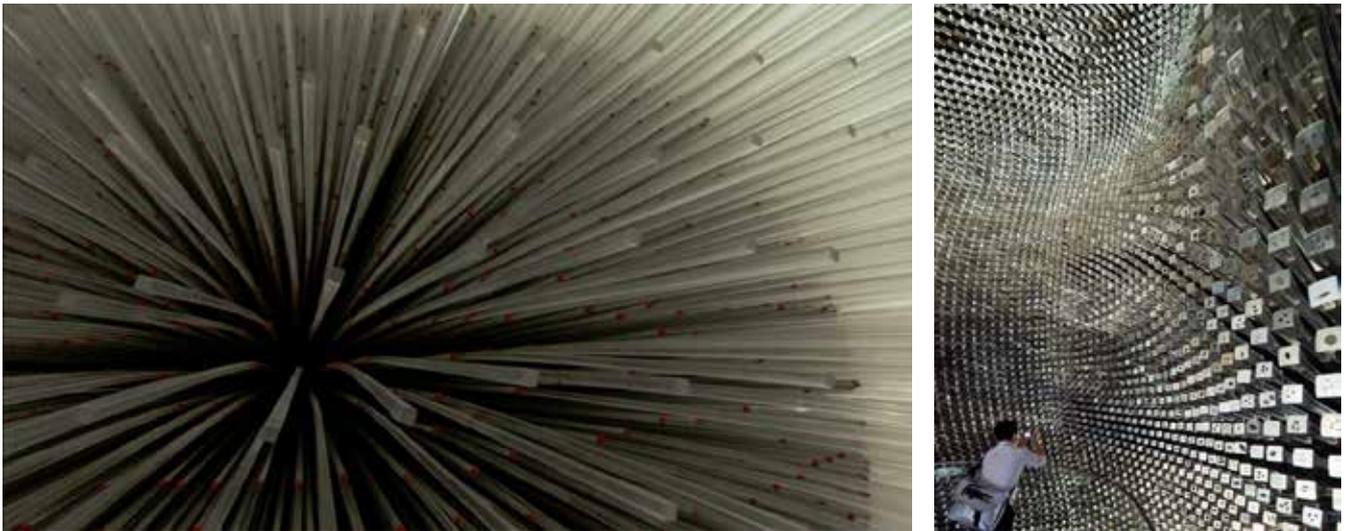
En cuanto al uso de la luz y su relación con estas características, para el presente capítulo se han descrito algunas obras que parecen revelar este tipo de pensamiento. Los textos que acompañan las imágenes han sido publicadas en *Atrapaluz*, del artefacto a la intervención (Wolff, et.al. Op.cit.).



Los espacios parecieran tener un sonido sordo que emana de la sensación ambiental de lechosidad dada por la luz omnipresente. La falta de color, sombras y contrastes acentúan esta sensación que en lo táctil pareciera mantener también una temperatura constante y templada (ffffound.com).

Los accesos de luz, que son a la vez aberturas hacia el exterior en la cubierta, permiten que el sol ingrese como rayo, dibujando la circunferencia del vano. El rebote de luz dado por la reflexión del rayo en el pavimento claro y la terminación semipulida del hormigón en piso y cielo (no hay paramentos verticales) permiten que la cubierta también se ilumine desde abajo. La luz de rebote y el rayo no coinciden perfectamente por ello se genera un 'ambiente de luz' en las zonas cercanas al vano. Este ambiente está en contraste con los 'ambientes de sombra' ubicados en los costados bajos. Las zonas iluminadas se ven más amplias y altas y por el contrario las oscuras se perciben más bajas, pesadas y horizontales (Teshima art museum. archidialog.com).





El uso de puntos de luz a modo de pixel denota la curvatura del espacio por cuanto es posible apreciar la deformación en la trama, como si fuera la piel de un organismo visto desde adentro. La luz homogénea produce un espacio continuo donde la oscuridad se concentra hacia el centro del recinto, lejos de los muros. No se producen sombras por tanto no hay contrastes dados por la luz (Pabellón Inglaterra Expo Shanghai. [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)).

El pasillo, si bien está proporcionado en igual ancho que alto, la curva y las facetas de los cristales evidencian el largo del pasillo y lo proporcionan hacia la verticalidad. El cambio en el color de los cristales genera sub-ambientes dentro del corredor donde la sensación de temperatura es diferente: parece hacer más calor en la zona naranja. Este color, similar a la piel humana, homogeniza los rasgos por lo que los detalles de las facciones tienden a perderse (Olafur Aliasson. Your Rainbow Panorama, Dinamarca. Foto de Flaminia Lenti).





Estos vanos de luz se deben ver en conjunto con el contraste de oscuridad del entorno que provoca tensión hacia la fuente, alusiva a una ventana pero sin vistas ni variantes en las cantidades de luz. Por otro lado rememora la pantalla, un elemento no arquitectónico pero muy presente en nuestra vida cotidiana y nos hace preguntarnos ¿qué relación hay entre una ventana y una pantalla? (Alfredo Jaar y Emilio Marin. [plataformaarquitectura.cl](http://plataformaarquitectura.cl))

Izquierda. Tanto la posición como la gran cantidad de molduras provocan una imagen inhabitual, absurda, innecesaria, que utiliza estos elementos más por su imagen icónica que por su funcionalidad. La luz estimula la escena porque realza la forma y belleza pura de estos elementos por sobre la utilidad que prestan. Es una clara alusión al humor (Ronan & Erwan Bouroullec. [bouroullec.com](http://bouroullec.com)).

Derecha. El espacio se amplía por la enorme presencia de luz y la eliminación de la esquina, o límite espacial. El piso más oscuro se percibe como un límite de muros pero el cielo no acusa su delimitación por lo que el espacio se prolonga infinito hacia arriba. Lo más inquietante de este recinto es que lo que habitualmente conocemos como estructura -los vértices de los volúmenes- en este caso es etérea y frágil. Visualmente se termina de construir el volumen con luz e imágenes del exterior (Pasel.Kuenzel Architects. [plataformaarquitectura.cl](http://plataformaarquitectura.cl)).





El peso visual del 'cielo de luz' en contraste con el suelo de la misma área acentúan la horizontalidad y el espacio que queda entre ambos se percibe como 'contenido'. La geometría dada por los rectángulos del cielo provoca un efecto de perspectiva que prolonga el espacio hacia atrás. La uniformidad de la luz resalta el recinto como un 'volumen lumínico' dentro del total del edificio. Nuevamente el uso de un cielo de luz como elemento de la arquitectura que cumple dos funciones, cambia el sentido semántico de este y provoca interés en el que observa.

Izquierda. Si bien es imposible 'ver' hacia afuera es posible la orientación debido a la diferencia entre cantidades de luz que provienen de un muro y otro. Si estuviésemos en el hemisferio sur la pared más luminosa probablemente nos haría orientarla perceptualmente hacia el norte. O al oriente si es de mañana o poniente en la tarde. El uso del 'muro' como fuente de luz es una propuesta que inquieta por el 'desliz semántico' que da su doble función ¿soporte o ventana?

Derecha. La luz entregada en forma homogénea en algunos planos murales y en forma puntual en otros muros distorsiona la forma del espacio y se exageran los planos por sobre los volúmenes. Estos planos se ven duplicados por la presencia del agua que los prolonga y exagera la verticalidad. Sin la presencia del reflejo en el agua la sensación espacial sería horizontal y baja. La luz puntual propone énfasis en determinados puntos que pasarían desapercibidos sin ella. Esto reorganiza jerárquicamente la espacialidad general de este espacio interior (Cemento Litracon. litracom.hu).





En ambos casos el 'dibujo' de luz solar es notorio y figurativo e introduce un foco de atención importante en el espacio. En los dos casos la forma del recinto está tensionada hacia la fuente de luz. El rayo marca el paso del tiempo y ubica al observador en la hora del día al igual que lo ha hecho por 2 mil años el Pantheon y su rayo de luz que ilumina desde el óculo (Wespi de Meuron, Brione House. [archdaily.com](http://archdaily.com) y James Turrell, Roden Crater. [thedreambeing.com](http://thedreambeing.com)).

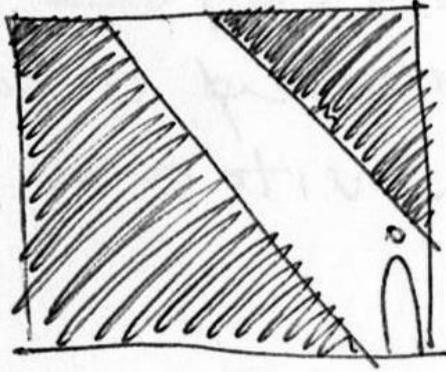
En el primer caso las trayectorias que se forman por la prolongación que se tiende a formar entre líneas verticales y horizontales del cielo confieren atención hacia el volumen central del recinto. En el segundo caso la línea interrumpta realza el juego volumétrico de las repisas que siguen el mismo patrón morfológico, perdiéndose la certeza de lo que es en realidad repisa o plano de luz (DIAV, oficinas Santolaya. [diav.cl](http://diav.cl) y repisas en una tienda. [hewetbrownfox.wordpress.com](http://hewetbrownfox.wordpress.com)).



### 3.14. COMPENDIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUZ EN LA HISTORIA DE LA ARQUITECTURA

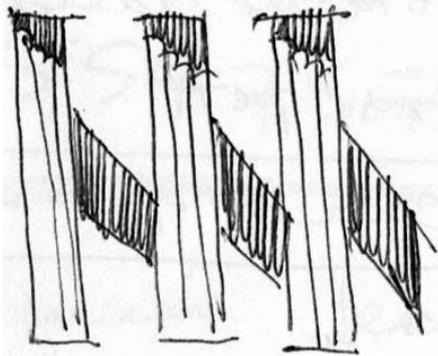
Concluir cómo fue construida la luz en la arquitectura de los diversos períodos de la Historia es difícil puesto que existen muchas estrategias y sistemas y tecnologías que convivieron al mismo tiempo. Sin embargo, tanto las obras como los sistemas que perduraron y que influyeron en la arquitectura que le sobrevino a cada período, se reduce a menos ejemplos.

En la siguiente conclusión, el ingenio humano expuesto a través de los sistemas, estrategias y tecnologías utilizadas para el uso o control de la luz natural y utilizados en la larga historia de la arquitectura, se ilustra en aquellos casos que han sido aportes fundamentales en el posterior desarrollo de la actividad constructiva y los que, en su mayor parte, son posibles de ver y reconocer hasta el día de hoy.

**ESQUEMA ABSTRACTO****CONCEPTOS****TÉCNICA****EGIPTO**

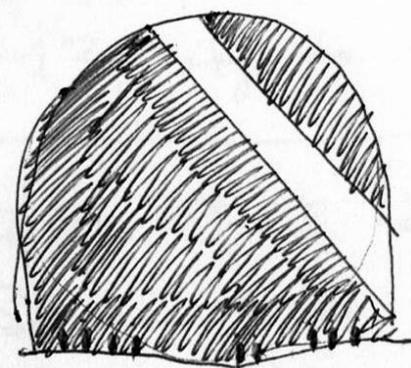
Magia  
No variable  
Eternidad

Perforación monolítica en la cubierta.  
Luz lateral por el espacio bajo el dintel  
entre pilares.

**GRECIA**

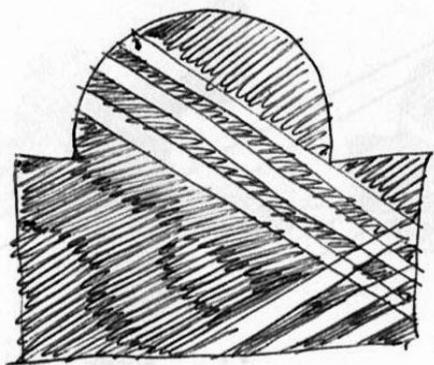
Armonía  
Belleza  
Tiempo  
Volumen  
Perfección

Iluminación de la trama tridimensional.  
Elementos tratados para mostrar el  
volumen y el tiempo.

**ROMA**

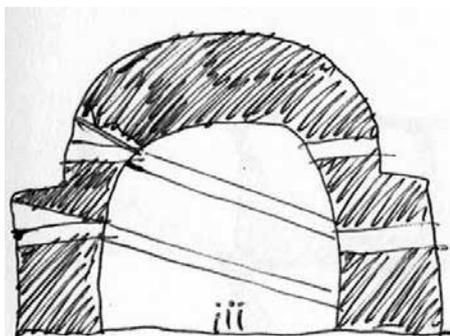
Interioridad  
Tiempo

Perforación del muro y la cubierta por  
avances estructurales: arco y vigas en la  
losa. Perforación de la unidad de vivienda  
mediante la construcción de patios en  
secuencia como captadores de luz y aire.  
Manejo constructivo del cemento y la  
madera en estructuras de cubierta.

**PALEO CRISTIANISMO Y BIZANCIO**

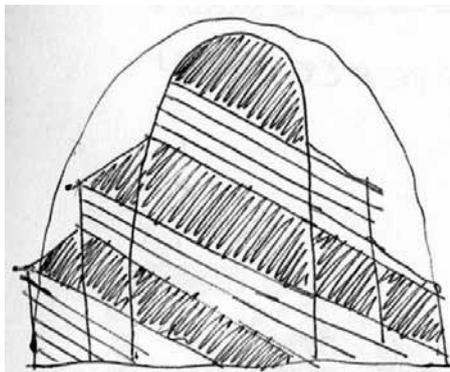
Dios  
Brillo y resplandor  
Cielo

Acceso de la luz por la perforación  
heredada de Roma.  
Reflejo sublime por uso de materiales  
brillantes, oro, mosaico.

**ESQUEMA ABSTRACTO****CONCEPTOS****TÉCNICA****ROMÁNICO**

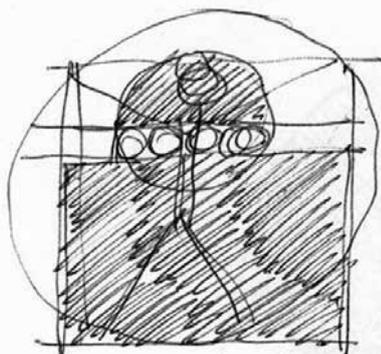
Protección  
Verdad

Perfeccionamiento del vano en el muro grueso, forma para la seguridad y la luz útil.

**GÓTICO**

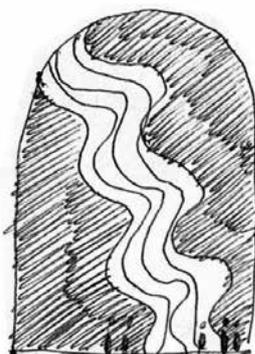
Dios es luz  
Desmaterialización  
Subjetividad  
Impresión

Liberación del muro del peso de la cubierta.  
Desmaterialización del muro y transformación de este en vidriera.  
Vidrio de color modifica la luz.

**RENACIMIENTO**

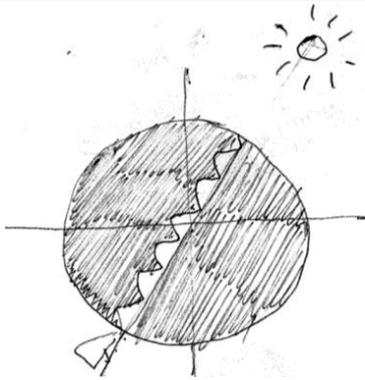
Estudio  
Proporción  
Ser humano

Nuevas técnicas constructivas basadas en la matemática.  
Proezas cupulares.  
La luz como parte de la composición proporcionada.

**BARROCO**

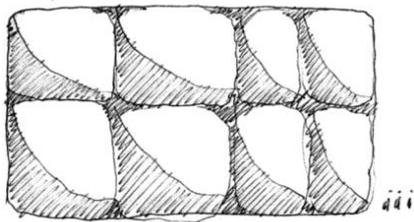
Misterio  
Percepción

Vibración de la luz por tratamientos en el muro: ondulación, alternancia, ocultamiento de la fuente.  
Uso de la subjetividad perceptiva por posición del observador.

**ESQUEMA ABSTRACTO****CONCEPTOS****TÉCNICA****AMÉRICA MAYA**

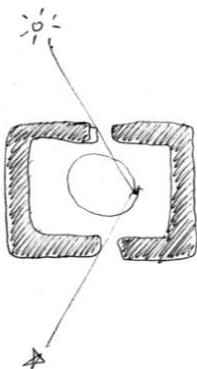
Ciclos  
Mitología

Alineación planimétrica respecto del ciclo astronómico.  
Formas monolíticas arrojan sombras de figuras reconocibles.  
La sombra calza con el tiempo.

**AMÉRICA INCAICA**

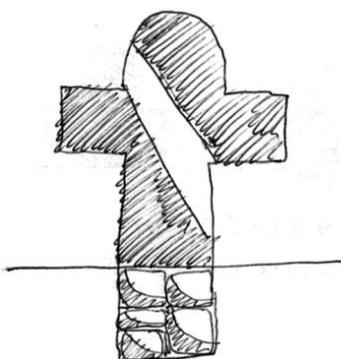
Sombra poderosa

La leve forma abombada de la piedra denota la perfección del ensamble y su escala gigantesca.

**TIWANACO**

Iniciación a la astronomía

Pequeños artilugios de reflexión y coincidencias geométricas que se ajustan a la astronomía.

**CONQUISTA**

Colonización  
Evangelización

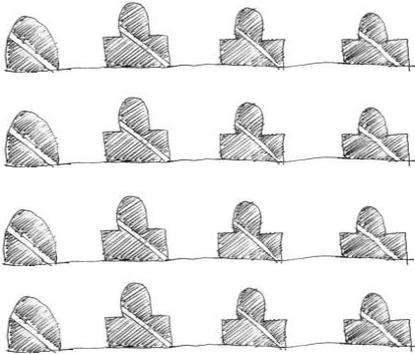
Estandarización del edificio para su construcción seriada para la rápida colonización.

## ESQUEMA ABSTRACTO

## CONCEPTOS

## TÉCNICA

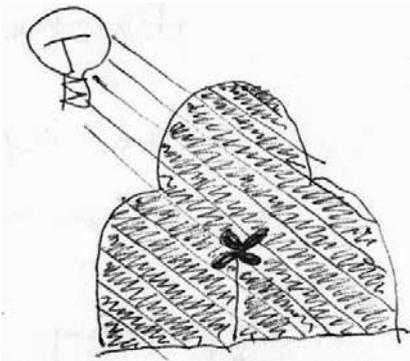
### COLONIZACIÓN



Sometimiento  
Poder  
Verdad única

Edificios convencionales importados de otras latitudes sobre sitios relevantes. Leve adaptación al nuevo contexto, principalmente en el tamaño que advierte poder.

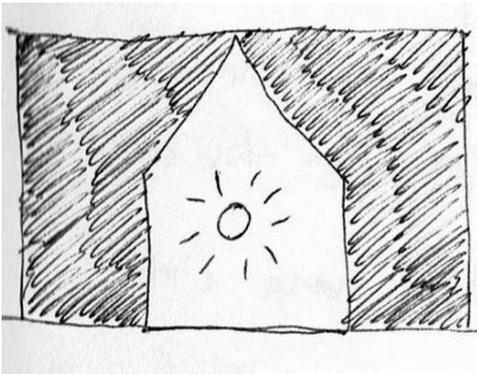
### MODERNIDAD



Domesticar la naturaleza

Nuevos materiales como el acero y vidrios de gran envergadura permiten edificios más transparentes que el gótico. Flexibles e incoloros.

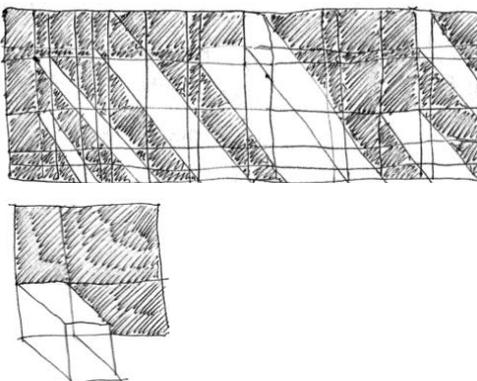
### REVOLUCIÓN



Luz de la noche  
Los inventos

Luz artificial, electricidad  
Cables y nuevas instalaciones.

### LA RAZÓN



Razón  
Síntesis  
Abstracción

Liberación del nuevo material a su forma lógica, no historicista. Valoración de la armonía limpia, simple y abstracta. Hormigón armado se atiene a la forma del moldaje. Depuración de la forma, serialización, industrialización.





# CAPÍTULO 4.

## PATRIMONIO Y NORMATIVA

### 4.1. CRITERIOS SOBRE PATRIMONIO

La complejidad de todas las formas de la vida urbana cotidiana se acompaña de una creciente demanda por energía para cumplir a cabalidad sus exigencias. La arquitectura no queda ajena a ello, por el contrario es un factor clave para el éxito de tales procesos, lo que le pone una carga adicional y no menor que debe asumir y resolver mediante la generación de edificios cada vez más complejos, exigentes y eficientes.

Vista desde esta perspectiva, la arquitectura patrimonial normalmente corresponde a edificios que, comparativamente a los estándares actuales, se comportan de manera poco eficiente en términos funcionales y medioambientales, y poco confortables para los estándares y anhelos de hoy. Este hecho práctico genera obsolescencia del patrimonio arquitectónico, lo que desencadena su desvalorización social y económica, hecho que a su vez lo degrada progresivamente, sea mediante usos inadecuados (industriales, ocupación en hacinamiento y bodegaje), y muchas veces termina siendo demolido. Sufre un feedback negativo donde el proceso que se desencadena es muy difícil de detener sin la intervención activa por parte de políticas integrales nacionales. Entonces, intervenir con criterios de sostenibilidad desde la vertiente social, económica y medio ambiental, puede potenciar en la arquitectura patrimonial su valor para generaciones actuales y desde allí incentivar su conservación.

A todo lo anterior puede agregarse que, mirado desde el ámbito de la sostenibilidad energética, la búsqueda de eficiencia lumínica aplicada en conjunto con criterios de actualización estética, podría hacer que los edificios con valor patrimonial volvieran a estar presentes en la contingencia urbana y desde allí lograr nuevamente el aprecio de parte del habitante contemporáneo. Porque la valorización por parte de la sociedad es lo que se postula como motor en la conservación del patrimonio, y no una imposición refaccionista que, la mayoría de las veces, lo que logra es la reticencia de la ciudadanía real.

Durante las investigaciones académicas que hemos realizado relacionadas en función de la presente tesis, se plantea que el marco y fundamento que hace legítima la posición respecto a la importancia

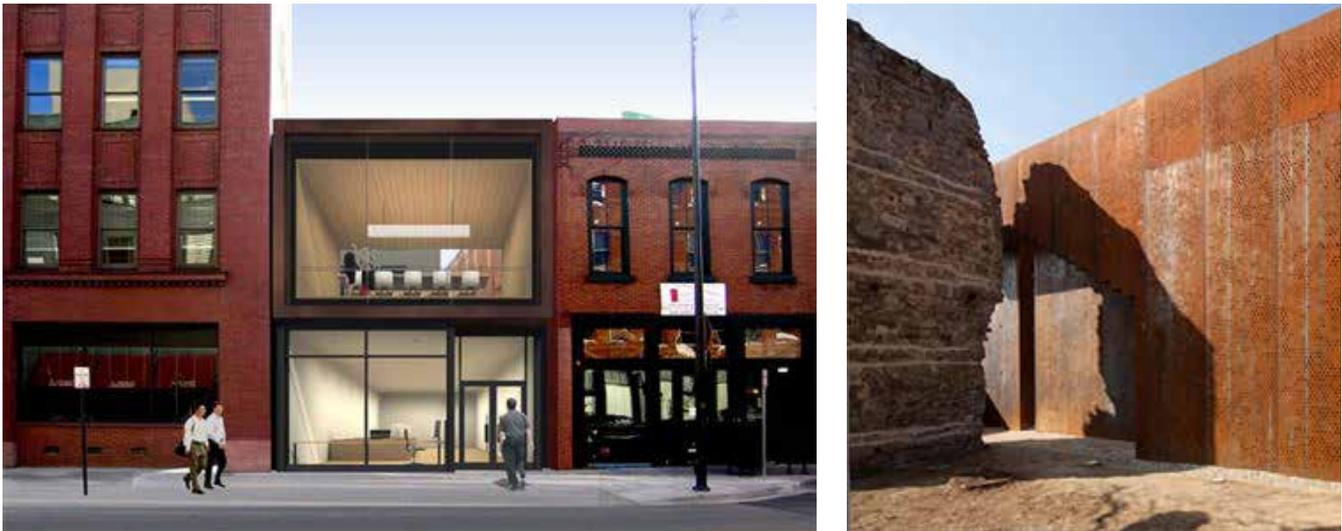


Figura 4.1: Proyectos contemporáneos en contextos históricos, urbano y museístico. Fuentes: [www.architects24.com](http://www.architects24.com) y Reconstrucción del Palacio Sztármáy en [www.arquitecturaenacero.org](http://www.arquitecturaenacero.org)

de conservar con flexibilidad todo vestigio de patrimonio, proviene de la mutación del concepto de 'monumento' hacia el concepto de 'patrimonio', o dicho de otra manera, desde una visión museística, hacia una cultural y experiencial. Se introduce el concepto de Patrimonio Cultural que da valor testimonial a todo objeto producido por el hombre en una etapa pasada y se reconoce que aporta un caudal de información acerca del modo de vida y del pensamiento del pasado, implicando un valor social para el desarrollo del conocimiento y de la ciencia del presente (Wolff, et.al. 2012).

Lo anterior se legitima en posturas como la del pensador mexicano Carlos Chanfón (Chanfón 1984) quien distingue para la disciplina de la restauración dos corrientes: la tradicionalista, con criterios renacentistas y posteriores de la ilustración positivista, y la antropologista que se relaciona con las ciencias del ser humano y su desarrollo a partir del último período del SXIX.

Este enfoque es recogido por UNESCO en 1982, y que hoy representa la orientación asumida por este organismo, intentando superar la vertiente que ve la cultura como algo estático, incapaz de cambiar, de autorregularse y autodeterminarse. El patrimonio de una ciudad que le da carácter, identidad y personalidad a la misma, hace ineludible su recuperación si se sigue un modelo integral entre las demandas económicas, sociales y ambientales. Por todo ello conviene reconocer y aceptar que la conservación de estos espacios exige un esfuerzo proactivo que se plasme en la organización del territorio. El primer artículo de la Carta Internacional para la Conservación de las Ciudades Históricas, es claro en señalar que: "La conservación de las Ciudades y los barrios históricos, sólo puede ser eficaz si se la integra en una política coherente de desarrollo económico y social y si se la toma en consideración en el planteamiento del territorio y del urbanismo en todos sus niveles."

Conservar el patrimonio común vitalizándolo para un mayor aprecio social y para salvarlo de su destrucción es un propósito no menor. Para autores como Chanfón es cuidar testimonios de una identidad que contribuye a la liberación de los pueblos, dado que al reconocerse a sí mismos pueden reconocer a otros en su envergadura. Así, la identidad cultural es riqueza que dinamiza las posibilidades de rea-

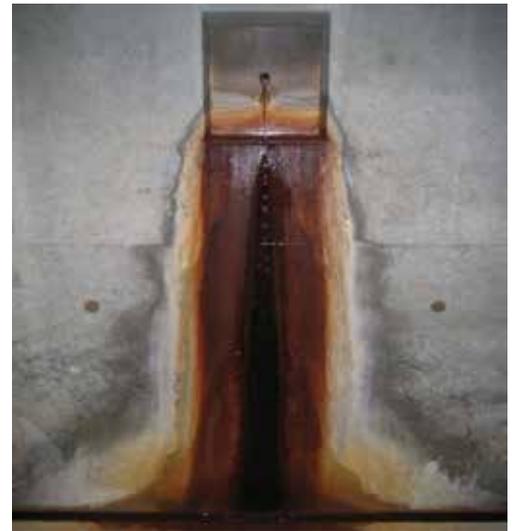


Figura 4.2: Recuperación de un mercadito con materiales recuperados. La pátina del tiempo incorporada en un proyecto de arquitectura, Peter Zumthor. Fuentes: [www.megliopossibile.com](http://www.megliopossibile.com) y [www.pinterest.com](http://www.pinterest.com).

lización del ser humano al movilizarlo a nutrirse de su pasado y acoger los aportes externos compatibles con su idiosincrasia y continuar el proceso de su propia creación (Figura 4.1).

Para autores como Cesare Brandi, (Brandi 1988) “se aplica comúnmente el concepto de restauración a cualquier intervención dirigida a devolver la ‘eficiencia’ a un producto de la actividad humana (...), según un esquema ‘preconceptual’.” Si es obra de arte o producto industrial el objetivo será distinto, y en el caso de obras de arte funcionales como la arquitectura, el objetivo de retornarle la sola funcionalidad es secundario. Mas aún, el considerar al ser humano como receptor de las obras, constituye una aproximación consciente a la creación de efectos que desencadenan cognitivamente y emocionalmente respuestas a las características estéticas y de confort, las cuales afectan directamente la conducta humana. De esta manera, toda obra que al juicio social amerita ser conservada y restaurada posee ante todo dos características que la definen como tal y que condicionan la intervención: la instancia estética y la instancia histórica que referencia el momento y lugar en el cual fue realizada (Figura 4.2).

Y aunque bajo el concepto de Brandi no parece tener cabida la instancia de utilidad, la obra, en este caso la arquitectura, queda implícita en su definición de restauración: “La restauración constituye el momento metodológico del reconocimiento de la obra en su consistencia física, en su doble polaridad estética e histórica, en orden a su transmisión al futuro. Implica que restaurar la consistencia física debe tener necesariamente prioridad porque presenta y actualiza (pone en acto) el hecho mismo de su manifestación, asegura la transmisión de tal manifestación al futuro, y garantiza en definitiva su percepción en la conciencia humana.” (Ibid)

Pero no basta restaurar la sustancia física de las obras si no otorgamos las condiciones para un disfrute y goce equivalente al que brindaban en su momento de creación. No estará ‘restaurada’ si no se ofrecen las posibilidades para que el conjunto de los sentidos infiera las cualidades del espacio y, desde allí, alerte o provoque las emociones necesarias al significarlo (Wolff et al. Op.cit).

## 4.2. NORMATIVA CHILENA DE PATRIMONIO

La normativa chilena actualmente permite la protección del Patrimonio Construido a través de dos vías, la declaratoria de Monumento Nacional (MN), regida por el Ministerio de Educación (MINEDUC) y la declaración de Inmueble y Zona de Conservación Histórica (ICH y ZCH respectivamente) dependiente del el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Este último sistema es el medio de protección compatible con los Instrumentos de Planificación Territorial chilenos (IPT) donde existe una metodología y una normativa claras tanto para establecer los criterios de valoración como para establecer las normas de protección, lo que no ocurre en el caso de los Monumentos Nacionales (Figura 4.3).

Las normas que regulan los territorios urbanos en Chile, en los que se inserta el Patrimonio Construido, se establecen en el Plan Regulador Comunal (PRC) y los Planos Seccionales (PS) que lo acompañan. Los PS son un complemento del PRC para zonas específicas de la ciudad que necesitan mayor atención y detalle en su regulación, como en este caso los PS para el Centro Histórico de La Serena.

Los PRC plantean normas generales de gran escala para las zonas urbanas y normas para el espacio público, mientras que los PS establecen normas más específicas en cuanto a la morfología y arquitectura de los inmuebles. No todas las normas urbanas tienen directa relación con la protección del patrimonio, por lo tanto se han seleccionado aquellas que sí lo pueden afectar en forma directa.

### **Normas Urbanísticas**

Las **Normas Urbanísticas** que constituyen materia de intervención son: usos de suelo, sistemas de agrupamiento, coeficiente de constructibilidad, coeficiente de ocupación de suelo o de los pisos superiores, alturas máximas de edificación, adosamientos, distanciamientos, rasantes, cuerpos salientes, instalaciones de publicidad y antenas. En relación al patrimonio, las normas urbanísticas que influyen directamente y que pueden aportar para ejorar o mantener las condiciones de iluminación natural son:

**Usos de suelo:** Los usos de suelo están especificados en la Ordenanza de Urbanismo y Construcciones (OGUC), en cuanto a sus definiciones y destinos o actividades que comprenden. De los seis tipos de uso, los más importantes para este caso son el uso residencial y equipamiento, ya que son los más



Figura 4.3: Elevaciones con ortofotos de la Iglesia de San Francisco (MH), La Serena. Fuente: Re-studio.

probables de buscar localizarse en el área. De los restantes, los usos de área verde y espacio público se entienden siempre permitidos, por lo que se eluden. El uso de suelo que se permita en las zonas que se pretende proteger es muy relevante, ya que actividades productivas y edificaciones destinadas a infraestructura suelen provocar deterioro en la imagen del sector en que se emplazan. Por otro lado, una particular selección de actividades de equipamiento otorga un carácter diferenciado a las zonas.

**Sistemas de agrupamiento:** Los sistemas de agrupamiento son tres: aislado, pareado y continuo. Es una norma altamente relevante ya que permite diferenciar zonas y es una característica fundamental de la imagen de un sector. Perfila la imagen de la volumetría, para preservar condiciones que se han protegido, controlando eventuales pérdidas de tipología o cambio de perfil; aporta a la configuración del espacio público. En las zonas típicas, sectores aledaños a MN e ICH y en las ZCH, los planos Seccionales podrán establecer condiciones urbanísticas especiales en cuanto al agrupamiento de los edificios y su relación con el suelo. Para la edificación continua, se puede normar los retranqueos y los encuentros con edificación aislada y sitios esquina en zonas con antejardín.

**Coefficiente de constructibilidad:** Es el número que multiplicado por la superficie total del predio, descontadas de esta última las áreas declaradas de utilidad pública, fija el máximo de metros cuadrados posibles de construir en la totalidad del predio. Aunque no es la única, es la norma principal que determina la capacidad máxima de edificación y con ello, su volumen. Se le considera relevante para la definición del carácter e imagen de un sector.

**Coefficiente de ocupación de suelo o de los pisos superiores:** Número que multiplicado por la superficie total del predio, descontadas de esta última las áreas declaradas de utilidad pública, fija el máximo de metros cuadrados posibles de construir en el nivel de primer piso o de los pisos superiores, respectivamente. Permite garantizar partes no edificadas en el predio. Es altamente relevante para preservar características interiores del proyecto.



Figura 4.4: Plano de Monumentos Históricos (MH) e Inmuebles de Conservación Histórica (ICH) en la Zona Típica de La Serena. Fuente: Leonardo Vera para Territorio y Ciudad Consultores Estudio Planes Seccionales Zona Típica de La Serena, 2014).

**Alturas máximas de edificación:** Es la distancia vertical máxima a permitir, expresada en metros, entre el suelo natural y un plano paralelo superior al mismo. Es una de las normas decisivas para determinar la volumetría de los cuerpos edificados, de modo que guarden correspondencia con el carácter de la zona, permitiendo además, diferenciarlas.

### Normas Morfológicas

Las **normas morfológicas** definen: volumetría, materialidad, color, textura, forma de la techumbre, elementos de la techumbre, retranqueos, número de pisos, altura de pisos y relación entre si.

### Normas y Arquitectónicas

Las **normas y arquitectónicas** definen: cuerpos salientes, cubiertas, frontones, tímpanos, lucarnas, antepechos, zócalos, corredores, pórticos, composición de la fachada (ritmos, proporción de vanos),

mansardas, buhardillas, Zaguanes, detalles constructivos (arcos, cenefas, balaustras, columnas, mamparas, aleros, molduras, gárgolas, etc.), ornamentos (pilastras, rosetones, claves, etc.).

La metodología para la identificación de ICH y ZCH del MINVU establece cinco valores patrimoniales a evaluar en cada caso para definir, según la puntuación que logre, si será normado como ICH.

- Valor Urbano: atributos de imagen, conjunto y entorno.
- Valor Arquitectónico: valoriza los elementos según representatividad, singularidad y morfología.
- Valor Histórico: en función del reconocimiento oficial y público (relevancia, protección legal y registro de especialistas.
- Valor Económico: actual estado de conservación del inmueble y su entorno, equilibrio entre beneficios sociales y económicos.
- Valor Social: interés identitario para la comunidad

El presente trabajo se basa en el Estudio para Planos Seccionales (PS) de la ciudad de La Serena (Territorio y Ciudad, 2014) que realizó con la consultora Territorio y Ciudad. Este Estudio se realiza para la regulación de Patrimonio Construido en el PRC de La Serena, a través de los PS (Figura 4.4). Es por ello que los elementos patrimoniales escogidos para estudiar e intervenir (en forma teórica) corresponden a inmuebles que han sido seleccionados en dicho estudio, donde se aplican criterios de selección y valoración técnicos y comunitarios, a través de procesos de participación ciudadana y donde también se han aplicado los criterios antes expuestos respecto al patrimonio.

Todas las propuestas que se realicen como resultado de la presente investigación son acordes y compatibles con la propuesta normativa planeada por en el Estudio de Planos Seccionales. La normativa propuesta en dichos los planos está actualmente en fase de estudio y no ha sido aprobada pero se adjunta al final en el Anexo VI con el fin de ejemplificar como podrían verse incluidos los resultados de investigación en un caso real.

## 4.3. NORMATIVA CHILENA DE REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS, ASOLEAMIENTO Y CONFORT VISUAL

### 4.3.1. NORMATIVA DEL MINISTERIO DE SALUD

En Chile, la normativa referente a los requerimientos de iluminación se rigen por una parte por el Decreto Supremo N° 594, del Ministerio de Salud, y por otra según la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) a través de su Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

El Decreto Supremo 594 (DS 594), del Ministerio de Salud establece un reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Este reglamento debe aplicarse a todo lugar de trabajo y establece los niveles de iluminancia y luminancia mínimos para cada tipo de tarea sin distinción de la fuente de origen, luz natural o artificial. A continuación se expone lo estipulado en dicho decreto.

#### **Punto 6. De la iluminación**

**Artículo 103:** Todo lugar de trabajo, con excepción de faenas mineras subterráneas o similares, deberá estar iluminado con luz natural o artificial que dependerá de la faena o actividad que en él se realice.

El valor mínimo de la iluminación promedio será la que se indica en la tabla de la página siguiente. Los valores indicados en la tabla se entenderán medidos sobre el plano de trabajo o a una altura de 80 centímetros sobre el suelo del local en el caso de iluminación general. Cuando se requiera una iluminación superior a 1.000 Lux, la iluminación general deberá complementarse con luz localizada. Quedan excluidos de estas disposiciones aquellos locales que en razón del proceso industrial que allí se efectúe deben permanecer oscurecidos.

**Artículo 104:** La relación entre iluminación general y localizada deberá mantenerse dentro de los siguientes valores (tabla central de la página siguiente):

**Artículo 105:** La luminancia (brillo) que deberá tener un trabajo o tarea, según su complejidad, deberá ser la siguiente (tabla inferior de la página siguiente).

<b>LUGAR O FAENA</b>	<b>ILUMINACION EXPRESADA EN Lux (Lx)</b>
Pasillos, bodegas, salas de descanso, comedores, servicios higiénicos, salas de trabajo con iluminación suplementaria sobre cada máquina o faena, salas donde se efectúen trabajos que no exigen discriminación de detalles finos o donde hay suficiente contraste.	150
Trabajo prolongado con requerimiento moderado sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en fundiciones y trabajos similares.	300
Trabajo con pocos contrastes, lectura continuada en tipo pequeño, trabajo mecánico que exige discriminación de detalles finos, maquinarias, herramientas, cajistas de imprenta, monotipias y trabajos similares.	500
Laboratorios, salas de consulta y de procedimientos de diagnóstico y salas de esterilización.	500 a 700
Costura y trabajo de aguja, revisión prolija de artículos, corte y trazado.	1000
Trabajo prolongado con discriminación de detalles finos, montaje y revisión de artículos con detalles pequeños y poco contraste, relojería, operaciones textiles sobre género oscuro y trabajos similares.	1.500 a 2.000
Sillas dentales y mesas de autopsias	5.000
Mesa quirúrgica	<u>20.000</u>

<b>Iluminación General (Lux)</b>	<b>Iluminación Localizada (Lux)</b>
150	250
250	500
300	1.000
500	2.000
600	5.000
700	10.000

<b>Tarea</b>	<b>Luminancia en cd/m<sup>2</sup></b>
Demasiado difícil	Más de 122,6
Muy difícil	35,0 - 122,6
Difícil	12,3 - 35,0
Ordinaria	5,3 - 12,3
Fácil	menor de 5,3

**Artículo 106:** Las relaciones de máxima luminancia (brillantez) entre zonas del campo visual y la tarea visual debe ser la siguiente:

5 a 1 Entre tareas y los alrededores adyacentes

20 a 1 Entre tareas y las superficies más remotas

40 a 1 Entre las unidades de iluminación (o del cielo) y las superficies adyacentes a ellas.

80 a 1 En todas partes dentro del medio ambiente del trabajador.

### 4.3.2. REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS SEGÚN OGUC

Por su parte, la OGUC establece requerimientos de iluminación natural sólo para recintos docentes en su artículo Artículo 4.5.5.:

**Artículo 4.5.5.** Con el objeto de asegurar a los alumnos adecuados niveles de iluminación y ventilación natural, los recintos docentes correspondientes a salas de actividades, de clases, talleres y laboratorios, como asimismo el recinto destinado a estar-comedor-estudio y los dormitorios en hogares estudiantiles, deberán consultar vanos cuyas superficies mínimas corresponderán al porcentaje de la superficie interior del respectivo recinto que se indica en la siguiente superior.

En los locales de Educación Superior y de Adultos se autorizará, como complemento, el uso de sistemas mecánicos de ventilación e iluminación artificial, cuando los niveles mínimos establecidos no se logren con ventilación e iluminación natural.

En los recintos docentes, el estándar de iluminación deberá provenir de ventanas ubicadas en las paredes y se podrá complementar con iluminación cenital.



Figura 4.5: Fotografía urbana con ojo de pez para captar las obstrucciones lumínicas. Foto aérea de la Ciudad de La Serena, se observan los interiores de las manzanas con vegetación. Fuentes: fish-eye en [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) y Territorio y Ciudad Consultores.

Otras exigencias de iluminación señaladas en la OGUC se establecen como medidas de seguridad y emergencia pero siempre en relación a iluminación artificial: circulaciones de emergencia, salas de máquina, ascensores, etc.

### 4.3.3. NORMAS PARA ACCESIBILIDAD DE LUZ SOLAR

Respecto del asoleamiento y accesibilidad de luz solar, las condiciones normativas que mayor impacto tienen en la OGUC son las condiciones de edificación que quedan establecidas en dos tipos de exigencias: en primer lugar respecto de las condiciones de los vanos en la envolvente (puertas y ventanas), en segundo lugar respecto del asoleamiento definido según el tipo de agrupamiento, altura, superficies de sombra que arrojan las edificaciones, porcentaje de ocupación de suelo e índice de constructibilidad (cuántos m<sup>2</sup> se pueden construir en un terreno) (Figura 4.5). Estas exigencias se basan en algunas definiciones anteriores:

“Capacidad máxima de edificación”: margen volumétrico máximo construible en cada predio, resultado de la aplicación de las normas sobre línea de edificación, rasantes, distanciamientos, alturas, coeficientes de ocupación de suelo, constructibilidad, densidad y demás normas urbanísticas, con sus respectivas normas de beneficios especiales en cada caso.

“Locales habitables”: los destinados a la permanencia de personas, tales como dormitorios o habitaciones, comedores, salas de estar, oficinas, consultorios, salas de reunión y salas de venta.

“Normas urbanísticas”: todas aquellas disposiciones de carácter técnico derivadas de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) de esta Ordenanza y del Instrumento de Planificación Terri-

ZONA	VENTANAS		
	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	VIDRIO MONOLÍTICO (b)	DVH DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (c)	
		3.6 W/m <sup>2</sup> K ≥ U > 2.4 W/m <sup>2</sup> K (a)	U ≤ 2.4 W/m <sup>2</sup> K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Figura 4.6: Condiciones para ventanas.

### % SUPERFICIE DEL RECINTO

Regiones	ILUMINACION		VENTILACION	
	Recintos docentes	Recintos Hogar estudiantil	Recintos docentes	Recintos hogar estudiantil
I a IV y XV	14	6	8	6
V a VII y RM	17	7	8	6
VIII a XII y XIV	20	8	8	6

Figura 4.7: Condiciones para iluminación y ventilación por recinto.

torial respectivo aplicables a subdivisiones, loteos y urbanizaciones tales como, ochavos, superficie de subdivisión predial mínima, franjas afectas a declaratoria de utilidad pública, áreas de riesgo y de protección, o que afecten a una edificación tales como, usos de suelo, sistemas de agrupamiento, coeficientes de constructibilidad, coeficientes de ocupación de suelo o de los pisos superiores, alturas máximas de edificación, adosamientos, distanciamientos, antejardines, ochavos y rasantes, densidades máximas, exigencias de estacionamientos, franjas afectas a declaratoria de utilidad pública, áreas de riesgo y de protección, o cualquier otra norma de este mismo carácter, contenida en la Ley General de Urbanismo y Construcciones o en esta Ordenanza, aplicables a subdivisiones, loteos y urbanizaciones o a una edificación.

“Rasante”: recta imaginaria que, mediante un determinado ángulo de inclinación, define la envolvente teórica dentro de la cual puede desarrollarse un proyecto de edificación (Figura 4.8).

“Ventanas”: Se considerará complejo de ventana, a los elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda (Figura 4.6).

“Volumen de la edificación”: volumen resultante de unir los planos exteriores de una edificación para los efectos de representar la sombra que proyecta sobre los predios vecinos.

Regiones	Angulo de las Rasantes
I a III y XV Región	80°
IV a IX Región y R.M.	70°
X a XII y XIV Región	60°

Figura 4.8: Ángulo de las rasantes según región (latitud).

“Volumen teórico”: volumen o envolvente máxima, expresado en metros cúbicos, resultante de la aplicación de las disposiciones sobre superficies de rasante, distanciamientos, antejardines y alturas máximas, cuando las hubiere, en un terreno determinado.

### Vanos

Para el caso de condiciones de los vanos, respecto de las ventanas las exigencias no guardan relación con la cantidad de luz natural que es posible de conseguir, sino con las condiciones Térmicas, De ventilación y un mínimo de privacidad que éstas deben garantizar. Esto queda establecido en los Artículos 4.1.2. y 4.1.3. para condiciones de ventilación de locales habitables y en el Artículo 4.1.10. sobre exigencias de acondicionamiento térmico. Por lo tanto, más que exigir una cantidad mínima de apertura en la envolvente, se exige un porcentaje de apertura máxima, garantizando la menor pérdida térmica, según la región del país. Estas exigencias quedan reflejadas en la Figura 4.7.

Respecto de las condiciones de asoleamiento, la OGUC establece exigencias a través del uso de rasantes, el tipo de agrupamiento de las edificaciones y los porcentajes de ocupación del suelo, que en definitiva establecen la morfología urbana. Ello queda establecido en los siguientes artículos:

### Agrupamiento

Artículo 2.6.1. “se distinguen tres tipos de agrupamiento de las edificaciones: aislada, pareada y continua.”

**Artículo 2.6.2.** “como una norma complementaria de los tres tipos de agrupamiento indicados, se entenderá por adosamiento, para los efectos de la aplicación de este artículo, la edificación no subterránea que se ubica contigua a los deslindes”, y que puede ocupar un máximo del 40% el deslinde con el vecino, a menos que este último autorice un % mayor, y no puede exceder los 3.5 m de altura.

Altura de la Edificación	Distanciamiento <sup>4</sup>	
	Fachada con vano	Fachada sin vano
Hasta 3,5 m	3,0 m	1,4 m
Sobre 3,5 m y hasta 7,0 m	3,0 m	2,5 m
Sobre 7,0 m	4,0 m	4,0 m

Figura 4.9: Altura de edificación y Distanciamiento.

**Artículo 2.6.3.** “Las edificaciones aisladas deberán cumplir los distanciamientos a los deslindes señalados en el presente artículo. Asimismo, no podrán sobrepasar en ningún punto las rasantes que se indican más adelante, salvo que se acojan al procedimiento y condiciones que establece el artículo 2.6.11. de este mismo Capítulo. Las rasantes se levantarán en todos los puntos que forman los deslindes con otros predios y en el punto medio entre líneas oficiales del espacio público que enfrenta el predio. El ángulo máximo de las rasantes con respecto al plano horizontal, expresado en grados sexagesimales, será el que se indica en la tabla superior.”

“En cualquier caso, los edificios aislados de cinco o más pisos ubicados en zonas sin límite de altura, no podrán ocupar un volumen edificado superior al 90% del volumen teórico. Los distanciamientos medidos en cada una de las alturas de la edificación” que se señalan en la tabla de la siguiente página.

“Los vanos incorporados a techumbres o planos inclinados deberán cumplir con los distanciamientos indicados en la tabla anterior, salvo aquellos cuyo nivel inferior esté a más de 1,8 m de altura con respecto al piso que sirven. Sin perjuicio del cumplimiento de las rasantes, a las techumbres de viviendas unifamiliares les serán aplicables los distanciamientos sólo respecto de los vanos.”

### Rasantes

Artículo 2.6.11. “Con el fin de evitar diseños con planos inclinados de los edificios producto de las rasantes a que se refiere el artículo 2.6.3. de este mismo Capítulo, las edificaciones aisladas podrán sobrepasar opcionalmente éstas siempre que la sombra del edificio propuesto, proyectada sobre los predios vecinos no supere la sombra del volumen teórico edificable, en el mismo predio y se cumplan las condiciones que señalan los artículos siguientes, todo lo cual deberá graficarse en un plano comparativo que permita verificar su cumplimiento.

Sombra Proyectada	I a III y XV Regiones	IV a IX Región y R.M.	X a XII y XIV Regiones
Hacia el Sur	63°	57°	51°
Hacia el Oriente	28°	26°	24°
Hacia el Poniente	28°	26°	24°

63° dividir la altura por 1,96	57° dividir la altura por 1,54	51° dividir la altura por 1,23
28° dividir la altura por 0,53	26° dividir la altura por 0,49	24° dividir la altura por 0,45

Figura 4.10: Análisis de ángulos de proyección de sombras por región.

### Cálculo de sombra

**Artículo 2.6.12.** Para los efectos de calcular la sombra proyectada sobre los predios vecinos bastará con medir la superficie de ésta. Las áreas adyacentes con uso espacio público no se contabilizarán en dicho cálculo, a pesar de que el volumen teórico planteado les proyecte sombra. En ningún caso el proyecto podrá superar las superficies de sombra parciales que proyecta el volumen teórico hacia las orientaciones, oriente, poniente y sur, ni por ende la superficie de sombra total producida por dicho volumen teórico edificable en el predio, así como tampoco su altura total. Adicionalmente, sin perjuicio de los distanciamientos mínimos establecidos en el artículo 2.6.3. o en el respectivo Instrumento de Planificación Territorial, las edificaciones aisladas que se acojan al artículo 2.6.11., además deberán cumplir a partir de los 10,5 m de altura, con un distanciamiento hacia los predios vecinos no inferior a 1/6, 1/5 o 1/4 de la altura total de la edificación, según se trate de edificaciones ubicadas en cada una de las agrupaciones de regiones indicadas en la tabla de rasantes inserta en el inciso sexto del artículo 2.6.3. de esta Ordenanza, respectivamente. En el caso de la edificación aislada por sobre la edificación continua, la altura total de la edificación para aplicar dicho distanciamiento, se medirá a partir de la altura máxima permitida para la edificación continua.

**Artículo 2.6.13.** La sombra proyectada, tanto del proyecto como del volumen teórico, podrá calcularse utilizando el siguiente procedimiento:

1. En cada orientación, la sombra se proyectará sobre un plano horizontal imaginario ubicado en el nivel medio del propio terreno, siempre que su pendiente promedio no supere el 10%. El citado nivel medio corresponderá al suelo natural o a la altura máxima de la edificación continua, en su caso.
2. En terrenos que tengan una pendiente promedio superior al 10% la sombra proyectada se calculará sobre un plano paralelo a la pendiente promedio para cada orientación.
3. En edificios de planta ortogonal se podrá tomar la orientación predominante de cada fachada.

4. Las superficies de sombra se trazarán sobre el plano sólo en las orientaciones sur, oriente y poniente, abatiendo los vértices superiores de los volúmenes según el ángulo, con respecto a la horizontal y expresado en grados sexagesimales, que para cada caso señala la tabla superior. Para trazar la sombra proyectada en cada orientación, se podrá dividir la altura de cada vértice según la tabla inferior.

### **Ocupación de suelo**

**Artículo 5.1.10.** Para la aplicación del coeficiente de ocupación de suelo, la superficie edificada del primer piso de la edificación se determinará conforme al procedimiento que establece el artículo 5.1.11.

**Artículo 5.1.11.** La superficie edificada de una construcción comprenderá la suma de las siguientes superficies parciales:

1. En cada piso, el 100% de la superficie construida, techada y lateralmente cerrada en forma total, medida desde la cara exterior de los muros perimetrales, incluyendo todos sus elementos excepto los vacíos y ductos verticales. En el caso de escaleras, sólo se calculará su superficie edificada en cada piso si éstas no forman parte de una vía de evacuación.
2. En cada piso, el 50% de la superficie construida, techada y lateralmente abierta, siempre que su profundidad no sea superior al frente abierto, debiendo considerar como superficie completa el área que sobrepase dicha profundidad. En cada piso no se contabilizarán las superficies abiertas cuya cubierta esté en volado por dos o más lados, las jardineras exteriores y los espacios cubiertos y abiertos del primer piso que sean de uso común. En el caso de planos inclinados, la superficie se determinará por el área en un plano paralelo al piso trazado a la altura de 1,60 m sobre él. En el caso de cuerpos salientes, se computará la superficie horizontal de ellos si su altura libre interior es igual o superior a 1,60 m.





**II PARTE.**

**EXPERIMENTACIÓN Y CASOS DE ESTUDIO**



# CAPÍTULO 5.

## CASOS DE ESTUDIO

La metodología para el desarrollo de los casos de estudio ha quedado definida en detalle en la Introducción de la tesis en el punto Metodología.

Como se menciona en este punto, para analizar los casos de estudio se han elegido los inmuebles más representativos de La Serena y en base a lo analizado durante la investigación previa se han detectado los problemas más habituales que se producen en la arquitectura patrimonial respecto de la luz natural. Estos problemas están asociados a los aspectos que han sido cuantificados y corresponden a factores técnicos, arquitectónicos, de desempeño visual, confort y percepción visual.

La realización de este capítulo se divide en cuatro partes, la primera es la descripción de la ciudad en cuanto a los aspectos climatológicos, geográficos y de disposición de luz natural y la descripción histórica, urbana y arquitectónica que se realiza con el fin de contextualizar los inmuebles en su dimensión patrimonial.

La segunda parte es el estudio de cinco casos correspondientes a inmuebles protegido por su condición patrimonial, donde se evalúa su condición lumínica actual, se proponen soluciones arquitectónicas respecto de los problemas lumínicos y se evalúan las soluciones en cuanto a la respuesta lumínica.

La tercera parte corresponde a las conclusiones respecto de los casos estudiados donde se busca establecer un conjunto de problemas que pueden ser comunes a muchos edificios de estas características, en contextos funcionales reales, esto es, frente a las funciones actuales a las que deben responder.

Finalmente, la última parte del capítulo es un compendio de criterios normativos urbanos que pueden ser incorporados a la planificación del territorio con el fin de introducir mejoras en las condiciones de habitabilidad y confort de inmuebles y zonas de valor patrimonial.

## 5.1. LUGAR, LA CIUDAD DE LA SERENA

### 5.1.1. CLIMA, CIELO Y LUZ EN LA SERENA

La Serena es una ciudad de Chile, un país que se extiende entre los paralelos 17°29'57" S y 56°32' S. La ciudad de La Serena se encuentra en el centro-norte del país, lo que se conoce con el nombre de Norte Chico, a 29°54'28" S de latitud y 71°15'15" O de longitud (Figura 5.1).

#### 5.1.1.1. Clima de la ciudad de La Serena

En la ciudad de La Serena predomina un tipo de clima mediterráneo, caracterizado por un período lluvioso invernal y un período de sequía en verano. Este clima cae en la clasificación general de Köppen como *csb*, (templado cálido con lluvias invernales y verano tibio), existiendo algunas variedades. Se caracteriza por ser claramente segmentado por las épocas estacionarias. En verano hay casi total ausencia de precipitaciones y a pesar de poseer abundante nubosidad matinal y lloviznas, éstas se disipan a medio día, para dar paso a cielos despejados y temperaturas cálidas de 19 a 26 °C. En invierno las temperaturas descienden para barajarse entre los 3 y los 12 °C, por ubicarse en una zona netamente costera ([www.meteochile.cl](http://www.meteochile.cl)).

La cercanía del mar produce amplitudes térmicas bajas. En La Serena la temperatura es de 6.8° C anuales, como diferencia entre la media del mes más cálido y el más frío y de 8° C diarios, como diferencia media entre las máximas y las mínimas (Territorio y Ciudad Op.cit.). Según la carta psicrométrica generada a partir de los datos climatológico del software Ecotect, la zona de confort en La Serena se encuentra entre los 19 y 25 °C para un estado de actividad sedentario y entre 15 y 19 para un estado de actividad medio (Figura 5.2).

Las temperaturas mínimas y máximas tienen variaciones menores debido a la influencia marítima y la temperatura del Océano Pacífico. La temperatura del mar es relativamente constante por el efecto de la corriente de Humboldt que abarca la zona de la Región de Atacama. La Corriente de Humboldt es una corriente oceánica originada por el ascenso de aguas profundas muy frías, que se produce en las costas occidentales de América del Sur. Es una de las corrientes de aguas frías más importantes del

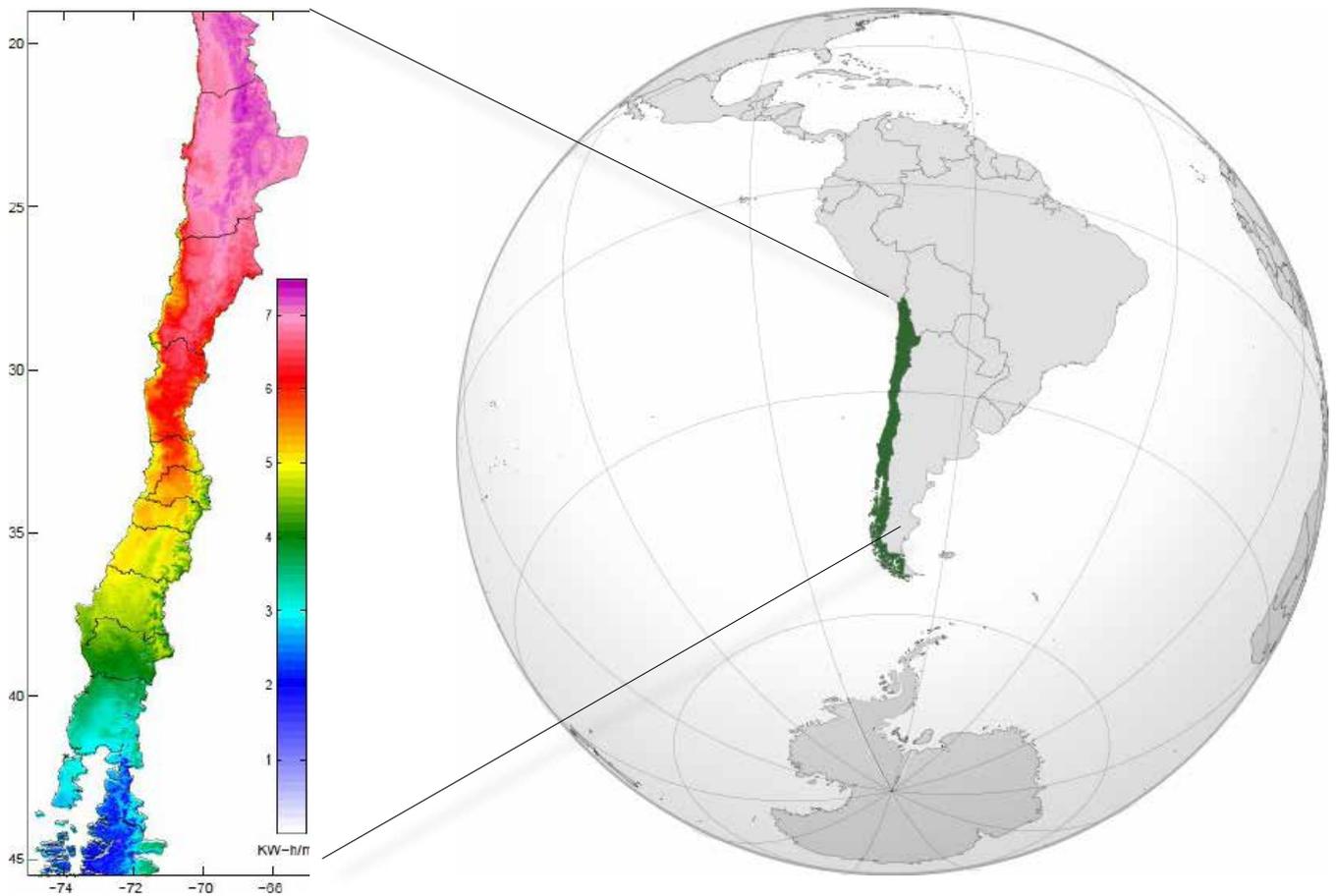


Figura 5.1: Arriba: Mapa de la radiación en territorio chileno. Fuente: Reporte solar (Ministerio de Energía, Departamento de Geofísica de la U. de Chile, 2014).

Figura 5.2: Gráfico de Giboni para la ciudad de La Serena. Fuente: Base de datos Ecotect.

