

JIDA'17

V JORNADAS
SOBRE INNOVACIÓN DOCENTE
EN ARQUITECTURA

WORKSHOP ON EDUCATIONAL INNOVATION
IN ARCHITECTURE JIDA'17

JORNADES SOBRE INNOVACIÓ
DOCENT EN ARQUITECTURA JIDA'17

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE SEVILLA
16 Y 17 DE NOVIEMBRE DE 2017

Organiza e impulsa **GILDA** (Grupo para la Innovación y Logística Docente en la Arquitectura), en el marco del proyecto RIMA (Investigación e Innovación en Metodologías de Aprendizaje), de la Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC) y el Institut de Ciències de l'Educació (ICE). <https://www.upc.edu/rima/ca/grups/gilda>

Editores

Daniel García-Escudero, Berta Bardí i Milà

Revisión de textos

Rodrigo Carbajal Ballell, Silvana Rodrigues de Oliveira, Jordi Franquesa

Edita

Iniciativa Digital Politècnica Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC

ISBN 978-84-9880-681-6 (UPC)

eISSN 2462-571X

D.L. B 9090-2014

© de los textos y las imágenes: los autores

© de la presente edición: Iniciativa Digital Politècnica Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC

Comité Organizador JIDA'17

Dirección, coordinación y edición

Berta Bardí i Milà (GILDA)

Dra. Arquitecta, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSAV-UPC

Daniel García-Escudero (GILDA)

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSAB-UPC

Organización

Rodrigo Carbajal Ballell (humAP)

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Jordi Franquesa (Coordinador GILDA)

Dr. Arquitecto, Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio, ETSAB-UPC

Joan Moreno Sanz (GILDA)

Dr. Arquitecto, Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio, ETSAV-UPC

Silvana Rodrigues de Oliveira (humAP)

Arquitecta, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Judit Taberna (GILDA)

Arquitecta, Departamento de Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC

Comité Científico JIDA'17

Rodrigo Almonacid Canseco

Dr. Arq., Dpt. de Teoría de la Arquitectura y Proyectos Arquitectónicos, ETSA Valladolid

Fernando Álvarez Prozorovich

Departamento de Historia y Comunicación, ETSAB-UPC

Atxu Amann Alcocer

Dra. Arquitecta, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSAM-UPM

Silvia Blanco

Dra. Arquitecta, Centro Superior de Estudios de Galicia, Universidad San Jorge

Ivan Cabrera i Fausto

Dr. Arq., Dpt. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, ETSA-UPV

Raúl Castellanos Gómez

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-UPV

Nuria Castilla Cabanes

Dra. Arquitecta, Departamento de Construcciones arquitectónicas, ETSA-UPV

Eduardo Delgado Orusco

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos de la Universidad de Zaragoza

Mariona Genís Vinyals

Dra. Arquitecta, BAU Centro Universitario del Diseño de Barcelona

María González

Arquitecta, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Antonio Juárez Chicote

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSAM-UPM

Juanjo López de la Cruz

Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Nieves Mestre

Dra. Arquitecta, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, Universidad Europea

Francisco Javier Montero

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Antonio Peña Cerdán

Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-UPV

Ana Portalés Mañanós

Dra. Arquitecta, Departamento de Urbanismo, ETSA-UPV

Amadeo Ramos Carranza

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Jaume Roset Calzada

Dr. Físico, Departamento de Física Aplicada, ETSAB-UPC

José Vela Castillo

Dr. Arquitecto, IE School of Architecture and Design, IE University (Segovia, Spain)

Equilibrio, material y forma

Equilibrium, material and shape

Franco, Fidel^a

^aProfesor (Departamento de Física, Universidad Politécnica de Cataluña, España), fidel.franco@upc.edu

Abstract

The concepts of equilibrium, material and shape (geometry) and their relationships are analyzed in order to contribute to improve and enrich the teaching of architecture. Since the project integrates these concepts, our methodology is to approfondish in deduced relationships of physical laws that make up the three parameters. We analyze the contents of two physics courses taught in the first year of the architect titol of the ETSAB, the first one is adapted to the structural field and the second one is adapted to the facilities field of buildings . Structural functionality is based on the static balance expanded by material and shape. Thermal insulation, acoustics and lighting also take advantage of these concepts but our interpretation is different especially in the acoustics and lighting parameteres.

Keywords: equilibrium, material, shape, architectural project

Theme block: methodologies of autoregulation of learning

Resumen

Con el objetivo de contribuir a mejorar y enriquecer la enseñanza de la arquitectura se analizan los conceptos de equilibrio, material y forma (geometría) y sus relaciones. Puesto que el proyecto integra tales conceptos, nuestra metodología consiste en profundizar en las relaciones deducidas de Leyes Físicas que integran los tres parámetros. Se analizan los contenidos de las dos asignaturas de Física impartidas en el primer curso de la ETSAB, la primera adaptada al campo estructural y la segunda al campo de las instalaciones. La funcionalidad estructural se basa en el equilibrio estático ampliado por el material y la forma. El Aislamiento térmico, la Acústica y la Iluminación también aprovechan dichos conceptos pero su interpretación pues ser diferente sobre todo en la Acústica y la Iluminación.