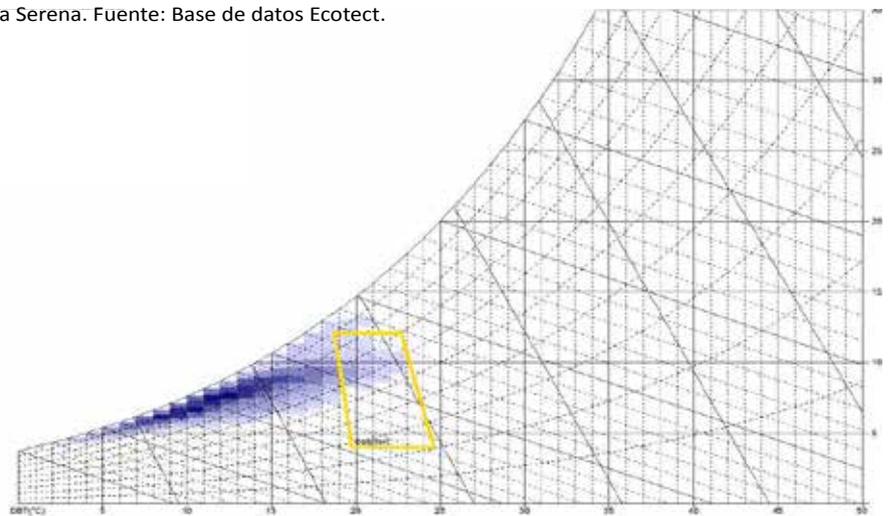


Figura 5.3: Abajo: Parámetros climáticos promedio de la ciudad de La Serena. Fuente: Weatherbase.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima absoluta (°C)	28	30	27	30	25	23	25	24	26	26	30	27	30
Temperatura máxima media (°C)	21.3	21.1	19.5	17.6	16.4	15.2	14.7	15.3	16.5	16.7	17.9	20.0	17.6
Temperatura media (°C)	17.2	17.1	15.8	13.9	12.5	11.1	10.8	11.1	11.9	13.0	14.4	16.2	13.8
Temperatura mínima media (°C)	13.8	14.0	13.3	11.6	10.4	8.5	7.6	8.6	9.4	10.2	11.7	13.0	11
Temperatura mínima absoluta (°C)	7	5	5	5	1	-2	-2	3	3	3	7	7	-2
Precipitación total (mm)	0.1	0.1	0.8	3.5	18.6	21.4	50.8	20.5	10.9	7.2	3.8	0.2	137.9
Humedad relativa (%)	86	86	90	91	89	88	87	90	89	87	86	85	88

mundo y uno de sus efectos más importantes es el de aridez en las costas centrales y septentrionales de Chile y Perú (Figura 5.3).

#### **5.1.1.2. Disponibilidad de luz solar**

La Serena se encuentra a  $29^{\circ}54'28''$  S de latitud y  $71^{\circ}15'15''$  O de longitud. La altura del Centro Histórico es de aproximadamente 45 msnm. Geográficamente, el centro se encuentra en el borde sur del lecho del Río Elqui, rodeada de cerros bajos que no producen mayores influencias en la duración del día solar. Su latitud y condiciones geográficas le dan días solares que van desde las 14 horas en el solsticio de verano hasta las 10 horas en el solsticio de invierno.

Las características morfológicas urbanas que influyen en la disponibilidad de luz solar, se definen por una altura máxima de edificación en el Centro Histórico de La Serena de 5 pisos, en casos excepcionales, mientras que el promedio es de 3 pisos (12 a 14 m) en las zonas más altas y de 1 piso en las más bajas (7 a 8 m). El sistema de agrupamiento es continuo por lo que las calles presentan franjas de sombra constante salvo por las diferencias dadas por las alturas de edificación en una misma manzana. Los interiores de las manzanas suelen estar despejados con menos densidad de ocupación de suelo, lo que permite el asoleamiento al interior de las manzanas. Los frentes o bordes de las manzanas son más densos y por tanto con menos accesibilidad de luz solar. La tipología de la casa patio permite asoleamiento en las zonas construidas de la manzana a todas horas del día puesto que se trata de patios generalmente cuadrados que reciben sol en alguna de sus caras durante alguna hora del día, sea cual sea la orientación de la fachada principal de la casa.

La Serena es una ciudad con vegetación relativamente escasa, salvo en las calles-parque y las plazas donde se concentra la mayor parte de los árboles. Existen árboles de menor envergadura (hasta 12 m) en el interior de las manzanas, lo que no genera sombras de gran densidad que puedan influir en el asoleamiento urbano.

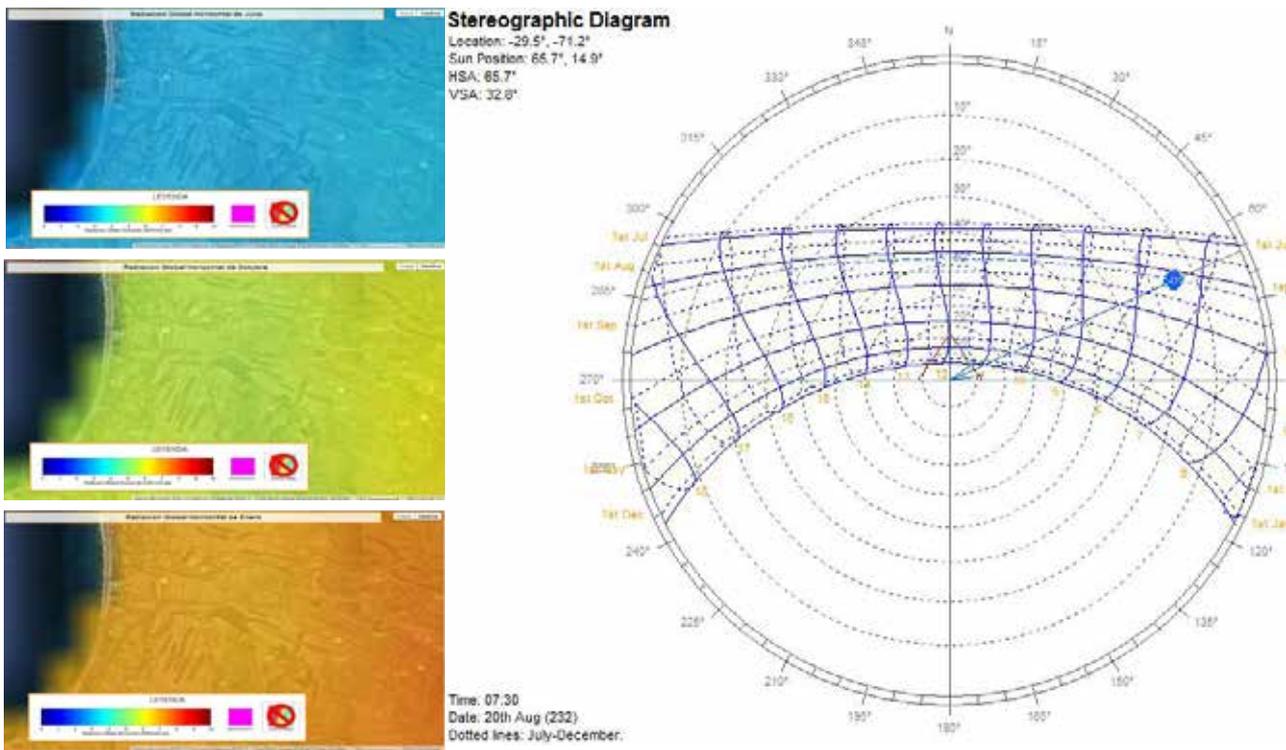


Figura 5.4: Arriba: Radiación recibida en solsticios y equinoccios. Diagrama estereográfico de La Serena. Centro: Radiación mensual en La Serena en 2011 y 2012. Fuentes: Reporte solar (Ministerio de Energía y Departamento de Geofísica, U.Chile, 2014) y Base de datos Ecotect.

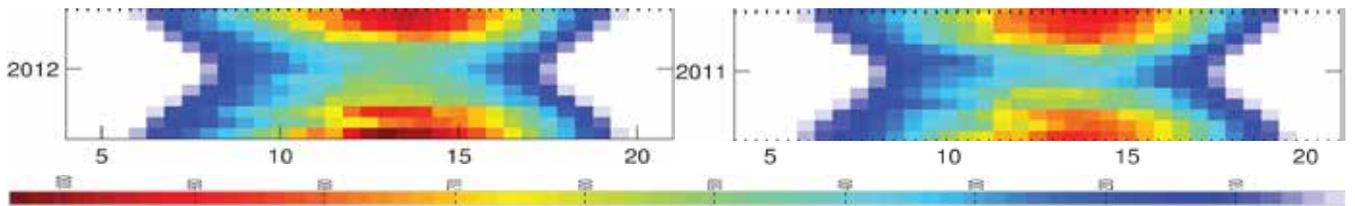
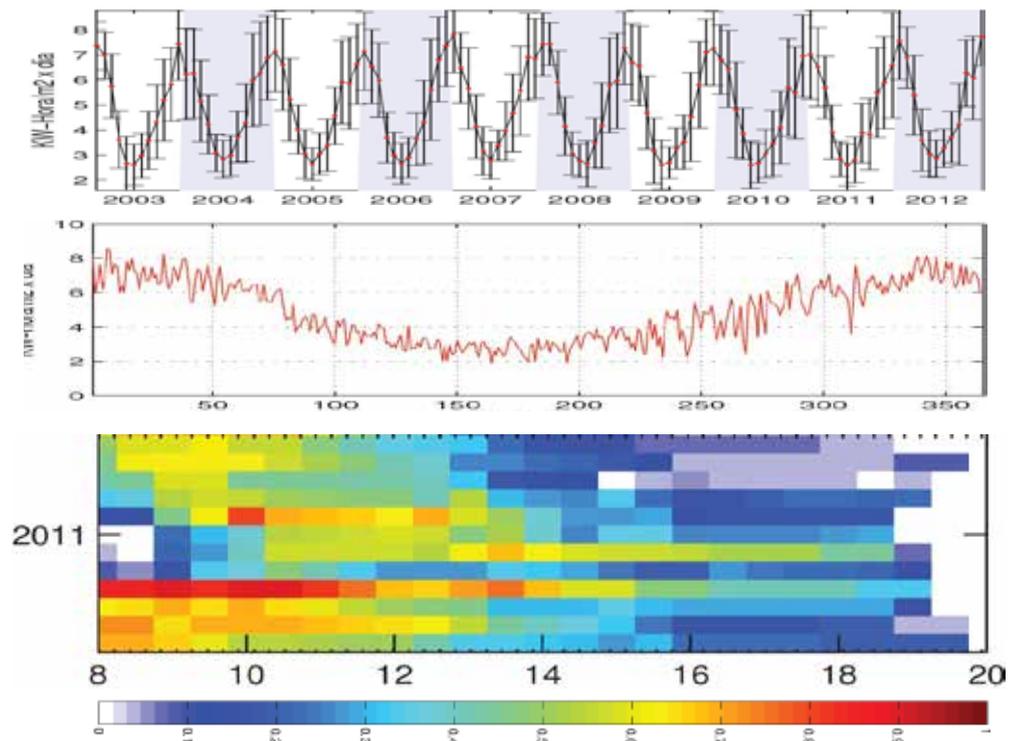


Figura 5.5: Abajo: Promedio mensual insolución diaria. Ciclo anual de insolución diaria. Frecuencia mensual de nubosidad. Fuentes: Reporte solar de La Serena (Ministerio de Energía y Departamento de Geofísica U.Chile, 2014) y Base de datos Ecotect.



Esta condición de ciudad baja y con poca vegetación arbórea hace que la ciudad tenga gran disponibilidad lumínica, sin embargo, las presiones de densificación y modernización de la ciudad tienden a cambiar esta situación al admitir alturas de edificación mayores. Estas condiciones de edificación deben estar reguladas por las normas de planificación territorial.

#### **5.1.1.3. Cielo y radiación solar en La Serena**

De acuerdo a los tipos de cielo establecidos por la CIE es posible establecer que La Serena presenta un cielo nublado por la mañana y cielo claro a partir de medio día, generalmente durante todo el año. Las precipitaciones, las cuales se concentran en invierno, específicamente entre los meses de junio y agosto, se acumulan en 100 milímetros aproximadamente anuales en un año normal.

Para conocer los datos de radiación solar recibida en el territorio se recurrió a la información elaborada por el Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, en conjunto con el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile ([ernc.dgf.uchile.cl](http://ernc.dgf.uchile.cl)). La información se encuentra detallada un informe denominado Reporte Solar sobre el recurso solar basado en la modelación numérica de la transferencia de radiación solar en la atmósfera y en datos satelitales de alta resolución.

El efecto de la nubosidad en la radiación es modelado de forma empírica relacionando las características de la nubosidad identificadas a partir de imágenes satelitales con datos observados de radiación global horizontal. El producto obtenido ha sido validado con observaciones, sin embargo, debe ser considerado como definitivo de ser corroborado con mediciones *in situ*. El modelo utilizado para la transferencia radiativa es el el modelo CLIRADSW que separa la radiación del sol en 11 bandas espectrales y considera las interacciones de cada banda de manera independiente. La información satelital es la proveniente del satélite GOES EAST para los años 2003 a 2012. En este informe encontrara valores estimados por mes, año y hora del día de la irradiancia global horizontal (Figura 5.4 y Figura 5.5).

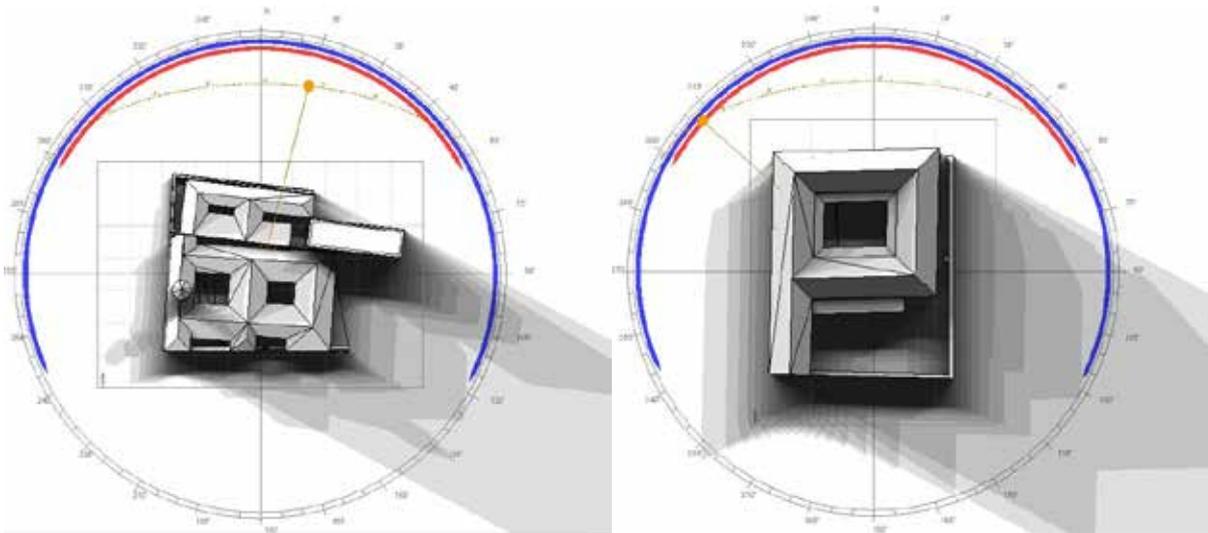
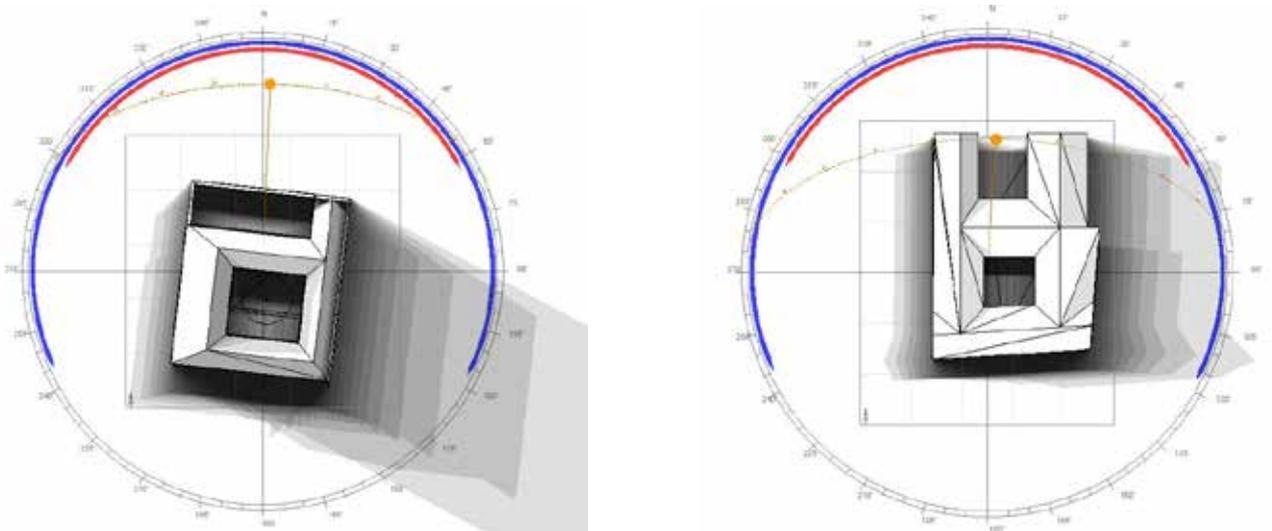


Figura 5.6: Inmuebles de La Serena en diagramas estereográficos. Fuente: Elaboración propia con Ecotect.



De acuerdo a este informe la ciudad de La Serena presenta entre los años 2006 y 2011 una frecuencia de nubosidad de 23% (0,23 en escala de 0 a 1). Considerando que la radiación recibida que aumenta significativamente en verano y la nubosidad es menor en los meses de verano (en la imagen en la página siguiente) para los cálculos de luminancia e iluminancia generados en los modelamientos en Ecotect y Radiance, se consideraron cielos parcialmente nublados en invierno, otoño y primavera y cielos claros en verano. Los valores de iluminancia utilizados en los modelamientos fueron los que propone Ecotect para la latitud especificada, esto porque no se cuenta con la información de irradiancia difusa, sólo la global (Oteiza 2012) (Figura 5.6).

## 5.1.2. CONTEXTO HISTÓRICO URBANO

La información expuesta en este capítulo se basa en la información recabada y redactada para el estudio de Planes Seccionales del Centro histórico de La Serena, durante los años 2012 a 2014 (PS LC, Op.cit.).

**SIGLOS XVI-XVII:** La ciudad de La Serena fundada en el año 1544, constituye la segunda ciudad de origen hispánico más antigua de Chile. Los inicios de La Serena en cuanto a conformación urbana repite la distribución homogénea y regular de la trama de damero, característica común a la mayoría de las ciudades hispanoamericanas, compuesta inicialmente por unos 20 a 25 islotes, contenidas entre dos accidentes geográficos: la barranca del río y la barranca de San Francisco. En un principio, la vida de la ciudad gira en torno a la plaza principal con un desarrollo urbano muy lento, y sólo a fines de éste período el trazado de calles original fue completado.

**SIGLO XVIII:** La ciudad inicia este período amurallada, con una trama de calles y manzanas que sobrepasa el núcleo fundacional. Con el desarrollo de la población y el crecimiento urbano, el trazado original sufrirá las modificaciones impuestas por los accidentes topográficos presentes principalmente cuando la expansión de La Serena sobrepasa el límite de la quebrada de San Francisco y el canal de abastecimiento de aguas. A mediados del siglo XVIII la región consolida su estructura económica, lo que deriva en un aumento sostenido en la demografía. Los solares presentan construcciones simples de no gran extensión, que dejan la mayor parte del solar destinado a la agricultura al interior. Resulta así el poblado de calles de carácter rural por la carencia de edificaciones continua, la presencia importante del follaje de los huertos que asoman sobre los tapiales y la inexistencia de pavimento.

**SIGLO XIX:** En el siglo XIX, la ciudad de La Serena comienza a adquirir una estructura verdaderamente urbana, que refleja la mejora en las condiciones de habitabilidad. La ciudad se vuelve importante dentro de la red ferroviaria y caminera. A principios del siglo XIX se observa un proceso de densificación interna a través de las subdivisiones prediales. El desarrollo arquitectónico da una importante medida de la consolidación urbana de la ciudad, así encontramos que es a partir de 1840, época en la cual ya

la ciudad empezara a perder definitivamente su fisonomía de aldea. Producto de la estimulación de la actividad salitrera, la región pasó de una economía minero-exportadora a una de características agrarias que abasteció las necesidades de las oficinas salitreras, importantes mercados para la producción agrícola. Este hecho trajo como consecuencia un nuevo foco de atracción de la población hacia la ciudad.

**INICIOS DEL SIGLO XX :** En el inicio del siglo XX se produce un estancamiento del desarrollo urbano ligado a la decadencia de la minería y hacia 1940, la ciudad lucía un aspecto decadente. La crisis mundial de 1929 trajo consecuencias demográficas producto del masivo regreso de la población que anteriormente había migrado hacia el Norte Grande. Este retorno de gran cantidad de población causa serios problemas económicos y sociales, ya que la población vuelve en pésimas condiciones económicas, aumentando la demanda por empleo y servicios. La superación de la crisis económica hace sentir sus efectos a partir de 1936 al reactivarse lentamente las tradicionales exportaciones y disminuir los niveles de cesantía.

**1946-1952. PLAN SERENA:** En 1945, bajo el gobierno del Presidente González Videla se proyecta un Plan de Fomento y Urbanización para las Provincias de Chile que tuvo a la ciudad de La Serena como su piloto. El Plan consagra históricamente la intervención y el papel del Estado en la estructuración del territorio y la ciudad. Consideró en líneas generales la cuenca de la Bahía de Coquimbo, como el objeto central de las derivaciones urbanísticas de la ciudad de La Serena, y dividió dicha cuenca para estos efectos en una Zona Residencial, una Zona Agrícola y dos Zonas Industriales. Las diferentes escalas de actuación que abarcó el Plan fueron desde el ámbito territorial hasta el de la arquitectura puntual, pasando por las interconexiones intercomunales y el peso urbano de las obras de arquitectura pública. La ubicación, el destino, y el estilo arquitectónico de todas estas obras, estuvieron señalados de antemano en el Plan, de acuerdo con las tradiciones, necesidades y costumbres de la población, generando con esto ciertas nociones de resguardo o incluso invención de una imagen identitaria de la ciudad. Su construcción fue precedida de la instalación de todos los servicios públicos y municipales.

**DECLARATORIA DE LA ZONA TÍPICA - 1981 A LA FECHA:** Reconociendo el vasto patrimonio arquitectónico y urbano que poseía el centro histórico de la ciudad de La Serena resultado de su pasado remoto y el Plan Serena, se postuló a la generación de una Zona Típica consolidada finalmente en 1981. A partir de entonces, la Zona Típica se ha convertido en instrumento de defensa del Patrimonio Construido, tratando de contribuir a mantener una imagen más o menos acorde con estos inmuebles de valor patrimonial. Sin embargo, y a pesar de ello, ha aumentado el deterioro de algunas zonas del centro donde no se produce inversión ni en restauración, rehabilitación o renovación. La conjunción de las ventajas naturales, el patrimonio arquitectónico y urbano y su cercanía con el Valle del Elqui, ha generado que una de las actividades económicas más representativas de la comuna sea en la actualidad el turismo, actividad que trae aparejadas las funciones de comercio, servicios y hotelería. Por otra parte, su alto estándar urbano respecto del resto de las ciudades del norte chileno, ha determinado la inmigración ligada al área minera. La demanda de este grupo de población está ligada a la necesidad de servicios y educación, no así la de vivienda que se ha producido fuera del centro histórico. Esa razón hace que La Serena se haya transformado en una importante fuente de centros educativos tanto escolar como de enseñanza superior.

### 5.1.3. LA ARQUITECTURA DE LA SERENA

La identificación y categorización de las características especiales que ostentan los inmuebles notables en la Zona Típica de la ciudad de La Serena se pueden agrupar en términos generales, en siete períodos predominantes.

#### PERÍODO COLONIAL, HASTA 1840

**Arquitectura religiosa:** Los templos de este período fueron construidos en cruces de calles, en lugares de esquina, lo cual apunta tanto a la visibilidad que la perspectiva del trazado urbano permitía generar. La arquitectura religiosa colonial constituye una excepción a la tipología de adobe y tejas del período colonial, por cuanto su fábrica es de piedra labrada de sillería, de anchos muros y contrafuertes, mayores alturas y ornamentación. La cal, necesaria para la correcta ejecución de la albañilería de piedra y ladrillo, fue al parecer un material escaso el primer siglo y medio. Las iglesias de La Serena se definen con plantas de una nave o con plantas de cruz latina, con capillas adosadas, torre a un costado de su fachada y cubiertas a dos aguas. El empleo de la piedra lleva en algunos casos al uso de la bóveda en la sacristía y la ornamentación en relieve de la fachada. También aparece en el siglo XVIII, la ornamentación de canes de madera tallados (Figura 5.7).

**Arquitectura Civil:** La construcción de esta época, en línea de edificación a la calle, continúa con la casona familiar organizada en torno a patios y corredores (como la casa romana), con una trabajada portada de piedra, con arco medio punto en el zaguán que comunica al patio, ventanas protegidas con gruesas rejas de hierro forjado de barrotes pasados o de lanza, donde se hace uso del vidrio con mayor frecuencia. Tienen alero que muestra la cubierta de tejas. El espaciamiento entre vanos es mayor si se compara con edificaciones posteriores, por lo cual predomina fuertemente la masa llena por sobre el vacío, sistema constructivo que responde fundamentalmente a la necesidad de resistencia sísmica.



Figura 5.7: Iglesia de Santo Domingo (MH), La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Restudio.

### **Caracterización morfológica y arquitectónica del Período Colonial**

**VOLUMETRÍA:** Volúmenes compactos con uno o dos patios interiores, edificación sobre la línea oficial, en fachada continua (hacia final del período). Un piso en vivienda y mayor altura en iglesias. En iglesias hay torreones del campanario al costado de la nave.

**MATERIALIDAD:** Piedra (para el caso de iglesias), adobe en muros (en viviendas), teja de arcilla, madera en ventanas y aleros, vidrio en ventanas, rejas de metal.

**COLORES:** Piedra natural, colores de estuco de adobe. Color arcilla en cubierta.

**TEXTURA:** Rugosa en iglesias de piedra y liso en los enlucidos sobre el adobe.

**CUBIERTA:** En viviendas: cubiertas a dos aguas de teja con alero visible desde la calle, cumbreras paralelas a la calle. En iglesias, cubierta a dos aguas de teja de arcilla, perpendicular a la calle. Los torreones presentan cúpula redonda o a dos aguas.

**ALTURA DE PISOS Y RELACIÓN ENTRE SI:** Un piso en vivienda 3.5 a 5 m aprox. en Iglesias más de 7 m.

**COMPOSICIÓN DE LA FACHADA:** Ritmo vertical de vanos homogéneo en fachadas. Ritmo horizontal de la fachada general, zócalo, antepechos, dinteles y aleros. Proporción lleno/vacío: 85/15 % o menos.

Relación ancho alto: ventanas 7/10. Puertas: 1/ 2. No hay mansardas ni buhardillas ni zaguanes.

**DETALLES:** Aleros simples sobresalen 20 cm o menos. Portal a veces en piedra con arco abierto. Pilar de esquina de piedra con diseño en capitel y base. Zócalo de piedra con moldura superior.

### **PERÍODO CLÁSICO Y CLÁSICO SERENENSE, ENTRE 1830 Y 1880**

Con la llegada de la República, llegan extranjeros ingleses, franceses y norteamericanos, etc. que traen oficios de carpinteros, técnicos, mineros y comerciantes llegan nuevas costumbres y también nuevas formas constructivas, que si bien no abandonan el modo de distribuir los espacios característicos de períodos anteriores, intervienen en el gusto estético de la arquitectura. Se conserva el espaciado entre vanos del período anterior pero no la proporción de los vanos que tiende a la verticalidad. Portadas y otros elementos de decoración son tratados en carpintería de estilo clásico muy riguroso. Se



Figura 5.8: Casa Piñera (MH), La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Restudio.

pone énfasis en rejas de lanza o lisas como protección de las ventanas y fuente de ornamento.

Lo ejemplos con poca decoración corresponden al tipo de arquitectura del Classic Revival, que tiene lugar en Estados Unidos después de la Independencia que propone una arquitectura inspirada en Grecia y el neoclasicismo francés. Se debe considerar a su vez, que las características estilísticas no devinieron sólo de las habilidades de los maestros carpinteros extranjeros y regionales que construyeron en La Serena, sino también de la transferencia cultural que se debió dar entre las ciudades del territorio donde se tranzaban las economías nacionales y regionales: La Serena, Santiago y Valparaíso (Figura 5.8 y Figura 5.9).

### **Caracterización morfológica y arquitectónica del período clásico**

**VOLUMETRÍA** Volúmenes compactos con uno o dos patios interiores, edificación sobre la línea oficial, en fachada continua. Un piso en vivienda y mayor altura en iglesias. En iglesias hay torreones del campanario al inicio de la nave centrados simétricamente.

**MATERIALIDAD:** Piedra (iglesias), adobe y ladrillo en muros (viviendas), teja de arcilla, madera en cubiertas aleros, puertas y ventanas, vidrio, rejas de metal. Madera en zócalos, pilaretes y antetechos.

**COLORES:** Piedra natural, colores de estuco de adobe y pintura de maderas. Color arcilla en cubierta.

**TEXTURA:** Rugosa en iglesias de piedra y liso en los enlucidos sobre el adobe. Estriada en maderas.

**CUBIERTA:** En viviendas las cubiertas son a dos aguas de teja con alero visible desde la calle, o tapada con antetecho decorado. Cumbreras paralelas a la calle. Torreones o linternas en cubiertas. En iglesias, cubierta a dos aguas de teja de arcilla, perpendicular a la calle. Los torreones presentan cúpula redonda o a cuatro aguas.

**ALTURA DE PISOS Y RELACIÓN ENTRE SI:** Un piso en vivienda 3.5 a 4 m aprox.

**CUERPOS SALIENTES:** En frontis hacia arriba. En cubierta por cuerpos salientes de torreón o linterna.

**ANTEPECHOS:** De altura continua a 80 cm, o menos. Coinciden con zócalo.

**ZÓCALOS:** Existentes en fachadas, 80 cm de altura o menos

**CORREDORES:** En el interior hacia patios interiores.



Figura 5.9: Catedral de La Serena (MH). Levantamiento ortográfico. Fuente: Restudio.

**COMPOSICIÓN DE LA FACHADA:** Ritmo vertical de vanos y pilaretes. Ritmo horizontal de zócalo, antepechos, dinteles, antetechos y aleros. Proporción lleno/vacío: 85/15. Relación ancho alto: ventanas 7/10 o 7/12. Puertas: 1/ 2. Puede haber zaguanes.

**DETALLES Y ORNAMENTOS:** Aleros simples sobresalen 20 cm o menos. Canes a la vista. Revestimientos de zócalos, dinteles, antetecho, pilastras y pilaretes de madera con molduras con modulación clásica. Arco de medio punto en ventanas de iglesias. Pilastras, antetechos y antepechos decorados, moldura de zócalos y vanos. Ornamentación de pilastras de vanos con proporción clásica.

## **PERÍODO ECLÉCTICO, ENTRE 1880 Y 1948**

El Historicismo había penetrado en el gusto dominante de arquitectos y clientes en las postrimerías del siglo XIX y hasta casi tres décadas del XX. El neo romántico, el neo bizantino y el neo gótico fueron los estilos obligados de la iglesia, salvo muy raras excepciones. En la arquitectura civil la gama de posibilidades de inspiración histórica no tenía prácticamente límites. En este período se encuentra una carpintería muy elaborada que no se ciñe tan estrictamente a un orden, como lo fue en el periodo Clásico Serenense (Figura 5.10 y Figura 5.11).

La composición es de acento vertical, donde se mantienen los antetechos, y se tratan los muros de fachadas con resaltes, pilastras o cadenas simuladas. El neocolonial, gestado a partir de comienzos del siglo (XX), con el centenario de la Independencia Americana como hito en la búsqueda de una expresión propia, se desarrolla con intensidad en Argentina, Perú y México. Posteriormente, la Exposición de Sevilla de 1929 y también otras vertientes como son el estilo Californiano o Mission desde los Estados Unidos, serán influencias importantes en su desarrollo. También la polémica surgida por las propuestas del realismo socialista que proponía la vuelta al figurativismo y una crítica radical a los planteamientos de la arquitectura moderna.



Figura 5.10: Casa Carmona (MH), La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Restudio.

### **Caracterización morfológica y arquitectónica del período ecléctico**

**VOLUMETRÍA:** Volúmenes compactos con uno o dos patios interiores, edificación sobre la línea oficial, en fachada continua. Torreones o linternas en cubiertas.

**MATERIALIDAD:** Adobe o ladrillo estucado, estructura de cubiertas y revestimientos de antetechos y pilastras en madera o estucos en relieve. Teja o plancha metálica en cubierta. Mayor proporción de vidrio en fachada.

**COLORES:** Piedra natural en detalles, colores en estucos y maderas. Color arcilla o metal en cubiertas.

**CUBIERTA:** A dos aguas de teja o plancha metálica con alero visible desde la calle, o tapada con antetecho decorado opaco o translúcido por balaustrada. Cumbreras paralelas a la calle. Torreones o linternas en cubiertas.

**RETRANQUEOS:** Hay retranqueos en galería abiertas en segundos pisos.

**ALTURA DE PISOS Y RELACIÓN ENTRE SI:** Entre 4 y 5 m para primeros pisos y 3,5 m para los segundos.

**FRONTONES:** Los hay sólo si hay antetecho. Son ornamentados en estilo clásico.

**ANTEPECHOS:** De altura continua a 80 cm a 1 m. Coinciden con zócalo.

**ZÓCALOS:** Existentes en fachadas, 80 cm a 1 m de altura. Pueden ser de piedra o revestidos en madera ornamentada.

**CORREDORES:** En el interior hacia patios interiores, en abalcomamientos del 2º piso.

**PÓRTICOS:** En acceso principal sin volumen, revestimiento de madera con ornamentación simple.

**FACHADA:** Ritmo vertical de vanos y pilaretes. Ritmo horizontal de zócalo, antepechos, dinteles, antetechos y aleros. Proporción lleno/vacío: 85/15 % a 75/25%. Relación ancho alto: ventanas 7/10 o 7/12. Aparecen ventanas compuestas por tres paños verticales de proporción 1/2 al centro y 1/4 las laterales, más arco muy aguzado (orgánico) sobre cada paño. Puertas: 1/ 2. Puede haber zaguanes.

**DETALLES:** Cuando hay aleros son ornamentados con canes vistos, sobresalen 20 cm o menos. Revestimientos de zócalos, dinteles, antetecho, pilastras y pilaretes de moldura de madera o estuco con modulación clásica.



Figura 5.11: Casa Gabriel Gonzales Videla (MH), La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Restudio.

**ORNAMENTOS:** Pilastras, antetechos y antepechos decorados, moldura de zócalos y vanos. Los antetechos son ornamentados con balaustrada o piezas torneadas. Rejas forjadas o fundidas ornamentadas. Ornamentación de pilastras en capitel y base a los costados de los vanos.

## **ART NOUVEAU, ART DECÓ. 1900 - 1910**

Este nuevo arte conocido como “Nuevo Estilo” surge a finales del siglo XIX y comienzos del XX y se expresa en toda Europa con diferentes nombres. Esta nueva propuesta se expresa en el arte de la pintura, pero será en la arquitectura y en las artes aplicadas donde se relaciona más directamente con los grandes progresos técnicos e industriales que caracterizaron las últimas décadas del siglo XIX. Revolucionario en sus proyecciones sociales, el nuevo movimiento ya no mira hacia lo antiguo sino que busca en el mundo contemporáneo los estímulos y los medios de concretar la nueva forma de expresión. Los motivos ornamentales más diversos inspiran su decoración: incrustaciones calcáreas, algas marinas, elementos de la vida orgánica e inorgánica, arabescos abstractos, etc., donde las formas ondulantes y vegetales destacan singularmente (Figura 5.12); también se usan composiciones geometrizzantes”.

### **Caracterización morfológica y arquitectónica del período art nouveau**

**VOLUMETRÍA:** Volúmenes compactos, edificación sobre la línea oficial, en fachada continua. Dos o tres pisos.

**MATERIALIDAD:** Ladrillo estucado, hormigón, metal y yeso. Estructura de cubiertas en madera. Teja metálica o plancha metálica en cubierta. Mayor proporción de vidrio en fachada.

**COLORES:** Colores en estucos y maderas. Color metal en cubiertas. Tonos cálidos (actualmente).

**TEXTURA:** Lisa en los enlucidos sobre el ladrillo. Estriada o con motivos orgánicos o geométricos por molduras de estucos en relieve.



Figura 5.12: Casa Anastassiou (ICH), La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Archivo de la autora.

**CUBIERTA:** Cubiertas a dos aguas de plancha metálica tapada con antetecho decorado con motivos geométricos u orgánicos. Cumbre paralelas a la calle. Torreones o linternas en cubiertas con cubiertas muy agudas o pequeñas cúpulas revestidas en teja metálica.

**ALTURA DE PISOS Y RELACIÓN ENTRE SI:** Entre 4 y 5 m para primeros pisos y 3,5 m para los segundos y terceros.

**CUERPOS SALIENTES:** En la cubierta, torreones o antetechos.

**FRONTONES:** En el antetecho. Son ornamentados en estilo art nouveau o decó, geometría y organicidad.

**ANTEPECHOS:** De altura continua a 80 cm a 1 m. Coinciden con zócalo.

**ZÓCALOS:** Existentes en fachadas, 1 m de altura. Se marcan por molduras, no hay cambio de material.

**CORREDORES:** En el interior hacia patios interiores, en abalconamientos del 2º piso.

**PÓRTICOS:** En acceso principal sin volumen, revestimiento de madera con ornamentación simple.

**FACHADA:** Ritmo vertical de vanos y pilaretes, las ventanas pueden ir de a pares o repartidas homogéneamente. Ritmo horizontal de zócalo, antepechos, dinteles, antetechos y aleros. Ritmos aleatorios por profusa texturación de molduras. Proporción lleno/vacío: 85/15 % a 75/25%. Relación ancho alto: ventanas 7/10 o 7/12. Aparecen ventanas contiguas, algunas veces con arcos de medio punto o más abierto. Puertas: 1/ 2. Hay zaguanes.

**DETALLES:** Cornisas superiores e intermedias con ornamentación geométrica u orgánica. Molduras rectas o figurativas en zócalos, dinteles, antetecho, pilastras y pilaretes. Gárgolas en cubiertas. Palillaje de las ventanas con geometrías rectas o curvas.

**ORNAMENTOS:** Cubiertas, cornisas, balcones, zócalos, dinteles decorados con figuras geométricas u orgánicas.

### **PERÍODO RACIONALISTA Y NEOCOLONIAL 1930 – 1948**

Otro estilo reconocible de este período es el racionalismo, que marca las obras de construcción de la Universidad de la Serena y el barrio Centenario; este estilo se encuentra en una equilibrada fusión

con el estilo neocolonial en el edificio del Cuerpo de Bomberos, ubicado en la esquina sur- oriente de Francisco de Aguirre con Balmaceda (Figura 5.13 y Figura 5.14).

### **Caracterización morfológica y arquitectónica del periodo racionalista y neocolonial**

**VOLUMETRÍA** Volúmenes con sub-volúmenes de gran dimensión, edificación sobre la línea oficial, en fachada continua. Retranqueos en pisos superiores y perforaciones aporticadas en primer piso.

**MATERIALIDAD:** Ladrillo estucado, hormigón, metal y yeso. Estructura de cubiertas en madera. Teja de arcilla (neocolonial) o plancha metálica en cubierta. Vidrio en ventanas.

**COLORES:** Colores claros en la fachada rojizos en las molduras, cornisas, pilastras, marcos y detalles.

**TEXTURA:** Lisa en los enlucidos sobre el ladrillo. Sobresalen alfeizares y pilastras de los vanos en hormigón.

**CUBIERTA:** Cubiertas a dos aguas de teja de arcilla (neocolonial) o plancha metálica (racionalista).

Cumbreras paralelas a la calle. Torreones, linternas o pequeñas cúpulas en cubiertas.

**RETRANQUEOS:** En pisos superiores y horadaciones aporticadas en el primer piso.

**ALTURA DE PISOS Y RELACIÓN ENTRE SI:** Entre 4 y 5 m para primeros pisos y 3 m para los pisos superiores.

**CUERPOS SALIENTES:** En la cubierta, volúmenes compactos, torreones, balcones.

**FRONTONES:** En el antetecho de hormigón estucado y ornamentado o con molduras de yeso.

**ANTEPECHOS:** De altura continua a 1 m o 1.2 m.

**ZÓCALOS:** Puede tratarse de todo el primer piso, revestido en piedra u otro material diferente del resto de la fachada.

**PÓRTICOS:** En el primer piso o en balcones superiores.

**FACHADA:** Marcado ritmo horizontal dado por corredera de ventanas, aleros de hormigón en ventanas, cornisas, aleros de cubierta y alféizares. Composición de fachadas complejas con vanos de variadas dimensiones: vanos en proporción 1/1.2 o 1/1 o 1.2/1 o corredera de varios vanos juntos en horizontal. Hay vanos de grandes dimensiones verticales en torreones. Hay arcos eventuales en ventanas o puertas.



Figura 5.13: Cuartel de Bomberos de La Serena (ICH). Levantamiento ortográfico. Fuente: Archivo de la autora.

**DETALLES:** Balcones como cuerpos salientes, simples (racionalista) u ornamentados (neocolonial). Hay columnatas, aleros rectos, molduras rectas no estriadas u ornamentadas (neocolonial).

**ORNAMENTOS:** Pináculos en cubiertas, balaustradas en antetechos, balcones decorados en yesería, rosetones pequeños sobre pilares de arcos, claves, rejas de fierro forjado.

## **PERÍODO DEL PLAN SERENA, ENTRE 1948 Y 1952**

Sobre el antecedente estilístico neocolonial y con el ejemplo de las obras del período anterior, el Presidente de la República Gabriel Gonzáles Videla, basó su propuesta de renovación urbana y que formó parte de la propuesta piloto de fomento para el desarrollo de esta región, denominada PLAN SERENA. La renovación constructiva puso énfasis en edificios educacionales, de servicio público y habitacionales. Creó nuevos barrios residenciales ocupando e integrando el extrarradio urbano y conservó otros que representan un valioso testimonio del patrimonio regional.

### **Caracterización morfológica y arquitectónica del periodo Plan Serena**

**VOLUMETRÍA:** Volúmenes compuestos por sub-volúmenes de gran dimensión, edificación sobre la línea oficial, en fachada continua o de cuerpos aislados dispersos por la manzana. Retranqueos en pisos superiores y perforaciones aporticadas en primer piso.

**MATERIALIDAD:** Ladrillo estucado, hormigón, y yeso. Estructura de cubiertas en madera. Teja de arcilla o plancha metálica en cubierta. Vidrio en ventanas, pórticos, torreones o primeros pisos de piedra.

**COLORES:** Colores claros en la fachada rojizos en detalles. Piedra natural. **TEXTURA:** Lisa en los enlucidos sobre el ladrillo. Sobresalen alfeizares y pilastras de vanos en hormigón. Piedra rugosa.

**CUBIERTA:** Cubiertas a dos aguas de teja de arcilla o plancha metálica, terminadas en cola de pato. Torreones, linternas, pináculos o pequeñas cúpulas en cubiertas.

**RETRANQUEOS:** En pisos superiores y horadaciones aporticadas en el primer piso.

**ALTURA DE PISOS Y RELACIÓN ENTRE SI:** 4 a 5 m para primeros pisos y 3 m para los pisos superiores.



Figura 5.14: Secretaría de educación (ICH), La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Restudio.

**CUERPOS SALIENTES:** En la cubierta, volúmenes compactos, torreones, balcones.

**CUBIERTAS:** Cubiertas a dos aguas de teja de arcilla o plancha metálica, terminadas en cola de pato.

Torreones, pináculos, linternas o pequeñas cúpulas en cubiertas.

**FRONTONES:** En el antetecho de hormigón estucado y ornamentado o con molduras de yeso.

**ANTEPECHOS:** De altura continua a 1 m o 1.2 m.

**ZÓCALOS:** Puede tratarse de todo el primer piso, revestido en piedra u otro material diferente del resto de la fachada.

**PÓRTICOS:** En el primer piso o en balcones superiores.

**FACHADA:** Marcado ritmo horizontal dado por corredera de ventanas, aleros de hormigón en ventanas, cornisas, aleros de cubierta y alféizares. Composición de fachadas complejas con vanos de variadas dimensiones: vanos en proporción 1/1.2 o 1/1 o 1.2/1 o corredera de varios vanos juntos en horizontal o composición de varios vanos pequeños. Hay vanos de grandes dimensiones verticales en torreones. Hay arcos en algunos pórticos, ventanas o puertas.

**DETALLES:** Balcones como cuerpos salientes, simples u ornamentados. Hay columnatas, aleros rectos, molduras rectas o estriadas y ornamentadas. Gárgolas, pináculos y molduras.

**ORNAMENTOS:** Pináculos en cubiertas, balaustradas en antetechos, balcones decorados en yesería, rosetones pequeños sobre pilares de arcos, claves, rejas de fierro forjado.

## **PERÍODO POST PLAN SERENA, HASTA 1981, DECLARATORIA DE MONUMENTOS NACIONALES**

Durante este período, el centro de la ciudad no sufre intervenciones arquitectónicas ni urbanas a la escala de las ocurridas durante el Plan Serena. Sin embargo, si se realizan edificios importantes. La mayor parte de ellos presenta una arquitectura propia de la segunda mitad del siglo XX, con influencias modernistas, funcionalistas e internacionales, basadas sobre todo en el uso del hormigón armado como material y sistema constructivo predominante y el acero, en menor medida, para elementos portantes a la vista como pilares o vigas. La proporción de los vanos cambia evidentemente hacia



Figura 5.15: Edificios de la década de 1990 - 2000, La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Archivo de la autora.

la horizontalidad, se aumenta la proporción del vacío por sobre el lleno, aparecen elementos constructivos como motivos arquitectónicos ambivalentes entre detalle y estructura: vigas, pilares, losas, voladizos, pilastras de ventanas, marcos de portales, etc. La relación del edificio con la calle incorpora criterios novedosos, aparecen las galerías y pórticos abiertos que generan un espacio intermedio entre un interior y un exterior urbano, en general para dinamizar la función comercial y cívica. Se adopta también concepto de ciudad jardín dado por elementos aislados rodeados de un anillo verde que en muchas ocasiones rompe radicalmente la línea continua de la calle, edificada sobre la línea oficial. Estos casos se dan por lo general en inmuebles destinados a vivienda más que para edificios de carácter público. Aunque se adoptan criterios propios del modernismo y el funcionalismo del estilo internacional, la arquitectura que se desarrolla durante este período no incorpora características radicales como la dominación absoluta de la línea horizontal en la fachada y las grandes áreas vidriadas, con vidrio reflectante y envolvente continua. Como período precursor de la declaratoria de Zona Típica, es probable que se buscara establecer algunos códigos arquitectónicos propios de la ciudad como la masa, el ritmo vertical, el arco, la teja, el pórtico, el balcón, utilizados en varios de los edificios de esta época. Se reinterpreta el arco propio de la ciudad en uno muy extendido que se refuerza en la nueva horizontalidad de los vanos, ya sean puertas, ventanas o pórticos.

### PERÍODO ACTUAL, DESDE 1981

El crecimiento demográfico en el Centro Histórico no ha aumentado a la velocidad en que lo ha hecho la periferia de la ciudad, donde hoy se concentran las mayores intervenciones arquitectónicas y donde es más factible observar la estilística arquitectónica desarrollada en las últimas décadas. En la parte que corresponde a la Zona Típica, la mayor parte de las intervenciones han sido edificios aislados que ocupan los predios definidos ya a mediados del siglo XX con pocas variaciones en el tamaño de la subdivisión. Estos edificios han tendido a conservar aspectos que parecen inherentes a la arquitectura



Figura 5.16: Edificios de la década de 1990 - 2000, La Serena. Levantamiento ortográfico. Fuente: Archivo de la autora.

serenense, los cuales comenzaron a ser definidos para la declaratoria de Zona típica en 1981 (Figura 5.15 y Figura 5.16). Se desatanca entre ellos el color, el uso de arcos, el predominio del lleno por sobre el vacío, la modulación rítmica homogénea de los vanos, los vanos de tamaño relativamente reducido, los frontones en la cubierta, la teja de arcilla, cornisamentos y zócalos, entre otros.

Las diferencias sustanciales con respecto a los estilos originales guardan relación con la materialidad, por lo general las obras mayores son construidas en hormigón armado y las menores en materiales livianos de armado en seco como madera y planchas de yeso-cartón con terminación de estuco para similar el acabado de enlucido real. Los vidrios transparentes en algunos casos han sido reemplazados por vidrios reflectantes o de color oscuro, aunque nunca llegan a constituir muros cortina. También es posible observar que si bien se siguen patrones estilísticos existentes, algunas veces son utilizados arbitrariamente o mezclando estilos de épocas diferentes. Otra importante cantidad de obras realizadas en este sector en los últimos años es la modificación de edificios existentes, ya sea con el fin ampliar su altura en un piso o para modificar su fachada generalmente en el paso de vivienda a comercio. Estas alteraciones han seguido el mismo patrón de uso de caracteres intuitos como serenenses: frontones, arcos en los vanos, color y ornamentos sobre la cubierta, entre otros. Por lo general es posible decir que estas alteraciones no han logrado una continuidad armónica en el espacio público y hoy se advierte, sobre todo en las calles de mayor comercio, un desorden que no ha sido posible de eliminar con la interpretación de los estilos de La Serena.

### 5.1.3.1. SISTEMAS PARA EL USO DE LA LUZ NATURAL COLONIALES EN LA SERENA

**Portada:** Elemento arquitectónico de enorme importancia que se transforma en un símbolo. Es el acceso y a la vez el elemento que hace distintivo un edificio de otro. Tenía la función de acceso desde peatones hasta carruajes, por eso su gran tamaño. Es del alto del primer piso habitualmente. El cielo



Figura 5.17: Sistemas y tecnología colonial relativa al uso de luz natural, puertas y portales. Fuente: Apuntes sobre arquitectura colonial chilena (Dávila, 1978).

del zaguán es por este motivo, más alto que el del resto de las habitaciones. Su gran dimensión hace que se necesite una estructura propia de techumbre y la solución a dos aguas que genera un ‘frontón’ resulta tan habitual que es parte de la lectura obligada de una portada. Entre el cielo del zaguán y la techumbre muchas veces se construía una pequeña habitación para esclavos o guardia, de ahí que en el tímpano a veces se encuentra una pequeña ventana o tronera. En sectores más humildes o modernos suele simplificarse y se enuncia solamente por su dintel recto o semiarqueado y el portón que puede tener dos puertas más la pequeña gatera para peatones. Es un elemento posible de leer como genuinamente chileno (Dávila 1978) (Figura 5.17).

**Ventanas y puertas:** Sus objetivos son defender y adornar al mismo tiempo con pocos recursos y herramientas básicas (baja tecnología). Siempre responden a criterios constructivos por eso son sólidas, incluso demasiado, de madera noble, se ven infranqueables. Su ensamble revelan conocimientos constructivos. Usan motivos ornamentales como el mudéjar, renacentista, barroco y aborigen americano, o detalles de autor como clavos forjados pero las ornamentaciones nunca debilitan su solidez. Si se trata de portones muy grandes, tienen una pequeña puerta inscrita para peatones. Usan bocallaves decorativas muy complejas o muy simples. Otro tipo son las puertas con postigo alto con rejas o balaustas de protección. Éstas son más frecuentes en el interior, de una habitación hacia un patio interior. Su expresión es más delicada. Pueden estar subdivididas en dos o más hojas. Pueden estar o no ornamentadas, dependiendo de la función de la vivienda, claustro o vivienda urbana, por ejemplo (Ibid, 168).

**Protecciones:** Permiten abrir la ventana y no quedar desprotegido. Son un elemento de autor donde se expresan todas las sensibilidades y anhelos decorativos y estilísticos. Esto es contradictorio con su utilidad más pura que es la de ser una estructura netamente de protección. El metal es un material dúctil que permite muchas posibilidades y esta es una de las razones más importantes para transformarse en un elemento decorativo muy elocuente y comunicador, en general cayendo en el romanticismo, por la factibilidad de hacer curvas. Su sombra es un elemento a considerar, es como la duplicación

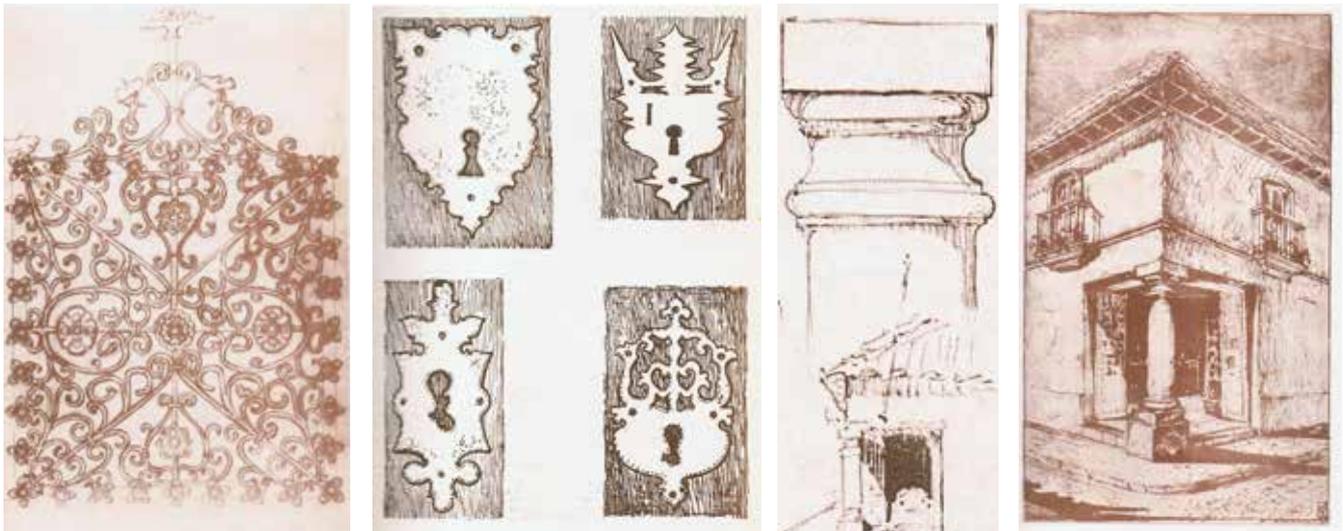


Figura 5.18: a. Sistemas y tecnología colonial relativa al uso de luz natural, b. quincallería y c. pilares de esquina. Fuente: Apuntes sobre arquitectura colonial chilena (Dávila, 1978).

de la reja misma cuando tiene sol directo. La gracia de sus formas contrasta con lo frío del material. Hay rejas de sobreponer (por fuera del muro) o en el interior del vano, estas últimas más bien en forma de barrotes que a menudo se construyeron junto con el muro de adobe. Es un elemento de aislación física pero no visual. Fueron forjadas en Chile pero con hierros españoles que llegaron en forma de lingotes o barras. También se importaron rejas ya hechas, sobre todo de la zona de Vizcaya. El dominio técnico del metal es también muy elocuente para señalar estadios de desarrollo, la reja forjada por ejemplo demuestra la inexistencia de la soldadura. Las piezas complejas demuestran el dominio del molde. Las barras, la extrusión. Así, las importantes fases técnicas del dominio del metal como elemento constructivo (Ibid, 190).

**Pilar de esquina:** Surge como necesidad de sustituir el cruce de muros estructurales por un único elemento estructural resistente de sección mínima. Es un recurso de origen peninsular usado en los períodos barroco y neoclásico en Chile. Las aberturas que deja a los lados resuelven el acceso hacia dos calles, una ventaja para el comercio o el almacenamiento. El material más común es la piedra monolítica tallada con base, fuste y capitel. También hay en menor cantidad de casos de ladrillo y madera. Los de piedra corresponden principalmente al período neoclásico (Ibid, 218). Es un elemento que permite la apertura de dos vanos de acceso peatonal, luz y ventilación al recinto de la esquina y muchas veces a los recintos aladaños (Figura 5.18 c). En la ciudad de La Serena es frecuente en la arquitectura neoclásica.

#### 5.1.4. EL PROBLEMA DEL PATRIMONIO EN LA SERENA

El Centro Histórico actualmente presenta claros indicios de una obsolescencia física, y funcional. Tal como ha sucedido con los centros históricos de otras ciudades, el centro fundacional en muchos casos no ha sido capaz de responder a los cambios que se han generado. Los mismos atributos que constituyen el valor principal del Centro Histórico, sus inmuebles y espacios de valor patrimonial, se convierten en una fuente de rigidez para enfrentar las transformaciones se requieren para volver a ser útil funcional.

El patrimonio arquitectónico resguardado por la Zona Típica ha ido registrando el paso del tiempo, y aunque no ha sufrido cambios negativos, tampoco ha tenido intervenciones positivas generadas de su condición patrimonial. Se produce deterioro y desgaste generado por el acontecer urbano propio de un centro de ciudad como la contaminación acústica y ambiental. El estado de la edificación es variable, el sector que presenta la mayor cantidad y concentración de edificaciones en buen estado de conservación corresponde al centro fundacional, específicamente a aquellas manzanas que rodean la Plaza de Armas y que corresponden en su mayoría a edificaciones patrimoniales, sin embargo, casi la mitad de la Zona Típica presenta edificaciones con cierto grado de deterioro sobre todo en el sector oriente.

En la actualidad, las nuevas edificaciones en la zona típica no obedecen a un estilo arquitectónico definido, más bien se repiten algunos elementos propios de siglos pasados mezclado con elementos y materiales modernos que no generan una lectura ni estilo propios. Los criterios para regular la inserción armónica en el conjunto arquitectónico, en algunos casos, hacen que las edificaciones nuevas aparezcan escenográficas, donde la cáscara de materiales poco nobles oculta una edificación con características que distan ostensiblemente de los objetivos y propósitos expuestos en la Ley de Monumentos Nacionales. Junto con ello se presentan moldes de fachadas al imitar la última edificación aprobada, lo que anula cualquier propuesta innovadora ante la agilidad aparente del trámite de aprobación de estos moldes, que se van repitiendo en la ciudad.

Como consecuencia de todo lo anterior se puede constatar que la demanda de vivienda se ubica cercana a la costa o en conjuntos residenciales diversos del centro, gran parte del uso del centro es en temporada estival, existe migración de centros comerciales y de servicios, existe deterioro urbano por contaminación y desprestigio del centro por inseguridad ciudadana, hay deterioro de la edificación por inviabilidad económica de intervenciones acordes al patrimonio, lo que en suma está generando un fuerte despoblamiento, abandono y desinterés por la utilización del centro histórico que en potencia puede prestar satisfactorias funciones residenciales y complementarias a un centro vivo.

## 5.2. CINCO CASOS DE ESTUDIO

### 5.2.1. SELECCIÓN DE EDIFICIOS

En la Introducción de la tesis, en el punto Metodología, se ha explicado en detalle el proceso de selección y análisis de los casos de estudio, sin embargo se vuelven mencionar a grandes rasgos los criterios de selección de los edificios que serán analizados y donde se realizarán las propuestas. Esta selección se realizó en base a tres criterios:

1. Se buscó en el universo de inmuebles de valor patrimonial reconocido por la existencia de alguna protección normativa vigente, ya sea como Monumento Histórico (MH) o Inmueble de Conservación Histórica (ICH).
2. Se restringió la búsqueda a la tipología casa-patio por ser la más representativa de la Serena. La selección de casos similares permite visualizar problemas distintos asociados a una misma tipología, y por lo tanto establecer distintas propuestas de solución en el contexto general de similar tipología.
3. El tercer criterio fue la elección de edificios que tuviesen distintas funciones: vivienda, comercio, educación y hospedaje, con el fin de enfrentar distintas necesidades y requerimientos, tanto humanos como normativos. En todos los casos, los inmuebles originales fueron proyectados y utilizados como vivienda, hasta que el centro histórico expulsa la actividad residencial, concentrándose en las actividades de comercio y servicios, un fenómeno que tiene ya 50 años.

Los edificios seleccionados son Casa Carmona (MH), Casa Cavada (ICH), Casa Herreros (ICH), Casa Solar Chadwick (ICH) y Casa Piñera (MH). Todas las casas están insertas dentro de la Zona Típica de la ciudad de La Serena.



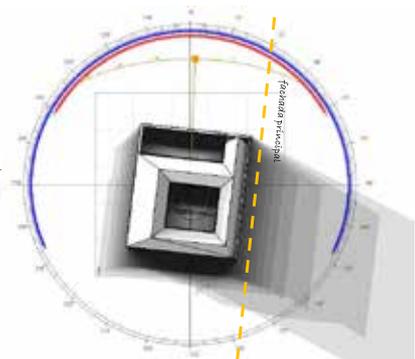


Figura 5: 3. CASA HERREROS (MH)

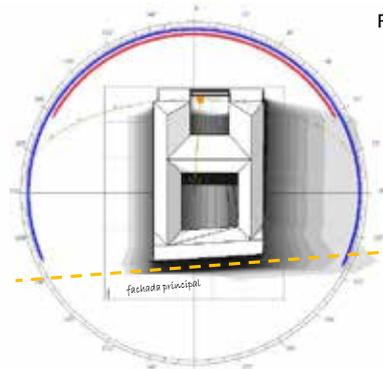


Figura 6: 5. CASA PIÑERA (MH)

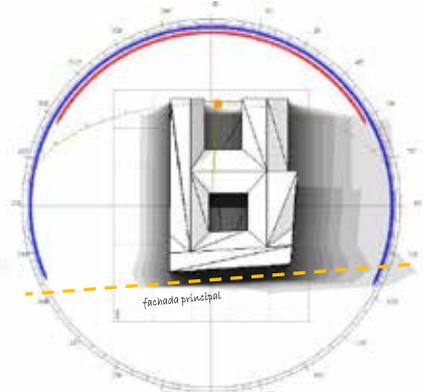


Figura 7: 4. CASA SOLAR CHADWICK (ICH)

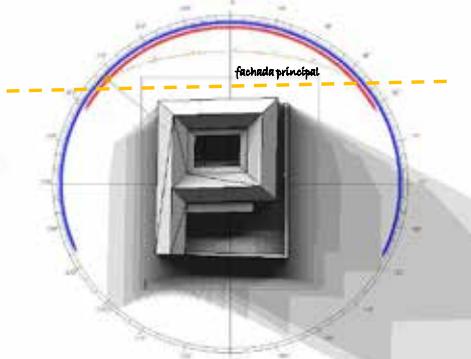


Figura 8: 2. CASA CAVADA (ICH)

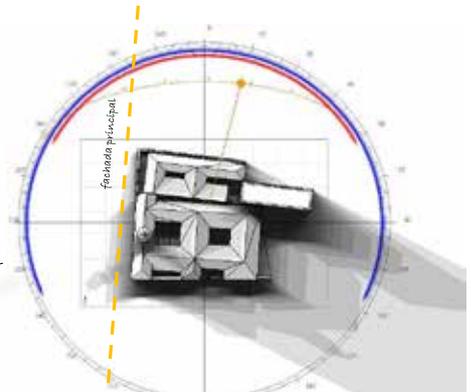


Figura 9: 1. CASA CARMONA (MH)

**SIMBOLOGÍA**

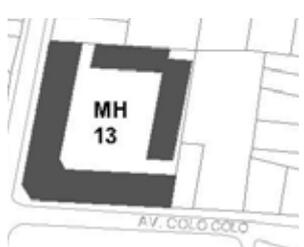


Figura 10: MONUMENTO NACIONAL (MH)



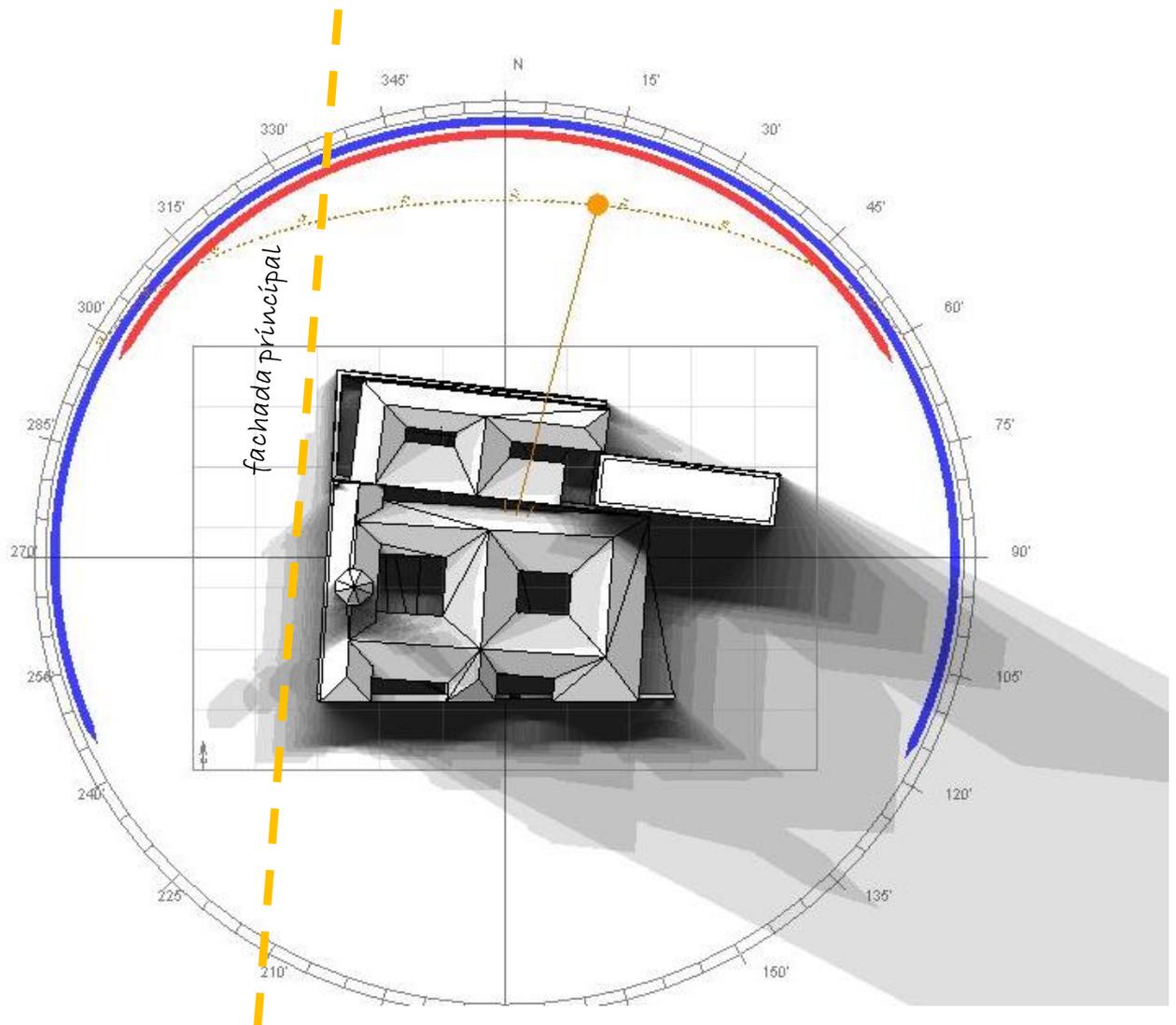
Figura 11: INMUEBLE DE CONSERVACIÓN HISTÓRICA (ICH)



Figura 12: LIMITE ZONA TÍPICA (ZT)



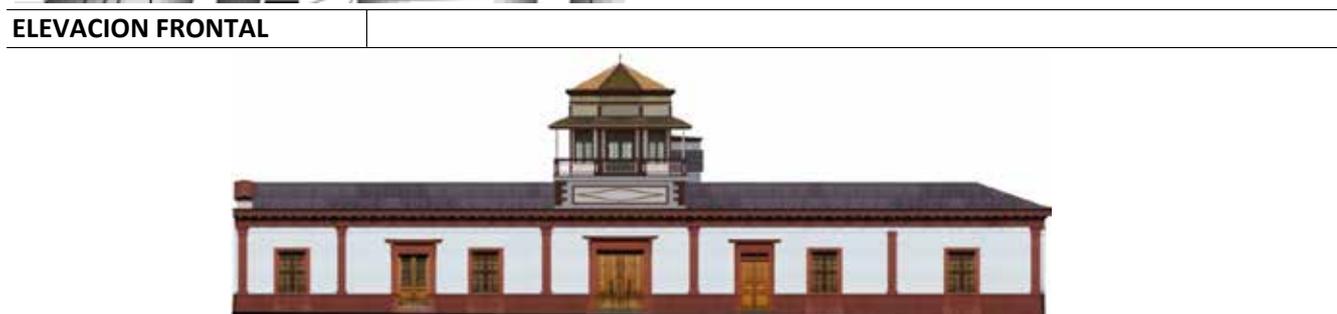
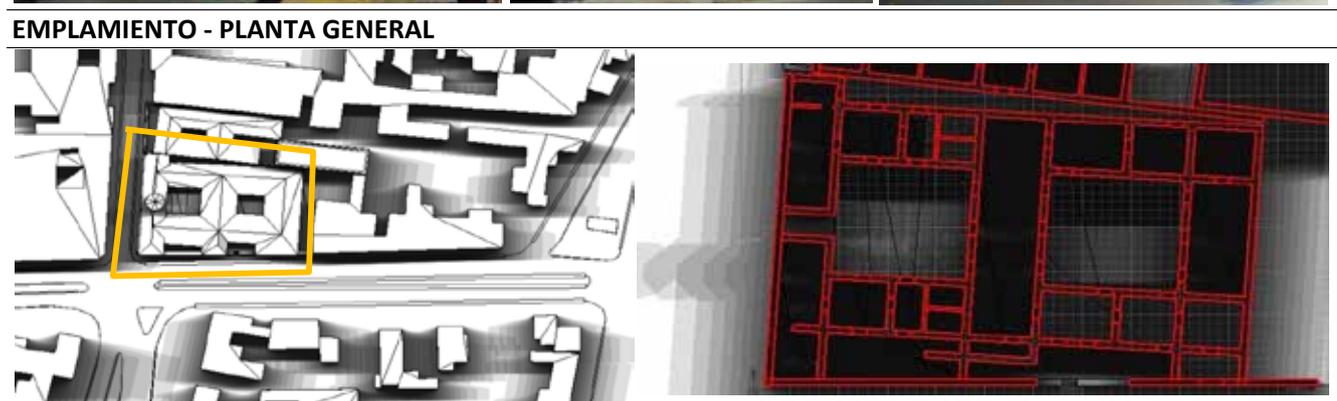
# CASO 1. CASA CARMONA



<b>NOMBRE</b>	CASA CARMONA
<b>DIRECCION</b>	Balmaceda 1080 - 1086
<b>ICH/MH</b>	Monumento Histórico
<b>AÑO DE CONSTRUCCION</b>	1855 - 1860
<b>TIPO/ESTILO</b>	Neoclásico - Clásico Serenense
<b>ORIENTACION PRINCIPAL</b>	Poniente
<b>USO ORIGINAL</b>	Vivienda
<b>USO ACTUAL</b>	Educacional - Oficinas
<b>MATERIALIDAD MUROS</b>	Albañilería adobe / Tabique madera c/quincha
<b>MATERIALIDAD TECHO</b>	Entramado madera + plancha met. ondulada
<b>CARACT. MORFOLOGICAS Y ARQUITECTÓNICAS</b>	Casa con dos patios; volumen simple; cubiertas a dos aguas y cumbrera frontal paralela a la calle; aleros de 40 cm; proporción lleno vacío 85/15 (poniente) y 95/5 (sur); terminación de estuco opaco; pavimentos de madera (interior) y baldosa (exterior); ventanas con palillaje; puertas con ventana superior (imposta y hoja); proporción vertical de los vanos; torreón central en cuerpo fontal.

**DESCRIPCION**

Enfrenta calle Balmaceda con un volumen de un piso, rematado con un torreón de dos tambores, el primero de ellos es cuadrado, el otro es octagonal, con un corredor exterior. Hito urbano, marca la transición entre la ciudad nueva y la ciudad tradicional. Su torre es icónico y reconocible desde varios puntos del centro de la ciudad, en especial desde calle Balmaceda y Amunátegui, da la bienvenida a la zona típica desde el antiguo punto de ingreso a ella. Edificio del período Clásico Serenense, tiene 892 m2 construidos en torno a dos patios. Con ornamentos neoclásicos en los vanos, molduras, ante techos y otros elementos de fachada. Construcción de adobe. Carpintería de calidad en exteriores.



## ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA CARMONA

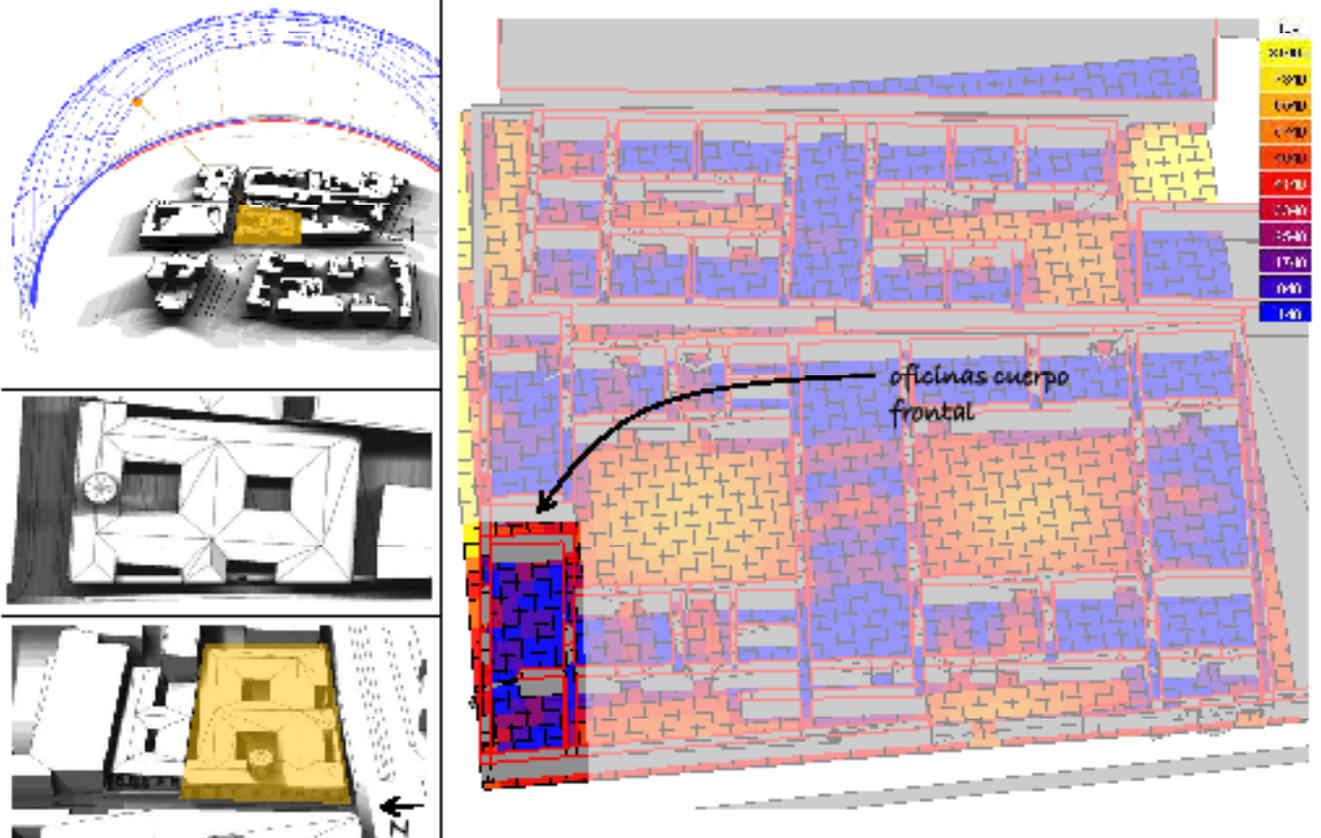
REQUERIMIENTO LUMÍNICO	500 lux para oficinas
LUMINANCIA NORMA (cd/m <sup>2</sup> )	12,3 a 35

### OBSERVACIONES

Esta casa está organizada entorno a dos patios dispuestos de poniente a oriente. Su fachada principal enfrenta el poniente. La casa contigua, casa Adaro, es también ICH lo que hace poco probable que las condiciones urbanas de iluminación cambien drásticamente. La particularidad de este inmueble es un torreón semi vidriado que se posa sobre el cuerpo frontal, de frente a la calle. Los patios son soleados pero cuentan con un alero perimetral que genera un corredor de amortiguación solar hacia los recintos contiguos. El alero disminuye el acceso de iluminación, sobre todo en los meses de verano cuando la altura solar es mayor.

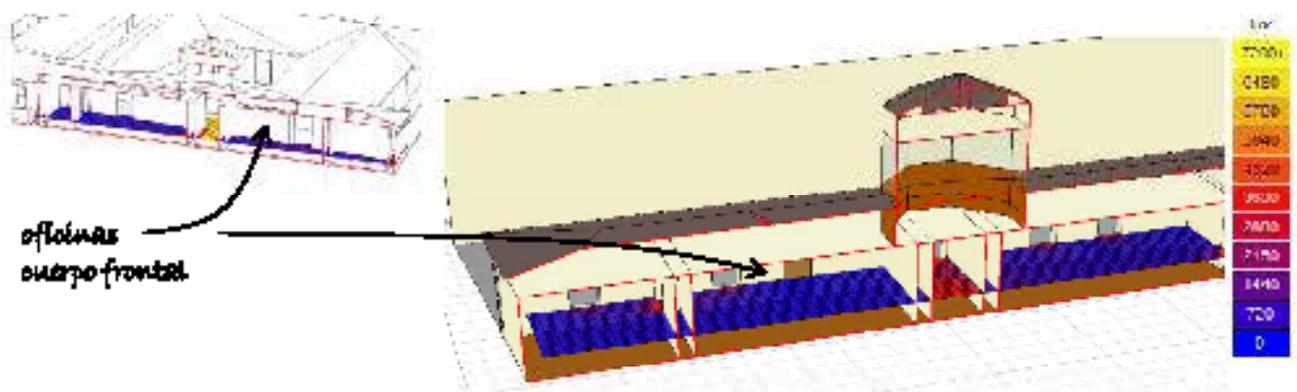
### RESPUESTA LUMÍNICA ACTUAL

General

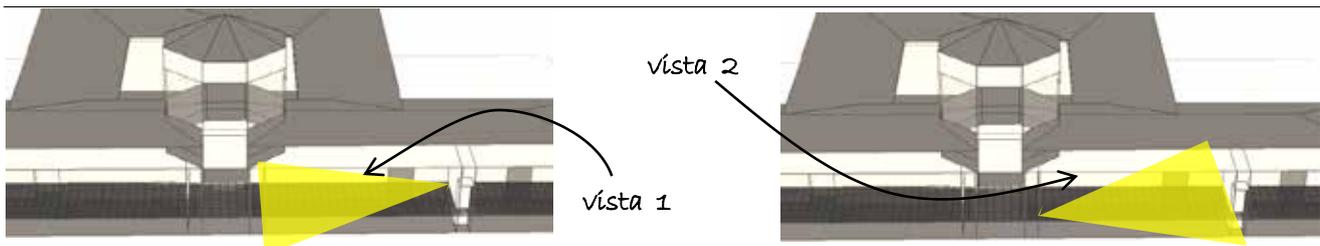


### SELECCIÓN DE LOS RECINTOS

Para la selección del recinto se tomó como criterio que tuviese problemas de iluminación y algún interés arquitectónico. Estas razones llevan a la elección de los recintos del cuerpo frontal puesto que se encuentran bajo el torreón, el elemento más significativo de la casa. Se prevé que la solución pueda intervenir o utilizar este elemento de tal modo que pueda ser útil para mejorar las condiciones lumínicas del recinto bajo él.

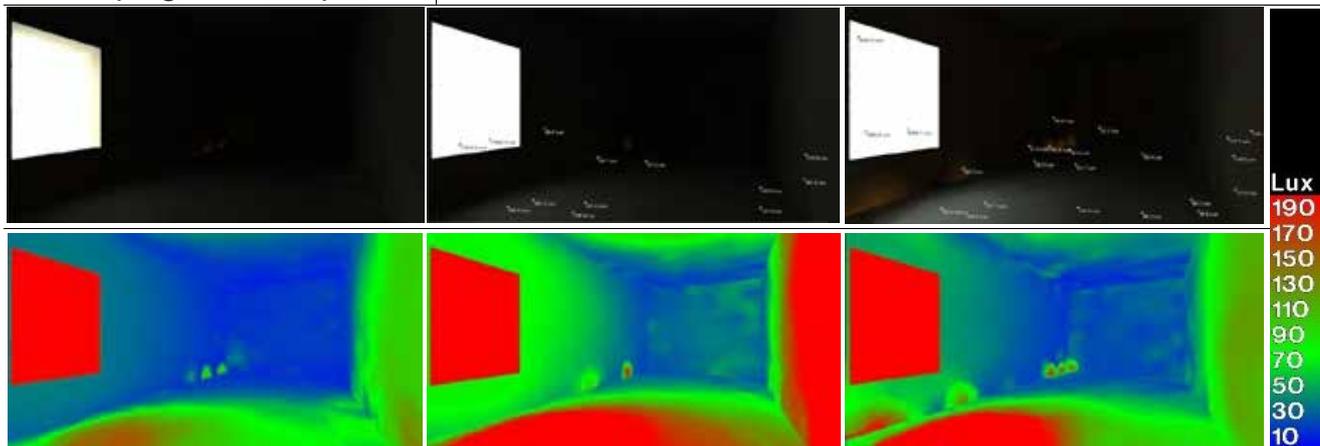


**ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA CARMONA**



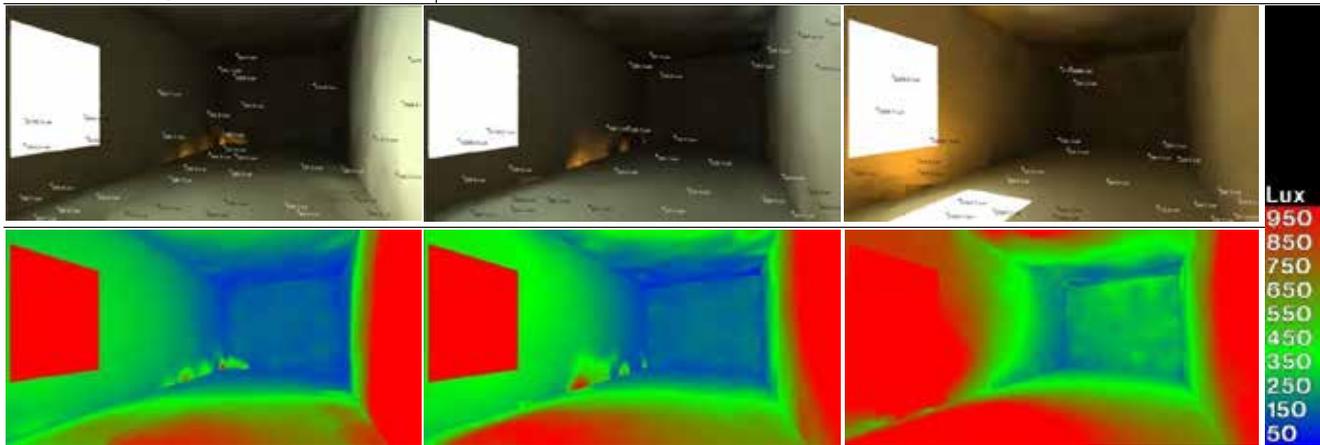
**VISTA 1 (rango 200 - 0 lux)**

**SOLSTICIO INVIERNO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.**



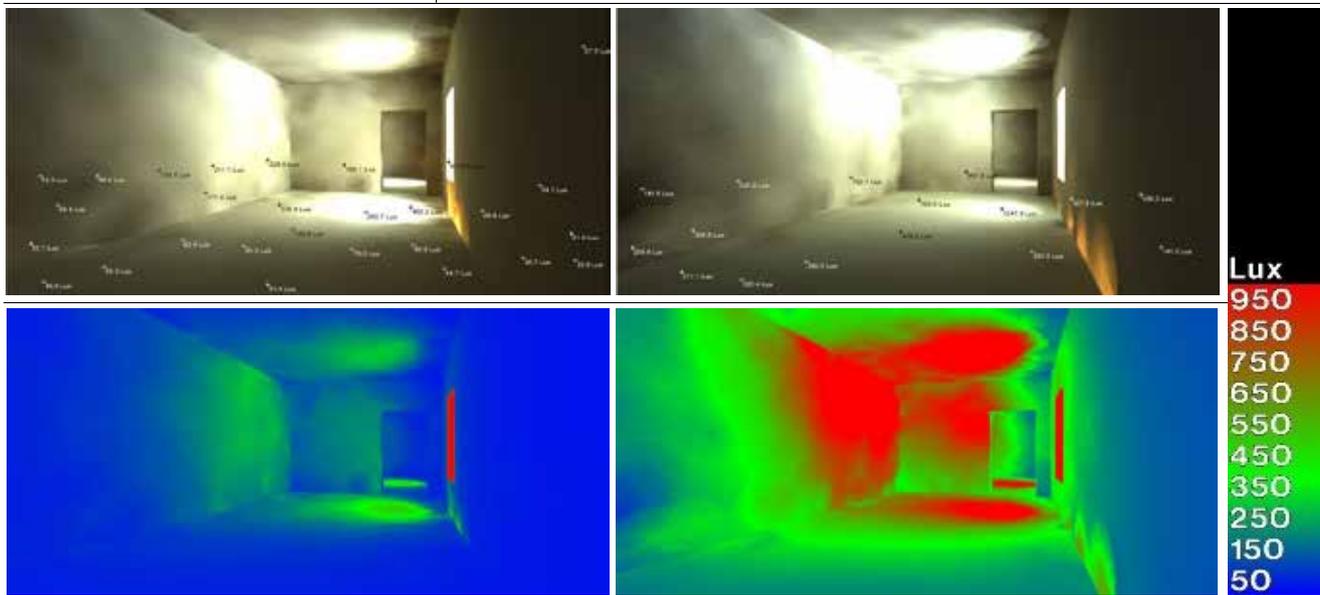
**VISTA 1 (rango 1.000 - 0 lux)**

**SOLSTICIO VERANO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.**



**VISTA 2 (rango 1.000 - 0 lux)**

**SOLSTICIO VERANO / SOLSTICIO INVIERNO - 12:00 hrs.**



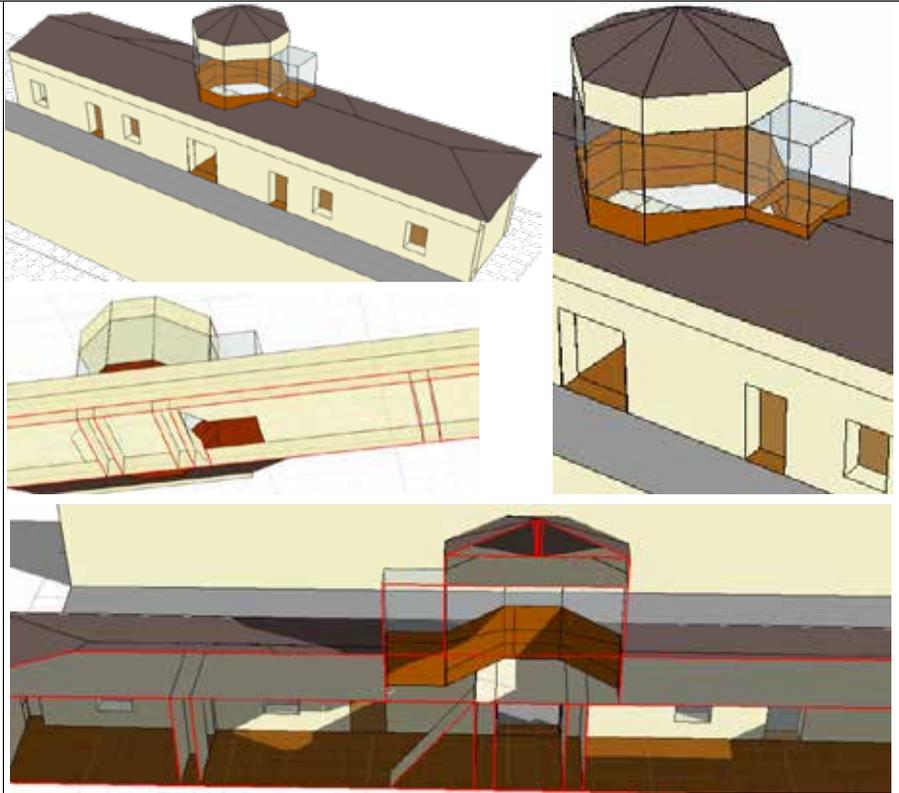
## PROPUESTA PARA OFICINAS BAJO EL TORREÓN - CASA CARMONA

### PROBLEMA

El recinto escogido cuenta con una ventana y una puerta en la fachada principal, orientadas hacia el poniente. En el muro posterior, oriente, también hay un vano, correspondiente a una puerta. Ambas puertas son opacas por lo que no se consideran como ingreso de luz quedando sólo la ventana como única fuente de iluminación natural. El acceso de luz de esta ventana es insuficiente para iluminar todo el recinto, sobre todo en las horas de la mañana cuando el sol está al oriente. Por otra parte, al ser la única fuente de luz, se genera un fuerte contraste y deslumbramiento cuando se tiene la ventana de frente, cosa que sucede desde casi cualquier punto

### SOLUCIÓN PROPUESTA

La característica principal de este edificio en el torreón, al que hoy se accede por un pequeño cuerpo opaco adosado a él. Se propone modificar este pequeño volumen por uno transparente de vidrio, dejándolo como un acceso de luz cenital hacia la oficina. La idea de esta intervención es generar un elemento simple pero altamente tecnológico, que contraste visualmente con el edificio antiguo y que por lo tanto se entienda como una intervención contemporánea. El torreón es muy complejo y por lo tanto el cubo de vidrio se plantea como un elemento muy simple, casi invisible, lo que hace que además sea altamente transparente.



### SOLUCIÓN CUBO DE VIDRIO PARA LA ESCALERA

Se propone un elemento contemporáneo y simple que contraste con el edificio existente, sin embargo debe ser compatible en forma, altura y proporción con el torreón. Por otra parte debe ser estanco para impedir el ingreso de aguas lluvia, y ventilable para dejar salir el calor en los meses de verano.

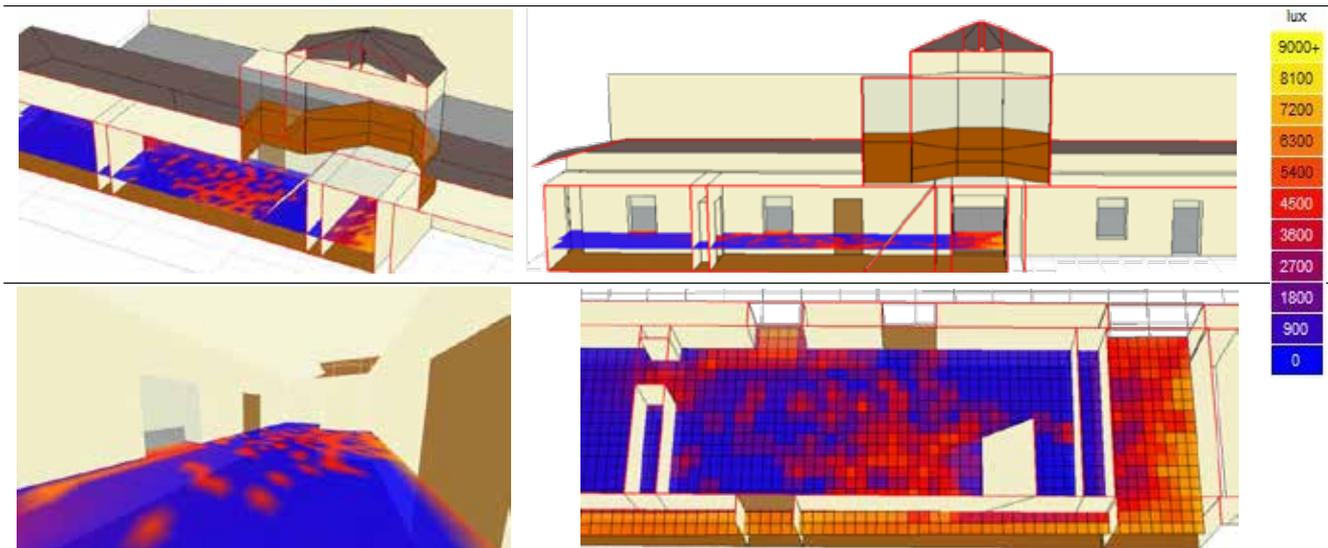


### SOLUCIÓN INTERIOR

La intervención en el interior, orada el cielo para acoger la escalera y dejar un vano abierto hacia el bloque de vidrio, por donde acceda la luz en forma cenital. Esta intervención hace de la escalera un cuerpo de luz en el interior del recinto y aparece contrastando su luz con el punto más oscuro de la habitación.

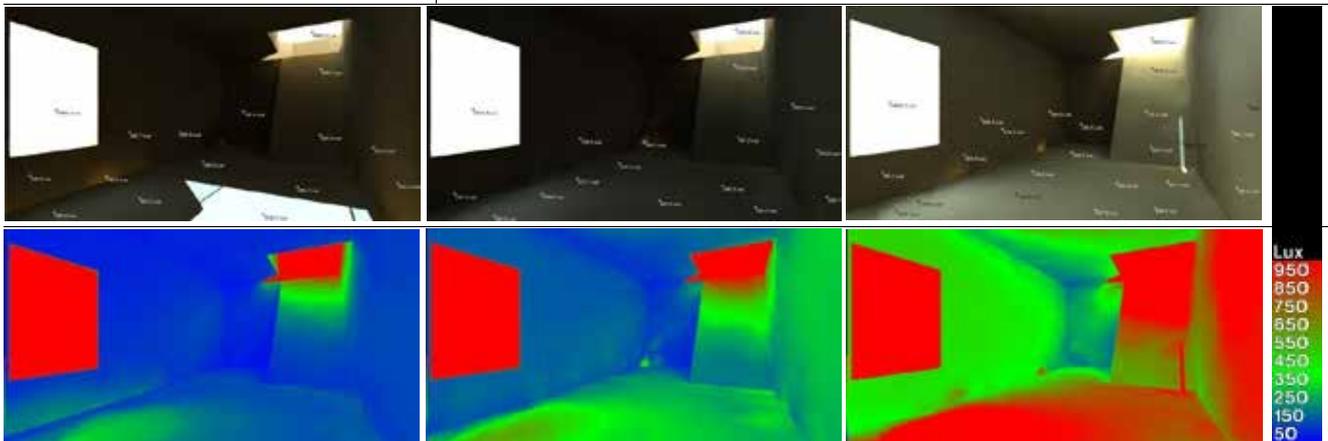


**ANÁLISIS LUMÍNICO DE LA PROPUESTA - CASA CARMONA**



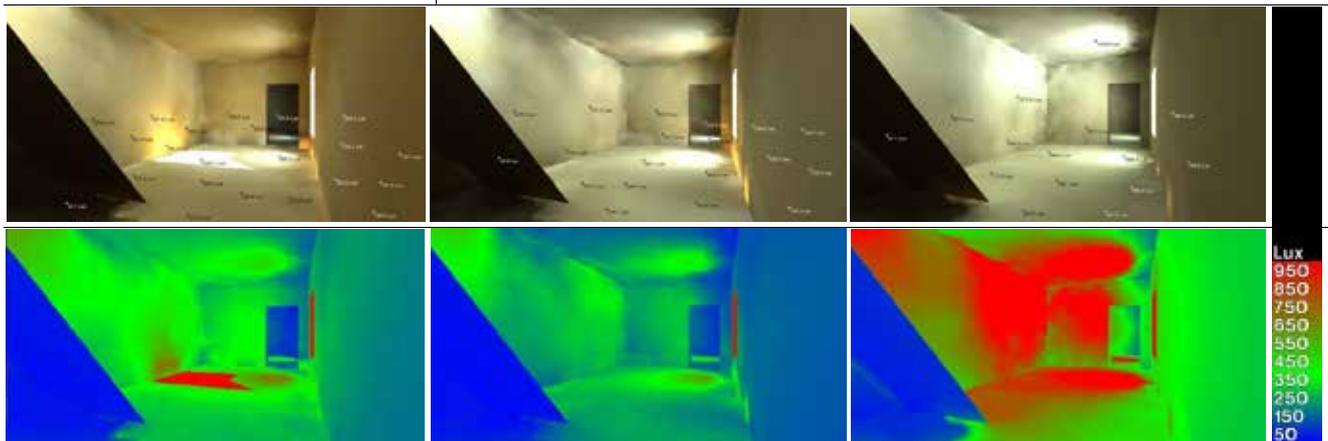
**VISTA 1 - 12:00 hrs.**

**SOLST. INVIERNO / EQUINOCCIOS / SOLST. VERANO**



**VISTA 2 - 12:00 hrs.**

**SOLST. INVIERNO / EQUINOCCIOS / SOLST. VERANO**



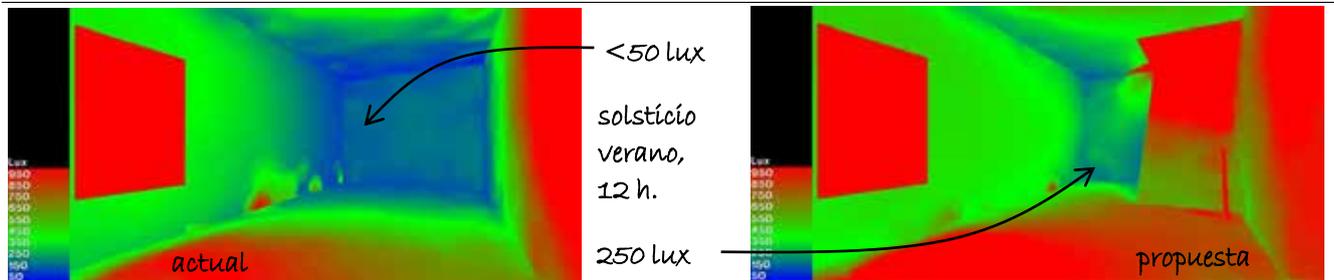
**OBSERVACIONES**

El análisis lumínico realizado con Ecotect y Radiance muestra que la iluminación interior de este recinto aumenta considerablemente respecto de la situación actual. Por otra parte, al proponerse una segunda fuente de luz en el punto opuesto al de la actual, se está disminuyendo el contraste y por tanto el deslumbramiento. También esta fuente de luz permite el ingreso en varios momentos del día, lo que no sucede con la ventana existente, orientada al poniente. Los tres cambios, el aumento de luz, la distribución homogénea en el tiempo y la distribución homogénea en el espacio, pueden observarse en las imágenes de falso color, donde es posible constatar un resultado más homogéneo que las imágenes de la situación actual (ver ficha de análisis de la sit. actual).

## EVALUACIÓN ERGONÓMICA - CASA CARMONA

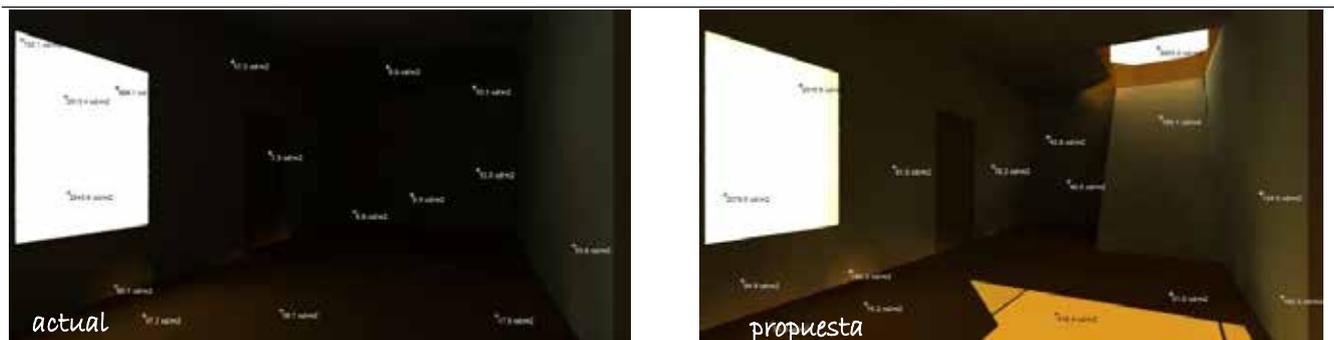
### Nivel de iluminación

La propuesta aumenta significativamente los niveles de iluminancia pasando de los momentos más desfavorables actuales son de 15 lux en el solsticio de invierno a las 9 h, a 85 lux. Por otra parte, además del aumento de los niveles mejora la distribución de la luz en todo el recinto, lo que puede verse en las imágenes en falso color.



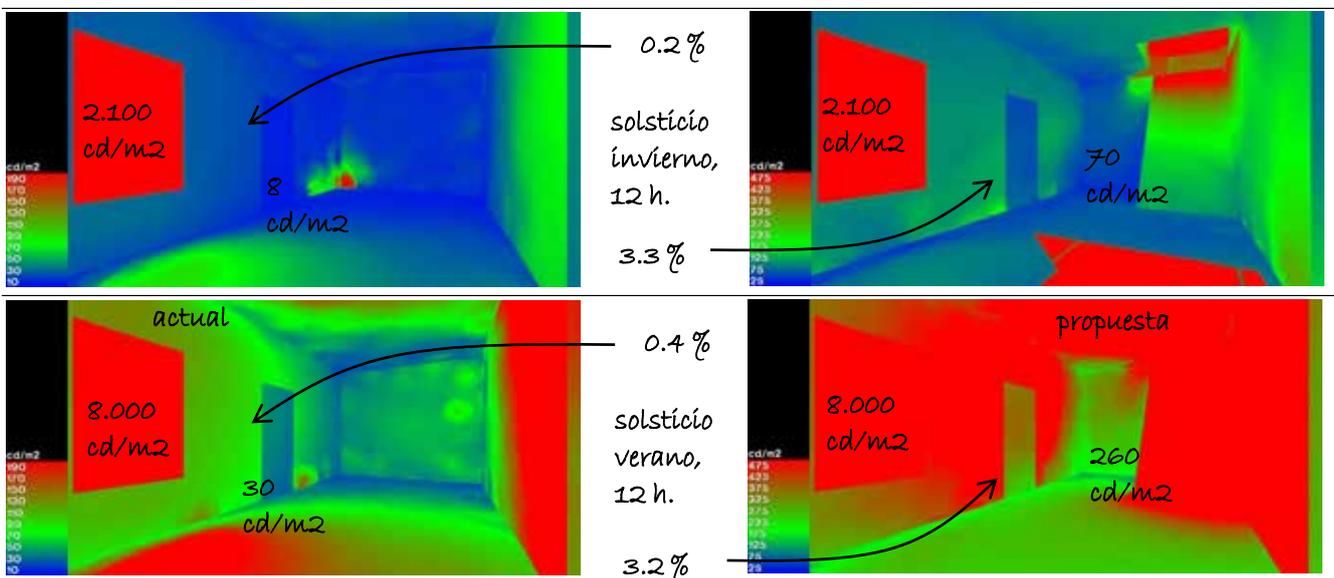
### Deslumbramiento

A ciertas horas del día, cuando el sol entra directamente por el hueco de la escalera, puede haber algún grado de deslumbramiento pero se equilibra con la luz de la ventana. El color claro de los muros puede contribuir a este equilibrio. Los excesos de luz o sol directo pueden controlarse con sistemas de sombreado como postigos blancos, que reflejen la luz pero impidan la radiación directa.



### Equilibrio de luminancias

El equilibrio de luminancias aumenta notablemente con la propuesta, acercándose mucho a la exigencia normativa (80:1 ó 1.25%). El momento más desfavorable es el solsticio de invierno a las 12 h cuando en la situación actual hay una proporción de 2700:5 (0.2%) y con la propuesta pasa a 2700:30 (1%), muy cerca de la norma. En solsticio de verano a las 12 h actualmente hay una proporción de 8000:30 (0.3%) y la propuesta cambia a 8000:260 (3.2%).



**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA PROPUESTA - CASA CARMONA**

**Identidad y memoria**

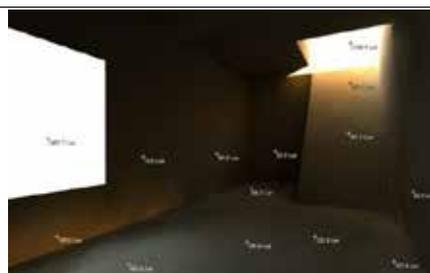
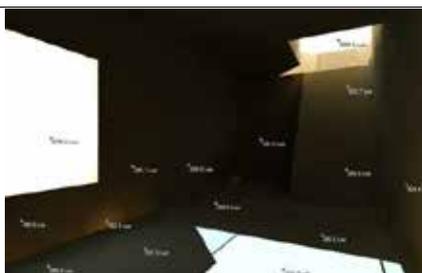
Probablemente esta casa es una de las más iconográficas de la ciudad por su ubicación en el límite de la Zona Típica y su torreón tan singular. La intervención, que además se propone como intervención en este mismo elemento, puede jugar un impacto en el ciudadano al verlo alterado. Sin embargo, la intervención es mínima, casi invisible, y muy contemporánea a la vez, destacando por diferencia. El observador puede hacer fácil la distinción entre las épocas y entender la intervención como un acto de aprecio hacia el inmueble con el fin de hacerlo vigente.



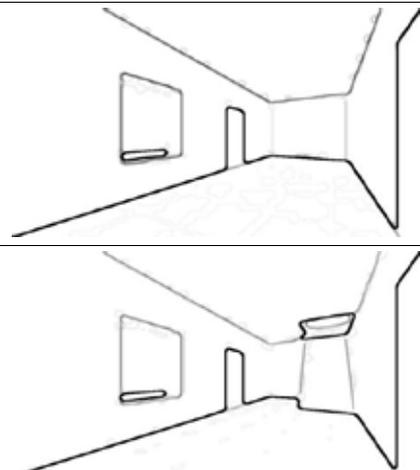
**Luz y Georreferenciación**

Cantidad de luz natural y tiempo de exposición diaria y anual: la cantidad de luz que ingresa al recinto es mayor que la existente y viene del norte, por lo que está presente casi todo el día. Los valores extremos en solsticio de inviernos a las 9 h aumentan de 15 lx a 85 lx. en solsticio de verano el valor más desfavorable a las 9 h también aumenta de 90 lx a 480, lo que mantiene todo el tiempo un nivel mínimo de iluminación para tareas de oficina. Percepción del ángulo de incidencia: el ángulo de incidencia cambia pues la luz puede ingresar directamente en varios momentos del año, haciendo más evidente el paso del tiempo. En la situación actual sólo se advierten fuertes diferencias en algunos momentos de la tarde cuando entra el sol por la única ventana que da al poniente.

Color de la luz: la luz que entra es luz natural y el filtro de vidrio no altera su color. Si los muros están pintados de color blanco, como se propone, al no necesitar la luz artificial durante el día, el IRC es el natural para el ojo humano.



**Percepción visual**



Profundidad y tamaño: La intervención en el ángulo opuesto a la ventana actual aporta un elemento que hace evidente tanto la profundidad como el tamaño de recinto.  
 Esquema significativo: La ubicación de la escalera en el ángulo superior aporta un elemento significativo para la comprensión del esquema del lugar.  
 Discriminación de entidades: Aparece un elemento importante que se encuentra separado de la ventana por lo tanto en cualquier lugar en que el observador de encuentre tendrá la visión de alguno de estos elementos organizadores del espacio.

**COMPARACION SITUACION ACTUAL Y PROPUESTA - CASA CARMONA**

**Iluminancia**

estación	hora	sit. actual				propuesta			
		pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc	pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc
solsticio verano	09 hrs	1288	114	11,3		1429	1456	1,0	
	12 hrs	1234	176	7,0		2039	2019	1,0	
	16 hrs	1322	282	4,7		1288	1024	1,3	
solsticio invierno	09 hrs	257	19	13,5		356	351	1,0	
	12 hrs	397	38	10,4		594	514	1,2	
	16 hrs	161	16	10,1		208	169	1,2	
equinoccio primavera	09 hrs	459	33	13,9		578	768	0,8	
	12 hrs	379	49	7,7		492	498	1,0	
	16 hrs	410	36	11,4		475	327	1,5	

**Conclusiones**

La casa Carmona presenta dos problemas importantes en este recinto: la falta de luz tanto en el sector alejado de la única fuente de luz (ventana poniente) como en todo el recinto cuando el sol se encuentra al lado opuesto (oriente), y por otra parte el deslumbramiento debido al fuerte contraste entre la zona oscura y la fuente de luz. La propuesta buscó resolver estos dos problemas: incorporar otra fuente de luz que incrementara el nivel de iluminancia y la redistribución de la luz dentro del recinto para evitar el deslumbramiento.

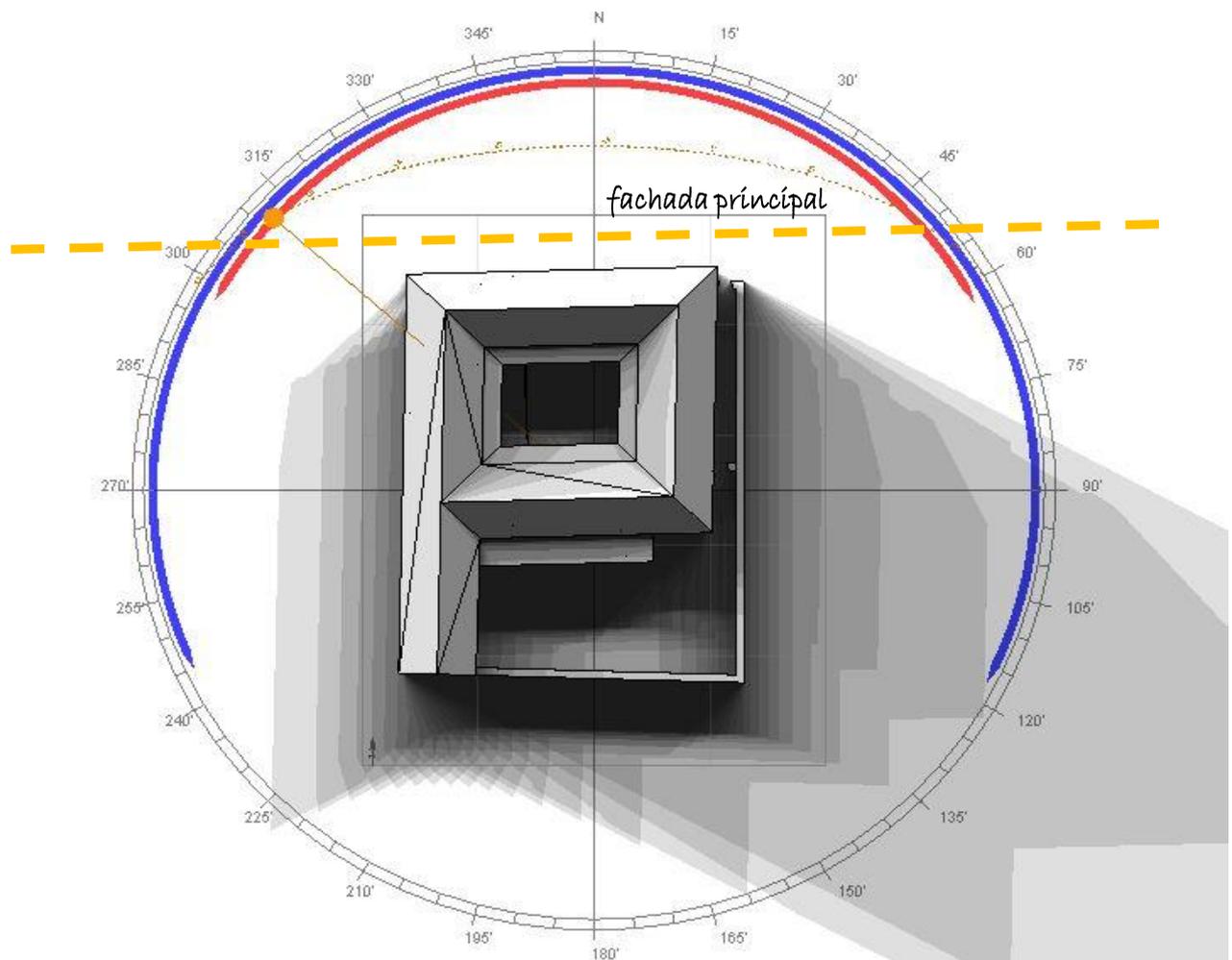
Las imágenes en falso color y el  $\Delta$  demuestra que la distribución de la luz ha mejorado considerablemente pasando de picos de diferencias de 13,9 entre los puntos 1 y 2 a 0,8, esto es casi una iluminación uniforme.

También es posible observar que los niveles de iluminancia se incrementan considerablemente, sobre todo en el punto 2 que se encuentra más alejado de la ventana. Los niveles en general de todo el recinto sobrepasan los niveles exigidos por la norma para la actividad de lectura (500 lx).

Respecto de las desventajas de la propuesta, se observa que hay momentos en que hay ingreso de sol directo por la nueva apertura cenital, lo que puede resultar molesto y caluroso. Es por ello que conviene considerar un sistema de control solar en conjunto con el cubo de vidrio propuesto.



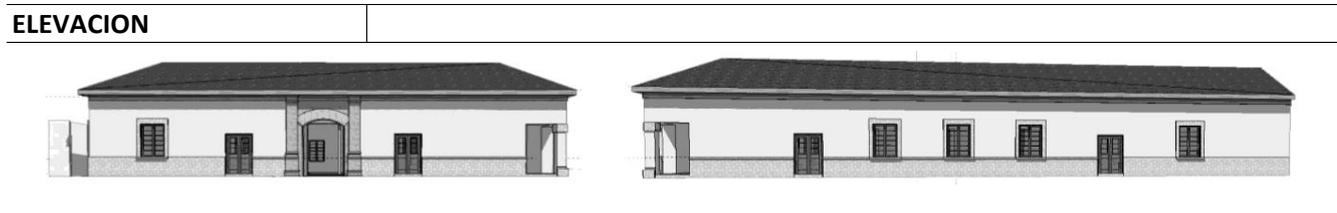
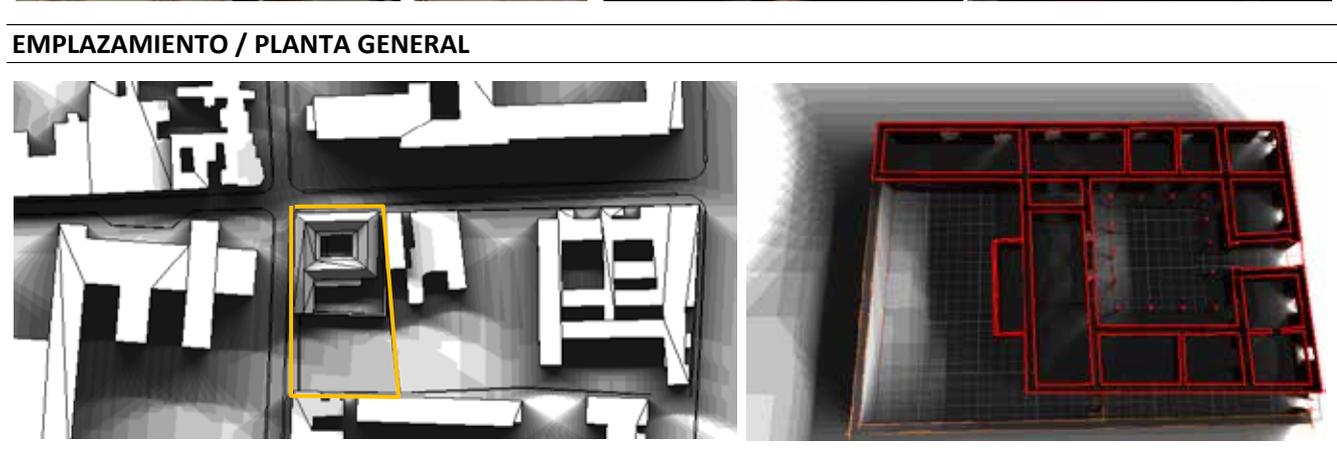
# CASO 2. CASA CAVADA



<b>NOMBRE</b>	CASA CAVADA
<b>DIRECCION</b>	Gandarillas 909
<b>ICH/MH</b>	Inmueble de Conservacion Histórica
<b>AÑO DE CONSTRUCCION</b>	1846
<b>TIPO/ESTILO</b>	Colonial - Neoclásico. Casa Patio
<b>ORIENTACION PRINCIPAL</b>	Norte
<b>USO ORIGINAL</b>	Vivienda
<b>USO ACTUAL</b>	Vivienda
<b>MATERIALIDAD MUROS</b>	Albañilería adobe
<b>MATERIALIDAD TECHO</b>	Entramado madera + plancha met. ondulada
<b>CARACT. MORFOLOGICAS Y ARQUITECTÓNICAS</b>	Casa con dos patios; volumen simple; cubiertas a dos aguas; cumbreras paralelas a la calle; aleros de 120 cm; zócalo; proporción lleno vacío 80/20; terminación de estuco opaco; pavimentos de madera (interior); ventanas con palillaje art decó; puertas con ventana superior (imposta y hoja); proporción vertical de los vanos; pilar de esquina; acceso principal con portal de piedra.

**DESCRIPCION**

El terreno donde se desarrolla la vivienda, de dimensión menor en su frente que en un solar tradicional, repite la orientación norte-sur dado por el sistema de acequias de la ciudad. El tamaño más reducido del solar condiciona igualmente un inmueble de programa arquitectónico más compacto, evidenciando el carácter del barrio. Dentro de este contexto, la vivienda exhibe cierta jerarquía fácilmente reconocible, sobresaliendo por su disposición en el encuentro de dos calles. Presenta la característica solución de pilar-esquina de piedra. Destaca la composición simétrica de la fachada principal sobre Gandarillas. El acceso está jerarquizado por una portada en piedra caliza.



## ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA CAVADA

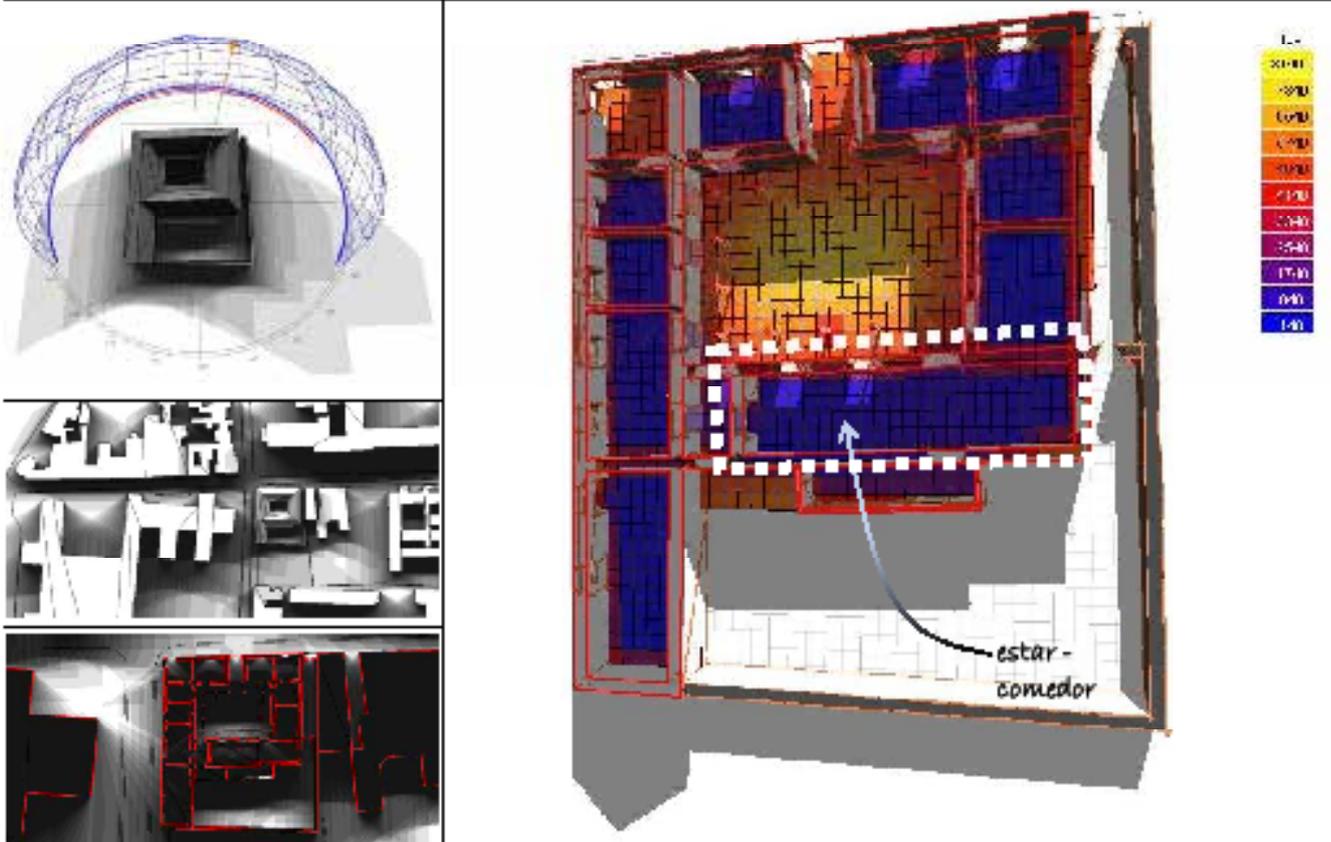
REQUERIMIENTO LUMÍNICO	500 lux
LUMINANCIA NORMA (cd/m <sup>2</sup> )	12,3 a 35

### OBSERVACIONES

La casa Cavada, único caso donde se atiene la función original, presenta recintos iluminados a través del patio. El patio está rodeado por un gran alero que impide el sol directo al interior. La iluminación en una vivienda se diferencia por recinto: en las habitaciones debe poder controlarse, en la cocina altos niveles, en el estar se esperan niveles mínimos pero sobre todo, un sistema de luz agradable que no genere molestias como contraste y deslumbramiento. La casa Cavada mantiene muchos de sus materiales originales y pareció interesante tratar de rescatar algunos de estos como los motivos murales de los revestimientos de papel.