Palabras clave: equilibrio, material, forma, proyecto arquitectónico.

Bloque temático: Metodologías de autorregulación del aprendizaje (MAA).

Introducción

El aprendizaje en la arquitectura obliga a desarrollar una metodología que facilite la integración de la estética y la funcionalidad. La única posibilidad es bucar la ligazón entre ambas recurriendo a los parámetros ligados al “equilibrio, material y forma”. En efecto los estudiantes reciben una gran cantidad de información, pero tal como se plantea en muchos casos, para ellos se convierte en una serie de elementos independientes e inconexos que probablemente valoren como útiles e incluso necesarios, pero los ven como independientes. Con el objetivo de facilitar su integración se plantean las reflexiones desarrolladas a lo largo del texto.

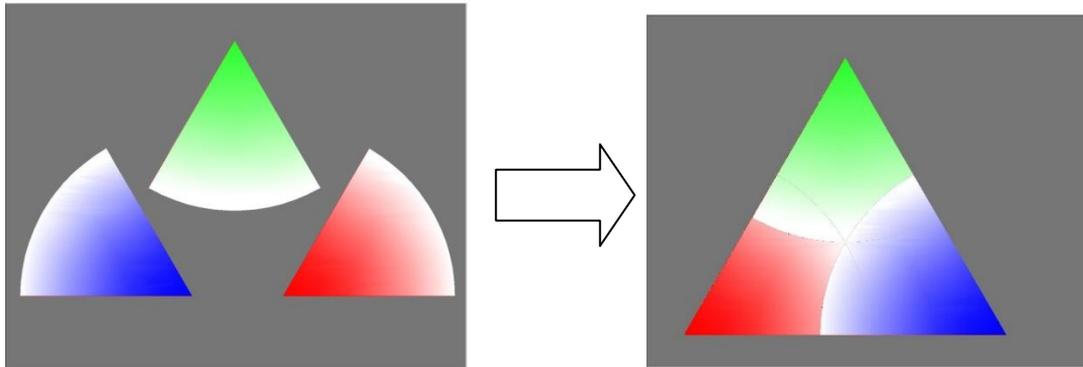


Fig. 1 Parámetros, equilibrio, material y forma. Fuente: Elaboración propia (2017)

1. Herramientas conceptuales

1.1. Funcionalidad estructural

El desarrollo de proceso de unificación en el aprendizaje debe basarse en parámetros de tipo energético puesto que la energía es el parámetro fundamental de todos los procesos (todo es energía). Podemos comprender que cuando los materiales trabajan a tracción se observa la aparición de corrientes eléctricas asociadas a campos eléctricos y cuando se curvan lo asociamos a la presencia de campos magnéticos. Por ejemplo, en la teoría del campo electromagnético aparece el tensor de esfuerzos (o tensiones, utilizando el lenguaje estructural) asociado a campos eléctricos. Finalmente con esta idea como fondo abordamos el estudio de casos particulares propios del campo de la arquitectura.

1.1.1. La flexión de barras rectas

Equilibrio: Se han establecido las ecuaciones de equilibrio para materiales deformables con la aproximación de la rigidez (material indeformable).

Se ha considerado un sistema de cargas (puntuales, distribuidas, etc.).

Se han fijado los puntos de aplicación de las cargas sobre barras.

Se ha considerado un sistema de ligaduras cuyas reacciones se explicaron de forma intuitiva y/o mediante las ecuaciones de equilibrio.

Resultado: Relacionadas todas las variables anteriores se llega a la ecuación del diagrama de flectores de una barra recta que contiene las variables propias de la estática.

$$\frac{d^2 M_z}{dx^2} = w(x) \quad (1)$$

Material: Se ha seleccionado el material real asumiendo que las cargas aplicadas son lo suficientemente pequeñas para que el material solo sufra muy pequeñas deformaciones (zona elástica: Ley de Hooke y Ley de Poisson) y analizando el comportamiento de material frágiles y dúctiles entre otros.

Geometría: Los elementos estructurales tienen una geometría inicial que aquí hemos restringido al caso de una barra recta pero puede ser generalizable a la barra curva.

Resultados: A partir de las relaciones encontradas en el proceso de deformación por flexión se llega a la ecuación de la elástica.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_z}{EI_x} \quad (2)$$

Cuya interpretación es bien conocida por todos: la variación de la deformación a lo largo de la barra inicialmente recta depende de los tres parámetros:

Equilibrio: “ M_z ” es el valor del momento flector en cada punto, es decir, parámetro propio de la estática.

Material: “ E ” es el valor del modulo de Young de material.

Forma de la sección de la barra: “ I_x ” es el valor del momento de inercia de la sección de la barra. Depende también de tres parámetros estrictamente geométricos (grosor de la barra o “cantidad de área”, presencia de un eje de rotación de planos y distribución geométrica del área respecto al eje de rotación de planos).