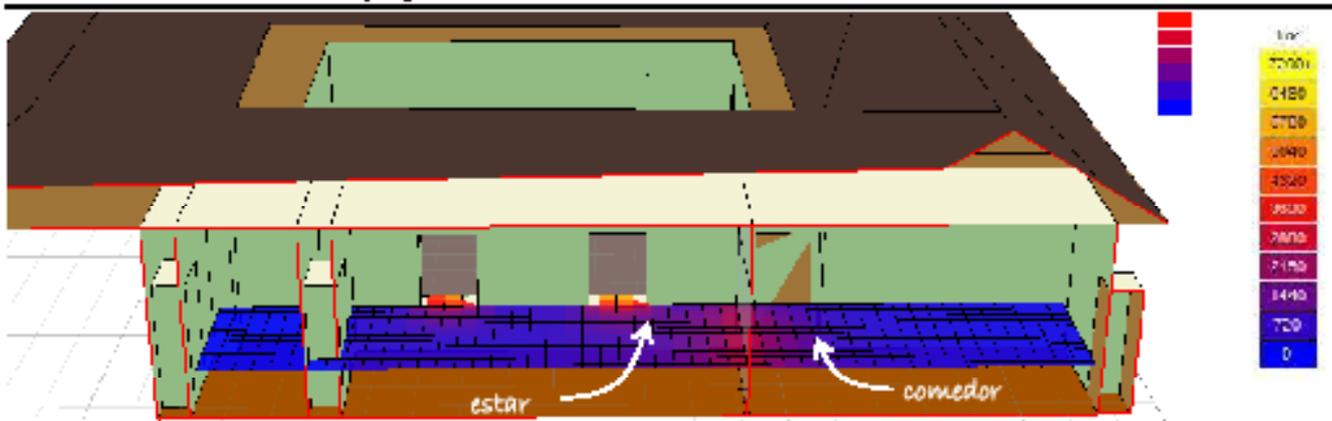
### RESPUESTA LUMÍNICA ACTUAL

General

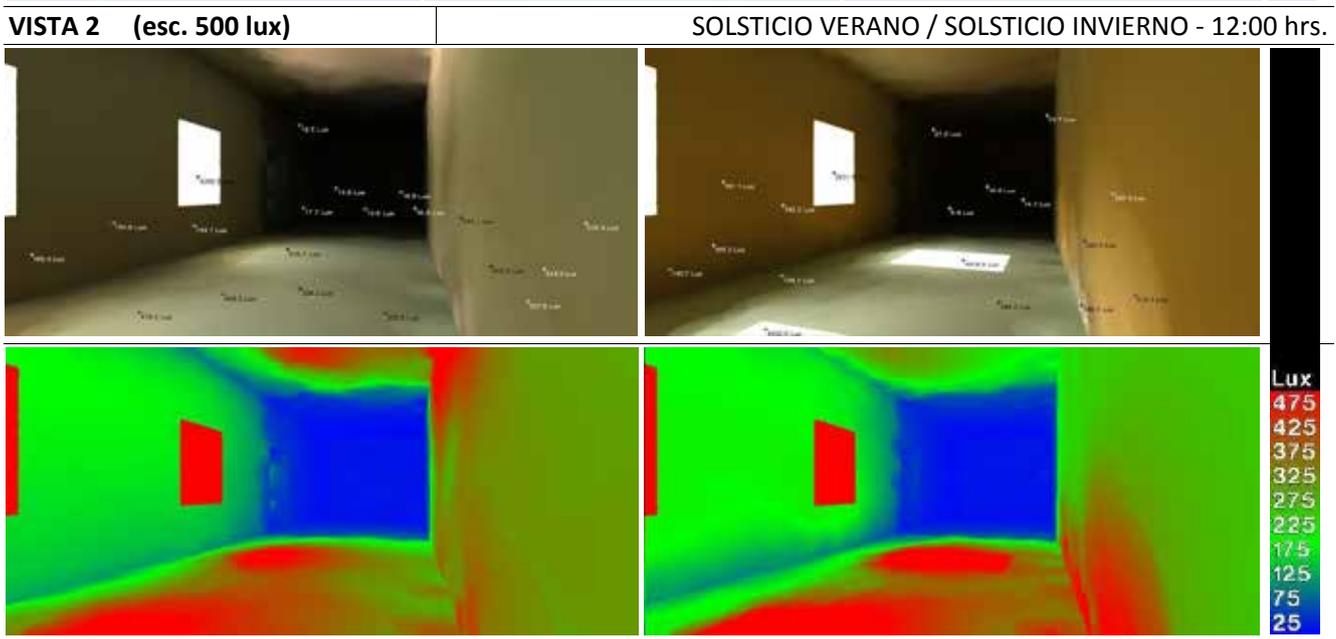
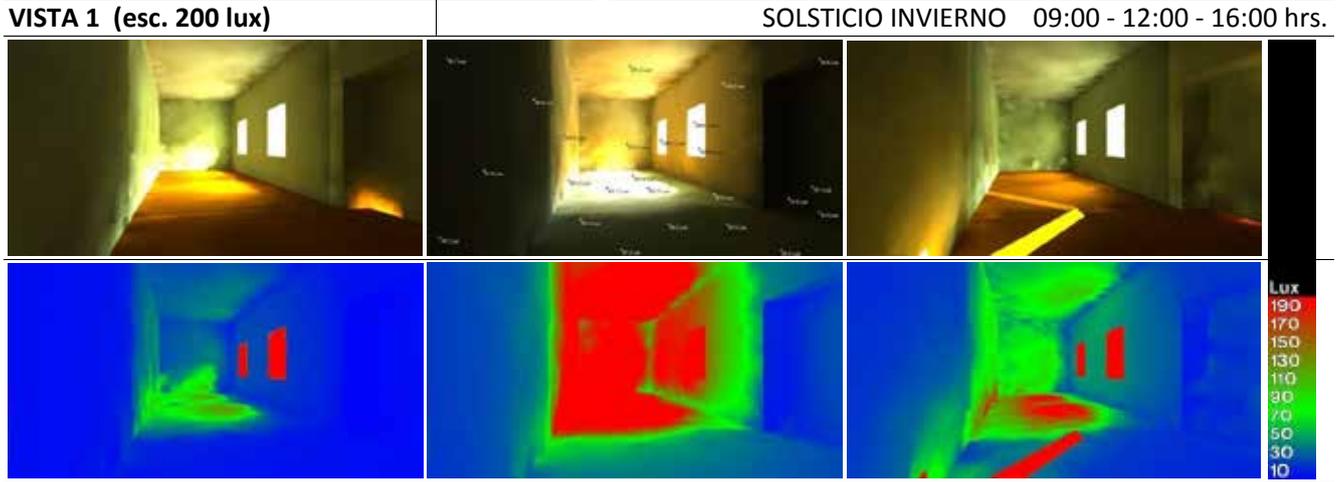
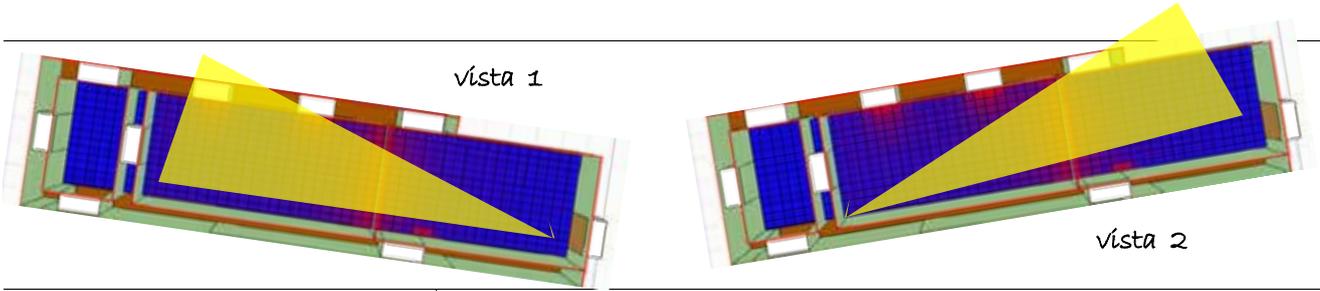


### SELECCIÓN DE LOS RECINTOS

En este caso, se seleccionó el estar-comedor que corresponde a una habitación orientada al norte con acceso de luz indirecto desde el patio, debido al alero. Actualmente es muy oscuro y con altos contrastes. Por otra parte, es el recinto de la casa que mejor mantiene sus motivos ornamentales originales, lo que pareció un motivo interesante a considerar en la propuesta.



**ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA CAVADA**



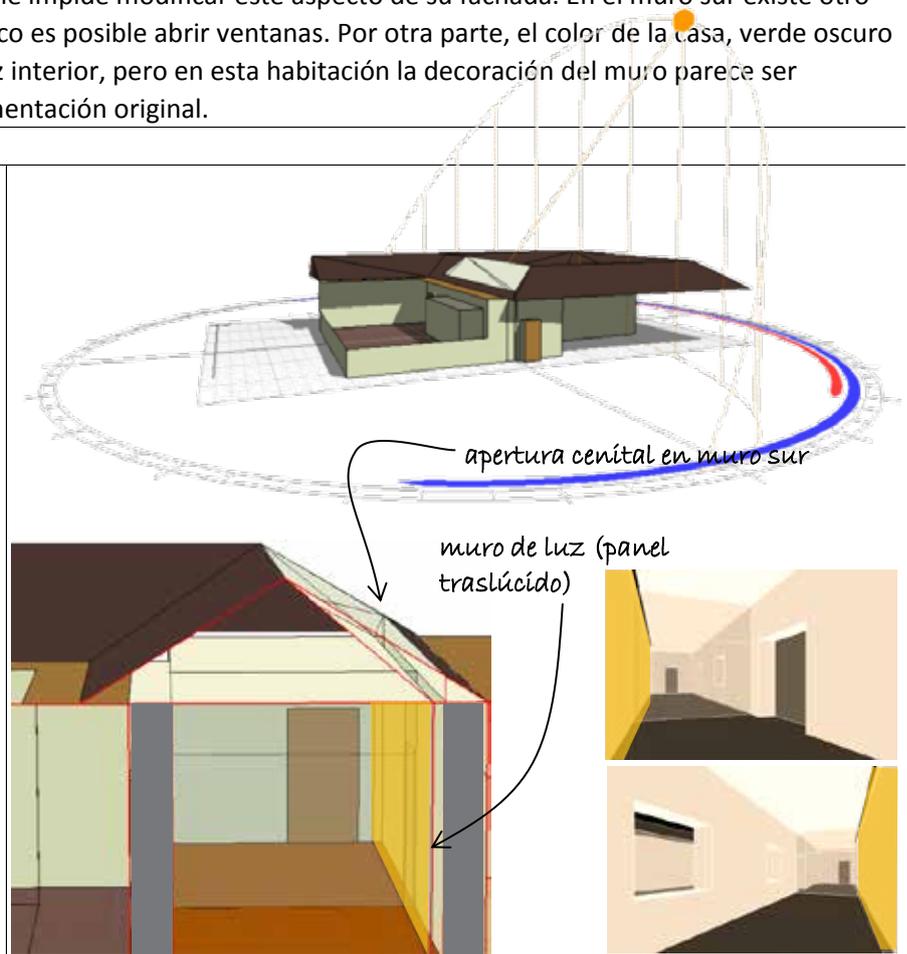
## PROPUESTA PARA ESTAR - COMEDOR - CASA CAVADA

### PROBLEMA

El estar comedor de la casa Cavada presenta dos grandes problemas, oscuridad y contraste/deslumbramiento. La solución no puede perforar la fachada hacia el norte puesto que ya tiene tres vanos y su condición de inmueble de conservación histórica le impide modificar este aspecto de su fachada. En el muro sur existe otro recinto, la cocina, por lo que tampoco es posible abrir ventanas. Por otra parte, el color de la casa, verde oscuro y café, no contribuye a reflejar la luz interior, pero en esta habitación la decoración del muro parece ser importante para mantener la ornamentación original.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

Tomando como motivo la decoración de los muros, se optó por una solución que había sido probada en la FAU, un muro de luz. Consiste en una franja de apertura cenital, que recorre todo el largo del muro sur. Frente a este muro, bajo la apertura, se coloca un panel translúcido cuya función es transmitir la luz cenital en toda la cara del muro. La luz accede desde la cubierta, donde se ha abierto una franja que recorre todo el costado sur de este volumen. Por su orientación sur, recibe sol directo sólo algunos meses del año, por lo que la luz es variable a traves del tiempo, sin embargo mantiene un nivel mínimo constante.



### SOLUCIÓN MURO DE LUZ

Para la solución de la cubierta puede utilizarse una ventana o simplemente un cambio en las planchas onduladas, que hoy son metálicas, por planchas transparentes de pvc o policarbonato. En la franja cenital en el cielo, por el interior, puede colocarse un vidrio que impida la conexión entre el espacio interior el entretecho.

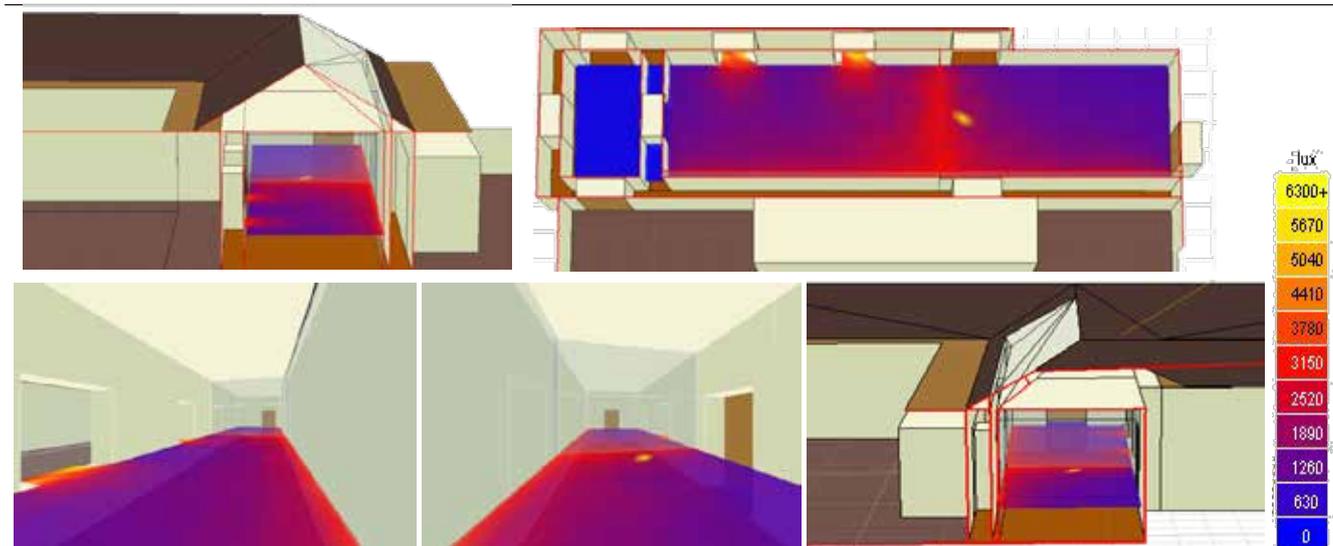


### HISTORICISMO

El panel translúcido puede ser tratado con motivos decorativos, como si se tratara de los motivos ornamentales del papel mural original. Estos pueden ser simples, como texturas, o diseños figurativos. El material del panel puede ser vidrio laminado con el motivo tratado en un film adhesivo o esmerilado con arena.



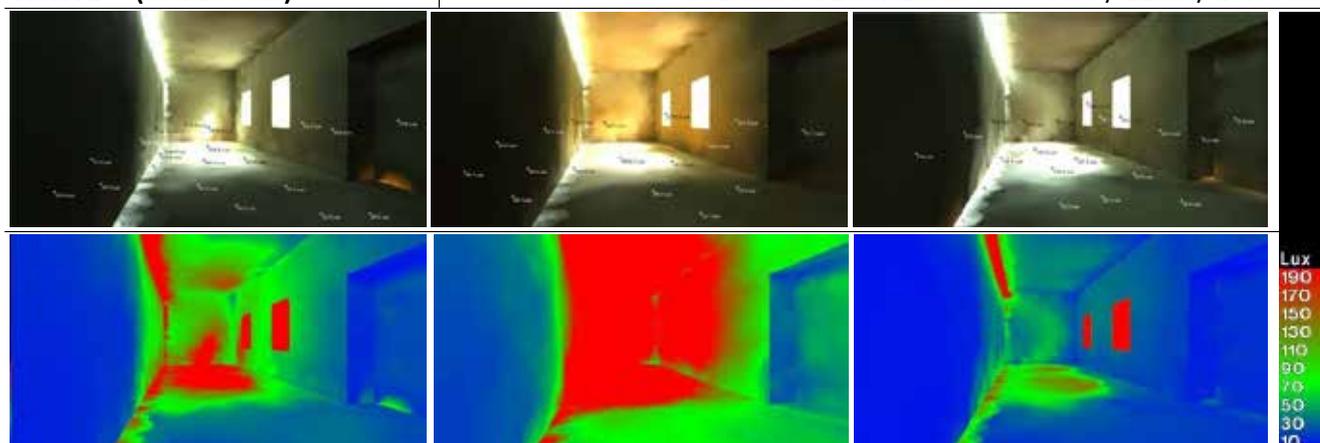
## ANÁLISIS LUMÍNICO DE LA PROPUESTA - CASA CAVADA



VISTA 1 (esc. 200 lux)

SOLSTICIO DE INVIERNO

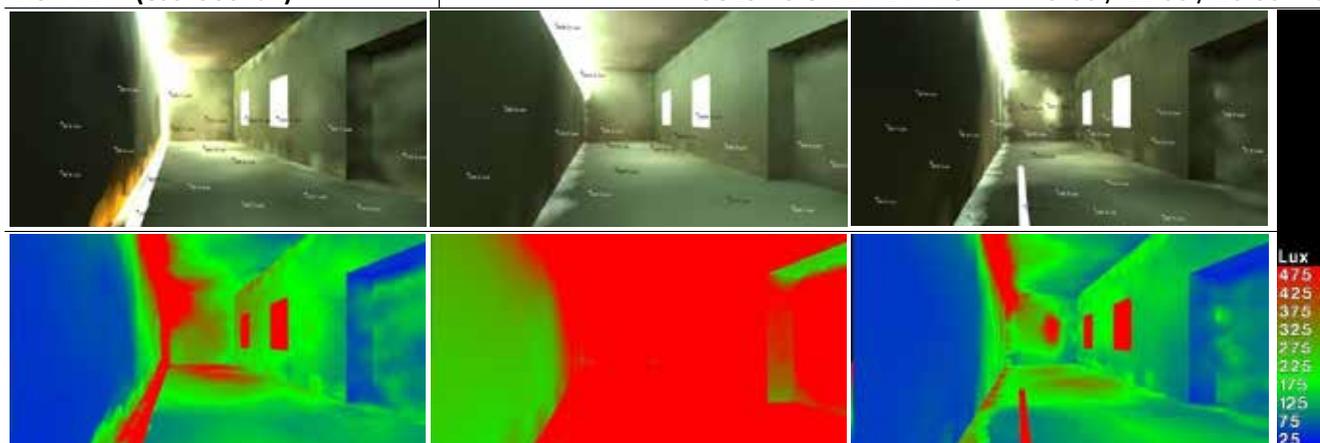
9:00 / 12:00 / 16:00 hrs.



VISTA 1 (esc. 500 lux)

SOLSTICIO DE VERANO

9:00 / 12:00 / 16:00 hrs.



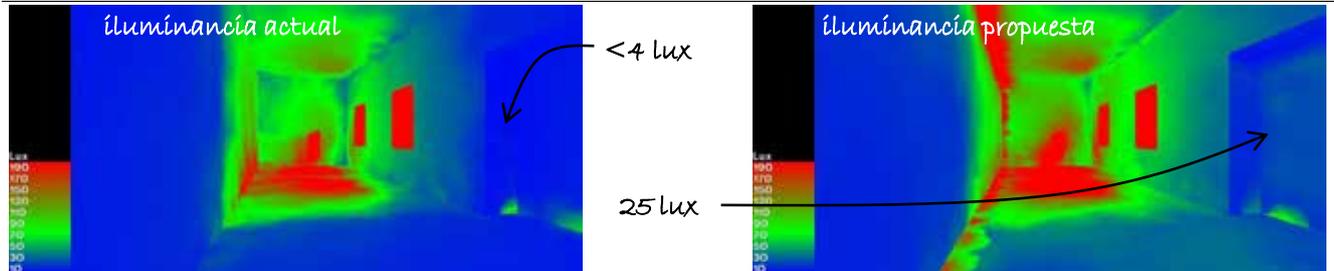
### OBSERVACIONES

El análisis lumínico realizado con Ecotect y Radiance muestra que la iluminación interior de este recinto aumenta considerablemente respecto de la situación actual. Por otra parte, al proponerse una segunda fuente de luz en el punto opuesto al de la actual, se está disminuyendo el contraste y deslumbramiento. Los cambios en los niveles de iluminación y distribución espacial y temporal pueden observarse en las imágenes de falso color, donde es posible constatar un resultado más homogéneo que las imágenes de la situación actual (ver ficha de análisis de la sit. actual). Sin embargo, si bien esta solución aumenta considerablemente la iluminación en el comedor (costado oriente) no logra los niveles del estar, por lo que parece persistir cierto grado de contraste y posible deslumbramiento.

## EVALUACIÓN ERGONÓMICA - CASA CAVADA

### Nivel de iluminación

La propuesta aumenta los niveles de iluminación cerca al muro de luz. El momento más desfavorable es en el solsticio de invierno a las 9 h, en la zona del comedor. La propuesta en esta parte aumenta de 4 lx a 25 lx. También puede observarse que la distribución de la luz mejora al aumentar hacia el comedor aunque todavía persiste una diferencia entre el estar y el comedor. La reducción del uso de luz artificial permite el uso de luz natural a más horas del día, lo que puede contribuir al bienestar anímico (Brainard, Op.cit).



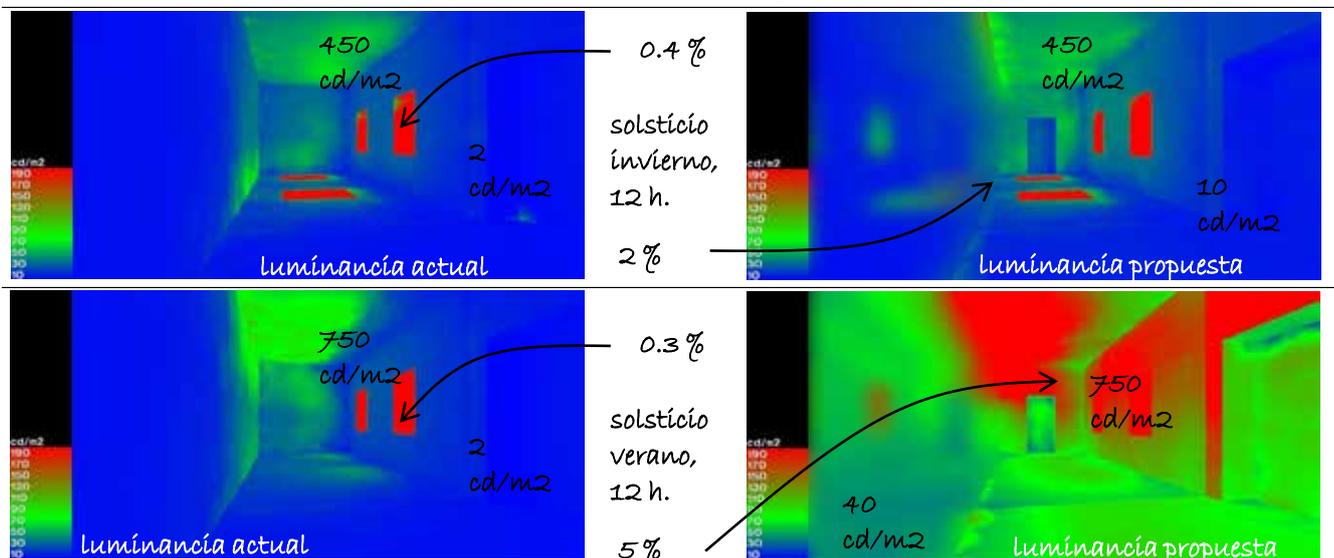
### Deslumbramiento

En la situación actual, desde el comedor, la luz de las ventanas puede causar deslumbramiento debido al alto contraste. La propuesta introduce una fuente de luz a lo largo de todo el recinto y con cierto nivel de reflexión debido al material del muro de luz (vidrio opaco). La luz reflejada contribuye a equilibrar la luminancia. Aunque a ciertas horas del día puede haber deslumbramiento en la apertura cenital del muro de luz, el brillo se equilibra por la luz de las ventanas de enfrente.



### Equilibrio de luminancias

El contraste ha disminuido respecto de la situación actual pero conserva un importante grado de oscuridad en el comedor. Se supera la exigencia normativa (80:1 ó 1.25%) incluso en el momento más desfavorable, el solsticio de verano a las 12 h: situación actual 750:2 cd/m<sup>2</sup> (0.3%) y con propuesta 750:40 cd/m<sup>2</sup> (5%), muy por encima de la norma. En el solsticio de invierno a las 12 h actualmente hay 450:2 cd/m<sup>2</sup> (0.4%) y la propuesta cambia a 450:10 cd/m<sup>2</sup> (2%). El color claro de los muros contribuye a aminorar el desequilibrio.



## ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA PROPUESTA - CASA CAVADA

### Identidad y memoria

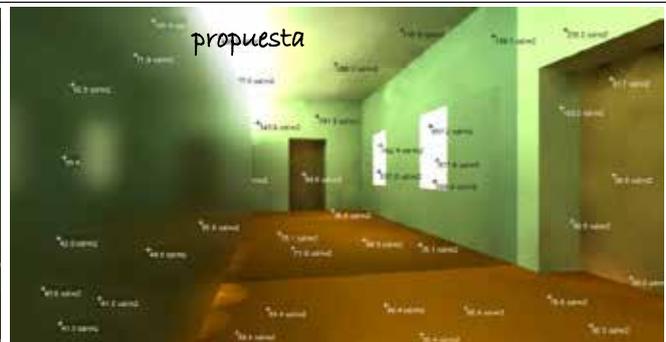
La intervención es muy contemporánea pero a la vez recoge los motivos ornamentales murales de la época presentes en esta casa, y los reproduce en el muro de luz. Nuevamente la propuesta es hacer de un elemento completo el sistema iluminante (muro) para no introducir un elemento extraño que compita con las ventanas y puertas existentes. Además, actualmente existe una mampara de vidrio que separa el estar del comedor, por lo que el muro de luz podría adquirir las modulaciones y estilos de esta mampara.



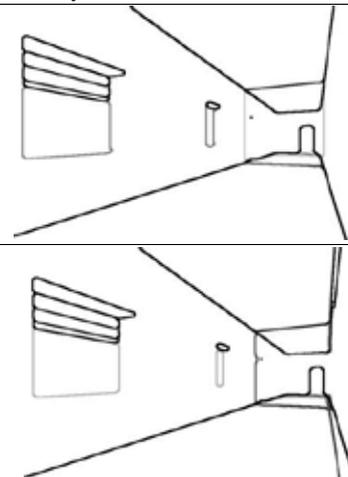
### Luz y Georreferenciación

Cantidad de luz natural y tiempo de exposición diaria y anual: La luz va cambiando durante el día y el año, algunas veces incluso entra en forma directa (durante los equinoccios), lo que puede hacer aun más evidente el movimiento del sol. Si el sol entra directo podría producir sombras cambiantes que denotarían el paso del tiempo.

Percepción del ángulo de incidencia: el ángulo de incidencia es visible en algunos momentos del año, haciendo más evidente el paso del tiempo. En la situación actual sólo se advierten fuertes diferencias en algunos momentos del medio día en invierno, cuando entra el sol por las ventanas del estar pasando bajo el alero del corredor exterior. Color de la luz: si se pinta de color blanco la casa eliminando el verde actual que la oscurece, el cambio en la coloración del recinto será más evidente según el color de la luz puesto que el blanco reproduce fielmente cualquier color de luz al que esté expuesto.



### Percepción visual



Profundidad y tamaño: La intervención a lo largo de todo el muro, hace más evidente la profundidad y el tamaño y la reflexión de este muro (semidifusa) puede generar un poco de confusión al reflejar las ventanas de enfrente. El reflejo aunque semidifuso, puede hacer sentir más amplio el espacio porque lo duplica.

Esquema significativo: La ubicación de la fuente de luz en el muro y sobre todo en la arista (donde la luz será mas fuerte) ayudan a la comprensión del largo del recinto pero puede confundir por la duplicidad dada por la semirreflexión.

Discriminación de entidades: El muro de luz se transforma en el elemento más notable del recinto compitiendo en importancia con las dos ventanas del estar que por ahora son los elementos por lejos más evidentes.

**COMPARACION SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA - CASA CAVADA**

**Iluminancia**

estación	hora	sit. actual				propuesta			
		pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc	pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc
solsticio verano	09 hrs	148	10	14,8		353	120	2,9	
	12 hrs	286	18	15,9		1050	773	1,4	
	16 hrs	136	6	22,7		281	135	2,1	
solsticio invierno	09 hrs	98	5	19,6		126	28	4,5	
	12 hrs	202	16	12,6		274	57	4,8	
	16 hrs	38	3	12,7		53	20	2,7	
equinoccio primavera	09 hrs	101	5	20,2		193	97	2,0	
	12 hrs	110	7	15,7		210	121	1,7	
	16 hrs	81	4	20,3		119	72	1,7	

**Conclusiones**

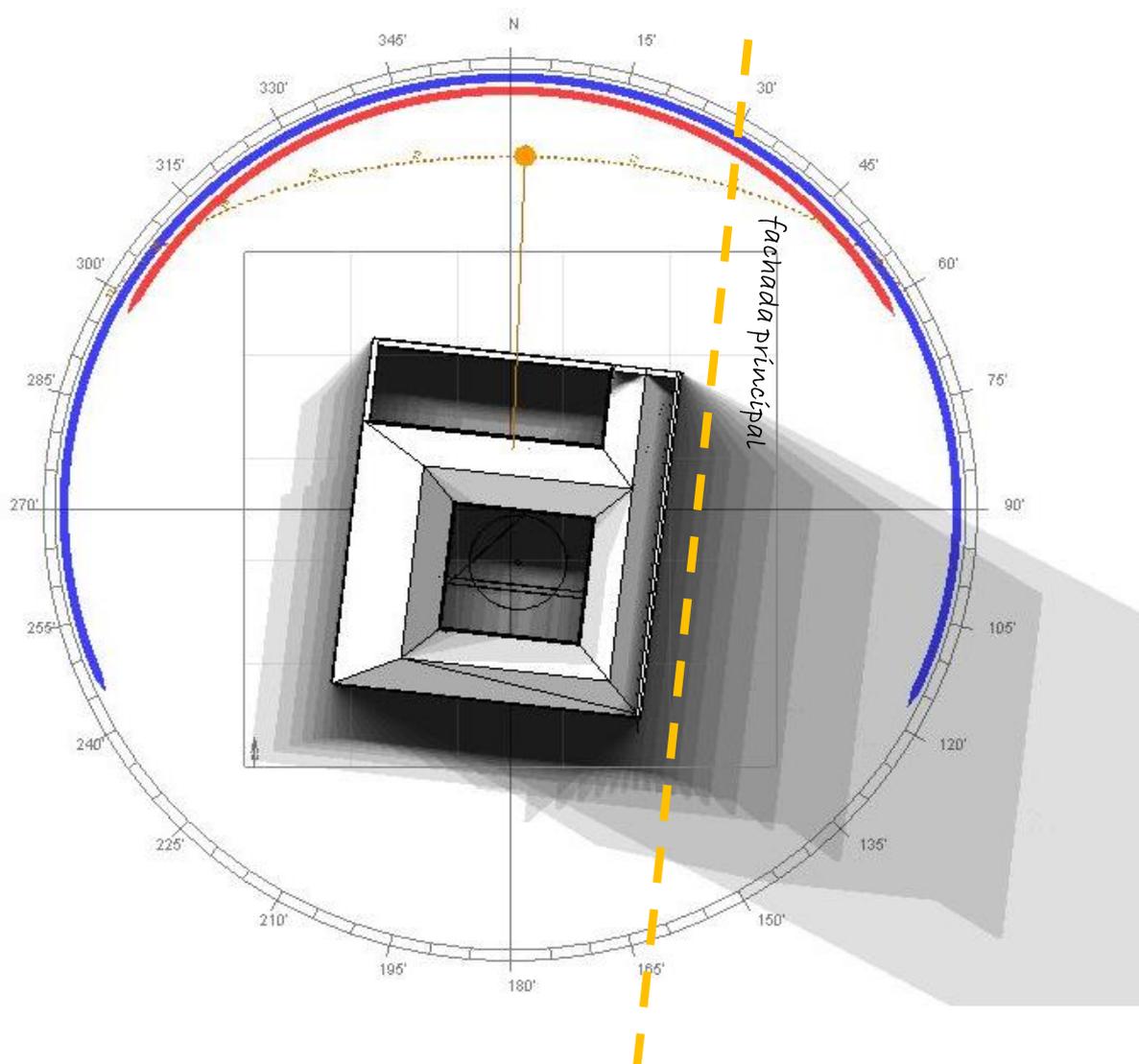
El recinto estudiado de la casa Cavada presenta una de las distribuciones lumínicas más dispares de los casos de estudio. Esto hace que la zona poniente presente niveles más que suficientes para su función (estar) y completamente insuficientes en la zona oriente (comedor).

La propuesta buscó redistribuir la luz con una apertura cenital que atraviesa todo el recinto, y también incrementar los niveles de iluminancia en la zona más oscura. La apertura cenital se realizó en el costado sur del recinto donde no tiene acceso de sol directo más que a medio día en verano (por la inclinación de la cubierta). En las imágenes de falso color y las cifras del  $\Delta$  es posible observar que se logra en cierta medida la distribución más homogénea de la luz. También se incrementan los niveles de iluminancia general, sobre todo en el lado oriente (comedor). Sin embargo, el acceso de luz parece insuficiente en los meses de invierno cuando el sol no alcanza a entrar por la apertura debido al ángulo solar.

Para mejorar la propuesta se prevé que la apertura debiera realizarse en el muro norte y sólo en la zona oriente ya que la zona poniente no tiene problemas ni de iluminancia ni de distribución espacio-temporal (sus ventanas se orientan al norte y reciben luz todo el día). Sin embargo, al hacer estos cambios se pierde la riqueza espacial que genera el muro de luz.



# CASO 3. CASA HERREROS



<b>NOMBRE</b>	CASA HERREROS
<b>DIRECCION</b>	Manuel Antonio Matta 347
<b>ICH/MH</b>	Monumento Histórico
<b>AÑO DE CONSTRUCCION</b>	1860/1979
<b>TIPO/ESTILO</b>	Neoclásico /Ecléctico
<b>ORIENTACION PRINCIPAL</b>	Oriente
<b>USO ORIGINAL</b>	Vivienda
<b>USO ACTUAL</b>	Educación
<b>MATERIALIDAD MUROS</b>	Albañilería adobe / Tabique madera c/quincha
<b>MATERIALIDAD TECHO</b>	Entramado madera + plancha met. ondulada
<b>CARACT. MORFOLOGICAS Y ARQUITECTÓNICAS</b>	Casa con un patio (subdividido); volumen simple; cubiertas a dos aguas no visibles desde la calle; cumbreras paralelas a la calle; aleros de 20 cm; proporción lleno vacío 80/20; terminación de estuco opaco; pavimentos de madera (interior) y baldosa (exterior); ventanas con palillaje; puertas con ventana superior (imposta y hoja); proporción vertical de los vanos.

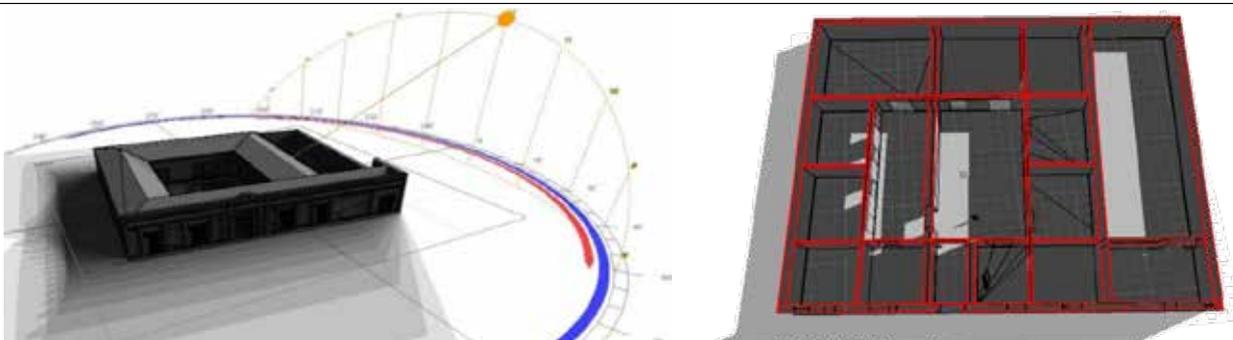
#### DESCRIPCION

Vivienda con presencia en la cuadra, tanto por su ancho frente como por lo destacado de los cuidados detalles de su fachada. Se complementa su reconocimiento por medio de la Plazoleta de la Intendencia que se encuentra diagonal a ella. Edificio del período Clásico Serenense, destaca por el ritmo de su fachada y asimetría respecto al acceso principal, rematado por un medio rosetón de madera en forma de abanico. Los elementos de la fachada son de estilo neoclásico - ecléctico.

#### IMÁGENES



#### EMPLAZAMIENTO / PLANTA GENERAL



#### ELEVACION FRONTAL



## ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA HERREROS

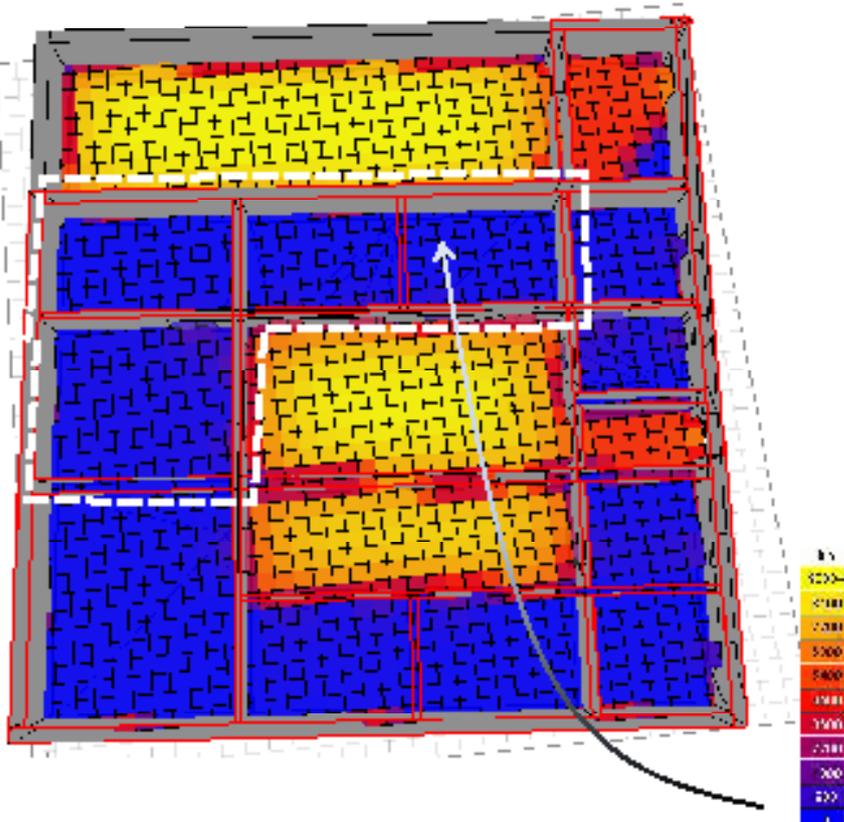
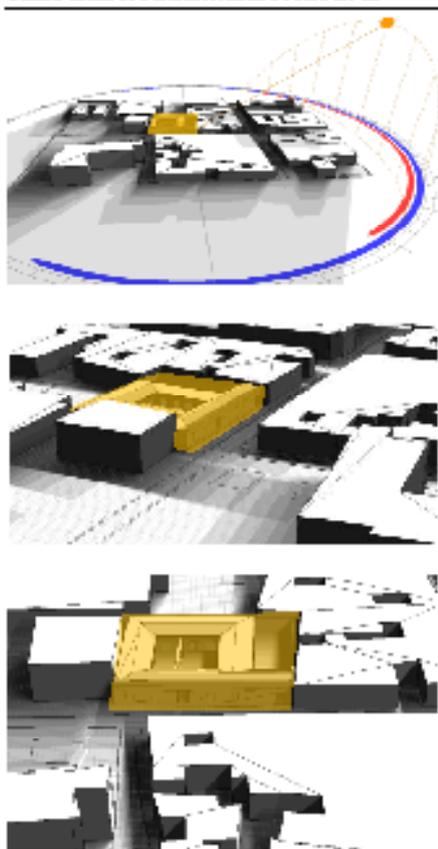
REQUERIMIENTO LUMÍNICO	500 lux
LUMINANCIA NORMA (cd/m <sup>2</sup> )	12,3 a 35

### OBSERVACIONES

La casa Herreros, construida originalmente para la familia herreros, hoy es utilizada como instituto de educación superior y sus habitaciones, son destinadas a salas de clase. Como muchas casas-patio, su iluminación proviene de las aberturas hacia el patio, en este caso, cada habitación cuenta con una ventana y una puerta, pero esta última sin apertura para luz. La función de sala de clase exige altos niveles de iluminación pero a la vez una iluminación controlable para sistemas de proyección (pantallas). Por eso la propuesta debe poder cerrarse (con cortinas, postigos, persianas u otros medios) desde el interior, con facilidad.

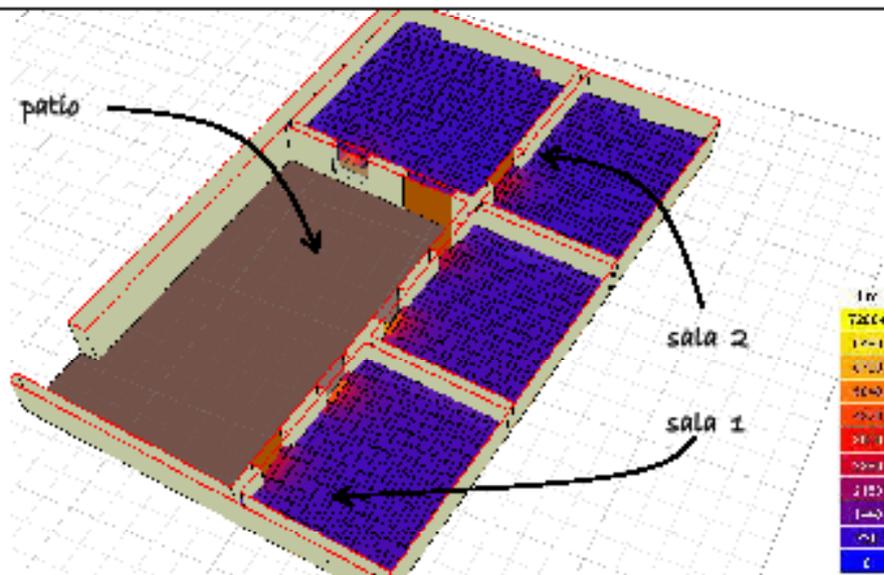
### RESPUESTA LUMÍNICA ACTUAL

General



### SELECCIÓN DE LOS RECINTOS

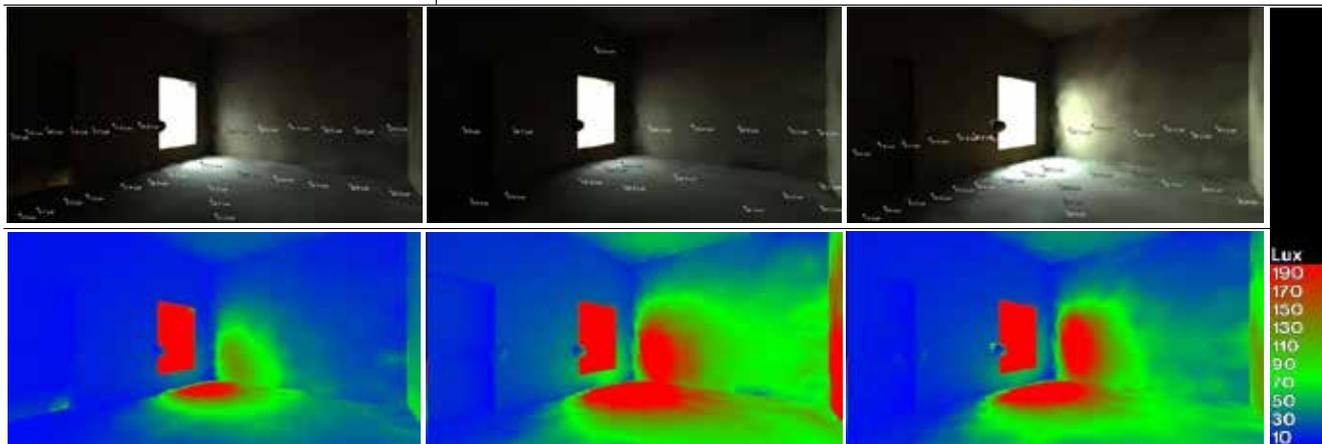
Todas las habitaciones tienen una ventana como fuente de luz y se iluminan (salvo las orientadas al norte) por luz indirecta que proviene de la reflexión del sol en el patio. Existe además una habitación ciega que se conecta a la casa a través de otra habitación. Pareció interesante tratar esta última y una habitación tipo, que además de variar considerablemente los niveles de luz durante el día, presenta altos contrastes y por tanto deslumbramiento.



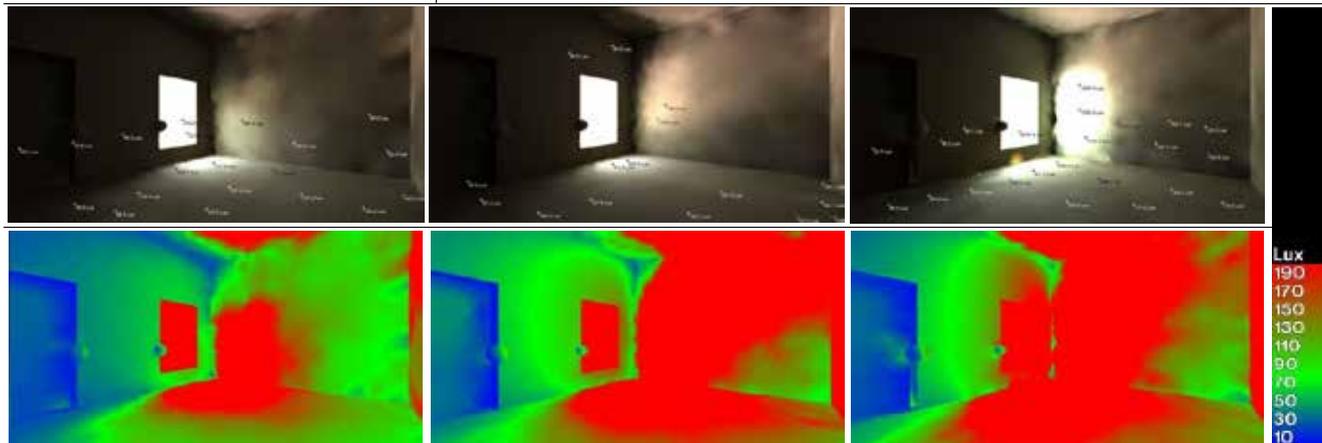
**ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA HERREROS**



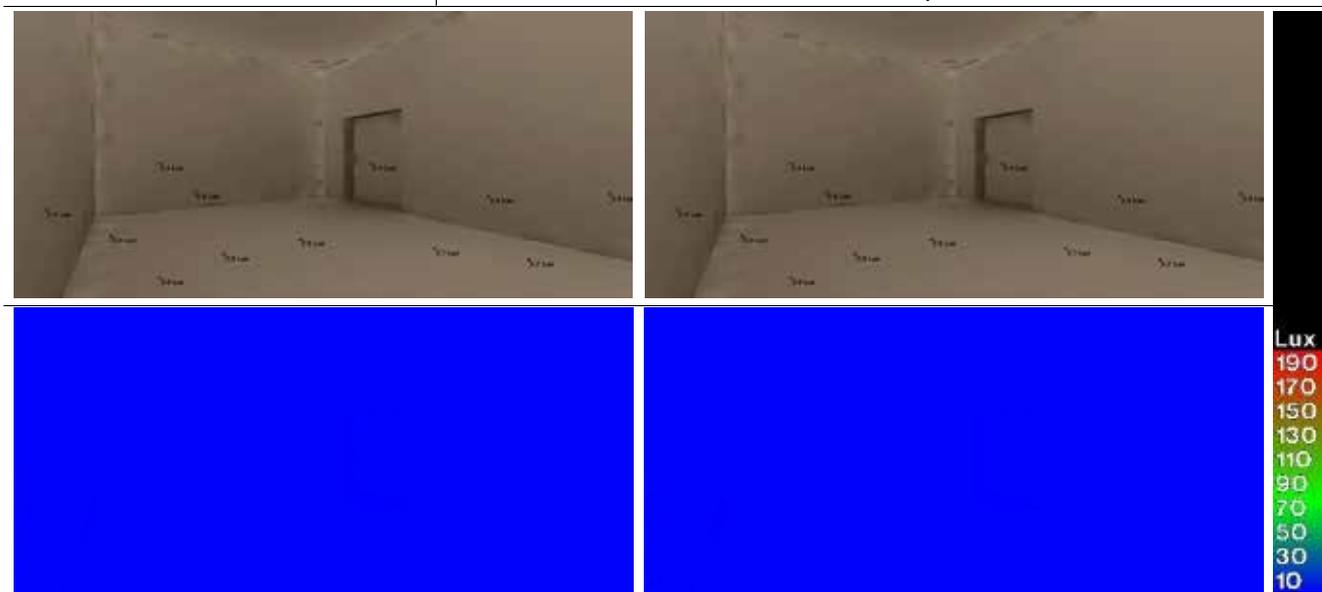
**VISTA 1** SOLSTICIO INVIERNO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



**VISTA 1** SOLSTICIO VERANO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



**VISTA 2 - OFICINAS** SOLSTICIO VERANO / SOLSTICIO INVIERNO - 12:00 hrs.



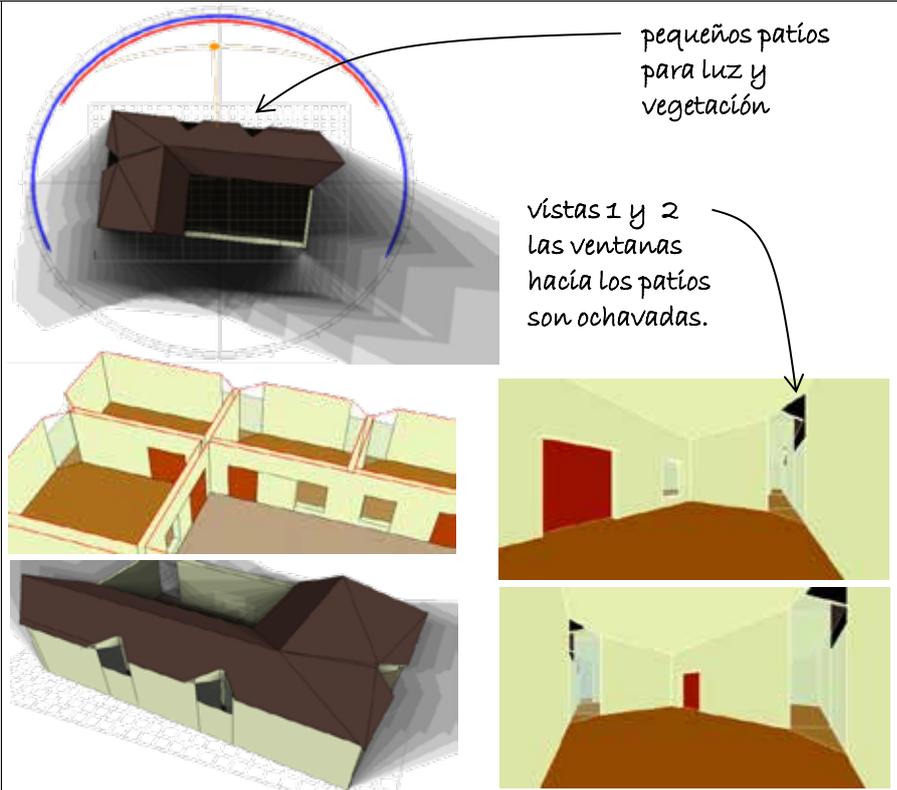
## PROPUESTA PARA SALAS DE CLASE - CASA HERREROS

### PROBLEMA

La actividad de sala de clase requiere altos niveles de iluminación durante el día (500 lx idealmente). Para esta actividad la luz directa puede resultar molesta debido a las figuras que provocan las sombras y auto sombras, impidiendo lectura. También se debe cuidar particularmente el deslumbramiento y los altos contrastes por lo que la solución debiese presentar una fuente de luz opuesta a la que existe hoy para balancear los niveles dentro. Por otra parte, para utilizar medios de clase con pantallas, la sala debe poder oscurecerse durante el día por lo que el sistema debe poder ser controlable desde el interior.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

Considerando que el muro posterior de las salas corresponde a un muro medianero ciego, (donde no es posible abrir una ventana por normativa) se propone la creación de tres pequeños patios de luz que mantienen la continuidad del muro medianero hasta los 3 m de altura (min. por norma), y dejan abrir ventanas verticales en las salas donde pueden colocarse sistemas de control como postigos, cortinas o persianas. Sin embargo, parece una idea atractiva controlar la luz por medio de la utilización de vegetación, la que puede plantarse dentro del pequeño patio y que recibiría luz norte y poniente. La vegetación dentro de los patios es un recurso muy utilizado en la serena como medio de control



### SOLUCIÓN VENTANA-PATIO

La ventana como sistema abarca una gran variedad de soluciones, no sólo como apertura frontal en un muro. En este caso, se utiliza un patio que, finalmente, puede ser considerado como una ventana tragada hacia el interior, lo que es posible de hacer por normativa.

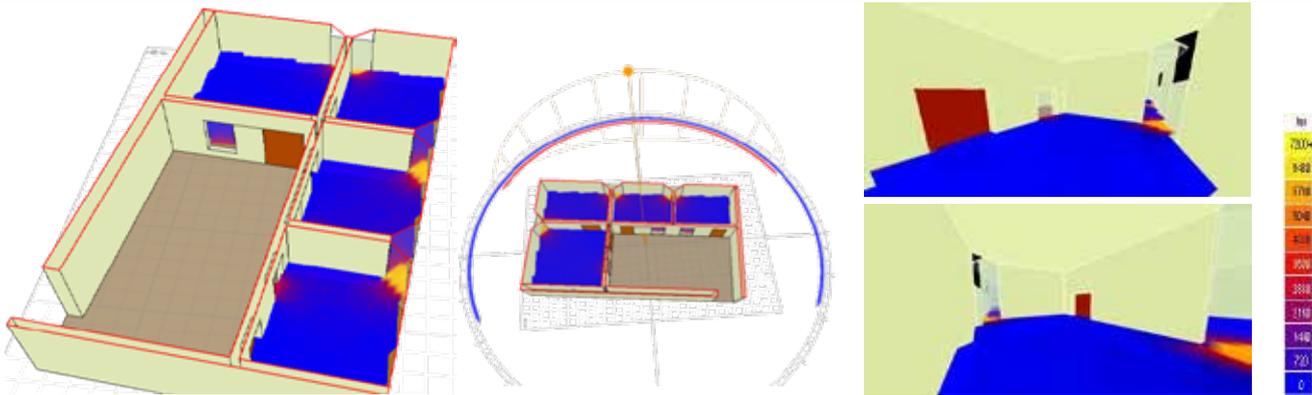


### SOLUCIÓN INTERIOR

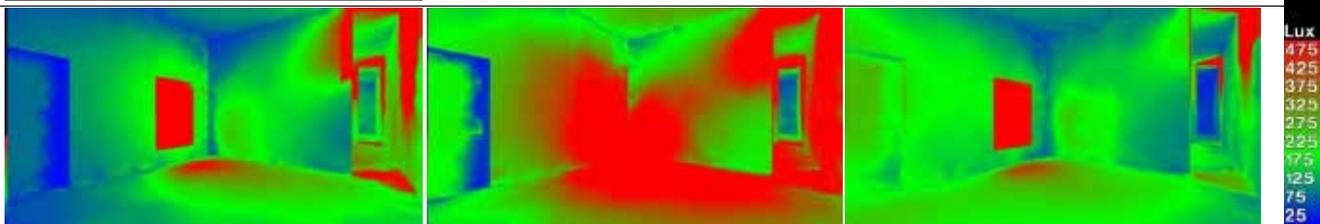
Para el control de la luz se propone que pueda haber vegetación que puede mantener un control climático por la humedad de la tierra, la caducidad del follaje y la sombra. Por otra parte, la vista hacia una ventana con vegetación es enormemente más agradable que la vista hacia un muro ciego.



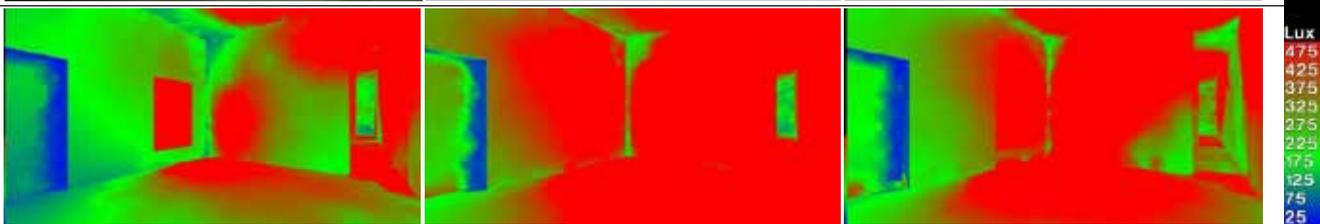
**ANÁLISIS LUMÍNICO DE LA PROPUESTA - CASA HERREROS**



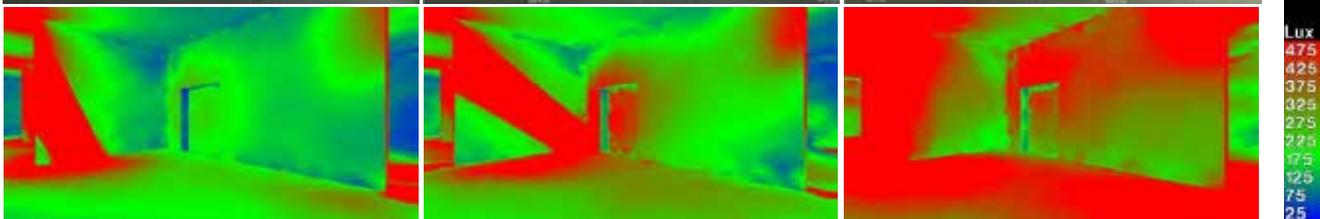
**VISTA 1 (esc. 500 lux)** SOLSTICIO DE INVIERNO 9:00 / 12:00 / 16:00 hrs.



**VISTA 1 (esc. 500 lux)** SOLSTICIO DE VERANO 9:00 / 12:00 / 16:00 hrs.



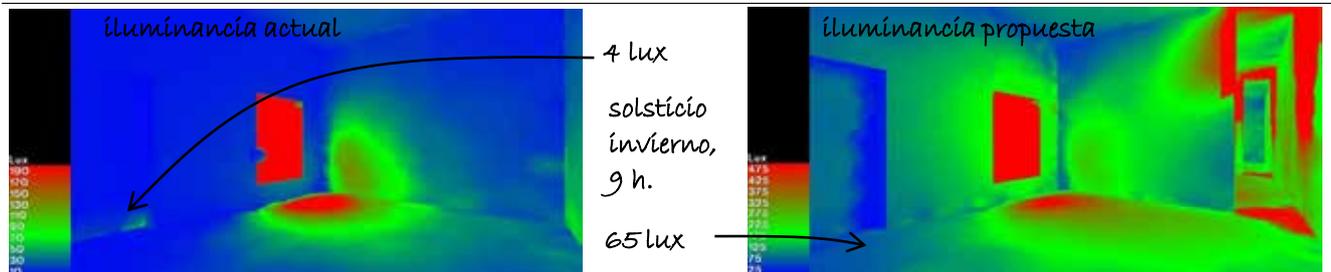
**VISTA 2 (esc. 500 lux)** SOLST. INVIERNO / EQUINOCCIO / SOLST. VERANO 12:00 hrs.



## EVALUACIÓN ERGONÓMICA - CASA HERREROS

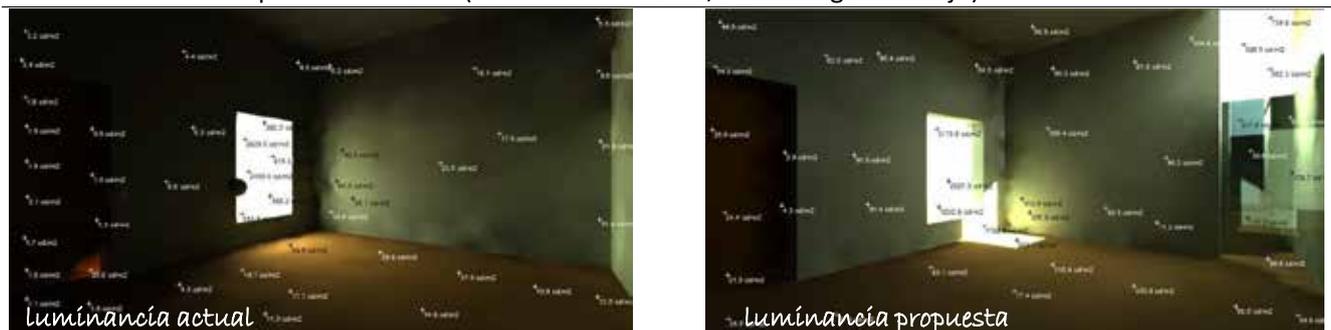
### Nivel de iluminación

La propuesta aumenta considerablemente los niveles de iluminación. El momento más desfavorable es en el solsticio de invierno a las 9 h. La propuesta en esta parte aumenta de 4 lx a 65 lx. También puede observarse en las imágenes de falso color que la distribución de la luz es más homogénea. La vista de la sala 2 (mediterránea) no es analizada puesto que actualmente no tiene acceso de luz natural por lo que cualquier propuesta mejoraría su condición de iluminación.



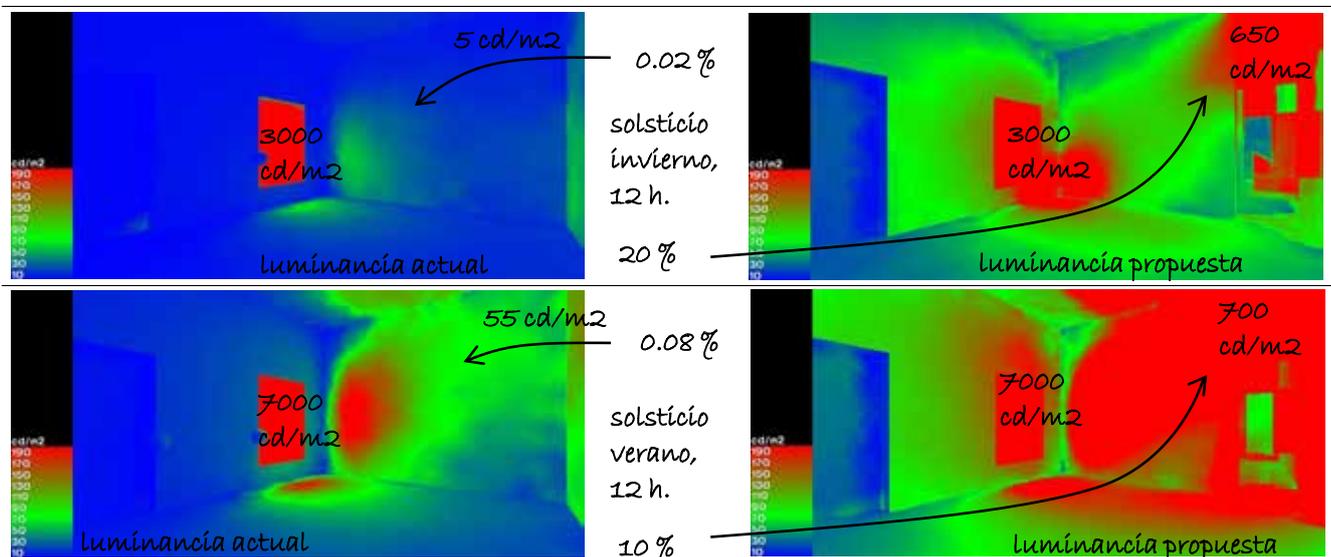
### Deslumbramiento

Actualmente la única fuente de luz (ventana) causa deslumbramiento porque hay alto contraste con el resto de la sala (3000:1 cd/m<sup>2</sup>, 0.03%). La propuesta introduce una fuente de luz que aminora el contraste a 3000:25 cd/m<sup>2</sup>, 0.8%, acercándose a la norma (1.25%). El color claro de los muros (reflectividad 0.8) contribuye a aminorar el deslumbramiento. La vegetación que puede haber en los patios se propone como un controlador de excesos de luz dados por el sol directo (solsticio de invierno, 12 h. Imágenes abajo)



### Equilibrio de luminancias

El contraste ha disminuido respecto de la situación actual. Se supera en casi toda la sala la exigencia normativa (80:1 ó 1.25%). En el momento más desfavorable, el solsticio de invierno a las 12 h hay 3000:5 cd/m<sup>2</sup> (0.02%) y con propuesta 3000:650 cd/m<sup>2</sup> (20%), muy por encima de la norma. En el solsticio de verano a las 12 h actualmente hay 7000:55 cd/m<sup>2</sup> (0.08%) y la propuesta cambia a 7000:700 cd/m<sup>2</sup> (10%). El color claro de los muros contribuye a aminorar el desequilibrio.



## ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA PROPUESTA - CASA HERREROS

### Identidad y memoria

La propuesta de pequeños patios es coherente con el uso de estos en la tipología arquitectónica de La Serena. Aunque difieren bastante en tamaño puesto que la mayor parte de los existentes generan la organización de la casa en torno a ellos, respeta el ser una fuente de luz que en muchos casos tiene vegetación.



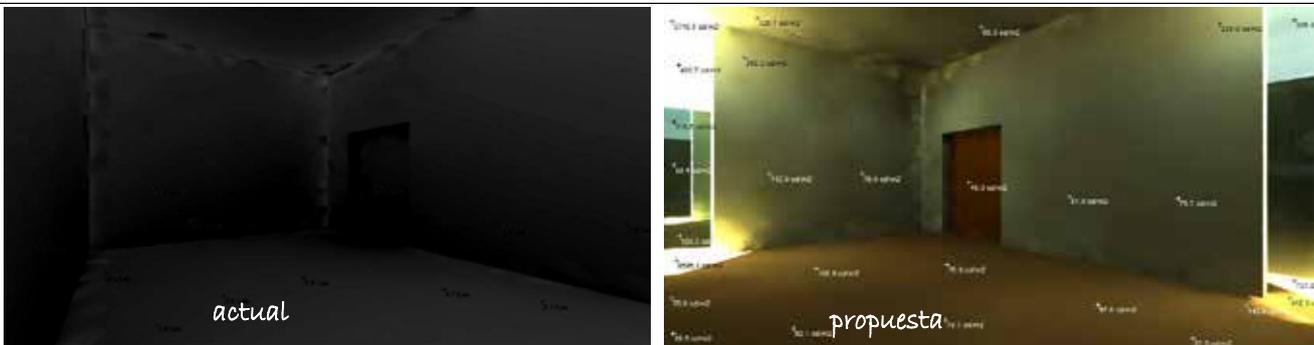
### Luz y Georreferenciación

Cantidad de luz natural y tiempo de exposición diaria y anual: La cantidad de luz que ingresa al recinto en la sala 2 es evidentemente mayor a la actual (o lx) pero en la sala 1 también aumenta considerablemente, de un mínimo de 4.5 lx a 65 lx en el solsticio de invierno a las 9 h.

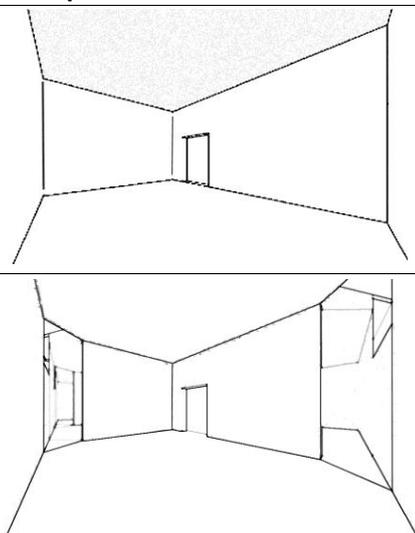
Percepción del ángulo de incidencia: Los patios orientados al norte (2) y poniente) reciben sol directo durante el día y la tarde, haciendo más evidente el paso del tiempo. En la situación actual

sólo se advierten las diferencias por la luz reflejada indirecta proveniente del patio. En la habitación mediterránea actualmente no se observa ningún cambio de luz en ningún momento del día o el año.

Color de la luz: La luz que entra es luz natural y el filtro de vidrio no altera su color. Si los muros son pintados de color blanco (reflectividad 0.8), al no necesitar la luz artificial durante el día, el IRC es el natural para el ojo humano. El uso de vegetación podría aportar una coloración amarillo verdosa pero en general sólo contribuirá a controlar el sol directo pues serán visibles casi siempre a contraluz.



### Percepción visual



Profundidad y tamaño: La intervención en el ángulo de encuentro entre los muros lateral y fondo aporta un elemento que hace evidente la profundidad y el tamaño de recinto. La visión de la fuente de luz (patios) de las salas contiguas puede contribuir aún más en la percepción de profundidad, como una repetición de dos espejos enfrentados.

Esquema significativo: La ubicación de los pequeños patios en la arista de las salas aporta un elemento significativo para la comprensión del esquema del lugar, sobre todo en las salas que tienen dos patios. Sin embargo, la pérdida del ángulo recto de las esquinas (ochavos) puede confundir al observador respecto del límite de la sala.

Discriminación de entidades: Aparece un elemento importante que se hace visible casi desde cualquier lugar en que el observador se encuentre o tendrá la visión de algún elemento lumínico, ventana o patio.

**COMPARACION SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA - CASA HERREROS**

<b>Iluminancia</b>									
estación	hora	sit. actual				propuesta			
		pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc	pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc
solsticio verano	09 hrs	168	92	1,8		388	368	1,1	
	12 hrs	247	154	1,6		728	632	1,2	
	16 hrs	341	99	3,8		745	463	1,6	
solsticio invierno	09 hrs	68	41	1,7		218	154	1,4	
	12 hrs	128	55	2,2		485	328	1,5	
	16 hrs	76	19	4,0		245	138	1,8	
equinoccio primavera	09 hrs	92	48	1,9		284	223	1,3	
	12 hrs	85	47	1,8		308	256	1,2	
	16 hrs	206	20	10,3		461	258	1,8	

**Conclusiones**

Las salas estudiadas de la casa Herreros presentaban problemas de baja iluminancia y distribución disparada de luz (niveles insuficientes y deslumbramiento). Una de las salas incluso no presenta aperturas por lo que sus niveles de iluminancia son nulos.

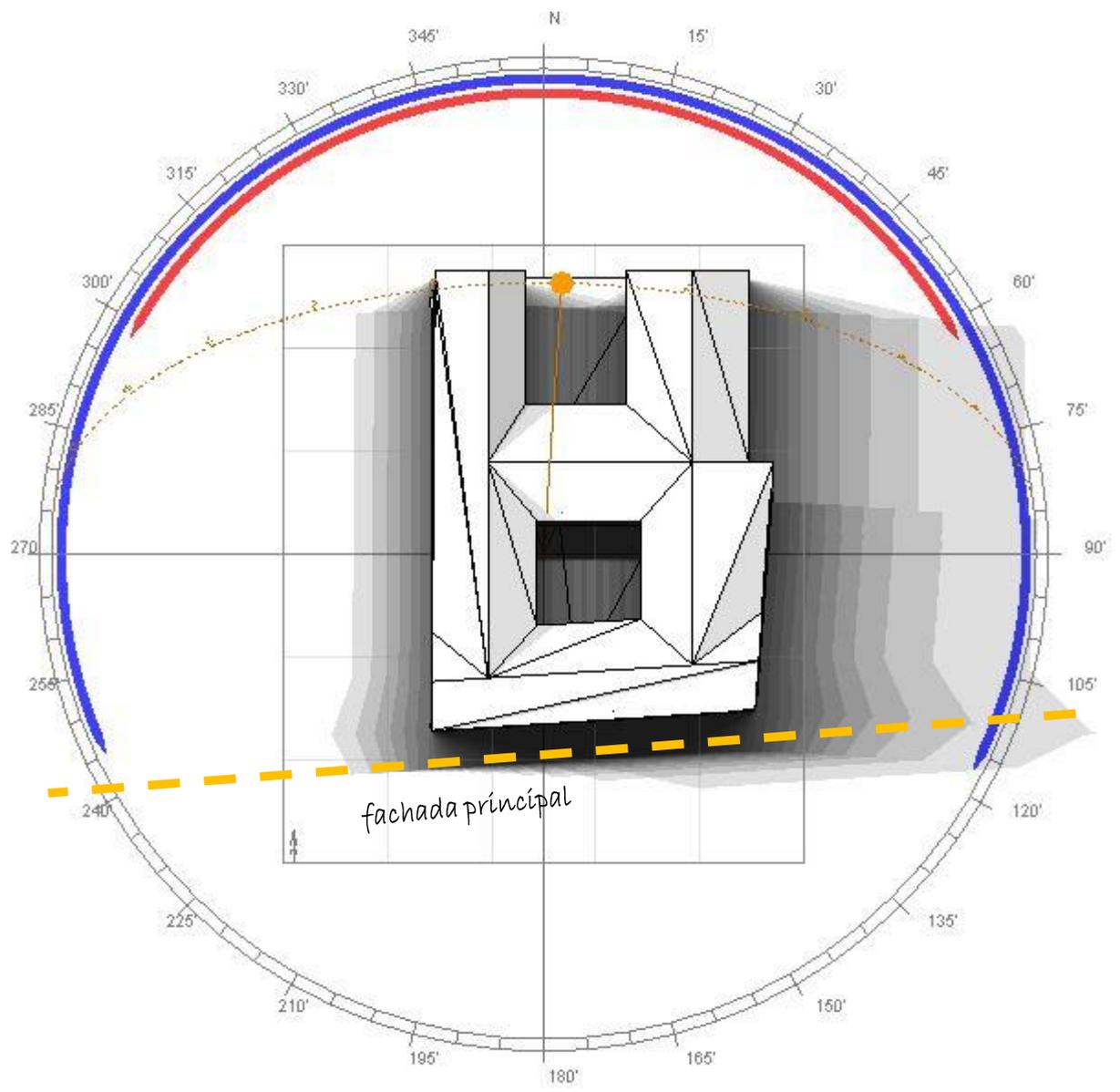
Las imágenes en falso color y las cifras comparativas entre la situación actual y la propuesta en la sala 1 demuestra que propuesta del patio norte es una buena solución ya que incrementa la iluminancia hasta alcanzar gran parte del año el nivel necesario para una sala de clases en los dos puntos estudiados.

También se observa que la distribución de la luz es notoriamente más homogénea bajando el pick de 10,3 a 1,8 entre los puntos 1 y 2, en el caso más crítico.

A pesar de los buenos niveles de iluminancia logrados, el acceso de sol directo puede producir problemas de sobrecalentamiento de la sala en los meses de verano. Como la cantidad de luz lograda resulta más que suficiente, la propuesta contempla la incorporación de vegetación de hoja caduca que genera sombra en verano y permite el acceso de sol directo en invierno, incrementando la luz y el calor cuando éste es necesario.



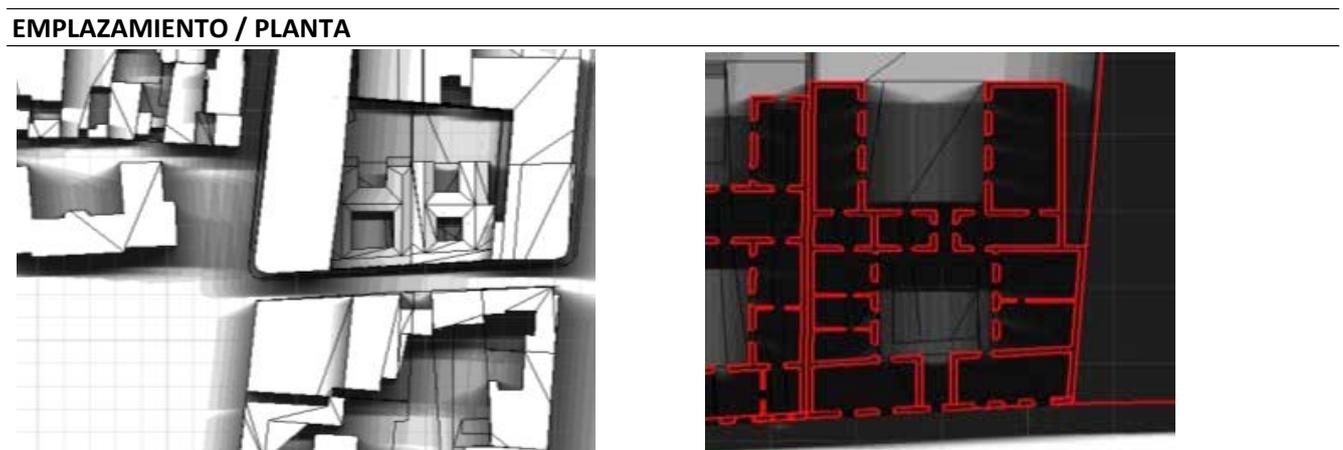
# CASO 4. CASA SOLAR CHADWICK



<b>NOMBRE</b>	CASA SOLAR CHADWICK
<b>DIRECCIÓN</b>	Arturo Prat 470 - 464
<b>ICH/MH</b>	Inmueble de Conservación Histórica
<b>AÑO DE CONSTRUCCIÓN</b>	1875 - 1880
<b>TIPO/ESTILO</b>	Neoclásico
<b>ORIENTACIÓN PRINCIPAL</b>	Sur
<b>USO ORIGINAL</b>	Vivienda
<b>USO ACTUAL</b>	HOTEL
<b>MATERIALIDAD MUROS</b>	Albañilería adobe / Tabique madera c/quincha
<b>MATERIALIDAD TECHO</b>	Entramado madera + plancha met. ondulada
<b>CARACT. MORFOLÓGICAS Y ARQUITECTÓNICAS</b>	Casa de dos patios; volumen simple; cubiertas a dos aguas; cumbreras paralelas a la calle; aleros de 60 cm; cornisa superior y zócalos inferior; proporción lleno vacío 80/20; terminación de estuco opaco; cielos con revestimiento de madera; pavimentos de madera (interior) y baldosa (exterior); ventanas interiores con palillaje; puertas con ventana superior (imposta y hoja); proporción vertical de los vanos.

**DESCRIPCIÓN**

Construida aproximadamente en el año 1875-80, edificio de adobe del periodo Clásico Serenense. La fachada de composición simétrica, remata en una crestería de madera torneada. El ritmo de los vanos esta fuertemente enmarcado por pilastras y cornisas. La fachada remata en una cornisa de madera. Forma conjunto con la Casa Piñera, en calle A. Prat consolidando las manzanas del centro histórico en torno a la Plaza de Armas. Actualmente destinada a comercio y hospedaje.



## ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA S. CHADWICK

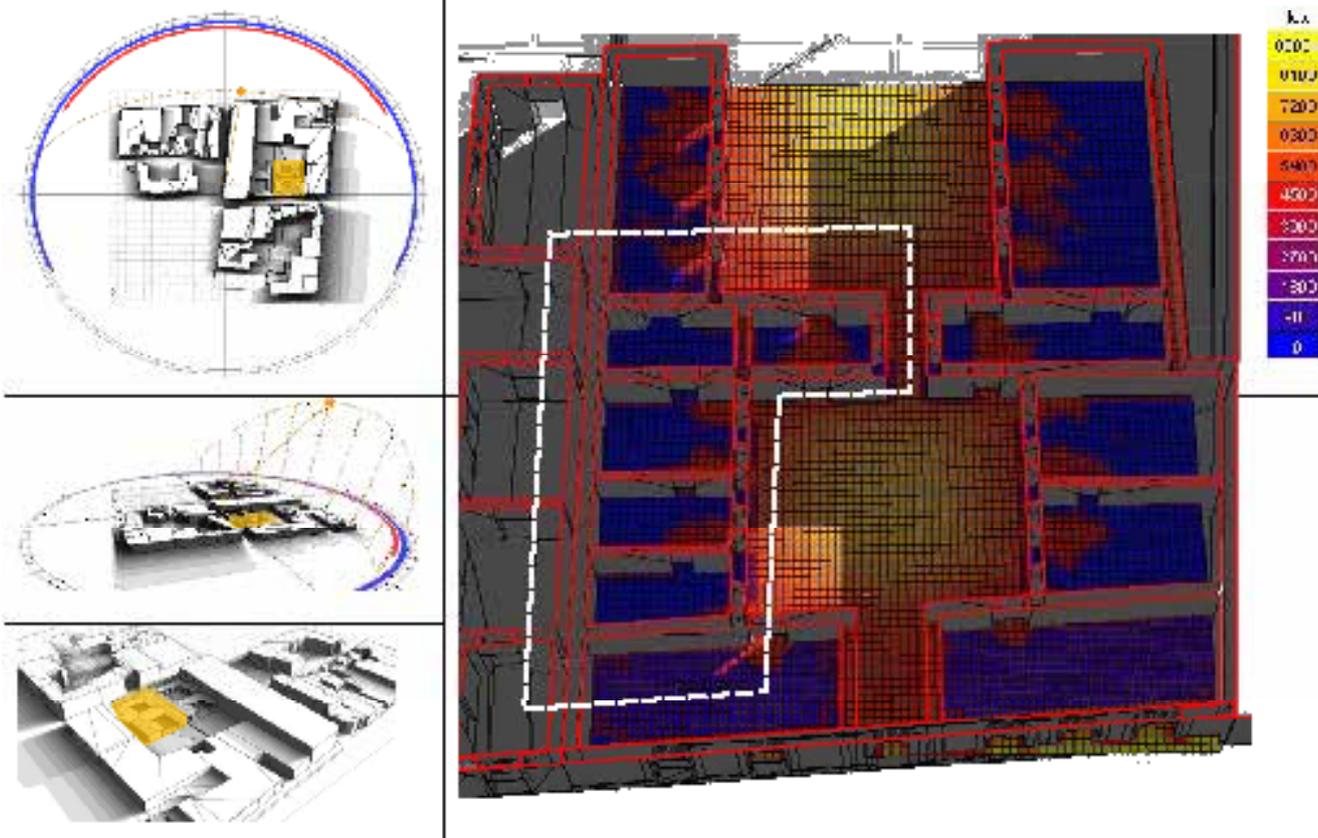
REQUERIMIENTO LUMÍNICO (lx)	150 lux
LUMINANCIA (cd/m <sup>2</sup> )	5,3 - 12,3

### OBSERVACIONES

La norma chilena no establece rangos de iluminación o iluminancia para habitaciones de hotel. Por eso, como criterio se ha homologado con una 'tarea ordinaria' o de baja dificultad, lo que arroja un resultado de 150 lux como óptimo. Una característica importante respecto de la calidad de la luz es que debe ser controlable a toda hora por el usuario, puesto que las actividades de una habitación de hotel pueden requerir oscuridad durante el día (dormir). Es por esto que cualquier solución debe poder ser accesible al usuario para controlar el ingreso de luz ya sea por medios propios (cortinas, postigos, persianas, etc.) como automáticos (domótica).

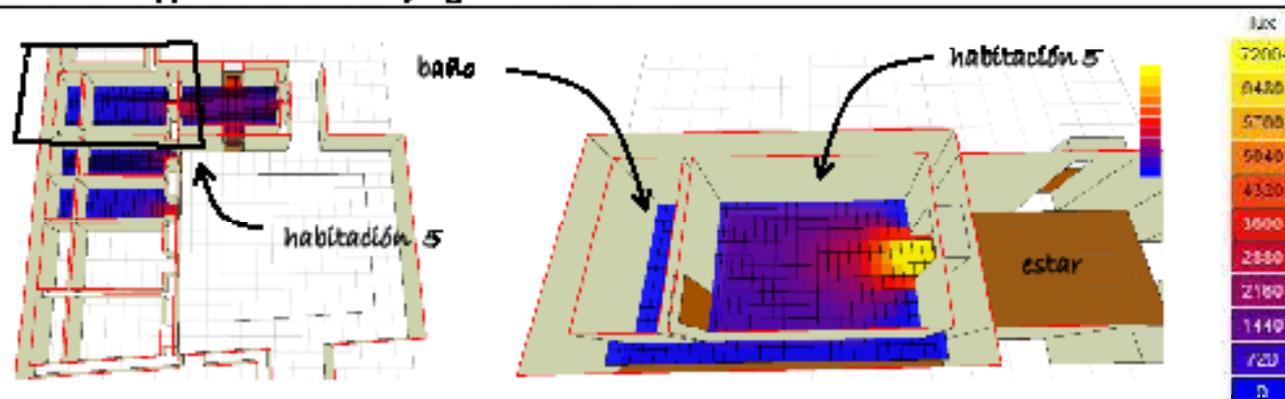
### RESPUESTA LUMÍNICA ACTUAL

General

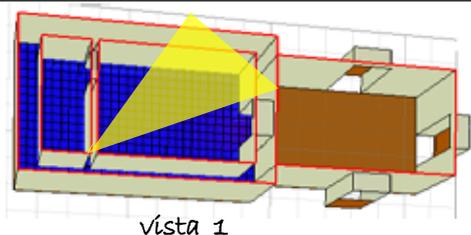


### SELECCIÓN DEL RECINTO

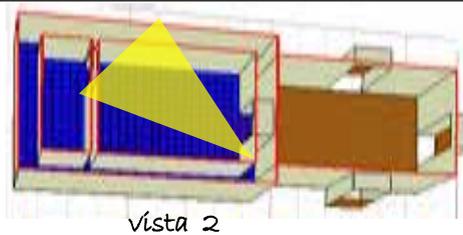
El análisis general ha mostrado que habitaciones no llegan a los niveles mínimos de iluminación requeridos (150 lx). De éstas se ha escogido las más conflictiva que corresponde a una habitación sin salida al exterior (mediterránea) por lo tanto con mayor grado de dificultad.



**ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA S. CHADWICK**



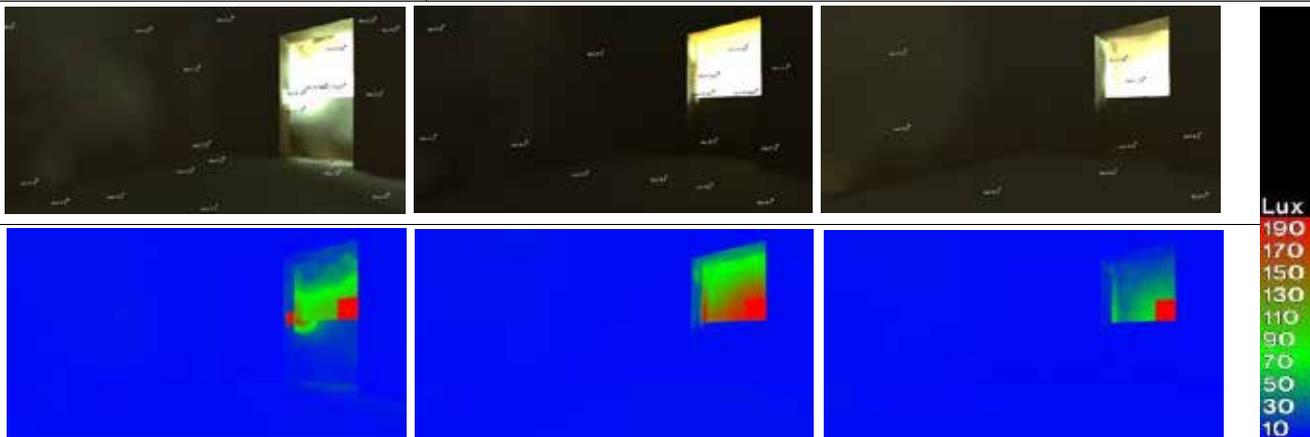
vista 1



vista 2

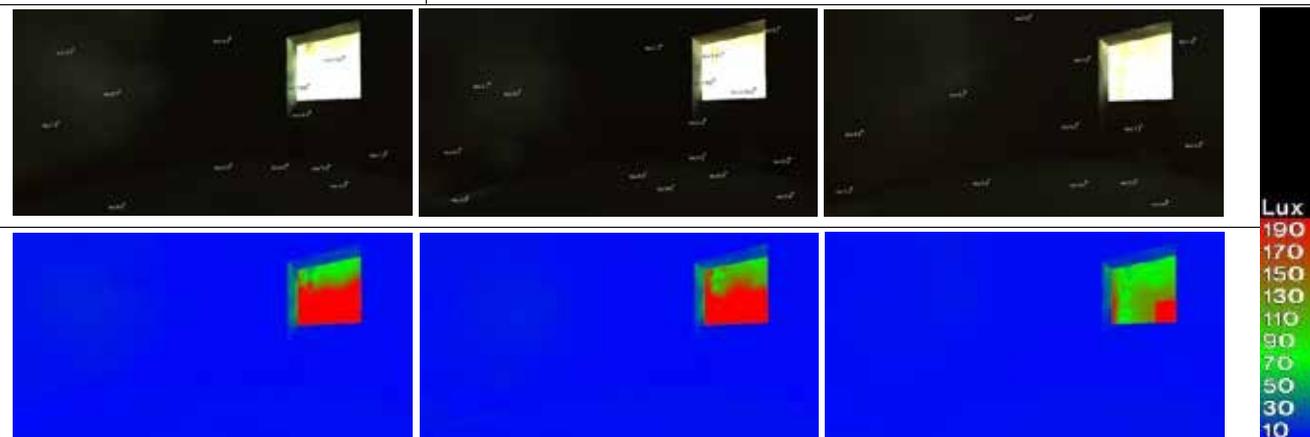
**VISTA 1**

SOLSTICIO INVIERNO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



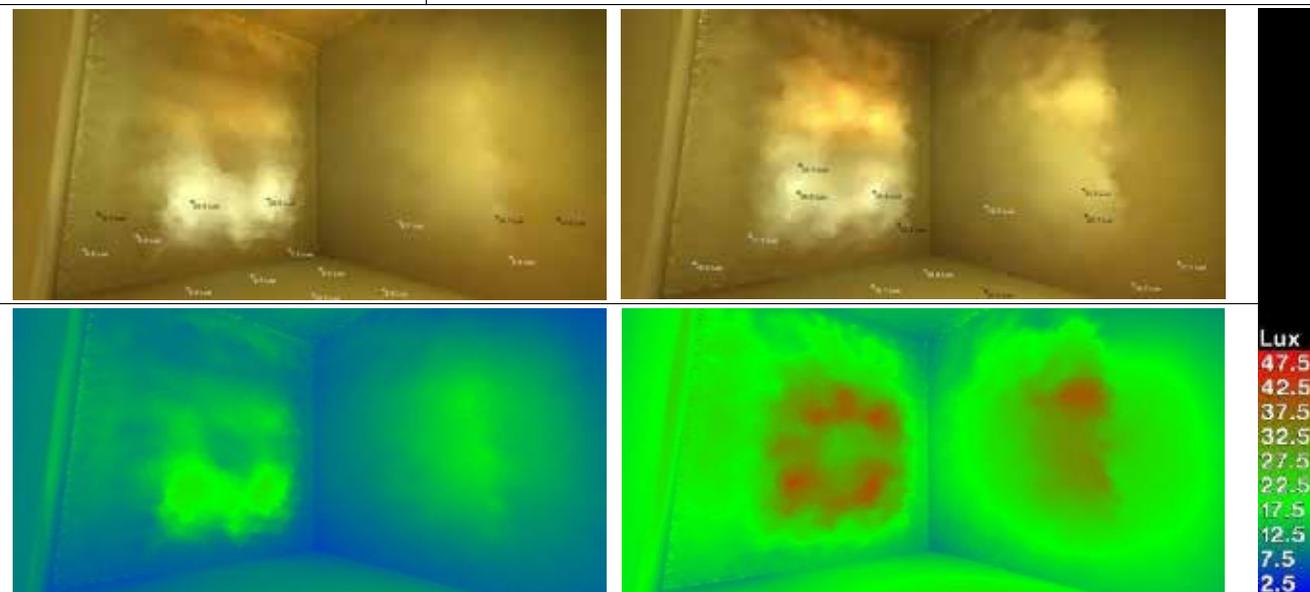
**VISTA 1**

SOLSTICIO VERANO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



**VISTA 2**

SOLSTICIO INVIERNO 12:00 hrs. / SOLSTICIO VERANO 12:00 hrs.



## PROPUESTA PARA HOTEL - CASA S. CHADWICK

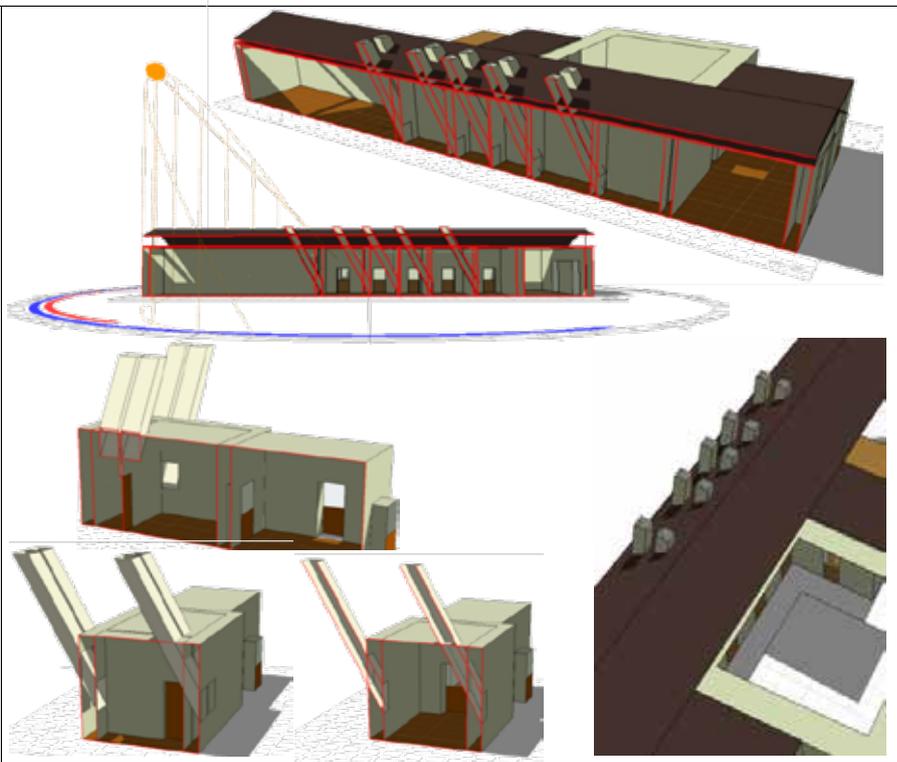
### PROBLEMA

La habitación seleccionada cuenta sólo con una puerta con ventana superior que es contigua a un recinto de estar. En la imagen de iluminancia puede observarse que los niveles de iluminancia (lx) son mínimos y además hay una mala distribución. Esto genera al menos tres problemas: 1. no hay luz en el fondo de la habitación; 2. en la zona oscura de la habitación la vista hacia la fuente produce deslumbramiento; 3. la falta de luz en el fondo de la habitación impide percibir la profundidad, tamaño y elementos existentes.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

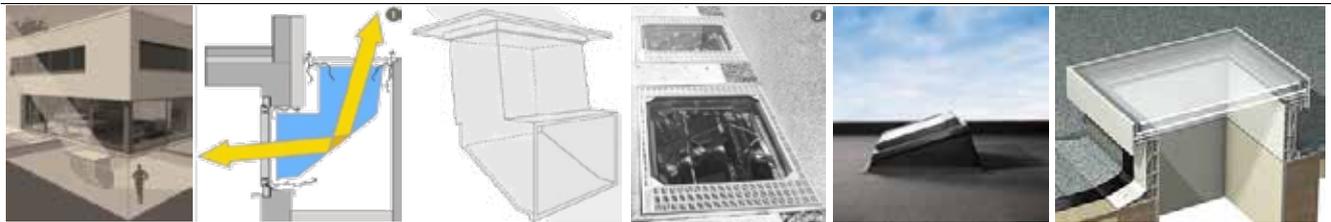
La solución debe aumentar los niveles de iluminancia y a su vez presentar acceso al control de iluminación para restar luz en caso de necesidad. La intención es lograr un uso eficiente de los recursos por lo que se descarta un sistema de domótica altamente tecnológico, costoso y con alto consumo eléctrico.

La propuesta consiste en ductos de luz que por reflexión simple hagan llegar luz desde la cubierta hasta las habitaciones y baños pero no en el cielo (cenital), sino en el muro, como si se tratara de una ventana. El objetivo de esta medida es que el usuario tenga control sobre la luz, por medio de sistemas de control solar como postigos o persianas.



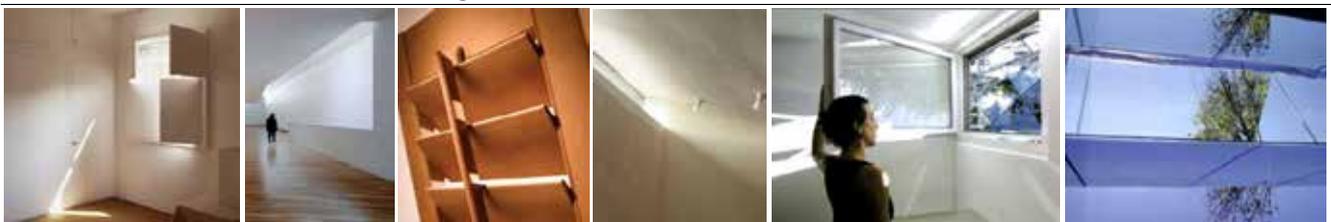
### SOLUCIÓN DE CUBIERTA Y LUMIDUCTO

En la cubierta, la salida de los lumiductos será visible sólo desde arriba (5ª fachada), no desde la calle ni los patios. Se trata de elementos que sobresalen de la cubierta en cerca de 40 cm, con domo de vidrio o acrílico transparente. Puede ser construido con paneles y pintado de color blanco. Se descarta el forro metalizado puesto que parte de ducto es visible desde la habitación y puede ser desagradable a la vista.

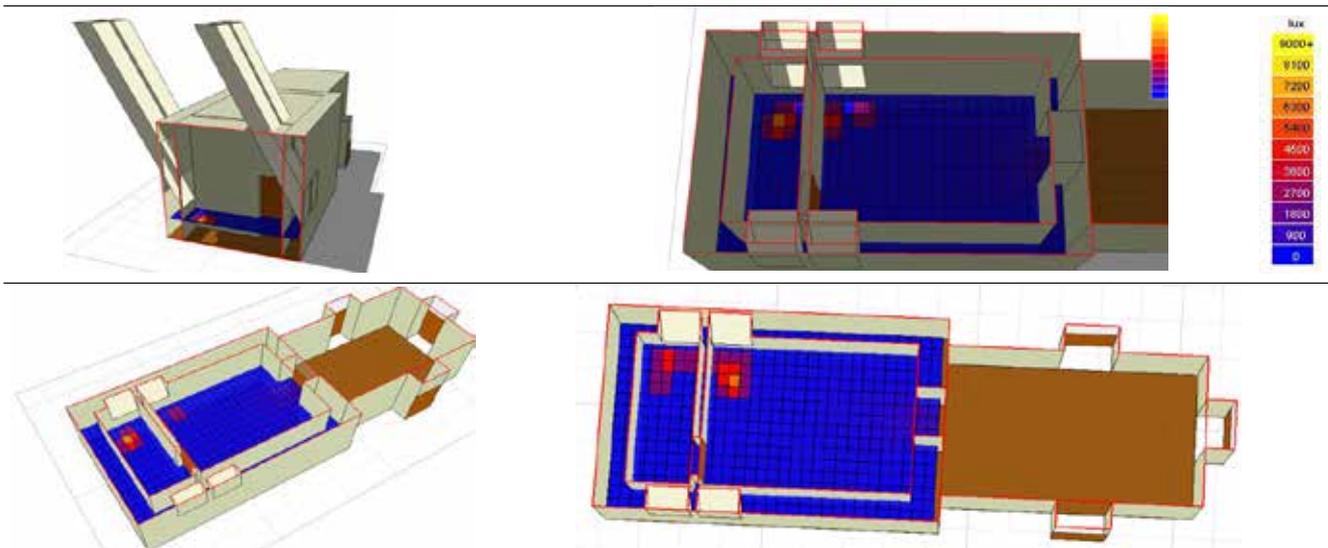


### SOLUCIÓN INTERIOR

La llegada del ducto al recinto se propone en el muro (vertical) con un antepecho de 1 m y un alto de 1.5 m, como una ventana pero sin vistas hacia el exterior. El control solar se da con persianas o postigos, sistemas escogidos por ser sistemas existentes en la casa y por lo tanto no afectarían la unidad visual y patrimonial del inmueble (sistema Heliobus en las imágenes).

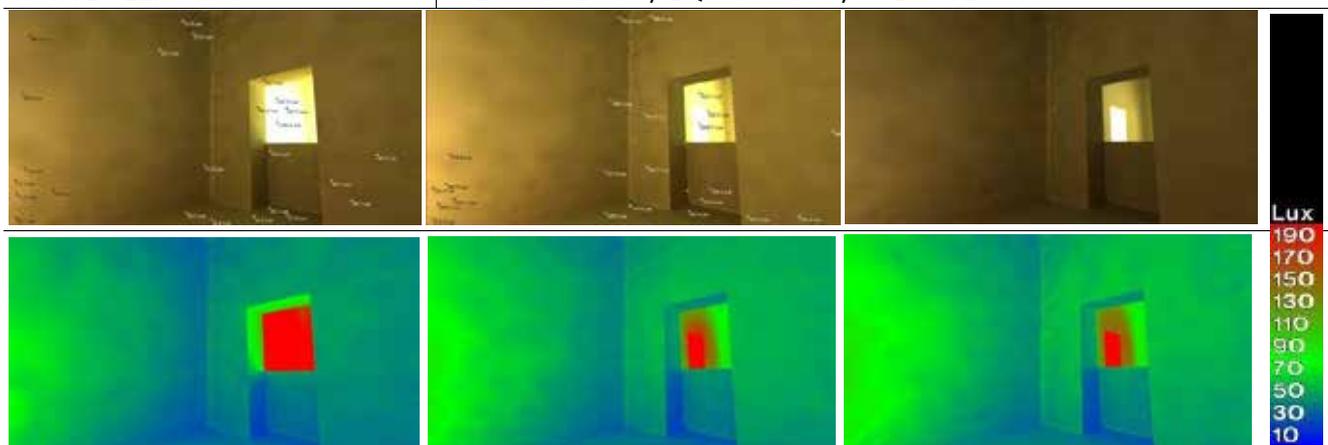


**ANÁLISIS LUMÍNICO DE LA PROPUESTA - CASA S. CHADWICK**



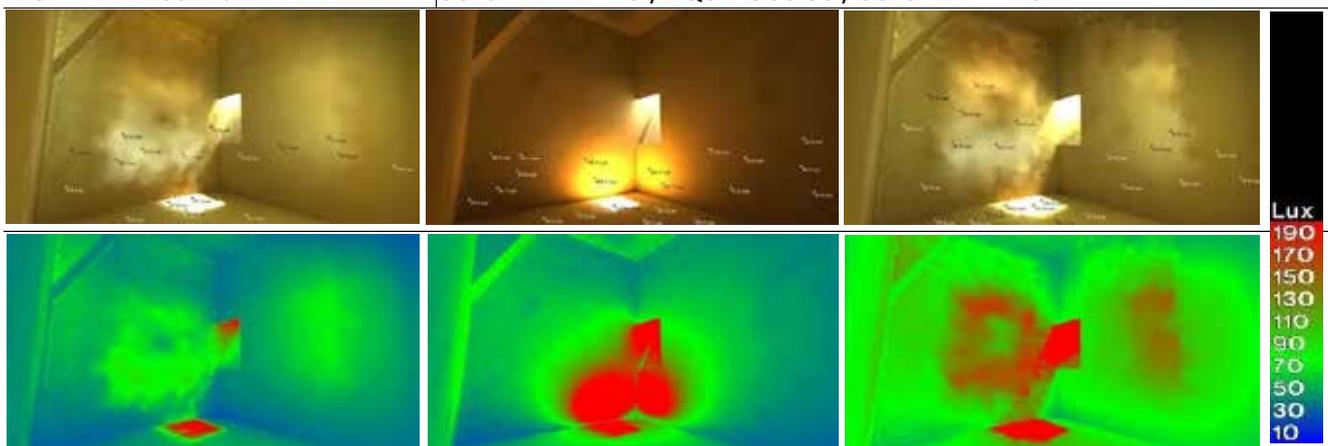
**VISTA 1 - 12:00 hrs.**

**SOLST. INVIERNO / EQUINOCCIOS / SOLST. VERANO**



**VISTA 2 - 12:00 hrs.**

**SOLST. INVIERNO / EQUINOCCIOS / SOLST. VERANO**



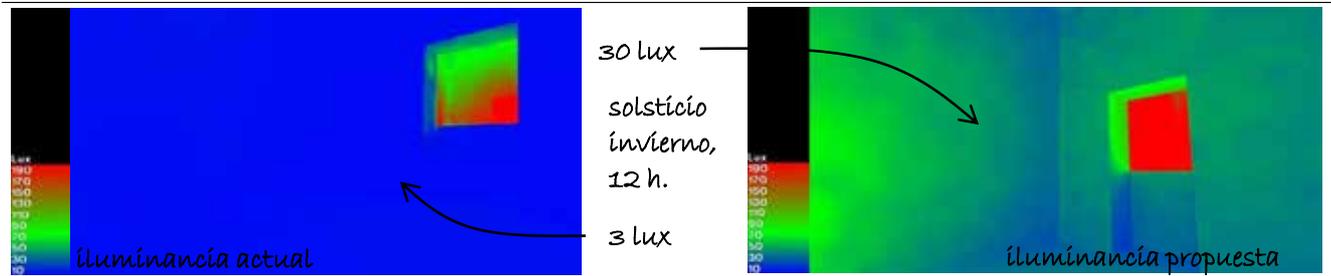
**OBSERVACIONES**

Considerando el ducto con materiales no reflectantes pero de color blanco, la solución incrementa los niveles de iluminación natural en la habitación y en el baño ciego, de 0 a un máximo de 750 lux en los momentos pick. Estos son el solsticio de verano, cuando hay cielos despejados casi todo el tiempo y en los equinoccios, por coincidir el ángulo de inclinación del lumiducto con el de el sol en estas dos épocas del año. Por otra parte, la iluminación del fondo de la habitación reduce el contraste hacia la fuente de luz original (la puerta) y por lo tanto disminuye el deslumbramiento. Por último, la aparición de un elemento luminoso al fondo de la habitación, aporta a la comprensión del espacio puesto que permite visibilizar el limite del recinto y ser a su vez un elemento atractivo.

**EVALUACIÓN ERGONÓMICA - CASA S. CHADWICK**

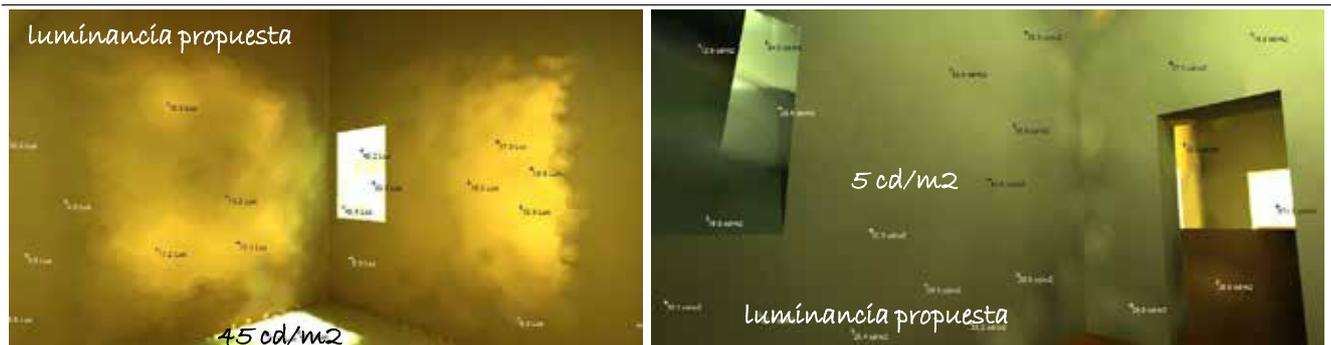
**Nivel de iluminación**

La situación actual no alcanza un mínimo para tareas visuales sencillas, la propuesta aumento 10 veces esas cantidades lo que permite llegar a un rango de entre 30 lx (solsticio de invierno) a un máximo de 150 lx en el solsticio de verano, cerca de la apertura lateral. holográficos que redireccionan la luz.



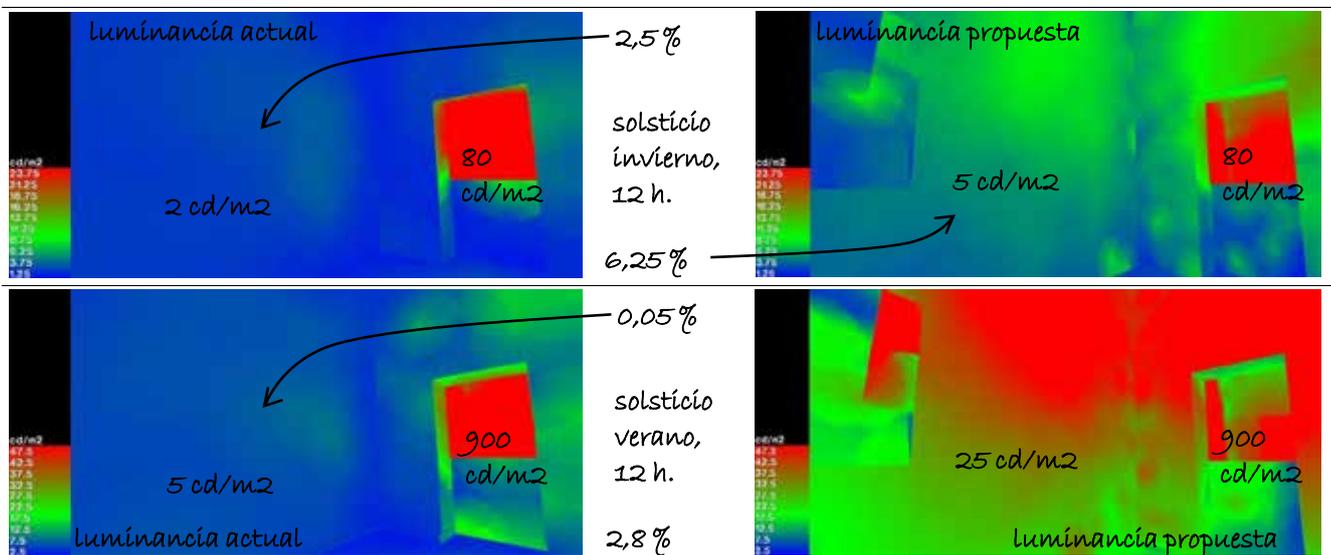
**Deslumbramiento**

Los niveles de luz alcanzados en la propuesta no son muy altos por lo que los brillos tampoco lo son. En solsticio de invierno el punto menos luminoso es de 5 cd/m<sup>2</sup> y el máximo de 45 cd/m<sup>2</sup>, mientras que en la situación actual es de 2 y 5 cd/m<sup>2</sup> respectivamente. En el solsticio de verano y en los equinoccios a medio día, las cantidades aumentan significativamente por el ángulo de inclinación solar que corresponde con el de las chimeneas en algunos momentos del día (equinoccios) o por la mayor luminosidad del cielo en verano.



**Equilibrio de luminancias**

A pesar de la baja luminancia en ambos casos, en la actualidad existe mayor desequilibrio de luminancias y por tanto más riesgo de deslumbramiento. En el solsticio de invierno a mediodía la proporción es de 40:1 cd/m<sup>2</sup> (2,5%) y en verano 180:1 cd/m<sup>2</sup> (0,05%). La propuesta reduce estas diferencias a 16:1 cd/m<sup>2</sup> en invierno (6,25%) y 36:1 cd/m<sup>2</sup> en verano (2,8%).



## ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA PROPUESTA - CASA S. CHADWICK

### Identidad y memoria

La intervención propuesta visible por fuera desde la cubierta consiste en un grupo de chimeneas como cuerpos contemporáneos que contrastan con la antigüedad de la casa. Por dentro la llegada en el muro se plantea como una ventana con control lumínico por medio de postigos o algún sistema similar al que existe en el resto de la casa. La diferencia será que la visión hacia la ventana será ciega, sólo un blanco lumínico.



### Georreferenciación

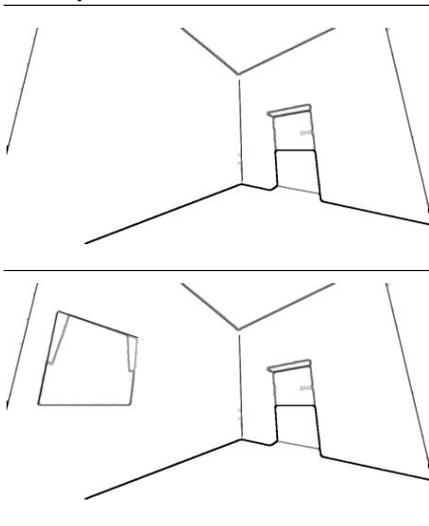
Cantidad de luz natural y tiempo de exposición diaria y anual: La cantidad de luz que ingresa al recinto es mayor que la existente y viene del norte, por lo que está presente casi todo el día.

Percepción del ángulo de incidencia: La luz puede ingresar directamente en varios momentos del año cercanos al equinoccio, haciendo más evidente el paso del tiempo. En la situación actual sólo se advierten tenues diferencias en algunos momentos del día puesto que la luz entra filtrada por el paso por otra habitación.

Color de la luz: La luz que entra es luz natural y color del ducto (blanco con reflectividad 0.8) no altera su color. Si los muros están pintados también de color blanco, al necesitar menos luz artificial durante el día, el IRC será más acorde al natural para el ojo humano.



### Percepción visual



Profundidad y tamaño: La intervención en el ángulo opuesto a la ventana actual aporta un elemento que hace evidente tanto la profundidad como el tamaño de recinto.

Esquema significativo: La ubicación de la ventana en el ángulo del muro posterior aporta un elemento significativo para la comprensión del esquema del lugar.

Discriminación de entidades: Aparece un elemento importante que se encuentra separado de la ventana-puerta actual, por lo tanto en cualquier lugar en que el observador de encuentre tendrá la visión de alguno de estos elementos organizadores del espacio.

**COMPARACION SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA - CASA SOLAR CHADWYCE**

**Iluminancia**

estación	hora	sit. actual				propuesta			
		pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc	pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc
solsticio verano	09 hrs	5	11	0,5		15	10	1,5	
	12 hrs	5	9	0,6		44	10	4,4	
	16 hrs	3	5	0,6		11	5	2,2	
solsticio invierno	09 hrs	3	5	0,6		8	5	1,6	
	12 hrs	4	7	0,6		24	6	4,0	
	16 hrs	2	3	0,7		6	3	2,0	
equinoccio primavera	09 hrs	3	5	0,6		12	5	2,4	
	12 hrs	3	4	0,8		42	16	2,6	
	16 hrs	2	3	0,7		10	4	2,5	

**Conclusiones**

La habitación estudiada en este caso es la más perjudicada respecto al acceso de luz porque es totalmente mediterránea.

La solución no puede lograrse con una propuesta simple porque además de requerir mayores niveles de iluminancia, se debe tener control de la luz por parte del huésped.

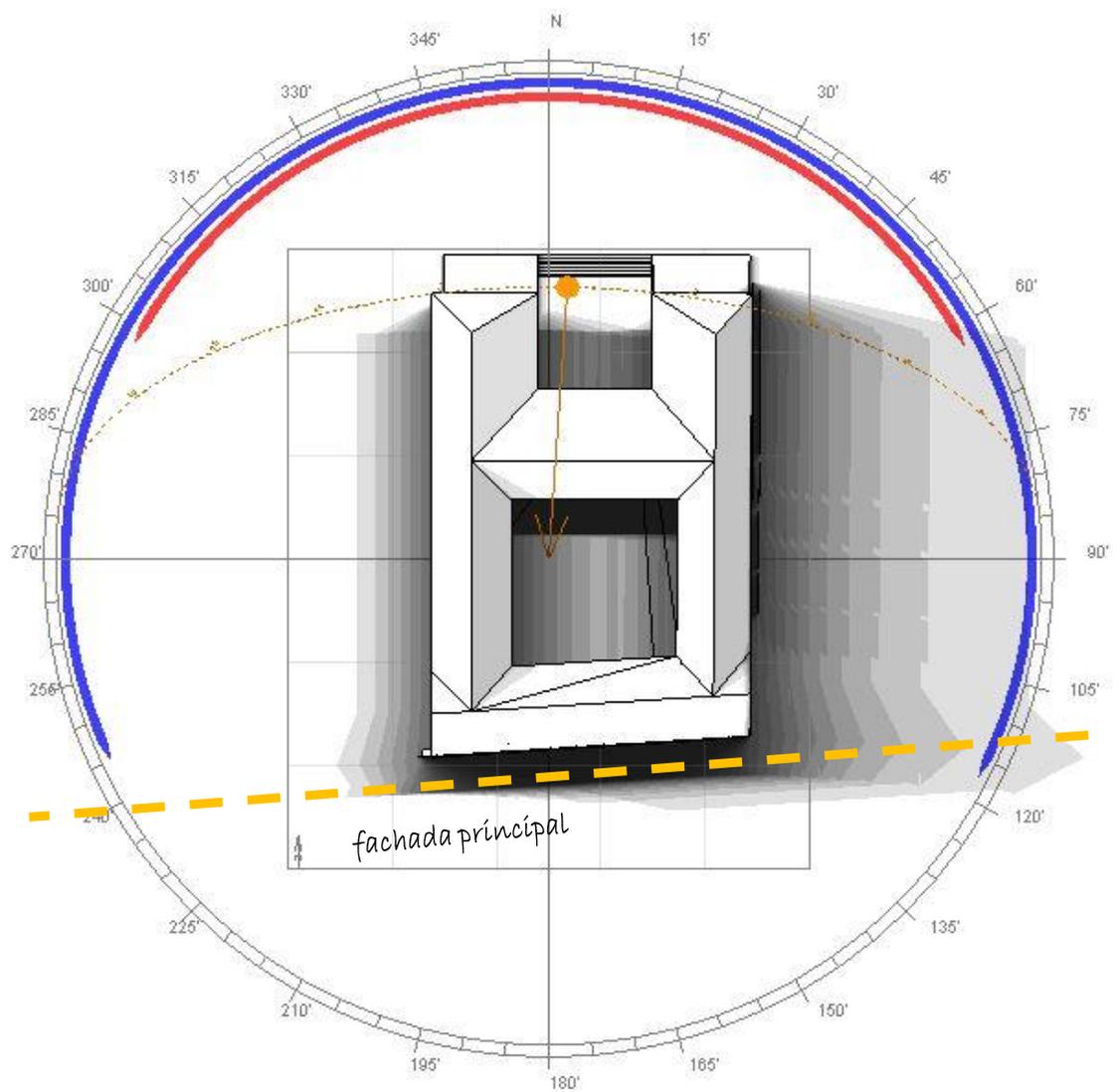
El análisis comparativo de la propuesta permite concluir que los niveles de iluminación aun distan de ser los suficientes para lograr un mínimo de confort y además genera momentos de gran diferencial de iluminancia, lo que puede agravar la situación por deslumbramiento.

A pesar de esto, los niveles aumentan más de 10 veces en los casos más críticos, lo que permite deducir que la propuesta puede mejorarse ya sea mediante una apertura de mayor emersadura, como la incorporación de más lumiductos, distribuidos por todo el recinto.

Los lumiductos de alto nivel tecnológico son casi inexistentes en Chile. En la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Chile hemos desarrollado el sistema Atrapaluz (expuesto en los anexos) que podría mejorar la solución a un problema como éste.



# CASO 5. CASA PIÑERA



<b>NOMBRE</b>	CASA PIÑERA
<b>DIRECCIÓN</b>	Arturo Prat 446
<b>ICH/MH</b>	Monumento Histórico
<b>AÑO DE CONSTRUCCIÓN</b>	1840 /1859
<b>TIPO/ESTILO</b>	Neoclásico
<b>ORIENTACIÓN PRINCIPAL</b>	Sur
<b>USO ORIGINAL</b>	Vivienda
<b>USO ACTUAL</b>	Centro de Extensión - Biblioteca
<b>MATERIALIDAD MUROS</b>	Albañilería adobe
<b>MATERIALIDAD TECHO</b>	Entramado madera + plancha met. ondulada
<b>CARACT. MORFOLÓGICAS Y ARQUITECTÓNICAS</b>	Casa de dos patios; volumen simple; cubiertas a dos aguas; cumbreras frontal paralela a la calle; aleros de 20 cm (patio 1) y 150 cm (patio 2); corredor en patio 2; cornisa superior y zócalo inferior; proporción lleno vacío 85/15; terminación de estuco opaco; pavimentos de madera (interior) y baldosa (exterior); ventanas con palillaje; puertas con ventana superior (imposta y hoja); proporción vertical de los vanos.

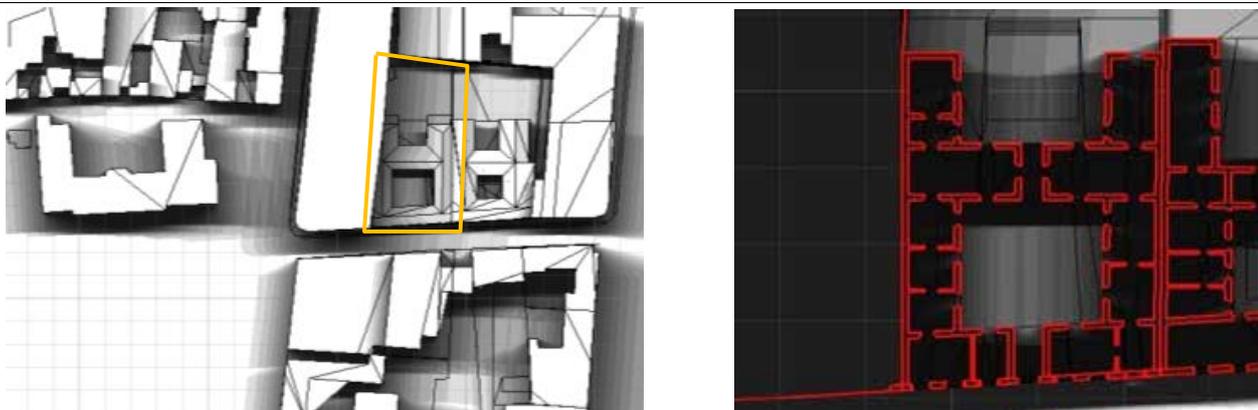
### DESCRIPCIÓN

La organización de los recintos se estructura en torno a 2 patios centrales, el segundo espacio es abierto, conformado en sólo tres de sus lados. Una escalinata en el 2º patio acusa las diferencias de nivel del territorio en dirección al Río Elqui. La Casa Piñera, fue construida con técnicas propias de esa época, cuyo estilo "neoclásico" de interpretación serenense se aplica especialmente en la decoración, ya que la distribución de los espacios conserva las características coloniales. Expresa una composición de fachada sobria y equilibrada, compuesta por tres puertas-ventanas a cada lado del importante portón de ingreso, y una cuarta puerta-ventana de dimensiones menores, con acceso a servicios.

### IMÁGENES



### EMPLAZAMIENTO / PLANTA GENERAL



### ELEVACIÓN FRONTAL



## ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA PIÑERA

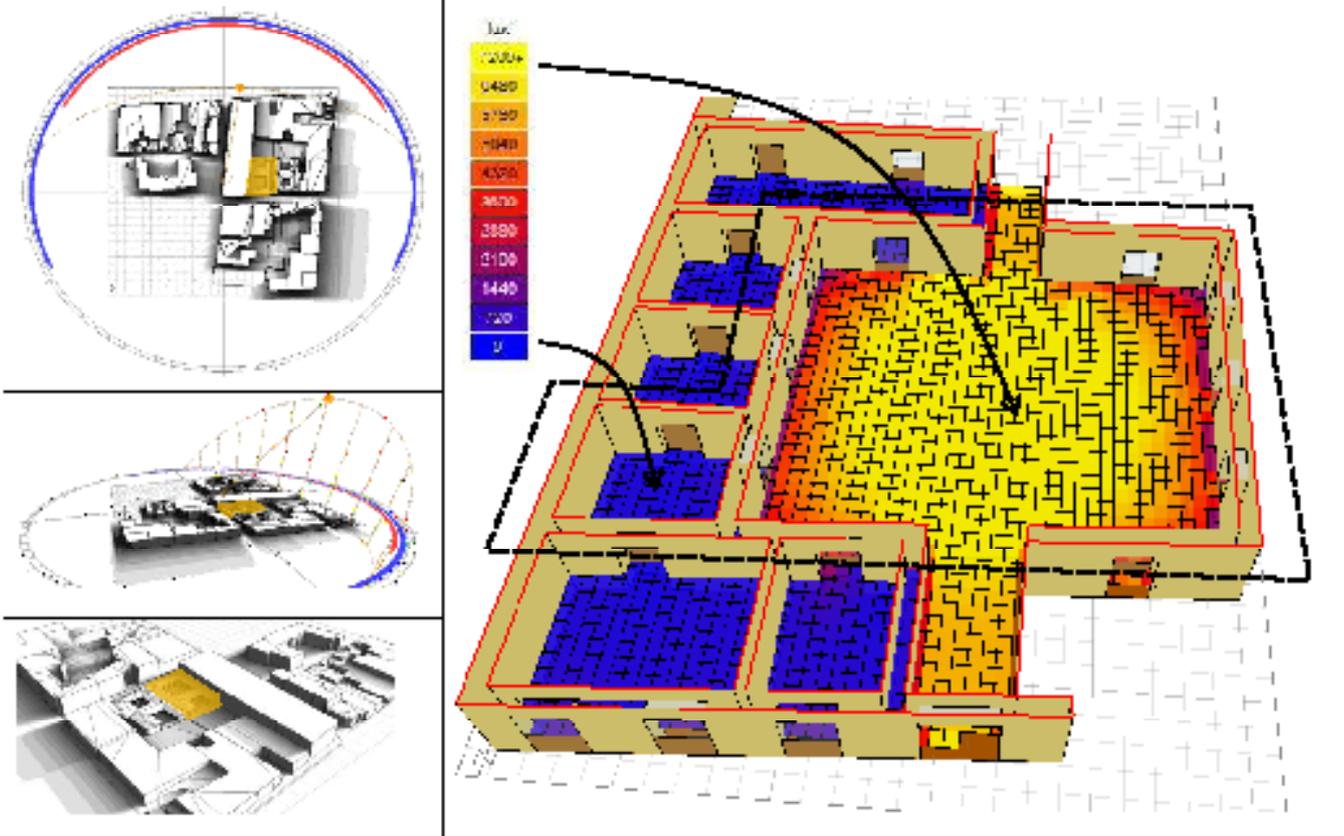
REQUERIMIENTO LUMÍNICO	500 lux
LUMINANCIA NORMA (cd/m <sup>2</sup> )	12,3 a 35

### OBSERVACIONES

En la actualidad el patio que pasará a ser sala de lectura recibe un exceso de radiación solar que el proyecto deberá controlar para llegar a los requerimientos necesario para la tarea de lectura. esto se debe en gran medida a que no cuenta con el alero y corredor típico de este tipo de casa. Por su parte la oficina, al ser adyacente a la sala de lectura, se verá afectada al cambiar las actuales condiciones lumínicas del patio. En la actualidad los niveles lumínicos son inferiores a los requeridos para este tipo de trabajo, de 500 lux.

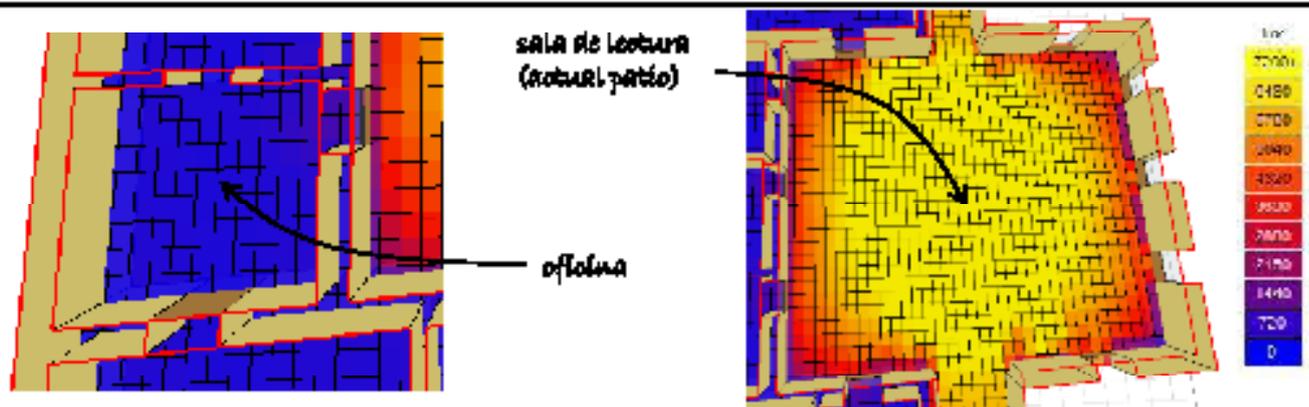
### RESPUESTA LUMÍNICA ACTUAL

General

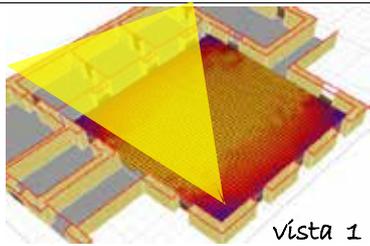


### SELECCIÓN DE LOS RECINTOS

Este caso presenta dos condiciones opuestas, por una parte el exceso de radiación (patio) y por otro, la falta de iluminación natural (oficina). Es posible que este último recinto cuente también con una mala distribución de la luz y fuertes contrastes puesto que la única fuente de luz es la puerta con ventana superior que da hacia el patio, hacia el oriente.

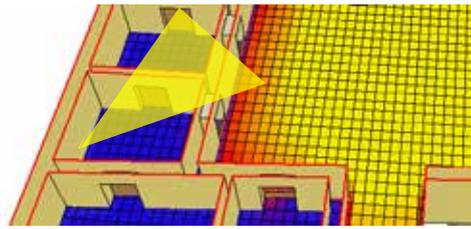


**ANÁLISIS LUMÍNICO SITUACIÓN ACTUAL - CASA PIÑERA**



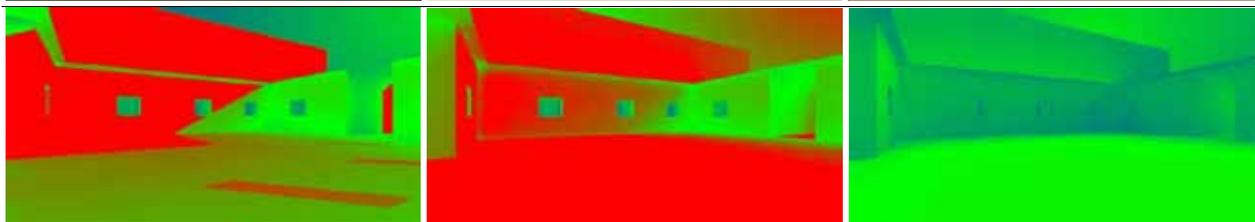
Vista 1

Vista 2



**VISTA 1 - PATIO (SALA LECTURA)**

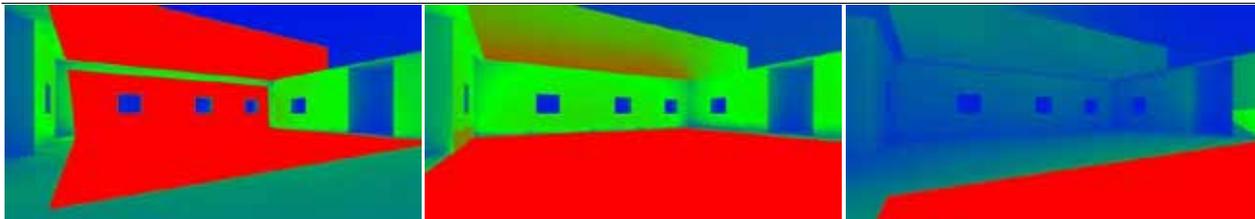
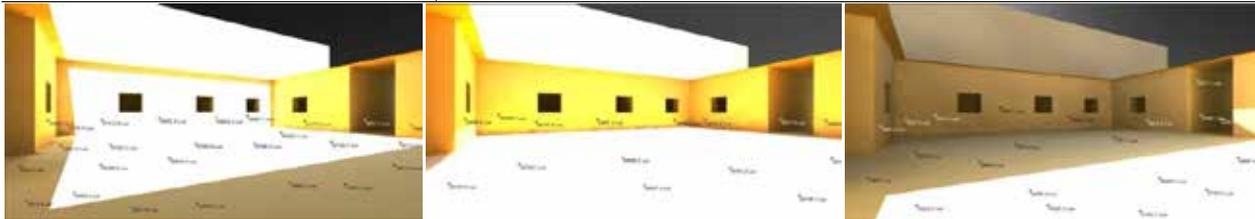
**SOLSTICIO INVIERNO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.**



Lux  
9500  
8500  
7500  
6500  
5500  
4500  
3500  
2500  
1500  
500

**VISTA 1 - PATIO (SALA LECTURA)**

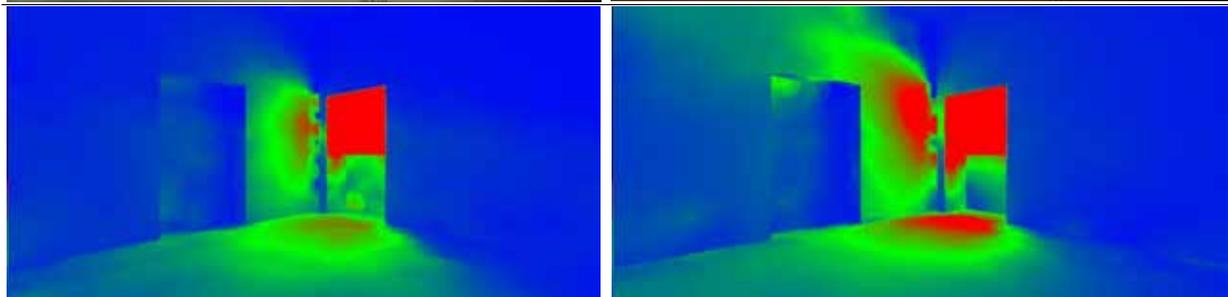
**SOLSTICIO VERANO 09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.**



Lux  
47500  
42500  
37500  
32500  
27500  
22500  
17500  
12500  
7500  
2500

**VISTA 2 - OFICINAS**

**SOLSTICIO VERANO / SOLSTICIO INVIERNO - 12:00 hrs.**



Lux  
712.5  
637.5  
562.5  
487.5  
412.5  
337.5  
262.5  
187.5  
112.5  
37.5

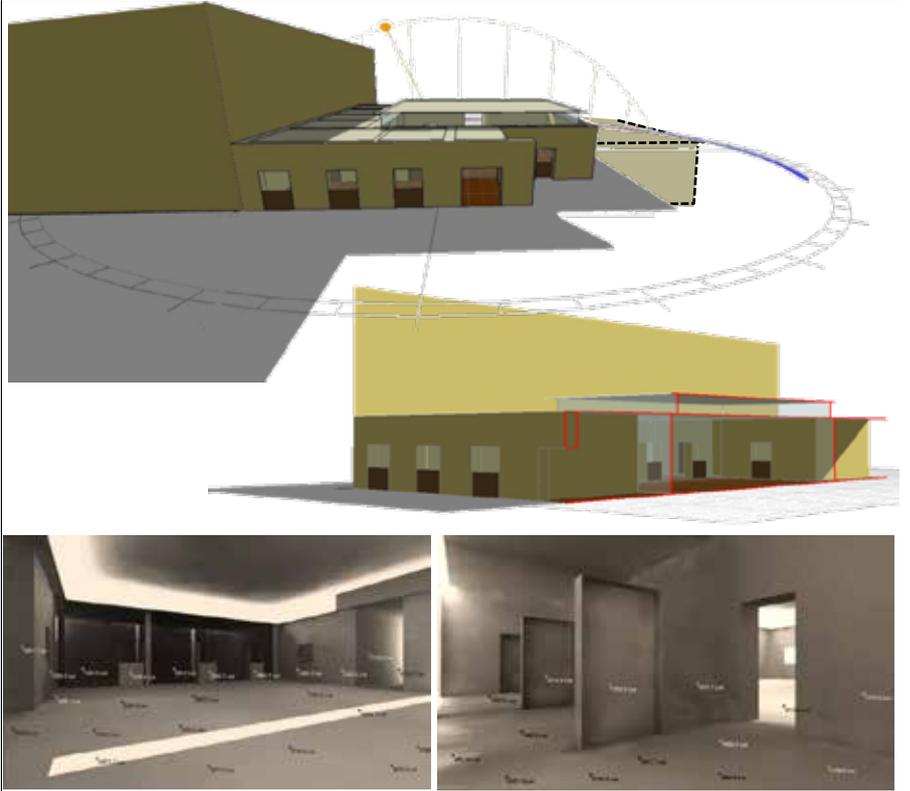
## PROPUESTA PARA BIBLIOTECA (SALA DE LECTURA) Y OFICINA

### PROBLEMA

Ambas actividades, sala de lectura y oficinas, requieren niveles de iluminación constantes durante de 500 lx idealmente. Para ambas actividades la luz directa puede resultar molesta debido a las figuras que provocan las sombras y auto sombras, impidiendo lectura. También se debe cuidar particularmente el deslumbramiento y los altos contrastes por lo que la solución debiese mantener tanto niveles parejos de iluminación en el tiempo (día y año) y en el espacio. Puesto que es posible que por momentos se reúna un gran número de personas, la solución debe contemplar ventilación y controlar el incremento de la temperatura.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución para la sala de lectura es cubrir la totalidad del patio, sin usar materiales transparentes como cubierta horizontal que reciban radiación directa, para impedir el efecto invernadero (altas Tº). Por ello la cubierta es opaca, la luz entra por el perímetro de ventanas y un alero de 50 cm impide el acceso directo del sol en verano. Cubrir el patio produce en los recintos contiguos una disminución del nivel lumínico (ya deficiente). La solución debe incrementar la iluminación sin aumentar el contraste, para esto se proponen dos fuentes de luz distanciadas, una cenital y una vertical, como apertura hacia el patio utilizando la puerta existente.



### SOLUCIÓN PATIO-LINTERNA

La solución se basa en la tipología de "patio-linterna" existente en la zona, propia de edificios neoclásicos de la época. Esta solución es apropiada por tres razones: 1. como imagen aporta al valor patrimonial, 2. es compatible con el clima, 3. entrega una respuesta lumínica adecuada para la lectura.

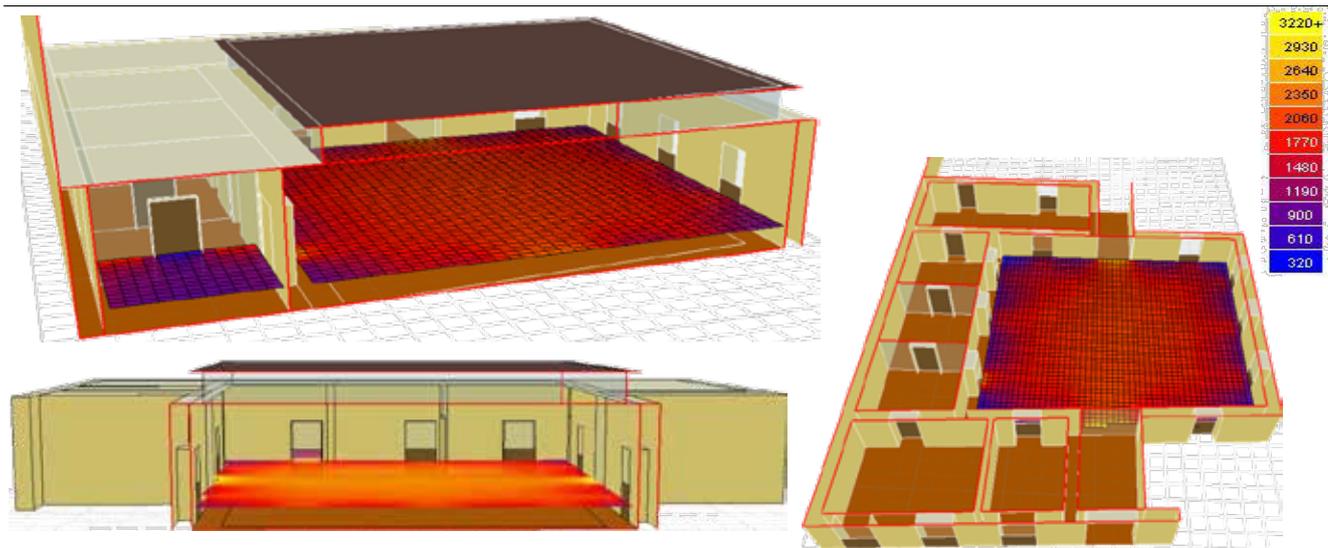


### SOLUCIÓN INTERIOR

La tabiquería interior (entre oficinas) está construida con un entramado de maderas nobles (roble americano) y adobe. Al vaciar el adobe se deja la estructura y es posible conectar lumínicamente las oficinas. El tratamiento visual para la privacidad puede manejarse con vidrios translúcidos no transparentes que impiden la visión.

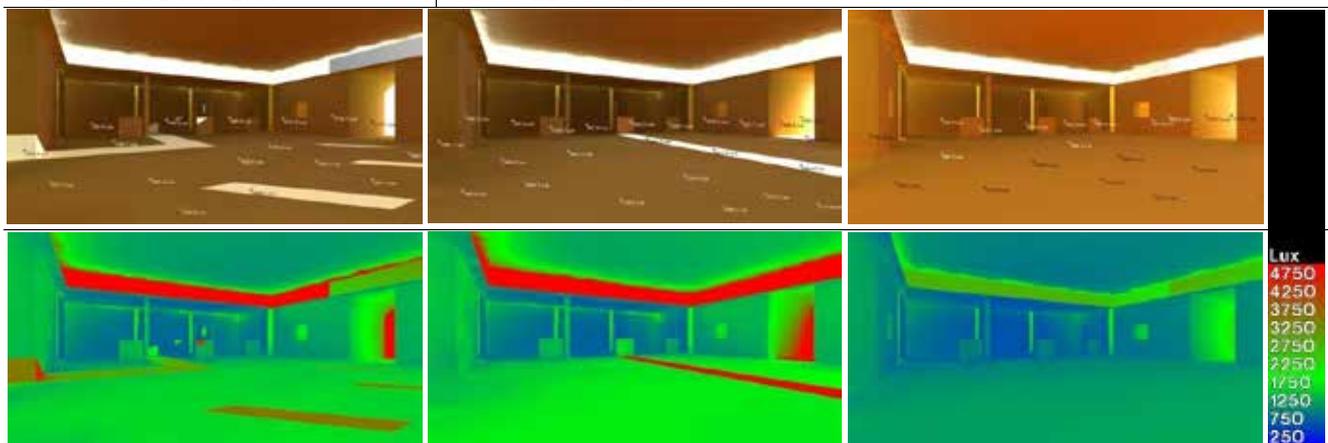


**ANÁLISIS LUMÍNICO DE LA PROPUESTA - SALA DE LECTURA - CASA PIÑERA**



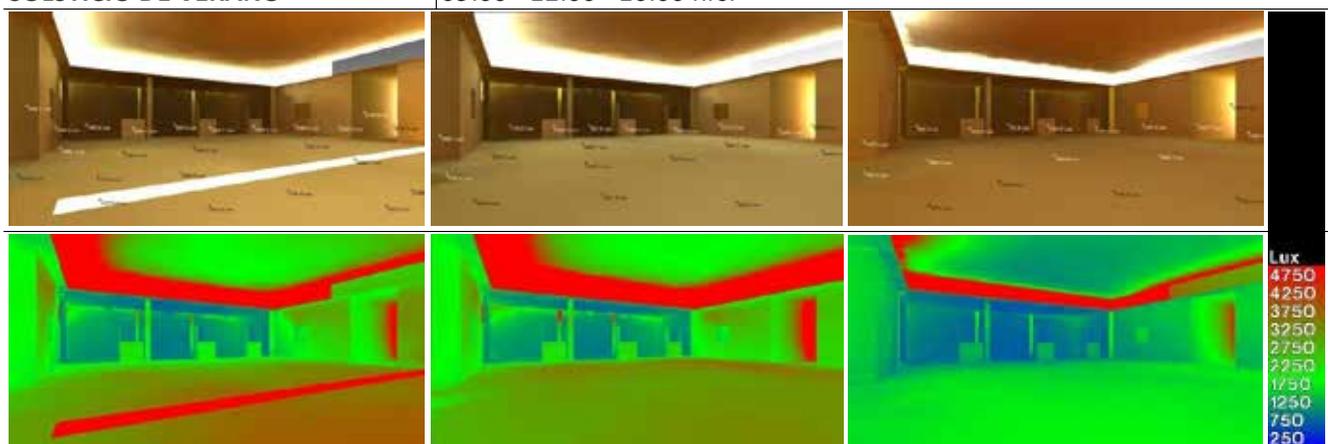
**SOLSTICIO DE INVIERNO**

09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



**SOLSTICIO DE VERANO**

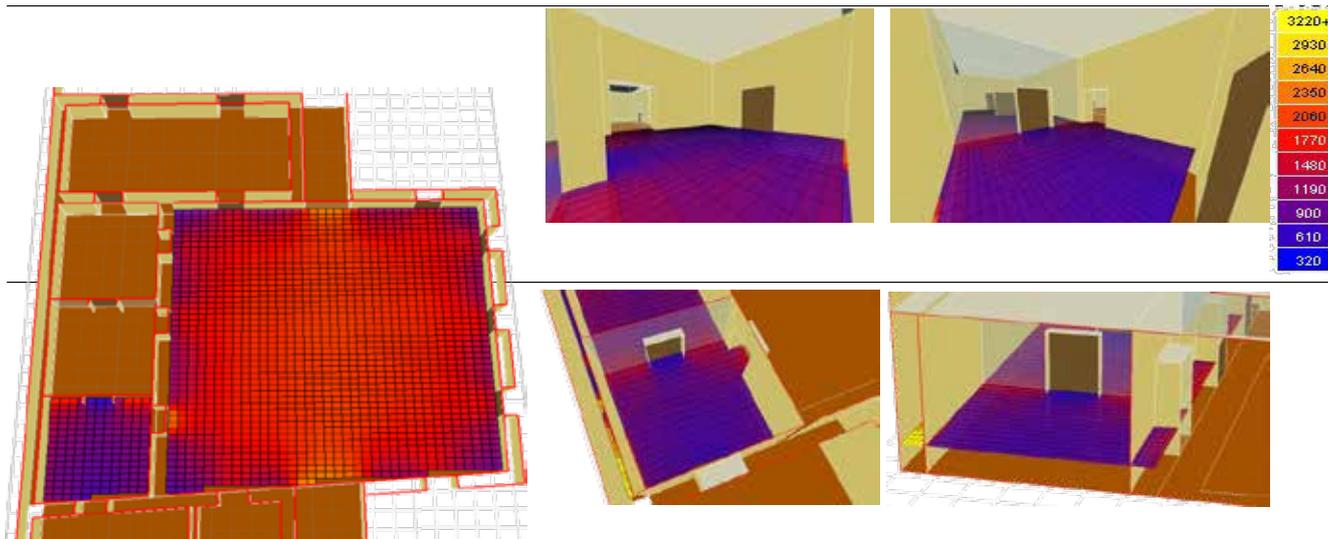
09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



**OBSERVACIONES**

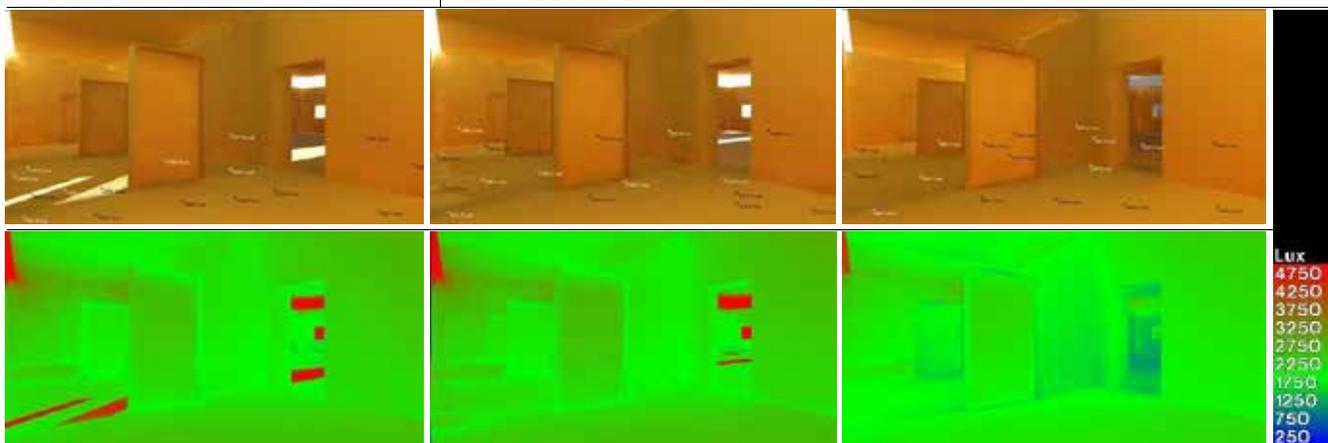
Si se comparan los niveles lumínicos en imágenes de falso color de la situación actual (ficha de análisis lumínico de la situación actual) y la propuesta (imágenes superiores), es posible constatar al menos dos aspectos importantes: por una parte disminuye la radiación directa y por lo tanto los niveles lumínicos son más adecuados para la actividad de lectura, pasa de más de 50.000 lux (o más) a un promedio de 1.000 lx. Por otra parte, es posible ver que disminuyen considerablemente los contrastes aunque persisten en el borde de la linterna y en las manchas de rayos directos que ocurren algunas veces en el año. Para evitar la generación de altas temperaturas por sobrecalentamiento del techo, se debe considerar ventanas practicables en el perímetro y una buena aislación térmica de la cubierta.

**ANÁLISIS LUMÍNICO DE LA PROPUESTA - OFICINAS - CASA PIÑERA**



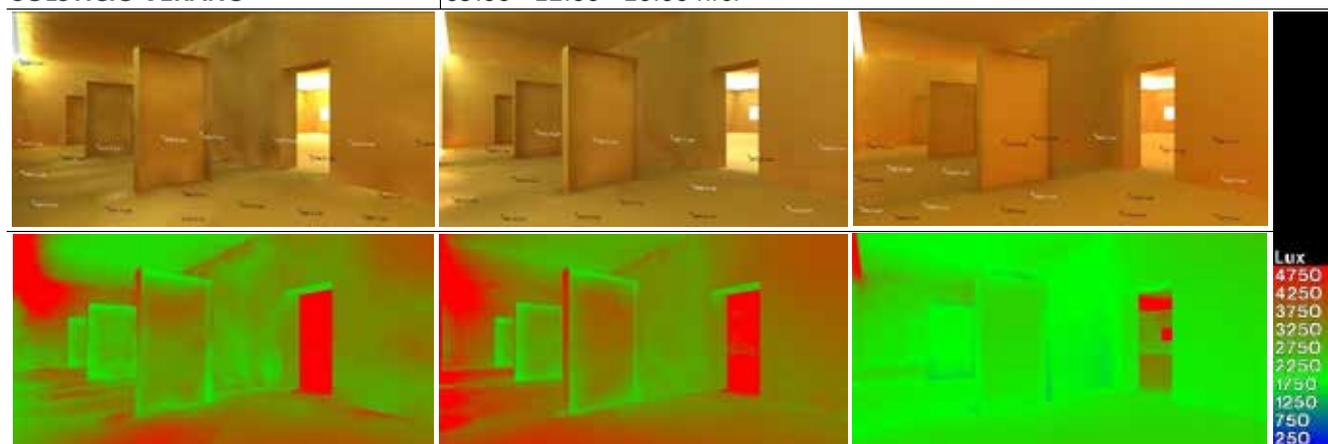
**SOLSTICIO INVIERNO**

09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



**SOLSTICIO VERANO**

09:00 - 12:00 - 16:00 hrs.



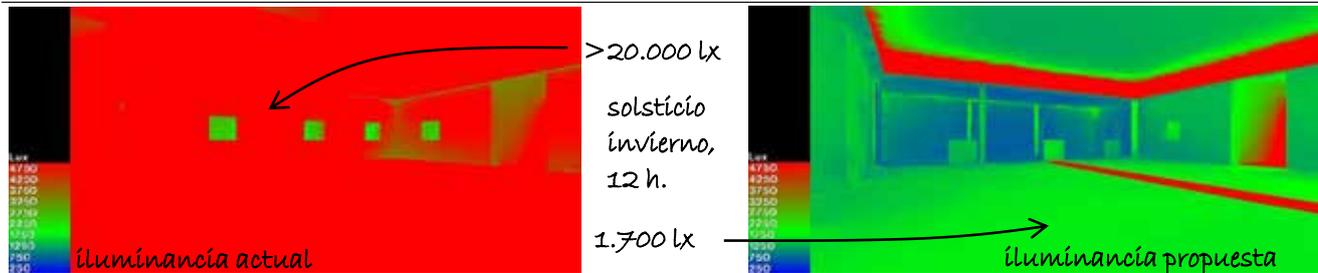
**OBSERVACIONES**

En el caso de las oficinas, también si se comparan los niveles lumínicos en imágenes de falso color entre la situación actual (ficha de análisis lumínico de la sit. actual) y la propuesta (imágenes superiores), es posible constatar que disminuyen considerablemente los contrastes y los colores parecen mucho más homogéneos. En este caso se logra también incrementar los niveles de iluminación generales llegando a un promedio adecuado para todo el día y todo el año. Esta solución debe contemplar un cerramiento acústico entre oficinas y el uso de puertas transparentes adecuadas a la imagen patrimonial de la casa, que actualmente tiene puertas de madera con la parte inferior opaca. El pequeño tragaluz del borde (izq.) debe ser aislado adecuadamente para no incrementar las temperaturas por radiación directa sobre el vidrio (efecto invernadero).

## EVALUACIÓN ERGONÓMICA - SALA DE LECTURA - CASA PIÑERA

### Nivel de iluminación

La propuesta reduce considerablemente los niveles de radiación directa y por tanto iluminación. Sin embargo, los niveles alcanzados son ideales para la actividad de lectura (entre 500 y 2.000 lx) llegando en el momento más desfavorable (solsticio de invierno, 9 h) a un rango entre 750 y 1.000 lx. En algunos momentos del año, cuando la altura solar permite el acceso directo de radiación a la sala, puede haber manchas de sol molesto, lo que se ha tratado alargando el alero exterior. También puede haber soluciones de control solar en las ventanas de la linterna, como celosías o filmes holográficos que redireccionan la luz.



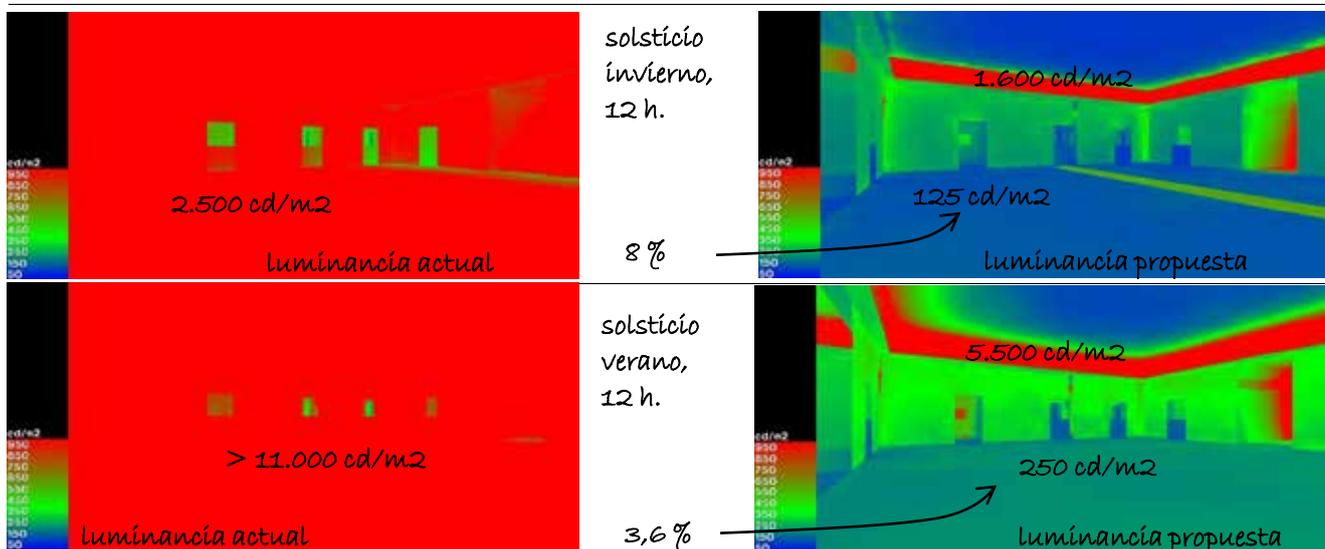
### Deslumbramiento

Actualmente el exceso de luz es evidente por la exposición directa a la radiación, la que puede llegar a producir niveles de más de 100.000 lx. La cubierta del patio regula los niveles de luz y por tanto de brillo directo del sol. Los niveles de luminancia máximos alcanzados en solsticio de verano a las 12 en el piso del patio bajan de 11.000 cd/m<sup>2</sup> en la actualidad a valores cercanos a 250 cd/m<sup>2</sup> (imágenes abajo).



### Equilibrio de luminancias

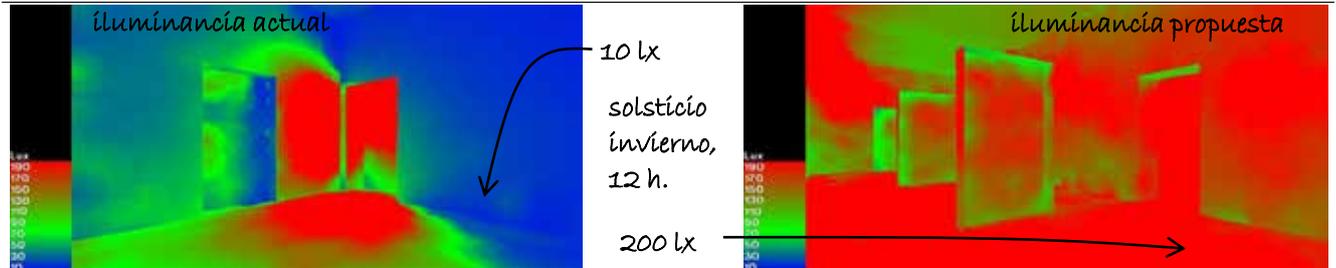
En el patio, el cielo se propuso en un tono de baja reflectancia (0,26) porque el de alta reflectancia (0,8) presentaba niveles de iluminación y brillos demasiado altos para la actividad de lectura. En la actualidad los contrastes de brillo son pocos a ciertas horas del día porque todo brilla con una intensidad altísima. En la propuesta, en invierno a mediodía hay contrastes de 1.600/125 cd/m<sup>2</sup> o 8%, mientras que en verano 5.500/250 cd/m<sup>2</sup> o 3,6%, ambos muy por sobre la norma (80:1 ó 1.25%).



**EVALUACIÓN ERGONÓMICA - OFICINAS - CASA PIÑERA**

**Nivel de iluminación**

La situación actual con un solo acceso orientado, hacia el patio abierto, hace muy variable la iluminación anual, con más de 3.000 lx en la mañana en verano (por sol directo) y menos de 5 lx en las tardes de invierno. La cubierta del patio, homogeniza las cantidades de luz y la reduce, pero se incorpora un acceso de luz cenital a lo largo de todo el muro poniente que compensa la falta de luz de las tardes. Además se eliminan las tabiquerías interiores entre oficinas y la distribución de la luz entre estos recintos es también más homogénea. El muro medianero de 10 m del poniente reduce la luz en las tardes porque produce sombra en la casa.



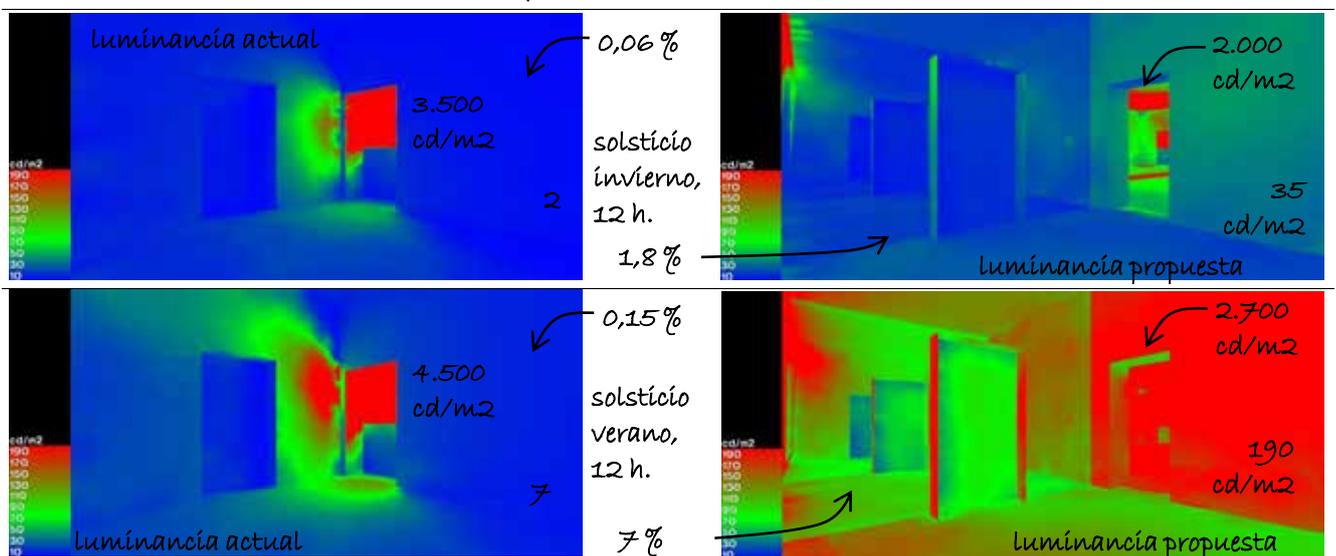
**Deslumbramiento**

La cubierta del patio es el factor de control de deslumbramiento más notable en la propuesta de oficinas. Se reduce de un máximo de 4.500 cd/m<sup>2</sup> a uno de 2.500, en el solsticio de verano a mediodía (imágenes de abajo). La luminancia interior aumenta considerablemente con la propuesta (de 7 a 200 cd/m<sup>2</sup> en las zonas más desfavorables) gracias a la luz de la apertura cenital y la eliminación de los tabiques entre oficinas.



**Equilibrio de luminancias**

En la actualidad existe un gran desequilibrio de luminancias y deslumbramiento. En el solsticio de invierno a mediodía la proporción es de 1.750:1 cd/m<sup>2</sup> (0,06%) y en verano 650:1 cd/m<sup>2</sup> (0,15%). La propuesta reduce estas diferencias a 60:1 cd/m<sup>2</sup> en invierno (1,8%) y 15:1 cd/m<sup>2</sup> en verano (7%). Esto se debe a la reducción de la luminancia exterior, la homogenización de la iluminación durante el día y el año en el patio y la incorporación de una fuente de luz cenital en el extremo opuesto de la fuente actual.



## ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA PROPUESTA - SALA DE LECTURA- CASA PIÑERA

### Identidad y memoria

Esta propuesta es una de las de mayor envergadura, propone cerrar el patio para evitar la radiación directa (y los efectos de la intemperie) con una cubierta tipo linterna: deja entrar luz por los costaos para evitar el sol directo y el calentamiento por efecto invernadero. Esta cubierta debe ser ventilable y para ello se propone un sistema utilizado en la arquitectura de la ciudad mediante una hilera de ventanas practicables. La imagen es compatible con la de una casa patio neoclásica de esta zona.

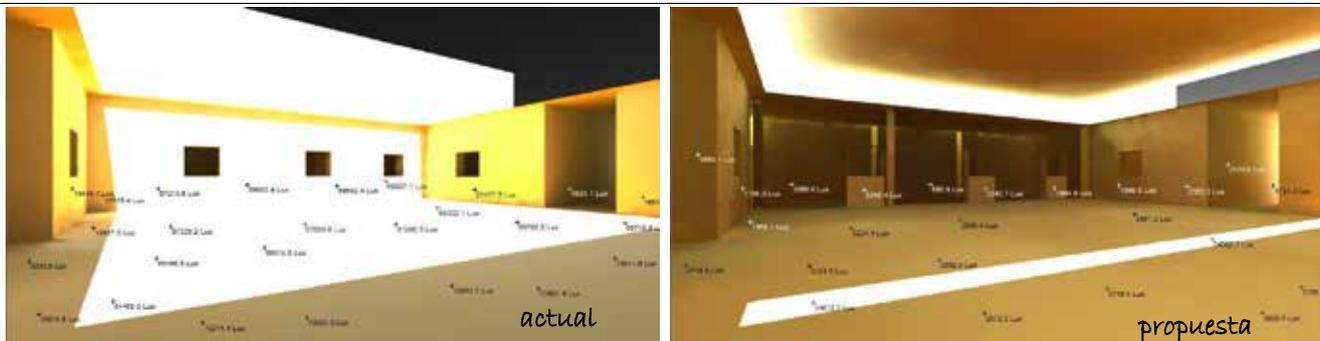


### Luz y Georreferenciación

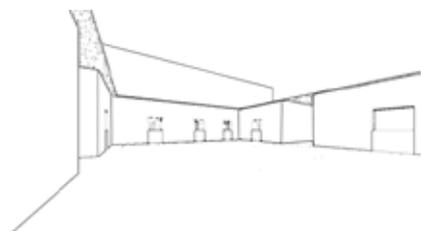
Cantidad de luz natural y tiempo de exposición diaria y anual: La cantidad de luz que ingresará al patio es mucho menor que la actual y a ciertas horas puede presentar pequeños rayo de sol perimetrales, marcando el paso del tiempo.

Percepción del ángulo de incidencia: En el patio techado el ángulo solar es perceptible durante el día y el año, aunque la idea es que el sol directo no llegue a menudo muy dentro del espacio, para ello la cubierta tiene un alero.

Color de la luz: La luz que entra es luz natural y el filtro de vidrio no altera su color. En el patio se probó pintar el cielo blanco (reflectividad 0.8) pero los niveles de iluminancia fueron demasiado altos por lo que se optó por reducir el color a una reflectividad de 0.25. En ambos casos, al no necesitar la luz artificial durante el día, el IRC es el natural para el ojo humano.



### Percepción visual



Profundidad y tamaño: Cubrir el patio con un volumen cúbico texturado con ventanas aporta un elemento fácil de interpretar, son visibles los ángulos y las aristas, por lo tanto es más fácil medir el recinto perceptualmente. Si las ventanas perimetrales tienen texturas del palillaje, puede producirse una ilusión de alargamiento de los lados por efecto Helmholtz y tener más referencias de escala.



Esquema significativo: la linterna perimetral es un elemento de fácil reconocimiento, más que el cielo abierto, lo que puede contribuir a esquematizar el espacio.

Discriminación de entidades: En el patio aparece un elemento que cierra el espacio y hace más evidentes los límites actuales (los muros que conforman el patio). Este efecto hace más visibles las características de estos los y sus entidades como ventanas cornisas, puertas, etc.

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA PROPUESTA - OFICINAS - CASA PIÑERA**

**Identidad y memoria**

Se realiza una franja de luz cenital que recorre el encuentro del cielo con el muro poniente (frente a la fuente de luz), como si se tratara de una cornisa de luz. También se eliminan los tabiques interiores permitiendo la vista de la secuencia de recintos (oficinas). Esta propuesta, basada en la espacialidad de la planta libre, es más acorde a los usos actuales en lugares de trabajo, por lo que el usuario podría entender y sentir el edificio como un espacio contemporáneo, más acorde a su tiempo y función. Por otra parte permite la comunicación visual entre oficinas lo que influye en el clima laboral.



**Luz y Georreferenciación**

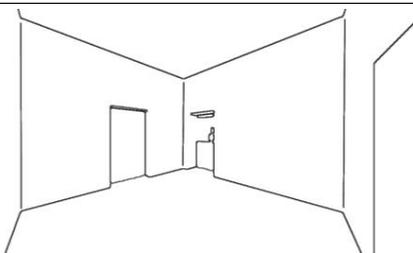
Cantidad de luz natural y tiempo de exposición diaria y anual: En las oficinas la luz que entra difusa será más constante aunque con diferencias en cantidad y color debido a los cambios diarios y anuales. En las oficinas, que actualmente tienen problemas de iluminación, los muros se proponen de color blanco (reflectividad 0.8) lo que contribuye a homogenizar también la luz.

Percepción del ángulo de incidencia: Solo se percibe sol directo en pocos momentos del año a mediodía, cuando el sol entra por la franja cenital.

Color de la luz: la luz no se ve alterada en su color, al contrario, el uso de color blanco de los muros interiores permite una reproducción de color diurno más fiel a la realidad.

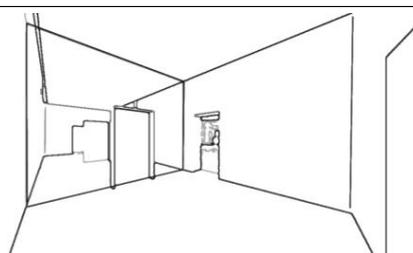


**Percepción visual**



En las oficinas, la intervención en el ángulo opuesto a la ventana actual y en todo el borde del cielo, aporta un elemento que hace evidente tanto la profundidad como el tamaño de recinto.

La franja lucarna, presentada como cornisa, evidencia el muro y el cielo. La continuidad de esta franja a través de las demás oficinas, visible por la transparencia de los muros, hace evidente ahora todo el cuerpo lateral de la casa.



La transparencia de los muros entre oficinas permite una visión más profunda del edificio y el recinto se percibe más grande.

La visión del recinto contiguo por la eliminación de los muros puede ser tratada con filmes de control visual que no impiden el paso de luz pero controlan la formación de la imagen. Esto puede manejar de manera precisa los niveles de privacidad y sentido de comunidad.

**COMPARACION SITUACION ACTUAL Y PROPUUESTA - CASA FIBERIA OFICINAS**

**Iluminancia**

estación	hora	sit. actual				propuesta			
		pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc	pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc
solsticio verano	09 hrs	255	176	1,4		1215	755	1,6	
	12 hrs	124	88	2,6		1161	631	1,8	
	16 hrs	87	12	7,3		118	37	3,2	
solsticio invierno	09 hrs	58	23	2,5		241	135	1,8	
	12 hrs	68	20	3,4		388	222	1,7	
	16 hrs	11	4	2,8		81	34	2,4	
equinoccio primavera	09 hrs	121	36	3,4		390	238	1,6	
	12 hrs	38	15	2,5		206	138	1,5	
	16 hrs	28	11	2,5		89	45	1,9	

**Conclusiones**

El recinto interior estudiado presenta actualmente muy bajos niveles de iluminancia para la actividad de oficina, y deslumbramiento, debido a su única fuente de luz en la parte superior de la puerta.

La propuesta realizada contempla dos partes, un acceso de luz cenital y la apertura de los tabiques hacia el resto de las oficinas.

En las imágenes en falso color y las cifras comparativas es posible observar que los niveles de iluminancia se incrementan notablemente hasta alcanzar gran parte del año el nivel suficiente que exige la norma para las oficinas.

También es posible ver que la distribución de la luz es más pareja, lo que reduce el deslumbramiento.

Por último, se puede señalar que como resultado observado en las imágenes de las páginas anteriores, la propuesta enriquece notablemente la percepción espacial porque permite la contemplación de profundidad. Esto se logra por la posibilidad de ver una sucesión de recintos, así como por la longitud de la apertura cenital que recorre todo el muro posiente, unificando visualmente los recintos.

En los casos que se requiera mayor privacidad es posible controlar la transparencia de las divisiones con filmes translúcidos hasta cierta altura que no obstaculizan el intercambio y traspaso de luz.

COMPARACION SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA - CASA PIREBA - SALA DE LECTURA

Iluminancia

estación	hora	sit. actual				propuesta			
		pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc	pta. 1	pta. 2	$\Delta$	fc
solsticio verano	09 hrs	65410	65752	1,0		2631	2496	1,1	
	12 hrs	94442	93065	1,0		2452	2628	0,9	
	16 hrs	51676	52752	1,0		1055	852	1,2	
solsticio invierno	09 hrs	7159	5177	1,4		622	652	1,0	
	12 hrs	18086	7107	2,5		719	863	0,8	
	16 hrs	3948	3362	1,2		208	228	0,9	
equinoccio primavera	09 hrs	18063	7602	2,4		1094	1633	1,1	
	12 hrs	21291	7541	2,8		624	842	0,7	
	16 hrs	7128	6539	1,1		302	438	0,9	

Conclusiones

Para el análisis de esta propuesta se han debido modificar substancialmente los rangos de medición, porque los órdenes de magnitud varían de entre 100.000 lx en la situación actual, hasta un máximo de 2.000 en la propuesta. Si no se hubiesen modificado, las imágenes serían de colores uniformes (rojo total o azul total). Sin embargo, las cifras son elocuentes para comparar los niveles alcanzados en cada caso.

De los casos estudiados, éste es el único que presenta el problema de exceso de radiación: luz y calor. Es por esto que la propuesta contempla más que nada el control solar más que el acceso.

En las cifras de iluminancia es posible observar que la propuesta permite todavía niveles de iluminación excesivos en algunos momentos, sin embargo, al mantener niveles homogéneos dentro del recinto, es posible que éstos, aunque sean muy altos, no sean molestos.

También se debe señalar que el modelo virtual con que se ha trabajado no contempla el palillaje de las ventanas de la linterna que podrían reducir hasta un 20% el área de apertura de la ventana, reduciendo significativamente el acceso de luz. Si esto aún o fuera suficiente, podrían incorporarse celosías en las ventanas que controlen el acceso del sol a través del ángulo de inclinación, produciendo sombra en verano y dejando el paso de sol en invierno.



# CAPÍTULO 6.

## CONCLUSIONES

### 6.1. CONCLUSIONES SOBRE LOS CASOS DE ESTUDIO

El estudio lumínico de los inmuebles patrimoniales realizado permite establecer un conjunto de problemas que pueden estar asociados a factores técnicos, arquitectónicos, de desempeño visual, confort y percepción visual. Estos problemas se resumen a continuación y en cada caso se esbozan los criterios generales para posibles soluciones.

- **Insuficiencia en la cantidad luz:** Este es el problema más evidente y notorio de los espacios antiguos que por lo general tienen espacios más compartimentados, ventanas más pequeñas que las actuales, o que han quedado tapados por edificios más altos construidos posteriormente. También los niveles de iluminancia requeridos en la actualidad son más altos o más específicos que hace un siglo por lo que es común que los edificios antiguos no lleguen a entregar la suficiente luz a la que estamos habituados hoy e día.

- **Demasiada luz para la actividad a realizar:** Algunas veces el cambio de función de un edificio puede requerir cambios en la cantidad de luz según las tareas a realizar. En los edificios patrimoniales por lo general el problema del exceso de luz es inexistente salvo cuando aparece asociado a un cambio en las funciones a realizar. Por ejemplo, un recinto que antes fue un salón ahora se transforma en un dormitorio y por lo tanto requiere poder oscurecerse durante el día para dormir siesta, o se transforma en una sala de clases que también requiera oscurecerse durante el día para proyectar imágenes. En ambos casos la luz puede ser un problema y las soluciones deben contemplar más que el impedimento de el ingreso de luz (que se requerirá en otros momentos), la capacidad de controlarla, por lo tanto, generar una llegada de luz al alcance del habitante.

- **Deslumbramiento:** Este problema es uno de los más comunes junto con la falta de luz. En la arquitectura patrimonial es habitual que los recintos tengan sólo una fuente de luz por lo tanto, si el recinto es grande y está pintado de colores oscuros o con muchos objetos que impidan la reflexión interna de la luz, lo más probable es que presente un importante grado de deslumbramiento, desde los sectores más apartados de la fuente de luz al enfrentarla. La redistribución de la luz más que el incremento

puede ser la respuesta a este problema y el modo de lograrlo puede ser una segunda fuente de luz o la mejora en las condiciones de reflexión interna de la luz, mediante cambios en los colores, formas de las superficies o incorporación de sistemas que permitan redireccionar la luz.

- **Distribución:** Similar al problema anterior, muchas veces la fuente de luz en un recinto es única y no se encuentra cerca o no alcanza a llegar a los lugares donde más se necesita. Por el contrario, es posible también que haya luz donde no debiera, por ejemplo cerca de una pantalla de transmisión de imágenes. Entonces es posible que en total la cantidad de luz de un recinto sea suficiente, pero si la distribución no es la correcta puede funcionar igual de mal que si no hubiese o hubiese demasiada. Dentro de este punto se ha considerado la distribución de iluminación general del edificio, puesto que puede suceder que haya recintos que tengan muy buena respuesta lumínica a ciertas horas del día, pero que en otros momentos tengan un muy mal desempeño, afectando la funcionalidad, el confort, la sincronización circadiana etc. Las soluciones en estos casos pueden ser similares a las planteadas para el punto anterior.

- **Sombras:** cuando se deben realizar tareas muy específicas, como escribir, pintar, cocinar, etc. la dirección de la luz es muy importante para el correcto desempeño. Por ejemplo, si la luz viene del lado derecho, al escribir se producirá auto-sombra con la mano que escribe. Este problema que parece ser muy específico, se ha incluido porque los recintos estudiados muchas veces tienen funciones educativas por lo que la lectura y la escritura son habituales y la luz es muy necesaria en su posición correcta.

- **Color inapropiado:** Este problema más inhabitual tiene que ver en general con una sensación o percepción de confort y guarda relación por lo general en el caso de la luz natural con los colores de reflexión interna del recinto o de reflexiones exteriores que pueden tener colores demasiado fuertes o molestos. Por lo general no es un problema que impida una buena performance pero puede poner en mala disposición a la persona. A diferencia de la luz artificial, el color de la luz reflejada no genera falta

de longitudes de onda que pueden ser necesarias para la correcta sincronización circadiana (Rea, Op cit.) Sino que más bien acentúa algunas por sobre las otras.

- **Sol directo:** El sol directo que puede ser muy beneficioso y agradable en algunas ocasiones, en otras puede ser muy molesto por generar un exceso de calor, provocar sombras marcadas que impiden una buena visibilidad o generar deslumbramiento a iluminar superficies claras. Este problema es muy habitual cuando se proponen aperturas cenitales o grandes paños vidriados en lugares donde habitualmente hay cielos claros, como e el caso del norte de Chile. Es común que los proyectistas propongan una gran abertura cenital con el fin de solucionar los problemas de falta de luz, pero no se oam en cuenta que el sol directo puede ser un problema difícil de solucionar sin disminuir las cantidades de luz alcanzadas.

- **Calor:** Este es uno de los problemas más comunes y difíciles de solucionar. Por el momento, el ingenio humano no ha podido separar la luz del calor, la radiación solar deseable que se suele hacer ingresar (400 a 700 mn), viene acompañada de radiación solar indeseable que provoca altas Tº (Infrarrojo). Por otra parte, la mayor parte de los materiales transparentes que sirven para lograr acceso de luz (vidrios y plásticos) suelen provocar el efecto de cambio en la longitud de onda que genera el efecto invernadero, provocado más calor aún. Cuando hay sol directo el calentamiento de los objetos asoleados puede a su ve aumentar las temperaturas al interior del recinto.

Es posible señalar que en la mayor parte de los casos estudiados en la presente investigación, los problemas de iluminación guardan relación con la discrepancia entre la función primitiva del inmueble y la función actual, puesto que las nuevas tareas a desarrollar difieren enormemente de las tareas originales. Casi todos los inmuebles estudiados fueron originalmente proyectados para vivienda, hoy sólo un caso conserva esta función original. Los demás casos estudiados se han transformado en lugares de trabajo en relación a servicios, educación o comercio.

La mayor diferencia entre las necesidades de iluminación para una vivienda y un lugar de trabajo son las cantidades de luz requeridas, siendo por lo general más altas las de trabajo, la constancia en la iluminación, y la posibilidad de controlar la cantidad de luz, donde en una vivienda debe ser posible en casi todos sus recintos poder oscurecerlos aún durante el día, lo que no ocurre por ejemplo en una sala de lectura, una cafetería o una sala de espera.

## 6.2. CONCLUSIONES A CONSIDERAR COMO CRITERIOS NORMATIVOS

El presente capítulo es un objetivo resultante de la presente investigación, donde se establece una serie de recomendaciones a aplicar en el conjunto de normas urbanas que rigen un territorio. El detalle de estas normas y su aplicación se establece en el capítulo de Normativa chilena de protección del Patrimonio.

Como se ha mencionado, una de las características de la investigación es que está aplicada en un caso real donde en la actualidad se desarrolla un estudio (PS LS Op.cit.) para modificar e incorporar normas que regulen de manera precisa e integral el Patrimonio Construido en el contexto de su ciudad. Dicho estudio se basa en la metodología propia para los instrumentos de planificación territorial, en este caso Plan Regulador Comunal (PRC) y Planos Seccionales (PS) que lo acompañan y que son un complemento específico para el PRC.

La investigación realizada aquí, aporta criterios para regular las intervenciones en los edificios patrimoniales y su entorno inmediato, tomado como fundamento las condiciones lumínicas que hoy presenta y cuáles son las intervenciones que pueden contribuir a mejorar su desempeño lumínico, sin afectar sus valores patrimoniales ni el entorno donde se inserta.

Los tipos de normas que son materia de regulación para el PRC y sus PS son las que se describen en el capítulo 2.2. normas urbanísticas, normas morfológicas y normas arquitectónicas.

**Normas urbanísticas:** usos de suelo, sistemas de agrupamiento, coeficiente de constructibilidad, coeficiente de ocupación de suelo o de los pisos superiores, alturas máximas de edificación.

**Normas morfológicas:** volumetría, materialidad, color, textura, forma de la techumbre, elementos de la techumbre, retranqueos, número de pisos, altura de pisos y relación entre si.

**Normas y arquitectónicas:** cuerpos salientes, cubiertas, frontones, lucarnas, antepechos, zócalos, corredores, pórticos, composición de la fachada, mansardas, buhardillas, zaguanes, detalles , ornamentos.

## NORMAS URBANÍSTICAS

### Usos de suelo

No se deben permitir usos de suelo que generen el deterioro del inmueble y la modificación de la fachada ya sea para eliminar vanos como para modificar su tamaño, como el caso de bodegaje, talleres e industria.

Los usos más propicios para este tipo de construcción son residencial y equipamiento.



### Sistemas de agrupamiento

El sistema predominante es continuo y debe mantenerse, de este modo se garantiza la mantención de la relación de edificio con la calle y la ocupación del terreno hasta sus bordes. Esto puede potenciar la creación de patios centrales.



### Coefficiente de ocupación de suelo

Mantener un coeficiente de ocupación de suelo que permita la creación de patios acorde al porcentaje de la zona. En el centro actualmente la ocupación de suelo es baja por lo que aun podría incrementarse para densificar la ciudad, sin perder la capacidad de generar patios.

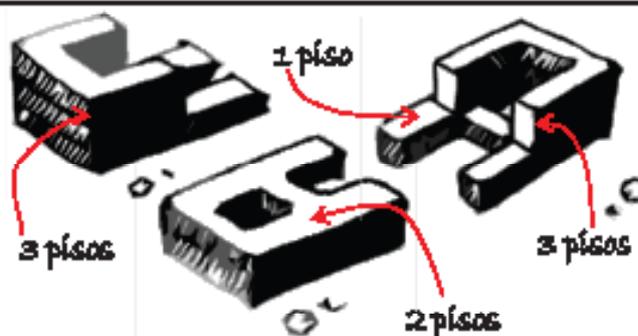
El coeficiente propuesto por lo tanto es de 0.6, esto significa que el 60% del suelo puede estar edificado, el resto debe quedar libre (patios).



### Coefficiente de constructibilidad

En el centro se propone un coeficiente de constructibilidad de 1.2.

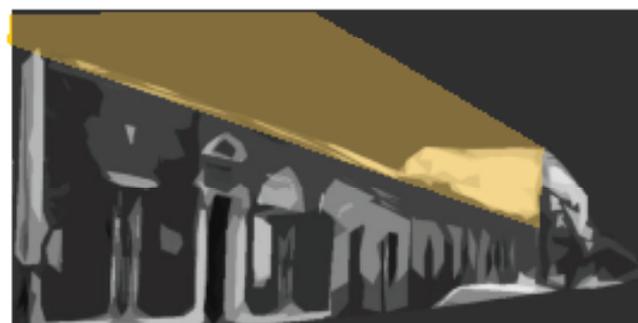
Esto permite un coeficiente de ocupación de suelo de 0.6 en dos pisos o bien en tres pisos pero no en toda la superficie edificada. Este volumen teórico respeta a grandes rasgos las condiciones de accesibilidad solar de las volumetrías existentes.



### Alturas máximas de edificación

Dependiendo de la zona se permiten 3 pisos (10.5 m) o 4 pisos (14 m). En las zonas más bajas hay mayor concentración de casas-patio (7 m), por lo tanto la altura máxima de 3 pisos debiera mantener condiciones lumínicas similares en los nuevos volúmenes.

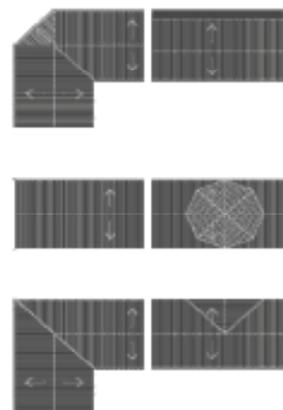
Adyacente a un ICH o MH se debe mantener la altura del inmueble patrimonial por una distancia de 2/3 de la altura de éste. Este tramo de altura homogénea se denomina *tramo de continuidad*. Con esto se mantiene una altura suficientemente homogénea, no se producen grandes áreas de sombra de unos inmuebles sobre otros, y se permite la densificación de la



## NORMAS MORFOLÓGICAS

### volumetría

Las nuevas construcciones colindantes a MH o ICH en el *tramo de continuidad* deben continuar la inclinación y posición de la cornisera paralela a la calle de la techumbre del MH o ICH colindante, o bien, tener una techumbre plana, no visible desde la calle. El plano de fachada debe ser vertical. Están permitidos los retranqueos con una profundidad máxima de 1.2 m en el último nivel. Con esto se mantienen los volúmenes simples con pocas sombras en su fachada.



### materialidad

No está permitido el uso de materiales de terminación brillante en las superficies de fachadas, salvo para puertas y ventanas. No está permitida el uso de vidrio espejo y ahumado. Para el marco de ventanas y puertas queda excluido el uso de aluminio color natural. Para ventanas y mamparas queda excluido el vidrio espejo y vidrio ahumado. En la cubierta no se admitirán metales reflectantes, salvo el vidrio como material lucarnas y ventanas de techo.

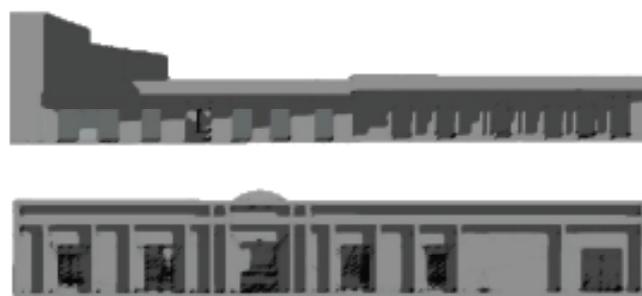
Con estas medidas se mantienen las condiciones de opacidad de las fachadas, casi sin reflectancia especular. Se estimula el uso de madera para ventanas o bien de PVC o aluminio electropintado, de mejor calidad y más acorde con las ventanas existentes en los inmuebles patrimoniales. Las cubiertas son visibles desde las terrazas superiores o lo tanto no podrán tampoco presentar terminaciones brillantes.



### textura

Para las cubiertas se deberá mantener la opacidad quedando no permitido el uso de metales reflectantes.

Se permite el uso de texturas lisas en los muros y lisas o rugosas en zócalos. Quedan prohibidos los estucos brillantes muy pulidos. No está permitido el uso de texturas de albañilería a la vista. Con estas medidas se mantienen las condiciones de baja reflexión y poca rugosidad visible con el efecto de luz y sombra.



### color

Los inmuebles deberán ser pintados mediante un color-base de fondo y los detalles deberán tratarse con otro color complementario. Queda excluido el tratamiento monocromo. Cada una de las partes que constituye la composición de la fachada (muro, zócalo, orden superior, detalles, ornamentos, etc.) debe presentar un color unitario. Para todas las edificaciones queda excluida la terminación brillante en las pinturas, salvo marcos de ventanas y puertas. El juego de claro-oscuros se da por el juego del contraste entre fondo y elementos de la fachada.

Colores permitidos se especifican en el recuadro.



## NORMAS MORFOLÓGICAS

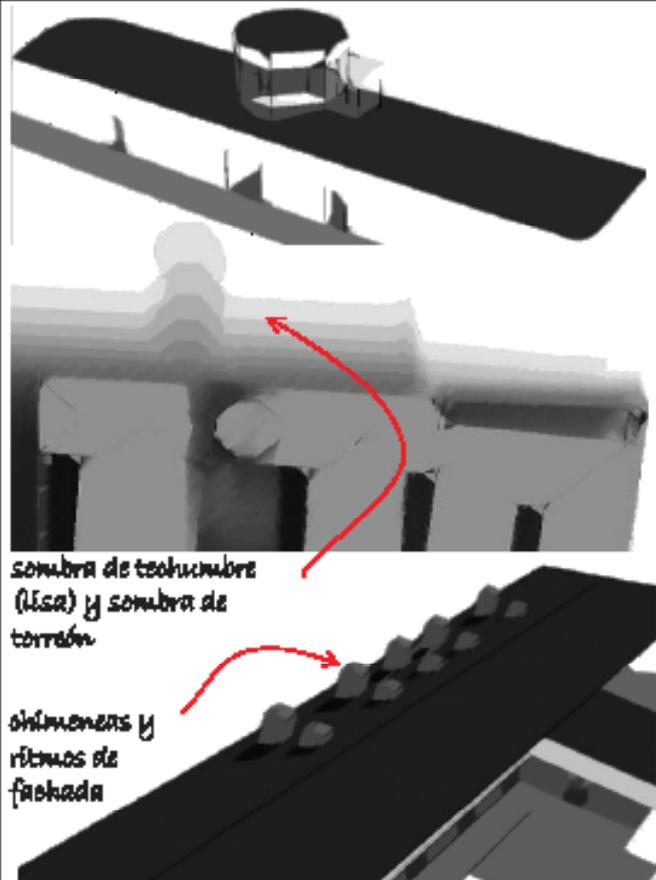
### forma y elementos de la techumbre

Las obras nuevas deberán presentar volúmenes con cubiertas paralelas a la calle, pudiendo contener cubiertas de cuerpos menores con cubiertas perpendiculares. Los cuerpos menores en la techumbre, pueden tener un ancho máximo de 10 m y un mínimo de 5. De haber más de un cuerpo menor, estos no podrán estar juntos debiendo contemplar una separación entre ellos de al menos 1,5 veces el ancho del cuerpo. Las techumbres del cuerpo principal o cuerpos menores podrán tener una expresión inclinada o plana. La inclinación no deberá sobrepasar los 35°.

Estas medidas tienden a mantener la imagen actual de las fachadas y se deben tener en cuenta en caso de incorporar elementos de incremento lumínico en la techumbre y que constituyan cuerpos menores, como linternas o lucarnas.

Las chimeneas y las ventanas de techo plano no se consideran como cuerpos menores pero su aparición debe respetar los ritmos de las fachadas en las que se ven, por ejemplo, coincidir con los intervalos de ventanas, puertas u otros elementos significativos de la fachada.

También, la cubrera recta y paralela a la calle otorga una volumetría simple que arroja a su vez sombras simples sobre el espacio público.



### retranqueos

Las fachadas de La Serena son en general lisas, con pocos resaltes volumétricos significativos. El período que más retranqueos produjo fue el del Plan Serena y los retranqueos son poco profundos y en el último piso. También hay entradas para balcones. Las fachadas no suelen tener grandes juegos de luz y sombra sino que estos se dan más bien por ornamentos o volúmenes menores. Por lo tanto, debieran permitirse los retranqueos con una profundidad máxima de 1.2 m y sólo en el último nivel.



### número de pisos, altura de pisos y relación entre sí

Altura máx. del volumen: 3 pisos - 10.5 m (zonas bajas) o 4 pisos - 14 m, zonas más altas (centro).

Altura del 1º piso: entre 4 y 5 m. Pisos superiores entre 3 y 5 m. La idea de esta norma es que el grano y los ritmos que se generan por la relación de los pisos y los elementos que los destacan a través de sus sombras (como cornisas y ventanas), sean suficientemente homogéneos como para mantener la unidad de imagen urbana.

Los elementos singulares sobre la fachada, como linternas, pueden sobrepasar los 10.5 m o 14 m en un máximo de 1 piso (entre 3 y 5 m).

Adyacente a un ICH o MH se debe mantener la altura del inmueble patrimonial por una distancia de 2/3 de la altura de éste en un tramo de continuidad.

el tramo de continuidad evita los cambios bruscos de altura



## NORMAS ARQUITECTÓNICAS

### órdenes horizontales

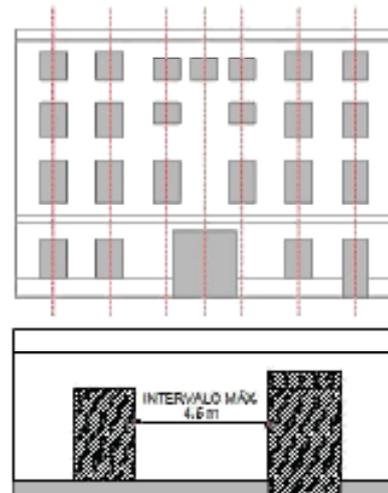
Normar los órdenes responde a la necesidad de mantener el grano y el ritmo de las fachadas para lograr una armonía y conservación de la imagen urbana.

Todas las fachadas deben presentar obligatoriamente los siguientes elementos horizontales: zócalo, orden intermedio del 1º piso, orden superior del 1º piso, orden intermedio de los pisos superiores y orden superior del último piso (coronamiento). Las edificaciones colindantes a MH o ICH, deberán continuar los niveles de zócalo, orden superior del 1º piso y orden superior del último, en el tramo de continuidad.



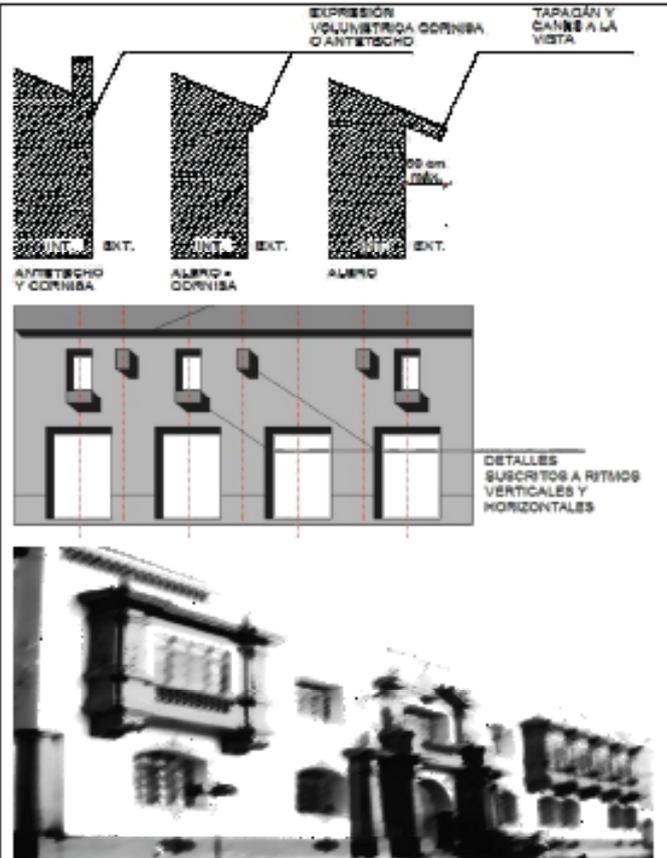
### órdenes verticales

En la composición general de los vanos de la fachada, debe ser evidente la lectura de ejes verticales en todos y cada uno de los pisos. Los detalles u ornamentos deben circunscribirse al ritmo vertical de la composición general de la fachada. El intervalo entre los vanos deberá mantenerse en el rango de los intervalos existente en la zona. La separación máxima entre vanos será de 4.5 m.



### detalles y elementos arquitectónicos

El orden superior del último piso (coronamiento) deberá expresarse volumétricamente ya sea mediante un alero de entre 15 a 50 cm, un frontón, un antetecho o una cornisa que sobresalga al menos 5 cm respecto del plano de fachada. Los elementos arquitectónicos y detalles deben resaltarse volumétricamente para que se distingan por la sombra del relieve. Deben estar inscritos en los órdenes horizontales y verticales de la composición de la fachada.



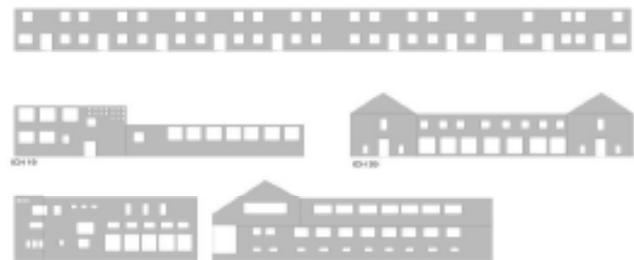
## NORMAS ARQUITECTÓNICAS

### vanos

En MH e ICH se preservarán los vanos originales (accesos, puertas, portones y ventanas). No se podrá modificar la proporción lleno/vacío ni la medida de los vanos actuales (ampliación o reducción). Se prohíbe el cierre de vanos, aunque mantenga su expresión arquitectónica exterior. Por razones justificadas podrá autorizarse la ampliación o apertura de nuevos vanos en ICH en fachadas o cubiertas, cuando se justifique una mejora en las condiciones de habitabilidad interior. En estos casos las proporciones, tratamiento y materialidad de los nuevos vanos, deberá ser acorde con la composición de la fachada existente.

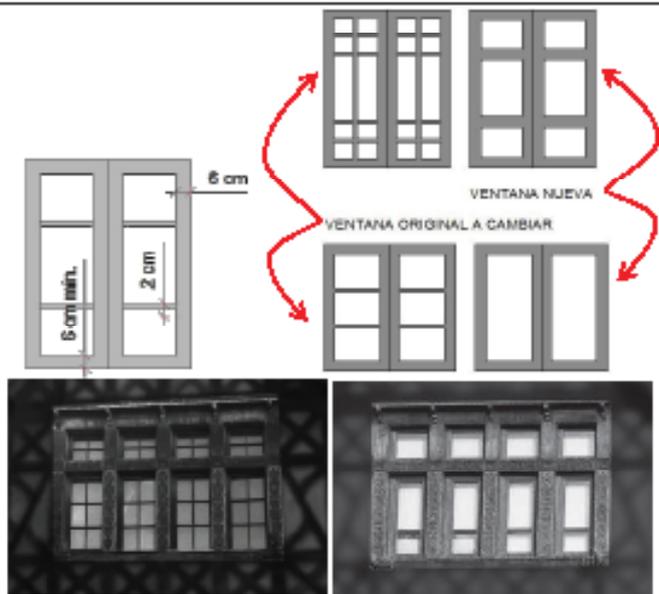
Las nuevas construcciones deberán respetar los porcentajes de lleno/vacío del sector donde se inserten. También deben mantener la proporción de los vanos (alto/ancho) más frecuente del sector.

esquemas de el estudio de proporción lleno/vacío y proporción (forma) de los vanos



### ventanas y puertas

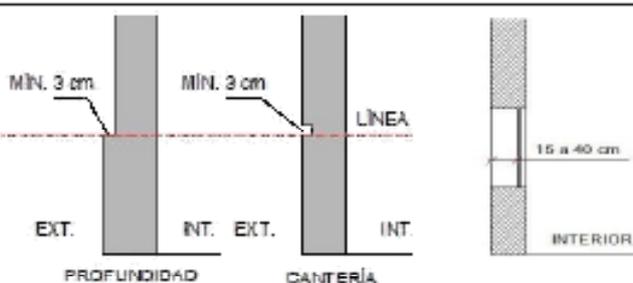
Todos los vanos deben obedecer a situaciones constructivas y funcionales reales, no está permitido realizar vanos falsos (cerrados o ciegos) para cumplir con la composición de la fachada. Los vanos de las puertas principales de acceso a los inmuebles deberán constituirse con una altura mínima de 3 m. La ubicación la ventana y la puerta dentro del vano deberá estar retraída del plano de fachada en un mínimo de 15 cm. La forma superior del vano (dintel) puede ser recta o en curva. En el caso de cambio de ventanas en MH o ICH por sistemas con mayor eficiencia energética y aislación acústica, debe conservarse la modulación general del paillaje original. Se preservarán los forjados y elementos metálicos originales de los vanos en los MH e ICH tales como rejas, quincallería, ornamentación, puertas, portones y ventanas. En todos los casos el ancho mínimo del marco de ventanas será de 6 cm y 2 cm para el paillaje.



### relieve

El zócalo es obligatorio y deberá tener una altura de entre 35 y 140 cm. Todos los órdenes deberán realizarse mediante una expresión de color o textura y una expresión volumétrica de al menos 5 cm.

La ubicación la ventana y la puerta dentro del vano deberá estar retraída del plano de fachada en un mínimo de 15 cm. Todas estas disposiciones tienen como objetivo mantener el grano y los ritmos urbanos.



sombras en los vanos



## 6.3. CONCLUSIONES FINALES

A través del desarrollo de la investigación se han ido concluyendo los aspectos más significativos de cada capítulo, a veces a modo de resumen, a veces como conclusiones. Sin embargo, en esta última parte, las conclusiones hacen referencia a los objetivos planteados al inicio y se verifica la factibilidad de llevarlos a cabo.

Los primeros objetivos plantean que la información organizada, clasificada y respaldada histórica y teóricamente sobre los sistemas, estrategias y tecnologías para el uso de luz natural en arquitectura puede constituir una herramienta útil para los arquitectos al momento de enfrentar un proyecto de arquitectura o rehabilitación.

En este sentido, durante el desarrollo de la investigación se pudo hacer un recuento de los fenómenos físicos que sirven a la arquitectura clasificando y tipificando la información en un formato accesible para arquitectos. Pudo también realizarse un recuento de las estrategias, los sistemas y la tecnología existentes hoy en relación al uso de la luz, lo que se clasifica y tipifica en un formato accesible para un proyectista. Este resumen podría generar una herramienta en forma de guía sobre las estrategias y sistemas más básicos existentes hasta hoy. Las tecnologías y nuevos materiales también podría incorporarse pero teniendo en cuenta que su desarrollo es mucho más acelerado.

Otro objetivo planteado buscaba establecer una correlación entre estrategias, sistemas y tecnologías para la iluminación natural con relación al momento histórico, científico y cultural para aportar una herramienta de análisis complementaria de un edificio histórico. Durante el desarrollo del capítulo de historia de la arquitectura vista a través de la manera en que se relaciona con la luz natural, fue posible construir un correlato entre la historia del desarrollo técnico de la arquitectura y el momento histórico por el que pasaron las civilizaciones.

Esta parte de la investigación hace posible observar los aportes técnicos para la construcción de la luz natural de cada época, los cuales se han ido acumulando hasta constituir la manera completa en

la cual hoy construimos la luz, aunque lo hagamos de diferente manera. Esto porque en todo lo que hacemos usamos nuestros conocimientos pero sólo podemos usarlos como algo contemporáneo a nosotros mismos.

Esta parte de la tesis buscaba también establecer una correlación entre el estado de desarrollo tecnológico de cada época (visto a través de su manera de construir la luz) y los ideales, modos de vivir y pensar de cada época. En otras palabras, establecer una relación entre los ideales arquitectónicos, las técnicas para construir la luz y su relación con las ideas y espíritu de la época. Si bien esta es una tarea difícil de verificar, lo que se intentó fue buscar en la técnica los motivos que la llevaron a cabo.

En otro ámbito de estudio, pero siempre en relación a la luz, se planteó como objeto organizar y sistematizar la información existente en cuanto a los requerimientos biológicos y psicológicos humanos de luz así como los procesos de percepción generados por la luz natural, con el fin de entregar una herramienta de apoyo a los arquitectos en el proceso de proyectación. En este mismo campo, basándose en la ergonomía, se buscó también definir los aspectos de confort visual que puedan ser evaluados en un análisis lumínico de una propuesta arquitectónica.

De acuerdo a estos objetivos fue posible establecer una herramienta o protocolo de análisis lumínico tanto para evaluar el desempeño actual de edificios patrimoniales, como para evaluar una propuesta en fase de proyecto, siempre según los requerimientos lumínicos del ser humano en cuanto a percepción, requerimientos biológicos y de confort.

Esta herramienta se planteó en conjunto con un análisis histórico de los edificios para incorporar los aspectos de valor patrimonial e identitario que son importantes en los proyectos de rehabilitación.

A través de la aplicación de las herramientas de análisis y aplicado a casos reales, se pudo llevar a cabo una evaluación del desempeño lumínico de los edificios. Este análisis permitió comprender el pro-

blema lumínico en cada caso, y a través de esto, pudo realizarse una propuesta que complementa un posible proyecto de rehabilitación. Mediante la aplicación de la herramienta de evaluación lumínica fue posible evaluar también las respuestas en cuanto a luz natural de las propuestas y hacer comparaciones para constatar si hubo los cambios positivos. De este modo, un eventual proyecto puede tener una aproximación cercana a la realidad del desempeño de un proyecto en el importante ámbito de la luz.

La factibilidad de evaluación y posterior capacidad de acogida de cambios en el modo de recibir la luz permiten concluir que los edificios históricos o patrimoniales pueden aceptar cambios que mejoren sus prestaciones lumínicas en cuanto a percepción y confort. Este hecho genera un aumento en la sostenibilidad del edificio, porque mejora la percepción en los habitantes y lo hace vigente para el modo de vida actual, incrementa de este modo su valor económico y finalmente, mejora el desempeño en la eficiencia energética al depender menos de la luz artificial para lograr los niveles de confort que requiere el ser humano en su actividad cotidiana. Esto puede ser un factor que impulse su revalorización y transformarse en un motor de incentivo para su conservación.

A partir de las directrices que arrojan los resultados del análisis lumínico y de proyectación propuestos para la rehabilitación de un edificio histórico, se pudieron generar criterios a incorporar en las normas de planificación urbana, incluso en zonas y edificios de carácter patrimonial. Los criterios abarcaron las diferentes escalas que plantea la norma chilena, que van desde normas urbanísticas, morfológicas y arquitectónicas. El enfoque desde las condiciones lumínicas puede ser un aporte desde un punto de vista a penas tratado en la legislación chilena, pero que puede tener un impacto positivo en la calidad de vida de nuestras ciudades.



# BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

## LIBROS

- Ábalos, I., Herreros, J. 1992. Técnica y Arquitectura en la Ciudad Contemporánea, 1950-2000, Editorial Narea, Hondarribia, Guipúzcoa.
- Argán, G. 1968. Storia dell'arte italiana, voll. I-III, Florencia.
- Ali, Mohamed Ather; Klyne, M.A. 1985. Vision in vertebrates, Plenum Press.
- Arnheim, R. 1971. Pensamiento Visual. Editorial Eudeba, Buenos Aires.
- Baker, N.; Steemers, N. 2002. Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers. James & James (Science Publishers) Ltd., Hong Kong.
- Bellini, Federico. 2004. Le cupole di Borromini. La 'scienza' costruttiva in età barocca. Editorial Electa Mondadori. Milán.
- Benavides, A. 1941. La arquitectura en el Virreinato del Perú y en la Capitanía general de Chile. 3ª edición, 1988. Editorial Andrés Bello, Santiago.
- Berenguer, J. 2009. Chile bajo el Imperio de los Inkas. Editado por Museo de Arte Precolombino, Santiago.
- Brown, G.Z., DeKay, M. 1992. Inside Out: Design Procedures for Passive Environmental Technologies. John Wiley & Sons, New York.
- Blaitt, R., Bonczos, C. 2003. Construcciones bioclimáticas en barro y totora: Hacienda el Tangué. Edición Escuela de Arquitectura, Universidad de La Serena. La Serena.
- Blühm, L. 2000. Light! The Industrial Age 1750-1900. Editorial Van Gogh Museum.
- Brandi, C. 1988. Teoría de la restauración. Editorial alianza Forma, Madrid.

- Buch, T. 2004. Tecnología en la vida cotidiana. Eudeba, Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Cassinello, M.J. 2010. La construcción de la luz. Ediciones ETSAM, Madrid.
- Castedo, L. 1970. Historia del arte y de la arquitectura latinoamericana: desde la época precolombina hasta hoy. Editorial Pomaire, Barcelona.
- Capra, F. 1975. El Tao de la Física. 10ª edición 2009. Editorial Sirio, Buenos Aires.
- Chanfón, C. 1984. Fundamentos teóricos de la restauración. UNAM, México D.F.
- Corrao, R. 2010. Glassblock and Architecture. Alinea Editrice, Nápoles.
- De Gracia, F. 1992. Construir en lo Construido. Editorial NEREA, Guipúzcoa.
- Deleuze, G. 1997. Crítica y Clínica. Editorial Anagrama, Col. Argumentos, Barcelona.
- Diamond, J. 1997. Armas, gérmenes y acero: breve historia de la humanidad en los últimos trece mil años. Editorial Debate, Madrid.
- Dávila R. 1978. Apuntes sobre arquitectura colonial chilena. Ediciones FAU, Santiago.
- Evans, B. 1981. Daylight in Architecture. Editorial Architectural Records Books, Mc Graw – Hill Publications Company, NY.
- Engelsmann, S., Spalding, V., Peters, S. 2010. Plastics. Editorial Birkhäuser Architecture, Basel.
- Escarpa Gil, A. 2000. Tecnología romana, Volumen 5. Ediciones AKAL, Madrid.
- Fanjzylber, V. 2013. La Imagen Táctil. Editorial Fondo de Cultura Económica. Santiago.
- Fernández, J.M. 1985. El Vidrio. Ministerio de ciencia y Tecnología, 3ª Edición, Madrid.
- Fernández, P.A. 2003, La casa romana. Ediciones AKAL, Madrid.
- Fontoynt, M., Tsangrassoulis, A., Synnefa, A. 2004. SynthLight Handbook. Chapter 2: Daylighting. SynthLight. London Metropolitan University, Londres.
- Frampton, K. 1980. Storia dell' Architettura Moderna. , Edición italiana de 1993. Editorial Zanichelli, Bologna.
- Garcarramos, F., Alonso, J. M. 1991. La ventana tradicional. Análisis Morfológico. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos. Santa Cruz de Tenerife.
- Gendrop, P., Heyden, D. 1989. Arquitectura Precolombina. Editorial Aguilar, Asuri.
- Giuliano, G. 2007. Interrogar la Tecnología. Algunos fundamentos para un análisis crítico. Editorial Nueva Librería, Buenos Aires.
- Gleick, J. 2003. Isaac Newton. La mente que cambió la historia de la ciencia. RBA, Barcelona.

- Golombek, D. 2003. Cronobiología Humana: Ritmos y relojes biológicos en la salud y la enfermedad. Editorial Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires.
- Golombek D. 2001. Cronobiología Humana en Busca del Tiempo Perdido. UNAM, México.
- Goleman, D. 2006. Inteligencia social. Editorial Kairós, Barcelona.
- Gombrich, E. H. 1997. La Historia del Arte. Phaidon Press Limited, Londres.
- Hall, E. T. 1966. La Dimensión Oculta. 22ª edición 2005. Siglo XXI Editores, México.
- Heisenberg, W. 1958. Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science. Harper and Row, NY.
- Hewitt, P.G. 2004. Física conceptual. Editorial Pearson Education – Addison Wesley, México.
- Huerta, S. 2004. Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera, Madrid.
- Jantzen, H. 1982. La arquitectura gótica. Nueva Visión, Buenos Aires.
- Halbwachs, M. 1968. La Mémoire Collective. Presses Universitaires de France, Paris.
- Hopenhayn M. 1994. Ni apocalípticos ni integrados. Aventuras de la modernidad en América Latina. Fondo de Cultura Económica, Santiago.
- Jung, K. G. 1916. Lo inconsciente. Edición de 2009. Editorial Losada, Buenos Aires.
- Kaltenbach, F. 2007. Materiales Traslúcidos. Editorial GG, Barcelona.
- Köster, H. 2004. Dynamic Daylight in Architecture. Birkhäuser, Germany.
- Kuhn, T. 1962. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica, Madrid.
- Letelier, J.C. 2013. Una construcción del sistema nervioso. En Fajnzylber, V. 2013. La imagen Táctil. Fondo de Cultura Económica, Santiago de Chile.
- Letelier, S., Wolff, C., Fuentes, A. 2010. Ingenios de luz para un Patrimonio Sustentable. Ediciones FAU, Santiago.
- Lyotard, J.F. 1979. La condición posmoderna. Editorial
- Maak, T., Pawlik, K. 2011. Un discurso de la luz - Entre la cultura y la técnica. ERCO, Lüdenscheid.
- Marchán Fiz, S. 2008. La metáfora del cristal en las artes y la arquitectura. La Editorial Siruela, Biblioteca Azul serie mínima. Madrid.
- Márquez de la Plata, R. 1979. Patrimonio cultural de Coquimbo y La Serena. MINVU, Santiago.
- Maturana, H. 1991. Sentido de lo humano. Dolmen Ediciones S.A. Santiago de Chile.
- Merleau Ponty, M. 1997, Fenomenología de la Percepción. Editorial Península, Barcelona.

- Merleau Ponty, M. 1964. EL cine y la nueva psicología, en sentido y sinsentido. Northwestern University Press, Evanston.
- Mora T. 2007. Neurocultura. Una cultura basada en el cerebro. Alianza Editorial, Madrid.
- Nieto, V. 1996. Vidrieras de Madrid. Del Modernismo al ArtDecó. Guías de Patrimonio Histórico, Madrid.
- Nieto, V. 1978. Luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del Renacimiento. Ediciones Cátedra S.A., Madrid.
- Noe, A. 2004. Action In Perception. MIT Press. Boston
- Norberg-Schulz, C. 1983. Arquitectura occidental: la arquitectura como historia de formas significativas. 4ª Editorial 2001. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Norman, D. A., 2004. El Diseño Emocional. Editorial Paidós, Barcelona.
- Pallasmaa, J. 2006. Los ojos de la piel. La arquitectura y los sentidos. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Panofsky, E. 1955. Significado de las artes visuales. Edición de 1978. Alianza Forma, Madrid.
- Pattini, A. 2009. La Luz Natural en las Escuelas. Editorial Dunken, Buenos Aires.
- Pelliccioni, G. 1986. Le cupole romane: la stabilità. Editorial Paleani, Roma
- Pendergrast, M. 2004. Historia de los espejos. Javier Verga Editor, Barcelona.
- Persson 1969 Flat Glass Technologies. Editorial Butterworths, Londres.
- Pounds, N. J. G. 1989. La vida cotidiana: historia de la cultura material. Editorial Crítica, Barcelona.
- Rea, M. 2007. More than vision. Centro de estudios e investigación I Guzzini. Editorial Domus, Milán.
- Sahady A.; Duarte P.; Waisberg M., 1992. La Vivienda Urbana en Chile durante la Época Hispana. Departamento de Historia y Teoría de la Arquitectura de la Universidad de Chile, Ediciones FAU, Santiago.
- San Martín R. 2003. Iluminación urbana y eficiencia energética. Illes Balears. Editorial Govern de les Illes Balears, Conselleria de Comerç, Indústria i Energia.
- Savioli, C. 1993. Iluminación Natural. Editorial Alsina, Buenos Aires.
- Scheerbart 1914. Glasarchitektur. La arquitectura de cristal. Ed. Español 1998. Colegio de arquitectos técnicos de Murcia, Murcia.

- Serra, R. Coch, H. 1995. Arquitectura y energía natural. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Serway, R.A. y Beichner, R.J. 2002. Física. Editorial Mc Graw Hill, México.
- Steiner, R. 1917. Los doce sentidos del ser humano. Edición 2011. Editorial Pau de Damasc, Vall-doreix.
- Stierlin, H. 2002. El Imperio Romano. Taschen Benedikt, Colonia.
- Petitot, J; Varela, F.; Pachoud, B.; Roy, JM. 1999. Naturalizing Phenomenology, Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science. Stanford University Press.
- Pickover, C. A. 2012. El libro de la física. Editorial Librero, Holanda – Sterling Publishing Co., NY.
- Tanizaki, J. 1933. El Elogio de la Sombra. 2ª Edición de 2004. Editorial Siruela, Madrid.
- Taylor, R. 2006. Los constructores romanos. Ediciones AKAL, Madrid.
- Temanza, T. 1741. Delle Antichità di Rimino, Libro due. Venezia
- Valero, E. 2004. La Materia Intangible. 2ª edición 2009. Memorias Culturales, diciones Generales de la Construcción, Valencia.
- Varela, F., Petitot, J. 1999. Naturalizing Phenomenology. Stanford University Press, Standford.
- Venturi R. 1972. Complejidad y contradicción en arquitectura. 9ª edición 1999. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Wolff, C., Silva, R. y Letelier, S. 2012. Atrapaluz, del artefacto a la intervención. Edición FAU, Santiago.
- Zajonk, A., 1993. Atrapando la Luz. Historia de la Luz y de la mente. Editorial Andrés Bello, Santiago.

## ARTÍCULOS Y TESIS

- Ali, Mohamed Ather; Klyne, M.A. 1985. Vision in Vertebrates. New York: Plenum Press. p. 1. ISBN 0-306-42065-1.
- André, E.; Schade, J., 2002. Daylighting by optical fiber. Tesis de Magister, University of technology, Luleå.
- Bataller, J. 2011. Estudio de las materias primas de carácter polimérico para su aplicación al hormigón translúcido. Tesis de grado. Directores: García Ballester, LV. ; Albiol Ibáñez, JR. Publicada en <http://riunet.upv.es> consulta en febrero de 2013.
- Brainard, G. Exploring the power of light: from photons to human health. Jefferson Medical College, Thomas Jefferson University, Philadelphia, Pennsylvania.

- Bergson, H. Essai sur les donnés immédiates de la conscience. Oeuvres. P. U. F. Paris, 1991.
- Brugnoli, F., Letelier, S. 1997. Articulaciones. Cuadernos de Visualidad. Ediciones FAU. Santiago.
- Calvillo, A. 2010. Luz y Emociones: Estudio sobre La Influencia de la Iluminación Urbana en las Emociones; tomando como base el Diseño Emocional. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Carlson, N. R. 2007. Fisiología de la conducta. Physiology of behavior, Editorial Pearson Educación, Madrid.
- De Cárdenas Maestre, I. 2009. Una Genealogía de lo verde del simbolismo romántico a los higienismos de los años 20. Tesis Doctoral, ETSAM, Madrid.
- Darwich, Fernández. 2008. Estudio de los factores ambientales en bibliotecas públicas de Barcelona y su influencia en la percepción por los usuarios.
- Fernald, R.D.; Land, M.F. 1992. The Evolution of Eyes. Annual Review of Neuroscience 15: 1–29.
- Fernald, Russell D. 1998. Aquatic Adaptations in Fish Eyes. New York, Springer.
- Fernald, Russell D. 2001. The Evolution of Eyes: Where Do Lenses Come From? Karger Gazette 64: The Eye in Focus.
- Ferrón, L. 2009. Barras de iluminación solar: aplicabilidad y rendimiento en entornos urbano. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Tucumán.
- Garcia, V. 2003. Natural illumination of deep-plan office buildings: light pipe strategies. Tesis Doctoral, University of Queensland. Queensland.
- Giménez MC. 2011. Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos. Tesis doctoral. ETSAM, Madrid.
- Grisé, W.; Patrick, Ch., 2003. Passive Solar Lighting Using Fiber Optic. Journal of Industrial Technology, Volume 19, Number 1.
- Harmon, J., 2001. Polymers for Optical Fibers and Waveguides: An Overview. Chemistry Department, University of South Florida, Tampa
- Hubel, D. H. El cerebro. En VV. AA, 1981/1979: 19.
- Hubel, D.H. and Wiesel, T.N. 1979. Brain mechanisms of vision. Scientific American 241(3): 150-62.
- Land M.F., Fernald R.D. 1992. The evolution of eyes. Annu Rev Neurosci. 15:1-29
- Larrumbide Gómez-Rubiera, Enrique, 2010. Optimización energética de la ventana en función de la sombra: el hueco en tipologías de la arquitectura vernácula mediterránea. Tesis doctoral, ETSAM, Madrid.

- Letelier, S., 2007. Lectura e Ideación de la escala y 'escalaje' en arquitectura. Tesis doctoral UPM, Madrid.
- Letelier, S. 2005. Pensamiento contemporáneo postmoderno. Documento docente FAU.
- Letelier, S; Rugiero, A; Arribas, M.I., 2001. Rasgos Idiosincráticos del perfil de identidad arquitectónico en Chile central. Seminario de Bienes Culturales e Imaginarios Sociales, MINEDUC. Santiago.
- Maturana, H., Mpodozis, J. 1987. Percepción: Configuración conductual del objeto. Arch. Biol. MEditorial Exp. 20: 319-328.
- Medina, V., 2008. El fenómeno de ponderar tamaños y distanciamientos. Rol en las habilidades lógicas de situar clasificar y seriar. Seminario de investigación. FAU, Santiago de Chile.
- Menzel, Randolf. 1979. Spectral Sensitivity and Color Vision in Invertebrates. En H. Autrum (editor). Comparative Physiology and Evolution of Vision in Invertebrates- A: Invertebrate Photoreceptors. Handbook of Sensory Physiology. VII/6A. New York: Springer-Verlag. pp. 504–506; 551–558.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU, 2005. Manual Metodológico de identificación de Inmuebles y Zonas de Conservación Histórica. Edición MINVU. Santiago de Chile.
- Mueller, H., 2002. Fieldtests of combined artificial and natural lighting systems for office buildings. Department of Environmental Architecture and Building Physics, Faculty of Building, University of Dortmund.
- Murguía, Laura, 2002. La luz en la arquitectura. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Ortega, Oscar; Pirotte, Silvia. Apuntes sobre arquitectura colonial chilena de Roberto Dávila. Dep- to. De diseño, FAU, 1978.
- Oteiza, Pilar, 1991. Estudio combinado de iluminación natural y ganancia solar térmica pasiva en edificios docentes. Tesis Doctoral ETSAM, Universidad Politécnica de Madrid.
- Oteiza, P. 1994. Las protecciones solares y la iluminación interior en Madrid. Primer Congreso Nacional de Tecnología en la Arquitectura, ETS de Arquitectura, Madrid, 24-26 Noviembre, pp. 167-174.
- Oteiza, P. 1996. Experimental analysis of a simple graphic daylight calculation method based on the CIE overcast sky. Building and Environment, Edinburgh, Scotland, U. K.
- Oteiza, P. 2002. Glare Protection in a Great Opening with Different Orientation in Madrid. En CD Renewable Energy, Abstracts of World Renewable Energy Congress VII, Colonia, Germany.
- Oteiza, P. 2003. Guggenheim, Arquitectura y Arte. Edit. J. L. Merino, Bilbao, ISBN 84-88714-64-, pp 79-82.

- Oteiza, P. 2006. Daylighting Analysis with Scale Models for Architecture Students in Madrid. World Renewable Energy Congress, Proceedings of WREC, Florencia, Italia. Elsevier ISBN 13: 978-0-08-045056-8.
- Pérez, Carota. 1996. Nueva concepción de la tecnología y sistema nacional de innovación. Cuadernos de CENDES, Año 13 N° 31, Segunda Época, Enero-Abril, pp.9-33, Argentina.
- Pozueta, J., Fariña J. 1999. Tejidos residenciales y formas de movilidad. Instituto Juan de Herrera.
- Pozueta, J. El espacio público en la rehabilitación/regeneración urbana. Departamento de Urbanística, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM.
- Pozueta, J. 2000. Movilidad y planeamiento sostenible. Cuadernos de investigación urbanística. Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio de la ETSAM. DUyOT. Edición Instituto Juan de Herrera
- Rosemann, A.; Kaas, H. Combined daylight systems for lightpipe applications. International Journal of Low Carbon Technologies 1/1. Institute for Lighting Technology, Technical University Berlin, Berlin.
- Stockton, W. 1986. Ancient Astronomy Points To New Views Of Mayan Life. The New York Times. Retrieved 2010-05-01.
- Territorio y Ciudad Consultores, 2014. Estudio para Planos Seccionales de la ciudad de La Serena (PS\_LS, 2014), estudio en proceso.
- U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Land Management. 2009. Carnivores. Washington DC.
- Ward Perkins, J. B. The Italian Element in Late Roman and Early Christian Architecture. From the Proceedings of the British Academy. Volume XXXIII." p. 31-32

## RECURSOS WEB Y OTRAS FUENTES

- Aldea de Tulor, agosto 2013. [www.tulor.cl/cultura.htm](http://www.tulor.cl/cultura.htm)
- Astronomía, marzo 2013. [www.sadeya.org](http://www.sadeya.org)
- Barón, A.M., agosto de 2013. [www.mav.cl](http://www.mav.cl)
- Bellini, F. 2000. Apuntes de clase. Università degli Studi di Camerino, Facoltà di Architettura, Ascoli Piceno.
- Carlos Durán, Ximena Bórquez, 2009. Cosmovisión Indígena y Planificación Territorial. Experiencia del Valle de Elikura, Región del Bío-Bío, Chile.
- Cielo de Chile, marzo 2013. [www.astromia.com](http://www.astromia.com),
- Circulares de la Dirección de Desarrollo Urbano, DDU 240, DDU 257. [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)

- Clima de Chile, junio 2014. [www.meteochile.cl](http://www.meteochile.cl)
- Decreto Supremo 594 (DS 594), del Ministerio de salud. <http://www.supersalud.gob.cl>
- Explorador Solar, diciembre 2013. <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2>
- Huici V. A. 2010. Memoria individual y bases sociales de la memoria. Marzo 2013. [www.uned.es](http://www.uned.es)
- Insulating Concrete Form Association. About ICFs. 2008. Consultado en junio 2014. <http://www.icfinfo.org.uk>
- Letelier, J.C. Entrevista en junio de 2013, Laboratorio de Neurociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC). [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)
- M<sup>a</sup> I. Suero y Á. L. Pérez, marzo 2013. <http://enebro.pntic.mec.es>
- Museo de Arte Precolombino, agosto 2013. <http://chileprecolombino.cl>
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)
- Patrimonio Cultural de la UNESCO México 1982. Definición elaborada por la Conferencia Mundial de la UNESCO sobre el Patrimonio Cultural, celebrada en México en el año 1982. [www.unesco.org](http://www.unesco.org)
- Plan Regulador Comunal de la Comuna de La Serena. [www.laserena.cl](http://www.laserena.cl)
- Región de Coquimbo, noviembre de 2013. [www.scoquimbo.cl](http://www.scoquimbo.cl)
- Revista Detail, jun-jul, 2004, consultado en marzo 2014. [www.detail.de](http://www.detail.de)
- Sagasti, F. Junio 2013. <http://www.grade.org.pe/download/pubs/libros/conocimiento.pdf>
- Tekelioglu, M., Byard D. 2009. Wood Solar light transmission of polymer optical fibers. Solar Energy - 83 2039–2049. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Templo de Kulkán: <http://www.milenio.com/index.php/2007/07/07/90269/>
- Vidrio, julio 2013. [www.pilkington.com](http://www.pilkington.com)
- Vidrio, febrero 2013. [www.litracon.com](http://www.litracon.com)



# ANEXOS

# ANEXO I.

## NUEVAS TECNOLOGÍAS:

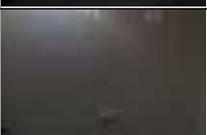
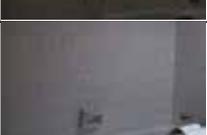
### SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL *ATRAPALUZ*

El ATRAPALUZ corresponde a un sistema de iluminación natural para accesibilidad de luz solar, que permite introducir luz natural diurna a espacios interiores ciegos y oscuros de edificios preexistentes. El sistema ATRAPALUZ fue generado a partir de investigación aplicada realizada por las académicas Cecilia Wolff y Rebeca Silva con la colaboración de Vítor Nadal y Sofía Letelier, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

Fue seleccionado mediante el Concurso de Patentamiento de la Universidad en 2011, proceso en que se analizó la factibilidad técnica de patentamiento en Chile (IP Assessment) y se realizó una positiva valoración de mercado (Trade Map y Market assessment) y de su desarrollo potencial global.

Posteriormente, mediante el Programa Línea 3 de CORFO se desarrollaron estrategias específicas para: a) analizar en profundidad el posicionamiento de sus ventajas en Chile y en otros mercados internacionales, verificando la dinámica competencia técnica y de mercado al que se enfrenta este sistema de captación, transmisión y traslado de luz natural; b) generó una estrategia de protección en los países pertenecientes al tratado PCT y los no pertenecientes; c) protegió la propiedad intelectual e industrial a través del modelo de utilidad ATRAPALUZ más ampliamente en el ámbito internacional mediante el patentamiento del sistema en los países seleccionados; d) analizó modelos de negocios factibles de realizar en el ambiente universitario donde fue generado. En la actualidad la propiedad intelectual del sistema se encuentra en proceso de protección como patente de modelo de utilidad en Chile, EUA, Canadá y la Unión Europea.

El sistema integra dos principios físicos: el de reflexión y el de reflexión interna total, tecnología sustentable con un diseño simple, de mínima intervención, fácil instalación y bajo costo, para recintos que deben recurrir al permanente consumo eléctrico por carecer de iluminación natural directa. Está compuesto de un captador, un canal reflectante versátil y un difusor de forma variable, la revisión del estado del arte demostró (IP Assessment) que no existen similares. ATRAPALUZ, muestra ventajas en términos de beneficios psico-biológicos y de satisfacción estética respecto de la iluminación artificial y

PUNTO	TIPO DE LUZ	HORA	FECHA	AEMC INSTRUMENTO *	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA	LUX	FOTO	OBSERVACIONES
P1	ARTIF. **	17:35	2.09.1	AEMC	SOL	65,00		El color de la luz es cálido tendiente al rojo anaranjado. Se observa claramente una distribución abrupta desde mucha a poca luz.
P1	NATURAL ***	10:08	4.12.1	AEMC	SOL	0,00		Muy poca luz, casi imposible ver algo, salvo reflejos de la ventana (interior).
P1	LD1	10:10	4.12.1	AEMC	SOL	1,50		La luz se observa distribuida muy gradualmente, las sombras son tenues. Color frío.
P1	LD2	10:13	4.12.1	AEMC	SOL	1,47		La luz se observa concentrada cerca de la salida del LD2 aunque su distribución posterior es pareja y gradual. Colores fríos.
P1	LD3	10:16	4.12.1	AEMC	SOL	6,00		Bastante luz y con una distribución muy gradual. Luz muy blanca tendiente al azuloso frío. Luz suficiente para actividades básicas no
P1	NATURAL	12:46	4.12.1	AEMC	SOL	0,00		Se observa el tenue reflejo de la ventanita interior. El color de la luz es cálido. La cantidad de luz es insuficiente para casi cualquier tipo de
P1	LD1	12:50	4.12.1	AEMC	SOL	26,20		Mucha luz directa y formación de aureolas provenientes del LD1. El color de la luz es frío. La distribución de la luz es muy abrupta: mucho
P1	LD2	12:55	4.12.1	AEMC	SOL	16,70		Bastante luz directa y formaciones aureolares cerradas, más puntuales que el LD1. Contrastes no tan marcados.

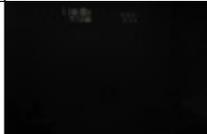
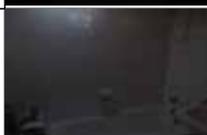
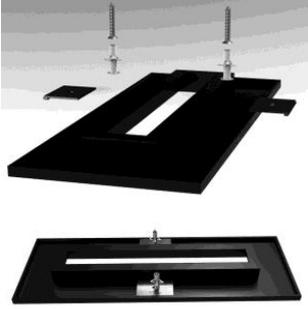
PUNTO	TIPO DE LUZ	HORA	FECHA	AEMC INSTRUMENTO *	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA	LUX	FOTO	OBSERVACIONES
P1	LD3	12:58	4.12.1	AEMC	SOL	46,20		Muchísima luz, deslumbramiento y formaciones aureolares provenientes del bloque. Fuera de la zona de aureolas la luz es
P1	NATURAL	19:00	9.12.1	AEMC	SOL	0,00		Nada de luz
P1	LD1	19:03	9.12.1	AEMC	SOL	0,50		Visión equivalente al horario matutino de las 10 am.
P1	LD2	19:05	9.12.1	AEMC	SOL	0,38		Visión equivalente al horario matutino de las 10 am.
P1	LD3	19:07	9.12.1	AEMC	SOL	2,16		Visión equivalente al horario matutino de las 10 am.
P1	LD1 + LD2 + BLOQUE	10:16	9.12.1	AEMC	SOL	8,80		Bastante luz, y de repartición homogénea aunque se advierten pequeñas manchas lumínicas provenientes de los lumiductos. La luz
P1	LD1 + LD2 + BLOQUE	13:10	9.12.1	AEMC	SOL	81,60		Mucha luz y gran presencia de manchas lumínicas provenientes de las aureolas del LD1 y del Bloque. El lavamanos recibe luz
P1	LD1 + LD2 + BLOQUE	18:40	9.12.1	AEMC	SOL	3,20		

Tabla de análisis de eficiencia lumínica mediada en el prototipo ATRAPAUZ, durante 2010. Fuente: Archivo de la Autora.

del efecto de la mayoría de los lumiductos disponibles basados en general sólo en la reflexión e industrializados en tamaño fijo. En tanto el sistema integrado propuesto que capta, transmite y relocaliza luz natural, puede darse en diversos tamaños, formas y longitudes según los lugares a intervenir, ya que la innovación está en la unión sistémica de ambos principios más que en una forma determinada.

Se han identificado dos segmentos formales para la comercialización del ATRAPALUZ: el primero corresponde al de la industria inmobiliaria y el segundo a organismos institucionales interesados en la restauración de espacios patrimoniales, a partir de la provisión de luz natural en espacios confinados. Adicionalmente, existe en todas las ciudades un segmento no formalizado de demandantes y habitantes de edificios antiguos que por esta vía pueden acondicionarlos para alcanzar una mejor calidad de vida. Y un cuarto segmento objetivo a futuro lo constituirán las empresas distribuidoras de insumos materiales de construcción de consumo masivo.

**ATRAPALUZ**  
sistema de iluminación natural

IMAGEN	ITEM	IMAGEN	ITEM
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CUBIERTA POLICARBONATO TRANSPARENTE</li> <li>- PROTECCION CONTRA LLUVIA</li> <li>- ADAPTABILIDAD A CUBIERTA TIPICA EN CHILE</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- PIEZA REMATE VISIBLE EN EL CIELO. QUEDA EN LA PARTE SUPERIOR DEL BLOQUE ACRÍLICO</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PIRAMIDE TRNCADADA TERMINA EN ALETAS QUE SE ADAPTAN A LA BASE DE LA CUBIERTA EXISTENTE</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- FIJACIONES, 2 TIPOS</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CUERPO QUE TRANSPORTA LA LUZ POR REFLEXIÓN</li> <li>- EL ANGULO ESTÁ CALCULADO PARA LA MAYOR EFICIENCIA SEGÚN EL ANCHO DEL ENTRETECHO</li> </ul>		<p><b>TOTAL DE PARTES:</b> 4 PARTES SIN CONSIDERAR FIJACIONES</p> <p><b>- SISTEMAS:</b> DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ: 1. MEDIANTE REFLEXIÓN EN SUPERFICIES ESPECULARES 2. POR T.I.R. EN EL BLOQUE ACRÍLICO</p> <p><b>- COSTOS APROXIMADOS (SIN INSTALACIÓN):</b> 160 USD</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BLOQUE ACRÍLICO TRANSPORTA LA LUZ EN EL INTERIOR DEL RECINTO POR T.I.R.</li> <li>- ACERCA LA LUZ AL PLANO DE TRABAJO</li> <li>- ES LA PARTE VISIBLE DE LA LUZ</li> </ul>		

## ANEXO II.

# UN PROBLEMA DE LA FÍSICA: HABITACIONES QUE NO SE PUEDEN ILUMINAR

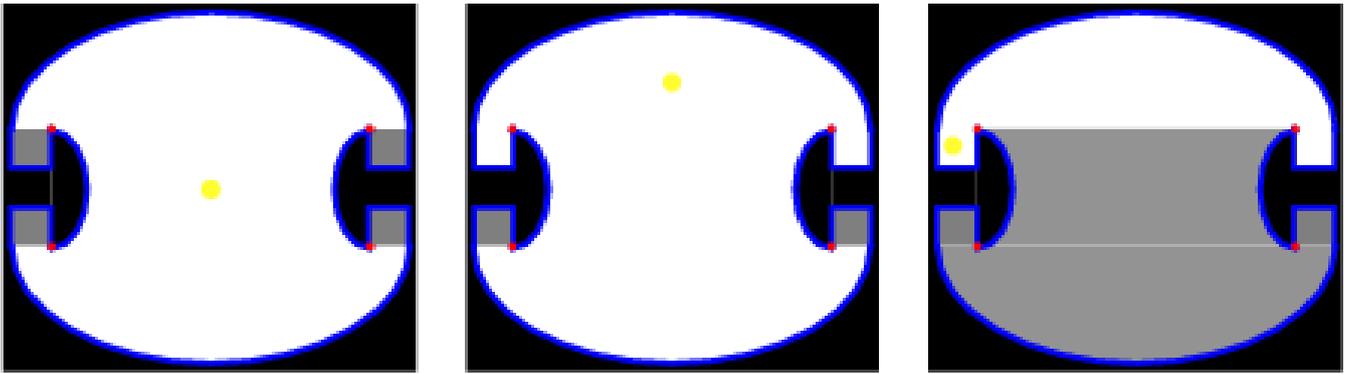
En el *El libro de la Física* (Pickover 2011) aparece un problema de física que llamó particularmente mi atención porque trata un tema que está estrechamente relacionado con la tesis. Se trata de resolver el acertijo de si es posible crear un recinto que contenga partes que sean imposibles de iluminar según las leyes de la reflexión geométrica.

En el artículo se señala: “La novelista estadounidense Edith Wharton escribió en cierta ocasión que “existen dos formas de difundir la luz: ser la vela o ser el espejo en que se refleja”. En física, la *ley de la reflexión* establece que en los reflejos especulares el ángulo con el que una onda se refleja en una superficie es igual al ángulo con el que incide en ella. Imaginemos que nos encontramos en una habitación oscura cuyas paredes, planas, están cubiertas por espejos. La habitación está llena de recovecos y pasillos laterales. Si se enciende una vela en algún lugar de la habitación ¿seríamos capaces de verla con independencia del lugar que ocupemos nosotros, de la forma de la habitación o del pasillo en que nos encontremos? En términos billarísticos ¿existe siempre una trayectoria posible para una bola entre dos puntos cualesquiera de una mesa de billar poligonal?” (Pickover op.cit pág. 468).

Los problemas de iluminación están íntimamente relacionados con el billar. La reflexión de la luz en la superficie de un espejo es exactamente análogo a la reflexión de una bola de billar en los bordes de una mesa de billar, porque la ley de la reflexión establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

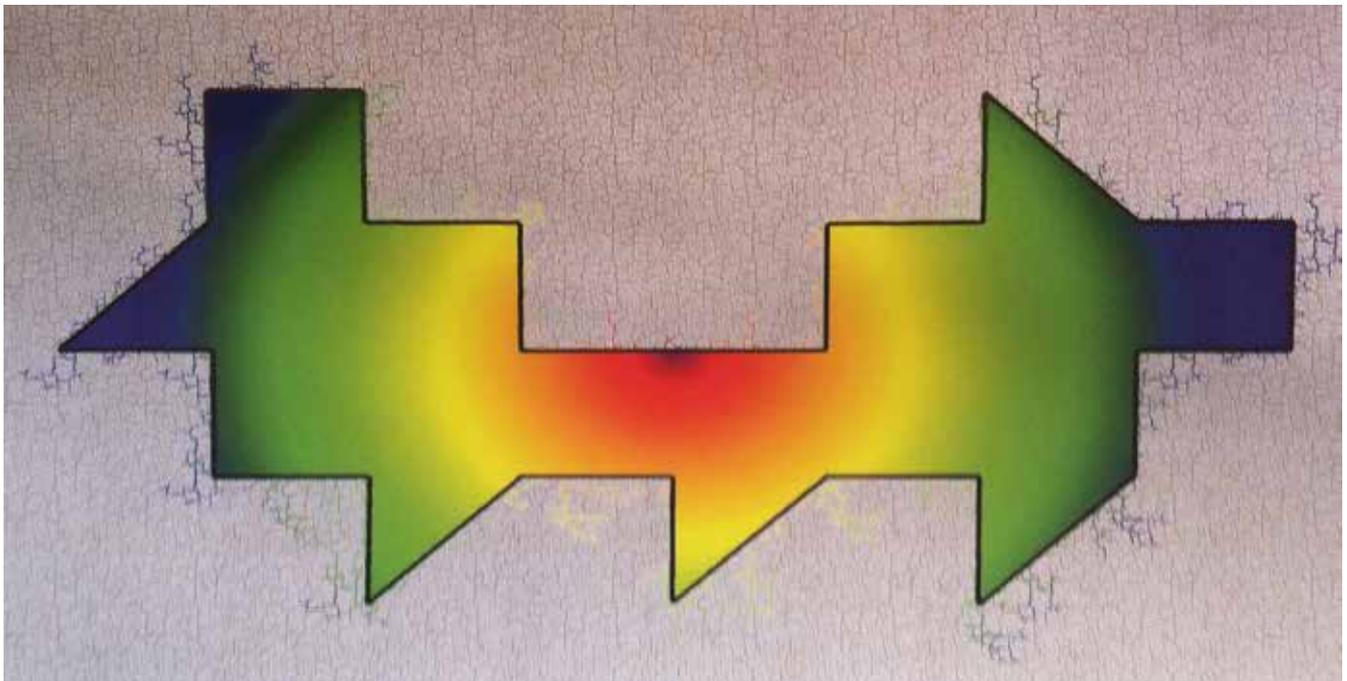
A principios de la década de 1950, el matemático Ernst Straus preguntó ¿todas las regiones se pueden iluminar desde todos los puntos de una región? y ¿todas las regiones que se pueden iluminar de al menos un punto en la región? entendiéndolo que iluminar significa que existe un camino desde cada punto a cualquier otro por reflexiones repetidas.

En 1958, el joven Roger Penrose utilizó las propiedades de la elipse para describir una habitación con paredes curvas que siempre tendría regiones oscuras (no iluminadas), independientemente de la po-



Arriba: La habitación de Roger Penrose de 1958. Fuente: <http://mathworld.wolfram.com/IlluminationProblem.html>, octubre de 2014.

Abajo: Modelo geométrico de un recinto con una habitación iniluminable, presentado por Tokarsky en 1995. Fuente: El Libro de la Física (Pickover op.cit pág. 469).



sición de una vela. La habitación de Penrose, constaba de dos medias elipses en la parte superior y la parte inferior y dos protuberancias en forma de hongo en los lados izquierdo y derecho.

En 1995 el matemático George Tokarsky de la Universidad de Alberta, diseñó una habitación poligonal de 26 lados que contenía regiones iniluminables. Posteriormente encontró un contraejemplo de 24 lados que es, hasta el momento, la cantidad mínima que se conoce para una sala que no se puede iluminar.

En la actualidad, los físicos y los matemáticos no saben si existen o no habitaciones no iluminables con menos lados (Pickover op.cit pág. 468).

**ANEXO III.**  
**PAPER CONGRESO CIE 2014**

# ATRAPALUZ: DAYLIGHT SYSTEM TO INTERVENE SPACES AND PERCEPTION

Wolff, C.<sup>1</sup>, Silva, R.<sup>1</sup>, Letelier, S.<sup>1</sup>, Oteiza, P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Chile, Santiago, CHILE, <sup>2</sup> UPM, ETSAM, Madrid, SPAIN

[momwolff@uchile.cl](mailto:momwolff@uchile.cl), [bekysilva@uchile.cl](mailto:bekysilva@uchile.cl)

## Abstract

Atrapaluz is proposed as a sustainable natural lighting system to induce patrimonial buildings reuse, looking for their better environmental, social and economic performance. However, it can be useful in any blind or dark area of human habitat, for perceptual, aesthetic and ergonomic improvement. It was tested as a prototype system (patented in Chile) and it is in process for an international copyright. Like many daylight devices, Atrapaluz consists of three parts: capture, transport and emission of light, but it is considered an innovation because it doesn't depend on a singular shape, but on an adaptable combination of two optical principles: a mirror reflection in the transport zone and a total internal reflection in the emission zone. Here we present and evaluate its performing in a dark residential building considered a modern heritage architecture.

**Keywords:** Sustainable Architecture, refurbishment, daylighting, lighting technology.

## 1 Foreword

The vestiges of the architectural Patrimony in Chile, very little for seismic, technological and historical reasons, are non-monumental, in general, but valuable as a Chilean patrimonial identity. Its recovery at the central urban zones requires public policies of incentives and promotion. But by their antiquity, these buildings show inadequate luminance comfort and energetic deficiency, increasing its maintenance costs. These factors make them aesthetically unattractive for young people. ATRAPALUZ proposal, a 'non-invasive, minimum and adaptable device', could allow to transform perception of dark intermediate enclosures spaces, taking natural light into them for its comfortable use during day time, with consistent results, contemporary sensitivity and sustainable philosophy, taking advantage of the optical characteristics of materials available on the market.

Thus, natural light –free and with a known trajectory, regularity and intensity- can be the factor that raise 'sustainable improvement' of aged buildings in our city. solar light can be the material of perceptual revitalization, and keep the favorable physiological effect related to the light activation of circadian cycle and its derived hormonal effects. So, as long as possible, during the day, natural light should not be replaced with artificial light.

ATRAPALUZ, an innovative version of the '*lumiduct*' category, is an adaptable device, that captures and transmit solar light with several options for the reflector/distributor components, and that re locates light by a diffuser of variable form. In its prototype version it included: a receiver with an inverted pyramidal trunk form, a straight tubular transmitter - both with superficial reflection properties-, and a diffusing PMMA block with the property of 'total internal reflection', in addition to the necessary elements of protection, fixation and connection between conduits and block.

## 2 Objectives

The project aim was to offer an instrument that could improve conditions of old built spaces, enhancing people perception and comfort by creating a flexible and adaptable light interface. It could allow designers and architects to handle natural light, and its unique qualities related to benefits in biological, psychological and social welfare, allowing awareness of 'time passing' for those who enjoy space with a contemporary aesthetic sensibility. With this purpose, we

have considered the inhabitant to be a perceptually active and reactive receptor in front of light effects (Noe, 2004), involving his biological cycles during year and daytime (Rea, 2007) and his cognitive/emotional behavior (Maturana, 1984). An ergonomic approach (Norman, 2004) was also used to qualify and quantify factors associated with the lighting criteria as a condition of spatial comprehensibility, sense of ownership and wellbeing. So, our our installed devices were developed under an anthropologist heritage approach (Chanfón 1996, UNESCO 1982), trying to give an adequate answer to real contemporary requirements of natural light.

### 3 A method for the unknown

When dealing with a problem that requires solutions from designers, architects or creative professionals, they usually know the effect to look for but not exactly how or where it will take place. For that reason in these fields the methodologies are commonly of 'rough estimate and iteration' (Letelier, 2000) or, at least, controlled ways to reduce the uncertainty of the problem, simplifying it to appreciate it better. Being the appreciation one of the most complex human processes, a problem of illumination leaves us habitually with an ideal that seems to be a non-real challenge. For that reason, the methodologies that serve better in our disciplines are those of multiple and successive approaches, while do not lose focus of perceptual intention. This intention could be promoted with anything we have by hand, accepting the associations that such stimuli suggest at diverse moments, and allowing us to calibrate without prejudice, all the possibilities.

We proceeded to define the conditions for the technical feasibility of the projects through study models in 1:10 scale, knowing that experimentations in architecture can hardly intervene real spaces and that light is indifferent to scale (its appearance in a reduced model is identical in form and intensity than what will be in real dimension) (Pattini, 2009).

The quality and quantity of light in the models was instrumentally measured in various alternatives, which threw sufficient data and criteria (in technical, spatial and perceptual aspects) to decide the solution to be developed into a prototype 1:1 scale, the **Atrapaluz**. This allowed us to verify the real lighting efficiency, the ergonomic improvements and its feasibility of installation. After creating the prototype, a modified version of its shape was applied to a real case (in an experimental model) that maintained physical principles used in the Atrapaluz prototype.

To evaluate the results of all proposals we used ergonomic criteria considering that optimization of comfort and effectiveness of tasks is fundamental in designing for any human activity, based on the triad of usability: effectiveness, efficiency and satisfaction (ISO 9241-11, 1998). Thus, during the process, the product was transformed while transforming its architectural intervention possibilities: the architectural intervention became indistinguishable from the design product, being part in the evaluation, installation and use. The limits of architectural perception and practical design merge in the transformation of places when you are looking for a new user experience. Space modification implies loss of the limits between design and architecture, while the product becomes 'with and in' architectural intervention.

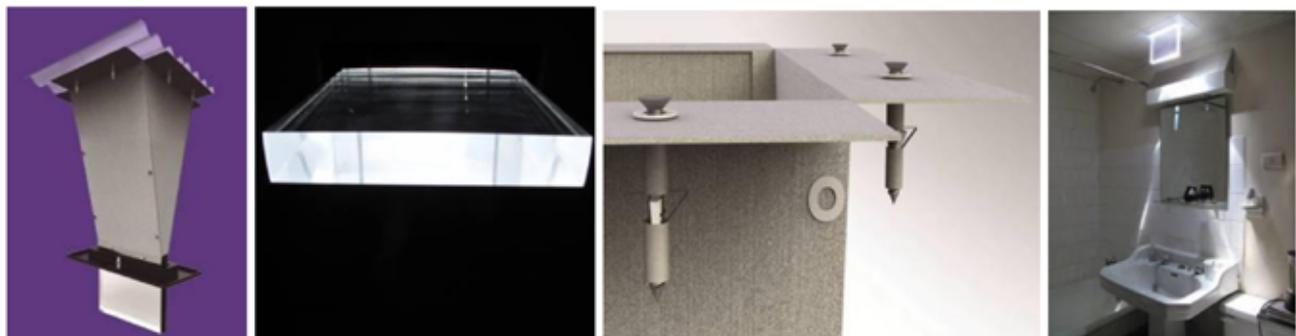


Figure 1 – Atrapaluz prototype

## 4 The UVP case

UVP is a complex of middle class apartment blocks, built in the fifties that have 70m long and with four levels each. We choose this case to work in because it is considered a Modernist Heritage, a new and interesting case of Patrimony. We worked in the central corridor of the second floor, which is 32m long from the central stairway. During the day it has serious problems of darkness and glare because of an only source of natural light (a window) placed at the end of the corridor. Inhabitants are forced to use electrical lighting during 24hrs every day of the year in order to eliminate darkness and minimize glare that impede a good visibility in the corridor.

The visible effects in the models were evaluated by experimental subjects (inhabitants of the building) that emit their perceptual appreciation on a conventional punctuated range. In the other hand, it was also evaluated by the research team, whose judgment considered various aspects: the type of optical phenomenon of the light (simple reflection, diffusion, refraction, total internal reflection, etc.), shadows, spots of light; disintegrating effects of the materials, etc.

### 4.1. Actual perception at UVP

Current daylighting sources: hall 32m long, 2.5m tall with 6 opaque doors of apartments, 3 on each side. The central hall gives some indirect light from the outside. The picture shows the only source of direct natural light at its end (north), through a window that occupies the entire wall. This situation causes a strong glare because the rest of the corridor remains in almost total darkness.

Effect of the quality of surfaces: the walls are semi gloss and white and they produce diffuse reflected light from the background window, increasing a little the illuminance in the hallway. The floor is black, shiny and polished and produces reflection of the window, but doesn't contribute to increase the overall illuminance. The glare effect increases with the distance from the window. At 24 m doors hardly differ during the day.

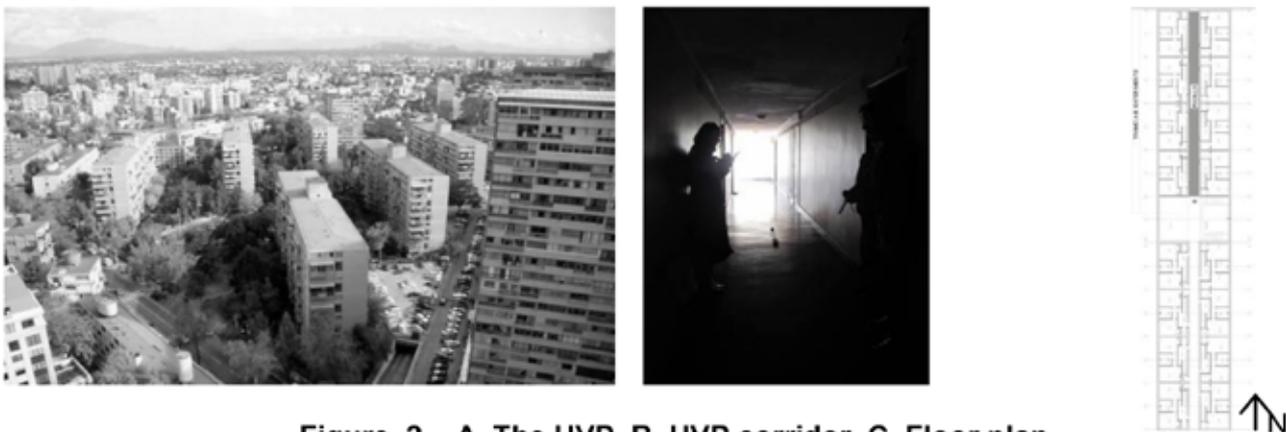


Figure 2 – A. The UVP. B. UVP corridor. C. Floor plan

#### 4.1.1. Spatial perception

a. Understanding the shape of the place: while the spot light is farthest, the hallway exposes better its rectangular section, but never its true length. The huge power of window light and its luminance at the end of the corridor do not allow comprehending the shape and boundaries of the place during the day. Its powerful brightness makes it look as a cylinder box as we approach to the focus.

b. Comprising depth. The doors are arranged at irregular distances that prevent to infer modules to estimate length and amount. The bright end seems to be closer, thus perceptual distance is shorter. Hiding their true length can be positive in an excessive long hallway.

c. Constitutive peculiarities of architectural space: darkness level in this place, obscure architectural details (cornices and baseboards) reinforcing the notion as tunnel space. An aesthetic intention in rhythmic accents of the doors is not understood.

d. Pragmatic key for habitability: There is a tract of the hallway where the doors details are unnoticed, neither their numbers nor their locks. People are seen as silhouettes and their faces are not recognizable, suggesting insecurity.

## 5 Alternatives Proposals for UVP Corridor

Two proposals were developed for this case: a **Reflective Slatted Shutters** and an **Anidolic System**. The optical principles developed for the Atrapaluz system were tested in both cases. Knowing that light is not affected by scale (Pattini, op.cit.), we conducted quantitative evaluations of proposals in two scale models each (1:25 and 1:10). For qualitative evaluation we assessed them in-situ using projection of photomontage techniques for opposed stages: current and projected state. The experimental work is now completed for the Anidolic System for the UVP building, while the analyses for Reflective Slatted Shutters for the same corridor are in progress. Nevertheless, we present here a description of both perceptual effects.

### 5.1. Reflective Slatted Shutters

In the first proposal, for the capture zone we used a reflective and movable set of slatted shutters (ideally associated to an heliostat-system), whose light beams converged at 10 m from the light capture point. This point is the new beginning of the reflective false ceiling. Thus, in the first part of the corridor, light trajectory does not have intermediate reflections so it can reach the end of the space with a shorter reflective box: this produces few rebounds and fewer losses. The final emission was done only at the darkest corridor zone, also with PMMA transparent plates.

Daylighting sources: This alternative proposes to use the entire surface of the window as a source of natural light, but directing and converging the incident rays to a distant point where the ceiling begins. From this point the light travels through the ceiling (as a *lumiduct*) and emits its light in PMMA prisms arranged in the corridor. The shutter can be controlled by a heliostat system.

Effect of the quality of surfaces: While most of the rays are able to concentrate during the day to illuminate the interior of the hall, closer to the window it creates an interesting effect by the reflection promoted in the satiny walls. In the *lumiduct* ceiling we have installed many pmma boards to diffuse and give off light, increasing the illuminance in the corridor.

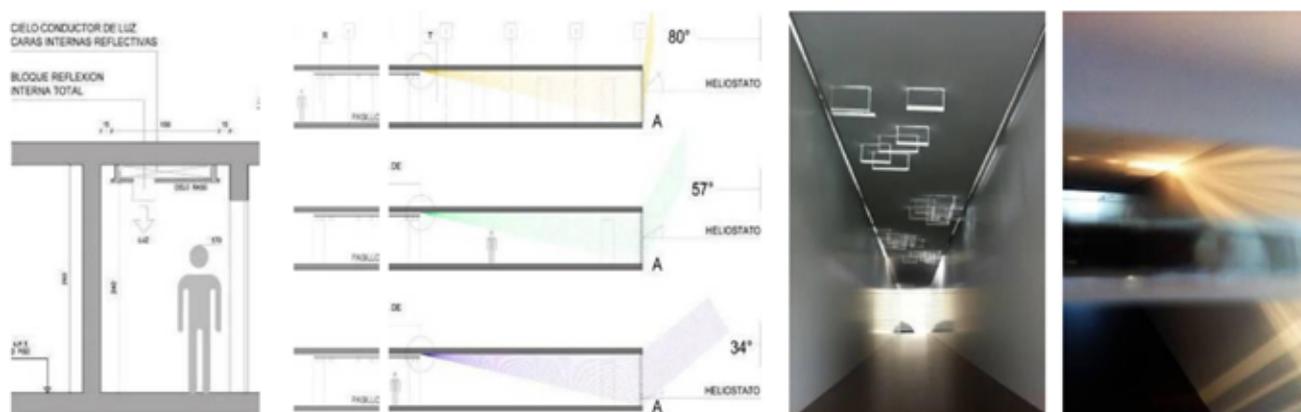


Figure 3 – A. UVP corridor seccion. B. Converging sunrays scheme. C. Interior images

#### 5.1.1. Spatial perception

a. Understanding the shape of the place: In this alternative, when the sightless allowed to enter a low light, the 'space box' seems to expand and promotes misleading by the reflections and multiplication of light in the walls. The most interesting effect is that the horizontal banding of the slatted shutters also produces an increase in its height (by Helmholtz illusion).

b. Comprising depth. When the background (window) is very luminous, it surpasses every other focus of attention, so perception is dizzying to that point, shortening the distance perception, turning off any other detail. Instead, when the background is dark and the glare disappears, the light plates that come down from the ceiling appears and illuminate the hallway.

c. Constitutive peculiarities of architectural space: The side walls, as limits, are not very important with the shutter open because reflections are low. The floor and ceiling, however, become important in perception. When the background is dark, the ceiling takes importance with its lighting plates and walls are enhanced with powerful light spots. In that scenario the floor and the sightless almost disappear.

d. Pragmatic solution for habitability: This alternative provides a high degree of illumination in the two situations, half open and closed, allowing a good habitability.

## 5.2. Lighting with Anidolic System at UVP

In the second proposal, the capture zone was performed using an anidolic system; the distribution zone was worked in a reflective box over all the ceiling and emission part was achieved with transparent PMMA plates hanging along the ceiling, until 32 meters away.

Daylighting sources: A screen is placed at the background (window) to prevent glare and which is part of the collector. The incident rays on the façade are redirected to the reflective lumiduct ceiling. The ceiling plates are longitudinally arranged PMMA, not parallel to the corridor, which transmit light by total internal reflection.

Effect of the quality of surfaces: The visible surface of the lumiduct ceiling is smooth and semi glossy. The zigzag light fold where plates are inserted as a keel, so reflections and glare are not monotonic but discontinuous breaks that avoid monotony. Each light stretch is replicated on the polished floor.

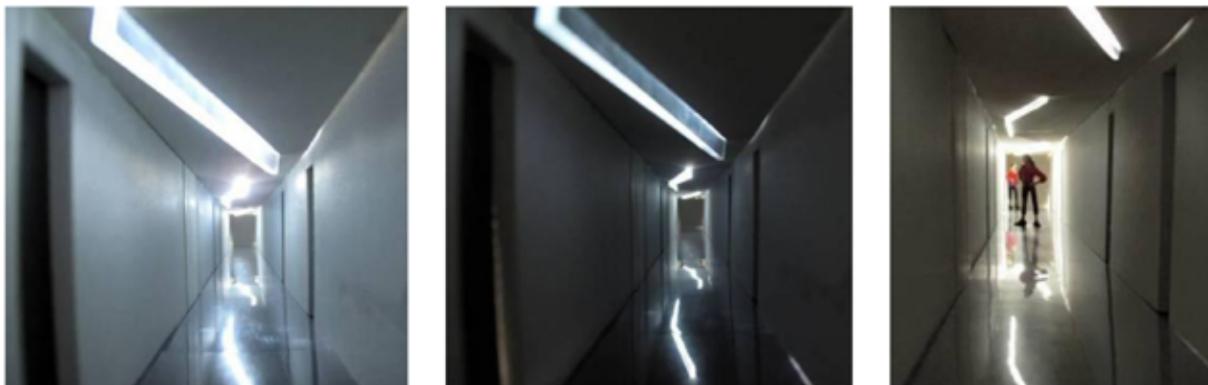
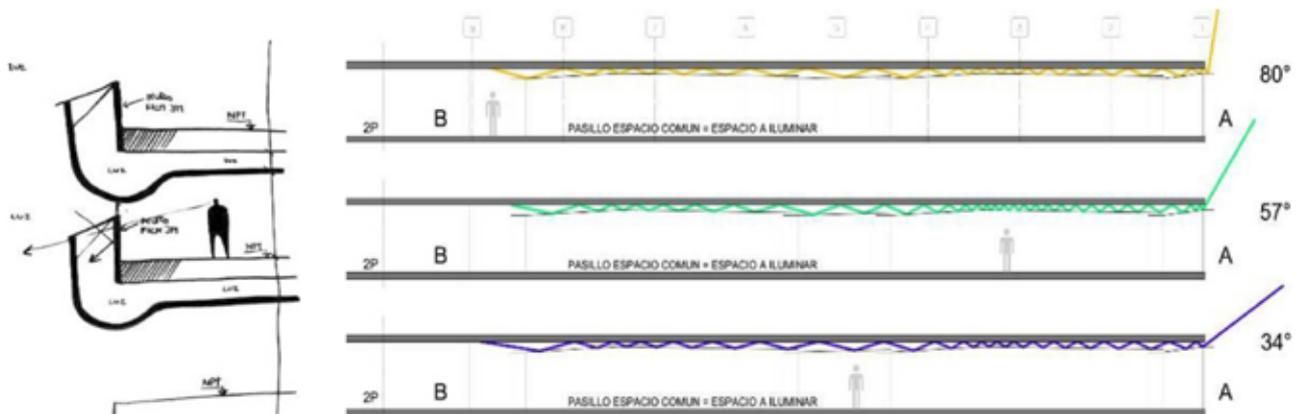


Figure 4 - A. Idea schemes. B. Interior images of path sunlight.

### 5.2.1. Spatial perception

- a. Understanding the shape of the place: Tunnel feeling is gone, replaced by a space with a central, dynamic and unpredictable axis. Its shape produces inflections and inquiries, promoting visual interest. Walls definition and its boundaries are clear.
- b. Comprising depth. With only three non-parallel linear features, the hall seems shortened by two reasons: the length of the beam lines tends to generate a *gestalt* compressed zigzag.
- c. Constitutive peculiarities of architectural space: Light lines that allow seeing the silhouette of the window gives a better sensation to the space perception. Ground floor is easily distinguishable from the walls and accidents.
- d. Pragmatic solution for habitability: Glare disappearance and increased brightness (though slight) make doors distinguishable, including its location, numbers and locks. People are also more easily identifiable in all the way.

## 6 Evaluation and results

The alternative with Anidolic System was quantitatively evaluated with a luxometer to measure illuminance levels every meter along the corridor, at different dates, seasons and times of the day, keeping the study model towards the precise real orientation because we worked without a heliodon.

Qualitative evaluation compared the actual situation of corridor and the proposed one with Atrapaluz, in its aesthetic and functional effects, and also dimensional aspects perceived with and without light intervention. An exploratory tool was developed by a Psychologist, consisting in a survey to compare a set of 24 opposite pairs of relevant items that were presented to a sample of 19 inhabitants of the building. They were exposed to scenes with and without the Atrapaluz intervention, so they could compare the effects *in situ* and answer the survey. Analyses were divided into three stages: i) Analysis of perceived attributes and accidents perception in current conditions, ii) Analysis of perceived attributes and accidents with the Atrapaluz intervention and iii) Compare results to distinguish differences in perception and preferences between the two scenes.

### 6.1. Qualitative study

An exploratory research of aesthetics conditions of spatial perceptions was performed. It aims to identify and to associate the corridors in the UVP studied case. The study employed a qualitative approach, using a survey and data visualization in a monitor computer.

People included in the survey were at least 19 years old and they were currently living in the building. 38 surveys were applied but just 19 were collected. Each dimension was required to be measured in scale of 1 to 7.

### 6.2. Application procedures

Meetings were set previously with the management committee of the UVP complex in order to introduce them material and application procedures. The survey was applied using images displayed on screen visualization data display.

The case was presented to each person so they were able to observe *in situ* the corridor with the proposed Atrapaluz. The implementation was performed in two consecutive steps; the first was to use the survey regarding the current perception of the corridor, the second with the section on the project perception.

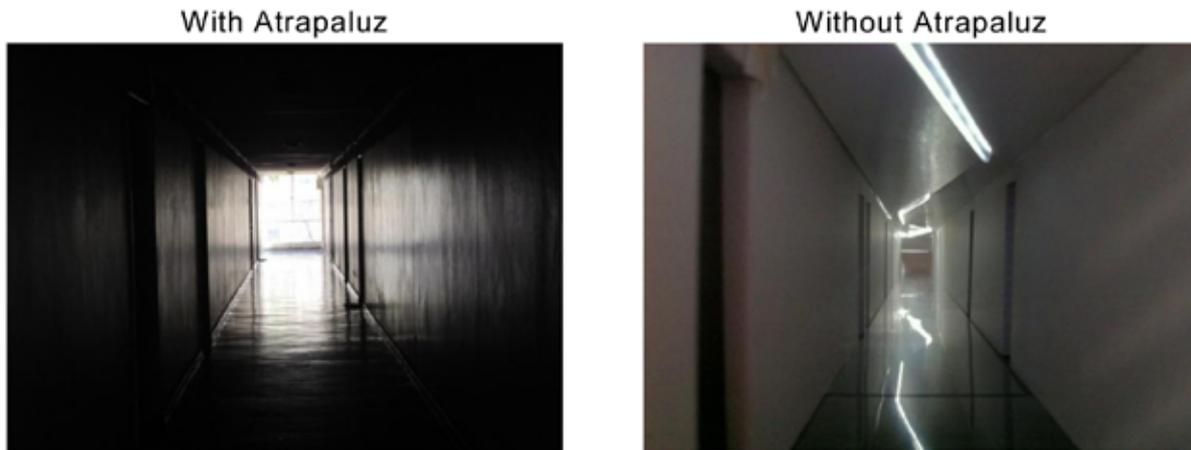


Figure 5 - Images shown in the application of the survey.

### 6.3. Results analysis

The analysis of results was divided into three stages. The first one refers to the perception analysis of the corridor attribute in the current conditions, it means without the Atrapaluz device. Subsequently, results of attributes perceived with Atrapaluz intervention were analyzed. Finally, results of previous steps were compared to determine if there was a modification of perception and any preference (with or without the Atrapaluz proposal) for the corridor.

**Step 1 ( Perception without Atrapaluz intervention ):** according to the interpretation of responses, the results obtained suggest that initially the corridor was categorized as heavy, sad , dark , nasty, boring, useless, uncomfortable, expulsive , locked , gray. It was also classified as cold, simple , spacious , quiet , tall and big. Moreover, regarding perception of the corridor lights, on average, subjects felt that there were three lights in the corridor. Additionally, according to the presented categorization, it was possible to establish that people consider lighting unpleasant and inadequate, even when they did not find anything good or bad about their location. Finally, from this data, it was possible to conclude that people consider the colour of walls, floor and sky of the corridor as diffuse, the end of the corridor as clear, and they thought that it makes difficult to clearly see clothing or faces.

Concerning the luminaries, the data were obtained shown that on average only one subject considers there are 3 lighting in the corridor. Furthermore, using the scale mapping criteria previously described, it is possible to state that people considered lighting unpleasant and insufficient, but do not find anything good or bad about their location.

**Step 2 ( Perception with intervention Atrapaluz ):** Results allowed to conclude that the corridor was qualified as safe , bright, cheerful, clear , simple, nice, interesting , quiet , useful , comfortable, cozy and colourful. Moreover, regarding perception of the corridor lights, again, on average, subjects felt that there were approximately three lights in the corridor and according to the categorization previously presented, it was possible to state that people perceive the corridor as properly illuminated, nice and well-located after intervention. Finally, it was possible to conclude that people considered colour of the walls, floor and ceiling clear. They also estimated that it is easy to see clothes, but they don't distinguish as easy or difficult to see clearly people's faces in the corridor.

Concerning the luminaries, the data were obtained shown that on average subjects considers there are 3.2 lighting in the corridor. Furthermore, using the scale mapping criteria previously described, it is possible to state that people considered lighting as sufficient, nice and well placed after the intervention. No group differences were found regarding these distributions.

**Step 3 (perception comparison with / without Atrapaluz intervention):** Regarding the corridor and its equipment, as previously stated, definitions performed by the subjects did change after the proposed enhancement. So far, most of the studied dimensions of analysis related to perception were differentially evaluated by the subjects after the simulation with Atrapaluz was presented. That means it was possible to change the perception of the responders regarding the attributes of the corridor as an object of study.

In this sense, there were changes in all features except complexity, length, noise, symmetry, closure, height and size. All of these characteristics are associated with the dimensional space rather than to attribute from the "Atrapaluz" itself as spatial aesthetic perception contribution to the residents of UVP neighbourhood.

As previously stated, regarding the corridor and its equipment, the definition that those subjects performed during the study changed. Below it is shown a curve that contains perceptions before and after (with and without the Atrapaluz intervention).

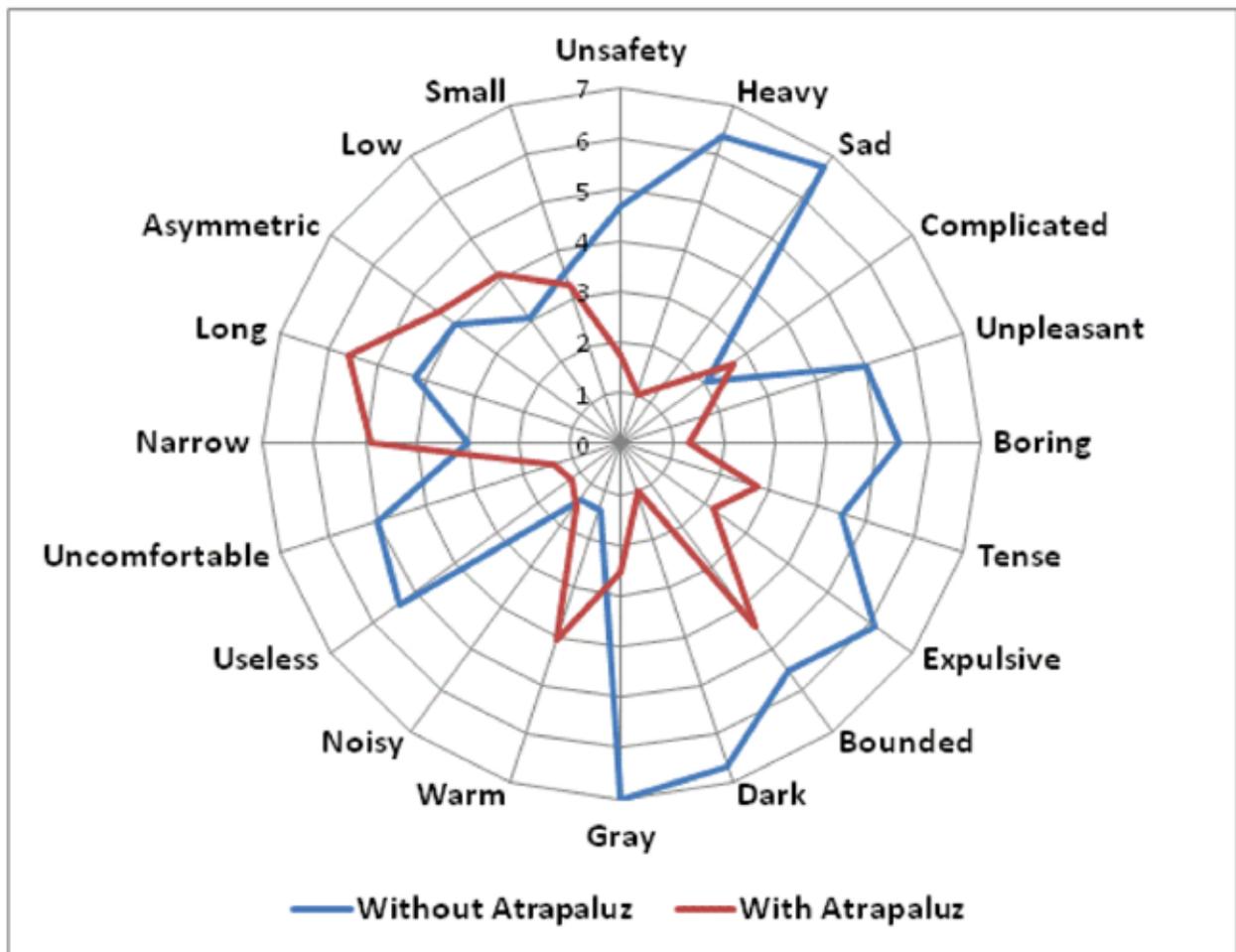


Figure 6 - Graphic results of comparison perception with and without the Atrapaluz (measured in scale of 1 to 7).

For each dimension, averages were subtracted from each other to highlight variations due to Atrapaluz effect and the results are shown in the following figure.

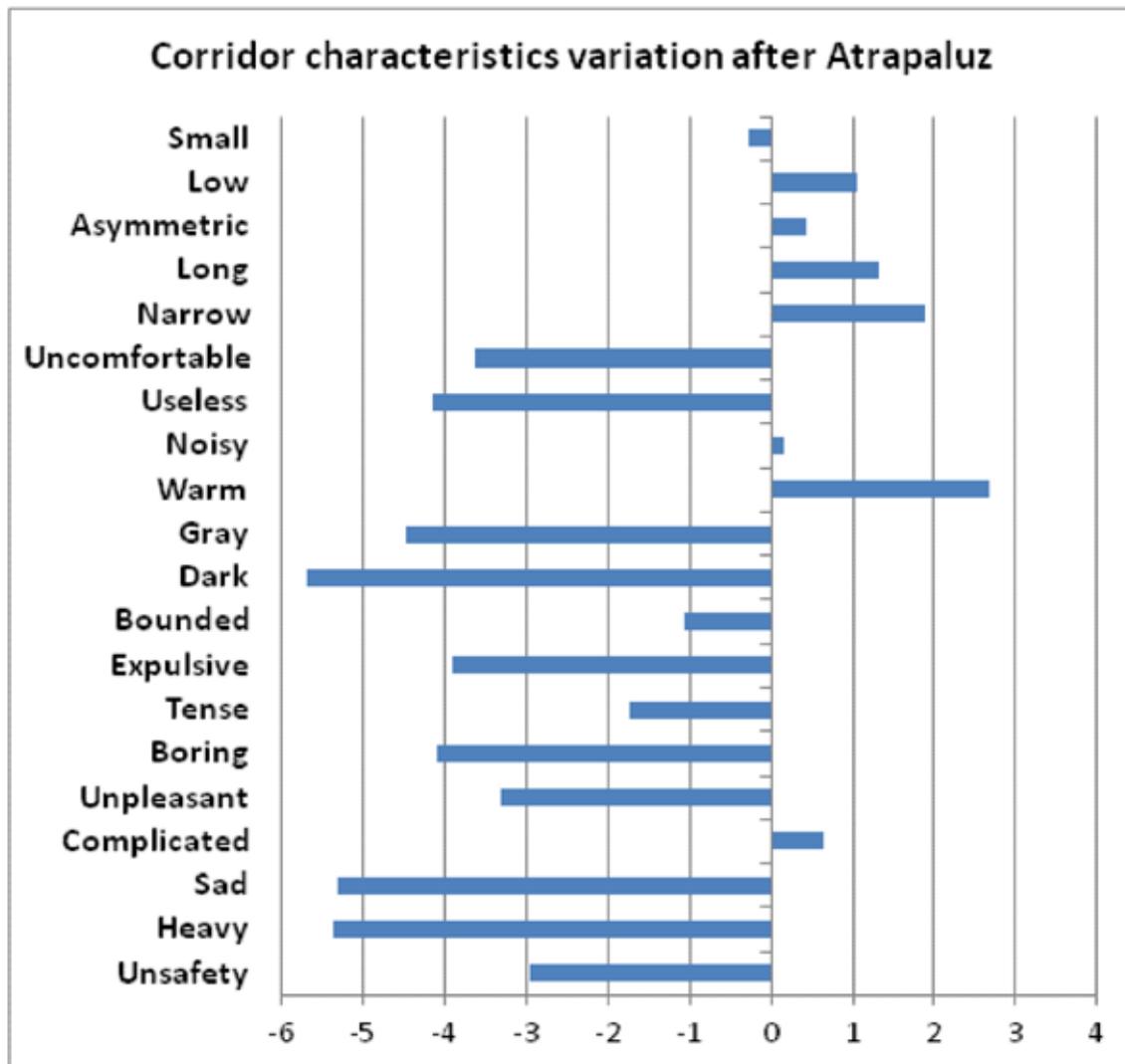


Figure 7 - Graphic of variation after Atrapaluz.

## 7 Conclusions

Quantitative results show that despite the device did not achieve minimum illuminance levels for a public space (100 lx); there was a significant glare decrease, which improves the performance in scotopic vision.

Qualitative results show that in 18 of the 24 comparative questions (75%) there were positive perception changes in the inhabitant sample. Results of comparison between these two situations lead to conclude that there were positive perceptual changes in most of the dimensional space aspects without significant changes in illuminance levels. That means it was possible to change perception of responders regarding the attributes of the corridor as an object of study.

From a cognitive ergonomics perspective, the intervention Atrapaluz in the UVP case makes it more accessible because it increases the ability to receive information of the corridor by increasing its lighting level and reducing uncertainty of people (Cañas, 2001). Therefore, it increases both the perception of security and the ability to perform decisions during the act of walking the corridor.

The achievement of perceptual changes and habitability improvements is perhaps the main concern for architects and designers. In all operated cases, a better presence of real space, its architectural and functional accidents are evident. On the other hand and most importantly, the alternative use of the appliance at different times of day, provide new insights - formal and

dimensional – of an stimulating space, always providing interest and attention of the inhabitants.

So, it could be argued that design lighting solutions should be considered early in the design process to promote accessibility of daylighting systems to the people, providing further visual comfort experiences for human living.

To finish, effectively Atrapaluz intervention improves perception of space by inhabitants, which means that it becomes more comfortable with the use of natural light and its dynamic changes, the final goal of this work.

## Acknowledgements

We'd like to thanks to Victor Nadal for his assist to development the prototypes. Also to Carlos Díaz Canepa, for his help in the analysis of the survey and their results. Finally to Betzabe Ortiz for her effort during the application of the surveys.

## References

- CAÑAS, J.J., AND WAERN, Y., 2001. *Ergonomía Cognitiva*. Editorial Médica Panamericana, Madrid.
- CHANFÓN, C., 1984. *Fundamentos teóricos de la Restauración*. UNAM, México D.F.
- ISO 9241-11. *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) Part 11: Guidance on usability*, 1998.
- LETELIER, S. 2000. *Caleidoscopio de la creatividad*. Editorial Universitaria, Santiago.
- MATURANA, H; MPODOZIS J., 1987. Percepción: *Configuración conductual del objeto*. Arch. Biol. Med. Exp. 20: 319-328
- NOE, A., 2004. *Action in Perception*. MIT Press. Boston
- NORMAN, Donald A., 2004. *El Diseño Emocional*. Editorial Paidós, Barcelona
- PATTINI, A., 2009. *La Luz Natural en las Escuelas*. Ed. Dunken, Buenos Aires
- REA, M., 2007. *More than vision*. Editorial Domus, Milán
- UNESCO. World Conference on Cultural Policies, Mexico DF, July 26 - August 6, 1982

## **ANEXO IV**

# **PLANOS SECCIONALES PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE LA SERENA**







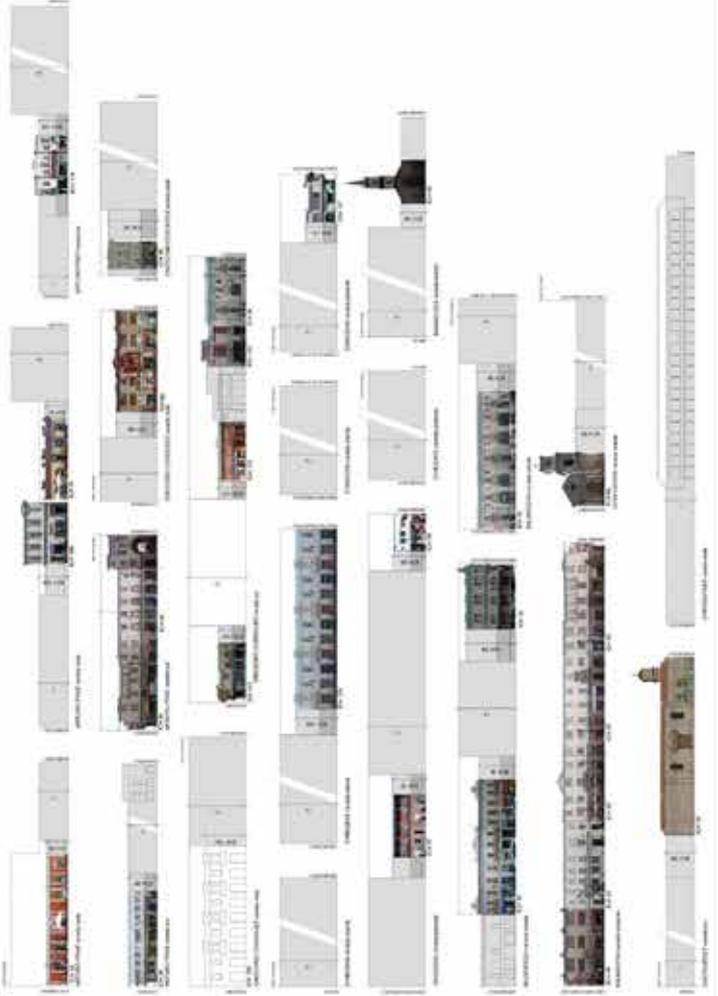
**1. LÍMITES**  
Escala: 1:500



**GRÁFICO FACHADAS**  
Escala: 1:50

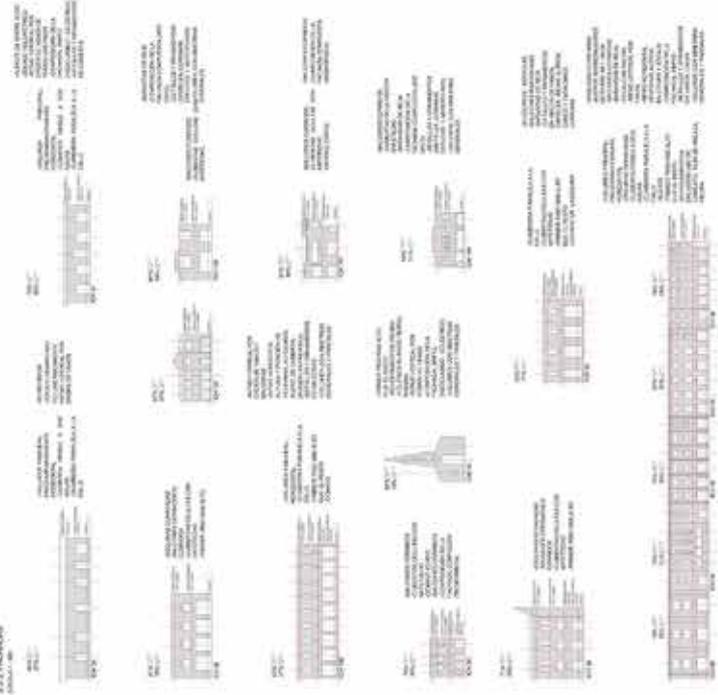
**2. SITUACIÓN EXISTENTE**

**2.1 ELEVACIONES**



**2.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS Y ARQUITECTÓNICOS**

**2.2.1 FACHADAS**



**2.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS Y ARQUITECTÓNICOS**

**2.2.2 ALABANOS**



**PLANO SECCIONAL**

**BALACADA REATONALES (PS 7)**

**GOBIERNO**  
MUNICIPALIDAD DE LA SERENA

**LAJUNA**  
17

**PROYECTO**  
15 DE ABRIL DE 2011

**TRAZO**  
SERENA, CHILE

**ALABANOS**

**LEGENDA**

ALABANO  
FACHADA  
ALABANO  
FACHADA

**INDICADOR**

ALABANO  
FACHADA  
ALABANO  
FACHADA

**INDICADOR**

ALABANO  
FACHADA  
ALABANO  
FACHADA

**ETAPA 3 : PROYECTO**

**ESTUDIO DE PLANOS SECCIONALES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA SERENA**

**PLANO SECCIONAL**  
**BALMUEDA PEATONALES (PS 7)**

**CONTENIDO**  
 PLANOS DE PLANTAS Y SECCIONES  
 PLANOS DE ALZOS Y VISTAS  
 PLANOS DE DETALLE

**ESCALA**  
 1:100



**LEGENDA**

1	PLANTA DE PLANTAS Y SECCIONES
2	PLANTA DE ALZOS Y VISTAS
3	PLANTA DE DETALLE

**ESTUDIO DE PLANOS SECCIONALES DEL CENTRO HISTORICO DE LA SERENA**

**ETAPA 1. PROYECTO**

**CONDICIONES PARA REFACCIONES Y OBRAS NUEVAS**

**ELEMENTOS**

**Elementos de fachada:** Se debe considerar la conservación de los elementos de fachada que forman parte del patrimonio arquitectónico del edificio. En caso de ser necesario, se debe utilizar materiales y técnicas que permitan la reproducción fiel de los originales.

**Elementos de estructura:** Se debe considerar la conservación de la estructura existente, así como la ejecución de nuevas obras que permitan mejorar la estabilidad y seguridad del edificio.

**Elementos de interiores:** Se debe considerar la conservación de los elementos de interiores que forman parte del patrimonio arquitectónico del edificio. En caso de ser necesario, se debe utilizar materiales y técnicas que permitan la reproducción fiel de los originales.



**COMPOSICION DE LA FACHADA**

**Composición de la fachada:** Se debe considerar la composición de la fachada como un elemento clave del patrimonio arquitectónico del edificio. Se debe utilizar materiales y técnicas que permitan la reproducción fiel de los originales.

**Composición de la fachada:** Se debe considerar la composición de la fachada como un elemento clave del patrimonio arquitectónico del edificio. Se debe utilizar materiales y técnicas que permitan la reproducción fiel de los originales.



**MATERIALIDAD**

**Materialidad:** Se debe considerar la materialidad de los elementos de fachada y estructura, así como la ejecución de nuevas obras que permitan mejorar la estabilidad y seguridad del edificio.

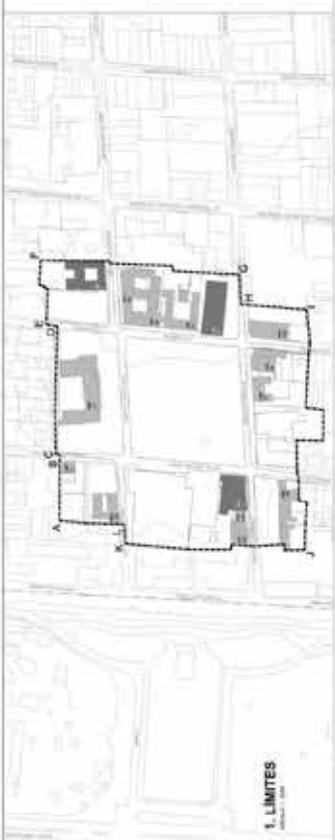
**Materialidad:** Se debe considerar la materialidad de los elementos de fachada y estructura, así como la ejecución de nuevas obras que permitan mejorar la estabilidad y seguridad del edificio.

**DOLOR**

**Dolor:** Se debe considerar el dolor de los elementos de fachada y estructura, así como la ejecución de nuevas obras que permitan mejorar la estabilidad y seguridad del edificio.

**Dolor:** Se debe considerar el dolor de los elementos de fachada y estructura, así como la ejecución de nuevas obras que permitan mejorar la estabilidad y seguridad del edificio.

**GRÁFICO FACHADAS**



**1. LÍMITES**

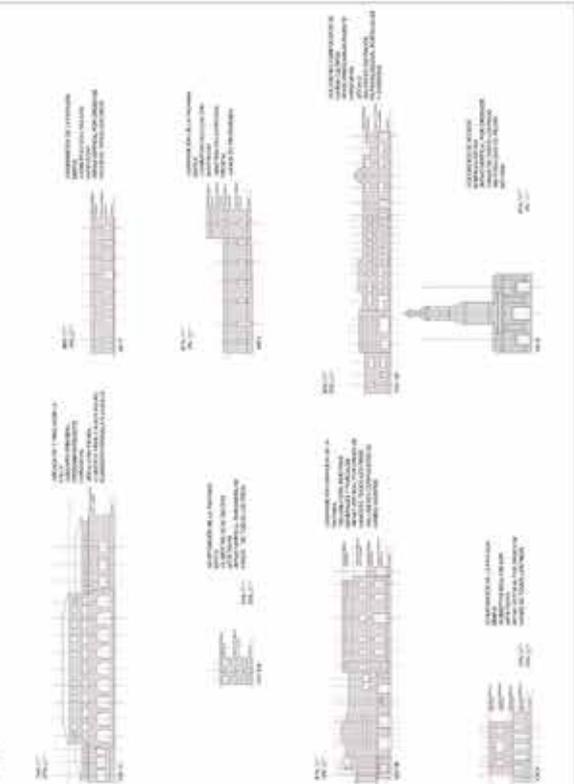
**2. SITUACIÓN EXISTENTE**

**2.1 ELEVACIONES**



**2.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS Y ARQUITECTÓNICOS**

**2.2.1 FACHADAS**



**2.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS Y ARQUITECTÓNICOS**

**2.2.2 ALBANTOS**



**PLANO SECCIONAL**  
PLAZA DE ARMAS  
(09/16)

**CONTENIDO**  
ANÁLISIS DE SITUACIÓN  
EXISTENTE

**LEGENDA**  
LÍMITES  
1.1  
MUR DE CERRAMIENTO  
COLUMBIAS 2014



**INDICADORES**

INDICADOR 1	INDICADOR 2	INDICADOR 3	INDICADOR 4
INDICADOR 5	INDICADOR 6	INDICADOR 7	INDICADOR 8
INDICADOR 9	INDICADOR 10	INDICADOR 11	INDICADOR 12
INDICADOR 13	INDICADOR 14	INDICADOR 15	INDICADOR 16
INDICADOR 17	INDICADOR 18	INDICADOR 19	INDICADOR 20
INDICADOR 21	INDICADOR 22	INDICADOR 23	INDICADOR 24
INDICADOR 25	INDICADOR 26	INDICADOR 27	INDICADOR 28
INDICADOR 29	INDICADOR 30	INDICADOR 31	INDICADOR 32
INDICADOR 33	INDICADOR 34	INDICADOR 35	INDICADOR 36
INDICADOR 37	INDICADOR 38	INDICADOR 39	INDICADOR 40
INDICADOR 41	INDICADOR 42	INDICADOR 43	INDICADOR 44
INDICADOR 45	INDICADOR 46	INDICADOR 47	INDICADOR 48
INDICADOR 49	INDICADOR 50	INDICADOR 51	INDICADOR 52
INDICADOR 53	INDICADOR 54	INDICADOR 55	INDICADOR 56
INDICADOR 57	INDICADOR 58	INDICADOR 59	INDICADOR 60
INDICADOR 61	INDICADOR 62	INDICADOR 63	INDICADOR 64
INDICADOR 65	INDICADOR 66	INDICADOR 67	INDICADOR 68
INDICADOR 69	INDICADOR 70	INDICADOR 71	INDICADOR 72
INDICADOR 73	INDICADOR 74	INDICADOR 75	INDICADOR 76
INDICADOR 77	INDICADOR 78	INDICADOR 79	INDICADOR 80
INDICADOR 81	INDICADOR 82	INDICADOR 83	INDICADOR 84
INDICADOR 85	INDICADOR 86	INDICADOR 87	INDICADOR 88
INDICADOR 89	INDICADOR 90	INDICADOR 91	INDICADOR 92
INDICADOR 93	INDICADOR 94	INDICADOR 95	INDICADOR 96
INDICADOR 97	INDICADOR 98	INDICADOR 99	INDICADOR 100

**ESTUDIO DE PLANOS SECCIONALES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA SERENA**



**ETAPA 3 - PROYECTO**

**PLANO SECCIONAL**  
PLAZA DE ARMAS  
(P8 8)

CONTENIDO	LIMITES	LEYES
CONDICIONES PARA REFACCIONES Y OBRAS NUEVAS	CONDICIONES PARA REFACCIONES Y OBRAS NUEVAS	PLAZA DE ARMAS
CONDICIONES PARA REFACCIONES Y OBRAS NUEVAS	CONDICIONES PARA REFACCIONES Y OBRAS NUEVAS	CONDICIONES PARA REFACCIONES Y OBRAS NUEVAS



<b>IMPERMEABLES</b>	<b>AMBIOS/OCA</b>
011: SUELO IMPERMEABLE	01: SUELO IMPERMEABLE
012: SUELO IMPERMEABLE	02: SUELO IMPERMEABLE
013: SUELO IMPERMEABLE	03: SUELO IMPERMEABLE
014: SUELO IMPERMEABLE	04: SUELO IMPERMEABLE
015: SUELO IMPERMEABLE	05: SUELO IMPERMEABLE
016: SUELO IMPERMEABLE	06: SUELO IMPERMEABLE
017: SUELO IMPERMEABLE	07: SUELO IMPERMEABLE
018: SUELO IMPERMEABLE	08: SUELO IMPERMEABLE
019: SUELO IMPERMEABLE	09: SUELO IMPERMEABLE
020: SUELO IMPERMEABLE	10: SUELO IMPERMEABLE
021: SUELO IMPERMEABLE	11: SUELO IMPERMEABLE
022: SUELO IMPERMEABLE	12: SUELO IMPERMEABLE
023: SUELO IMPERMEABLE	13: SUELO IMPERMEABLE
024: SUELO IMPERMEABLE	14: SUELO IMPERMEABLE
025: SUELO IMPERMEABLE	15: SUELO IMPERMEABLE
026: SUELO IMPERMEABLE	16: SUELO IMPERMEABLE
027: SUELO IMPERMEABLE	17: SUELO IMPERMEABLE
028: SUELO IMPERMEABLE	18: SUELO IMPERMEABLE
029: SUELO IMPERMEABLE	19: SUELO IMPERMEABLE
030: SUELO IMPERMEABLE	20: SUELO IMPERMEABLE

**ESTUDIO DE PLANOS SECCIONALES DEL CENTRO HISTORICO DE LA SERENA**

**ETAPA 3 : PROYECTO**

**CONDICIONES PARA REFACCIONES Y OBRAS NUEVAS**

**ELEMENTOS**

Las condiciones para refacciones y obras nuevas se establecen en base a los elementos que conforman el patrimonio arquitectónico y urbano del centro histórico de la Serena, considerando su estado de conservación, su valor histórico, cultural y urbano, y su integración con el entorno urbano actual.

Se establecen las siguientes condiciones:

- Las refacciones y obras nuevas deben respetar el carácter histórico y urbano del centro histórico de la Serena.
- Se deben utilizar materiales y técnicas tradicionales, o equivalentes en calidad y durabilidad.
- Se deben respetar las alturas máximas establecidas para cada zona del centro histórico.
- Se deben respetar los volúmenes y formas tradicionales de las edificaciones.
- Se deben respetar los detalles constructivos y decorativos característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los espacios públicos y áreas verdes existentes.
- Se deben respetar las infraestructuras subterráneas y aéreas existentes.

**MATERIALIDAD**

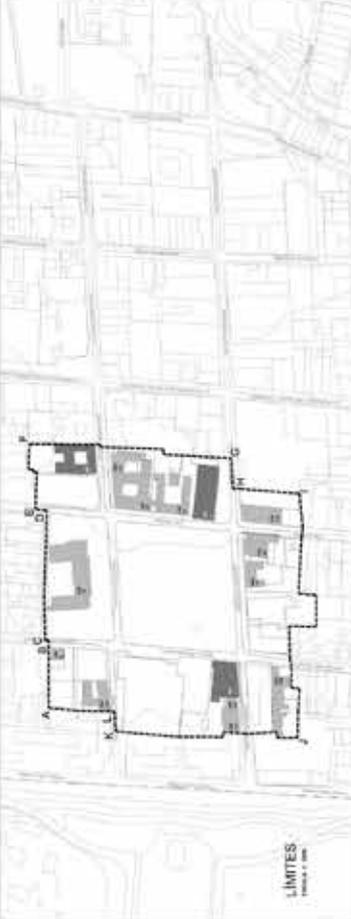
La materialidad de las edificaciones debe ser acorde con el patrimonio arquitectónico del centro histórico de la Serena. Se establecen las siguientes condiciones:

- Se deben utilizar materiales tradicionales, o equivalentes en calidad y durabilidad.
- Se deben respetar los acabados y detalles constructivos característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los colores tradicionales de las fachadas.
- Se deben respetar los tipos de ventanas, puertas y balcones característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los tipos de techos y cubiertas tradicionales.

**COLOR**

Los colores de las fachadas deben ser acorde con el patrimonio arquitectónico del centro histórico de la Serena. Se establecen las siguientes condiciones:

- Se deben utilizar colores tradicionales, o equivalentes en calidad y durabilidad.
- Se deben respetar los tonos y matices característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los contrastes de color tradicionales.
- Se deben respetar los tipos de pinturas y acabados tradicionales.



**COMPOSICION DE LA FACHADA**

La composición de la fachada debe ser acorde con el patrimonio arquitectónico del centro histórico de la Serena. Se establecen las siguientes condiciones:

- Se deben respetar los tipos de ventanas, puertas y balcones característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los tipos de molduras y detalles decorativos característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los tipos de techos y cubiertas tradicionales.
- Se deben respetar los tipos de volúmenes y formas tradicionales de las edificaciones.



**VOLUMETRIA**

La volumetría de las edificaciones debe ser acorde con el patrimonio arquitectónico del centro histórico de la Serena. Se establecen las siguientes condiciones:

- Se deben respetar las alturas máximas establecidas para cada zona del centro histórico.
- Se deben respetar los volúmenes y formas tradicionales de las edificaciones.
- Se deben respetar los tipos de techos y cubiertas tradicionales.
- Se deben respetar los tipos de volúmenes y formas tradicionales de las edificaciones.

**COMPOSICION DE LA FACHADA**

La composición de la fachada debe ser acorde con el patrimonio arquitectónico del centro histórico de la Serena. Se establecen las siguientes condiciones:

- Se deben respetar los tipos de ventanas, puertas y balcones característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los tipos de molduras y detalles decorativos característicos del patrimonio arquitectónico.
- Se deben respetar los tipos de techos y cubiertas tradicionales.
- Se deben respetar los tipos de volúmenes y formas tradicionales de las edificaciones.



**PLANO SECCIONAL**  
**AVENIDA PEDRO PABLO MUÑOZ**  
 (PS 9)

**CONTENIDO**  
 LÁMINA 1.01  
 PLANOS SECCIONALES  
 FECHA: 14 DE ABRIL DE 2014



**REFERENCIAS**

01	SECCIONES
02	PLANO SECCIONAL
03	PLANO SECCIONAL
04	PLANO SECCIONAL
05	PLANO SECCIONAL
06	PLANO SECCIONAL
07	PLANO SECCIONAL
08	PLANO SECCIONAL
09	PLANO SECCIONAL
10	PLANO SECCIONAL
11	PLANO SECCIONAL
12	PLANO SECCIONAL
13	PLANO SECCIONAL
14	PLANO SECCIONAL
15	PLANO SECCIONAL
16	PLANO SECCIONAL
17	PLANO SECCIONAL
18	PLANO SECCIONAL
19	PLANO SECCIONAL
20	PLANO SECCIONAL
21	PLANO SECCIONAL
22	PLANO SECCIONAL
23	PLANO SECCIONAL
24	PLANO SECCIONAL
25	PLANO SECCIONAL
26	PLANO SECCIONAL
27	PLANO SECCIONAL
28	PLANO SECCIONAL
29	PLANO SECCIONAL
30	PLANO SECCIONAL
31	PLANO SECCIONAL
32	PLANO SECCIONAL
33	PLANO SECCIONAL
34	PLANO SECCIONAL
35	PLANO SECCIONAL
36	PLANO SECCIONAL
37	PLANO SECCIONAL
38	PLANO SECCIONAL
39	PLANO SECCIONAL
40	PLANO SECCIONAL
41	PLANO SECCIONAL
42	PLANO SECCIONAL
43	PLANO SECCIONAL
44	PLANO SECCIONAL
45	PLANO SECCIONAL
46	PLANO SECCIONAL
47	PLANO SECCIONAL
48	PLANO SECCIONAL
49	PLANO SECCIONAL
50	PLANO SECCIONAL
51	PLANO SECCIONAL
52	PLANO SECCIONAL
53	PLANO SECCIONAL
54	PLANO SECCIONAL
55	PLANO SECCIONAL
56	PLANO SECCIONAL
57	PLANO SECCIONAL
58	PLANO SECCIONAL
59	PLANO SECCIONAL
60	PLANO SECCIONAL
61	PLANO SECCIONAL
62	PLANO SECCIONAL
63	PLANO SECCIONAL
64	PLANO SECCIONAL
65	PLANO SECCIONAL
66	PLANO SECCIONAL
67	PLANO SECCIONAL
68	PLANO SECCIONAL
69	PLANO SECCIONAL
70	PLANO SECCIONAL
71	PLANO SECCIONAL
72	PLANO SECCIONAL
73	PLANO SECCIONAL
74	PLANO SECCIONAL
75	PLANO SECCIONAL
76	PLANO SECCIONAL
77	PLANO SECCIONAL
78	PLANO SECCIONAL
79	PLANO SECCIONAL
80	PLANO SECCIONAL
81	PLANO SECCIONAL
82	PLANO SECCIONAL
83	PLANO SECCIONAL
84	PLANO SECCIONAL
85	PLANO SECCIONAL
86	PLANO SECCIONAL
87	PLANO SECCIONAL
88	PLANO SECCIONAL
89	PLANO SECCIONAL
90	PLANO SECCIONAL
91	PLANO SECCIONAL
92	PLANO SECCIONAL
93	PLANO SECCIONAL
94	PLANO SECCIONAL
95	PLANO SECCIONAL
96	PLANO SECCIONAL
97	PLANO SECCIONAL
98	PLANO SECCIONAL
99	PLANO SECCIONAL
100	PLANO SECCIONAL

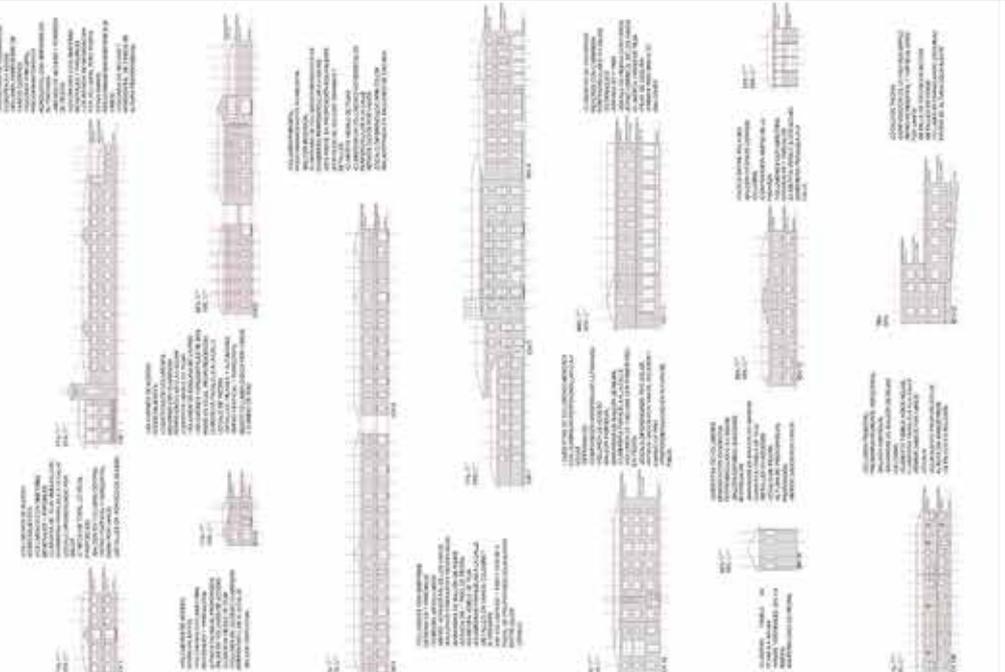
**ESTUDIO DE PLANOS SECCIONALES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA SERENA**

**ETAPA 3 - PROYECTO**

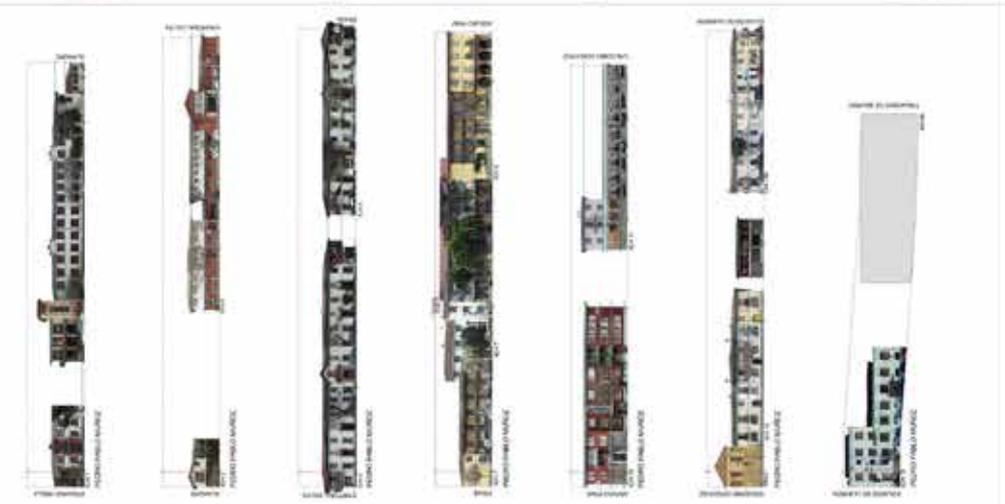
**2.2.3 LÍMITES**  
 2.2.3.1 LÍMITES



**2.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS Y ARQUITECTÓNICOS**  
 2.2.1 ASPECTOS



**2. SITUACIÓN EXISTENTE**  
 2.1 ELEVACIONES



**1. LÍMITES**  
 1.1 LÍMITES