El momento de inercia debería de ser llamado “resistencia al momento”, pues expresa la resistencia que opone la barra a doblarse gracias a la “cantidad de área” y su distribución respecto al eje de rotación de planos. Lo mismo ocurre cuando se deduce la distribución de esfuerzos (o tensiones) en la sección de la barra, de nuevo aparecen las tres variables: equilibrio, material, forma.

$$\sigma = \frac{M_z}{I_x} y \quad (3)$$

1.2. El concepto de arco o de cable: la base está en equilibrio

El arco es la geometría óptima de una barra cuyo material solo trabaja a compresión (o tracción en el cable), por tanto, la base es el equilibrio frente al material que mantiene su tensión constante.

A partir de la ecuación del diagrama de momentos flectores de un sistema de cargas y aplicando las ecuaciones de equilibrio:

$$\frac{d^2 M_z}{dx^2} = w(x) \quad (4)$$

donde $w(x)$ representa la función distribución de carga.

Escribiendo la expresión deducible a partir del diagrama de sólido libre de un trozo de arco se deduce:

$$M = y T_x \quad (5)$$

Y finalmente sale la ecuación cuya solución da la geometría del arco o línea funicular, donde "M" es el valor del momento flector del sistema de cargas, "y" es el valor de la deformación del arco y "Tx" es la componente horizontal de la reacción.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{w(x)}{T_x} \quad (6)$$

La ecuación anterior se ha convertido en la ecuación típica de los arcos encontrada en la bibliografía y aplicable a diferentes tipos de cargas como la "volta catalana". Es decir, se ha cambiado la geometría de la viga recta por la forma del diagrama de flectores ó "línea funicular" al sustituir la recta inicial de la viga por la curva final del arco.

La deducción de la ecuación del arco exige trabajar con tres parámetros.

Equilibrio: ecuación de los flectores.

Material: restricción tensión (esfuerzo) = constante.

Geometría: diagrama de sólido libre elaborado a partir de la forma del arco.

2. Funcionalidad acondicionamiento térmico

Confort térmico: Estado de equilibrio individual que depende de tres variables, temperatura constante, control de humedad para mantener el equilibrio por medio de la sudoración y amortiguamiento de corrientes de aire en el seno de las edificaciones.

Se plantean dos situaciones complementarias al abordar la solución del problema.

2.1. Control de temperatura en régimen estacionario

Habitualmente el problema de mantenimiento de la temperatura es resuelto mediante el aislamiento térmico.

Su estudio se aborda mediante la ecuación de Fourier para el régimen estacionario:

$$\dot{Q} = -\lambda A \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

Donde " \dot{Q} " representa el flujo de calor perdido o extraído, " λ " es la conductividad del material, "A" es el área de la superficie y el último término representa el gradiente térmico.

Equilibrio: Se alcanza el equilibrio cuando el flujo de calor a través de los cerramientos tiene un valor cuasi-constante y las pérdidas pueden ser compensadas por medio de sistemas de calefacción o refrigeración con criterio de mínimo consumo de energía.

Material: Las propiedades térmicas de los materiales sólidos y gases siempre están presentes en cualquier asignatura relacionada con los aislamientos térmicos. La capacidad de aislamiento térmico por selección de materiales va unido a elementos constructivos que aprovechen la resistencia térmica del aire y/o gases nobles.

Forma: Tanto las envolventes de los edificios como los diferentes sistemas constructivos diseñados tienen una fuerte influencia en la transmisión de calor. La forma de cerramientos exteriores y fachadas es un aspecto siempre valorado desde el punto de vista estético y funcional.

2.2. Control de temperatura en régimen transitorio

Acusadas oscilaciones térmicas estacionales, diurnas-nocturnas o puntuales-locales. El parámetro definido es la inercia térmica de los edificios cuya importancia destaca en caso de oscilaciones de gran amplitud, propias de climas desérticos o continentales. A partir de su valor se deduce el tiempo de relajación, o sea, duración del proceso de amortiguamiento hasta que el edificio recupera su temperatura inicial.

Partiendo de la ecuación de transmisión de calor para una dimensión.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c_e} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (8)$$

donde “ ρ ” es la densidad, “ C_e ” es el calor específico, “ T ” es la temperatura y “ λ ” es la conductividad térmica del material. Si la variación de temperatura es aproximadamente constante se llega a la expresión del tiempo de relajación. (Franco y Roset, 2005).

$$\tau = \frac{\rho c_e}{\lambda} \left\{ \frac{V}{S} \right\} \quad (9)$$

Donde de nuevo aparecen los tres parámetros.

Equilibrio: El concepto de tiempo de relajación se refiere precisamente al tiempo necesario para recuperar el equilibrio.

Material: Densidad (ρ), conductividad térmica (λ) y calor específico (C_e).

Forma: V (volumen), S (superficie exterior) y L (grosor de muros).

2.3. Calefacción por resonancia: la base está en equilibrio

Conseguir que la persona alcance el máximo grado de equilibrio con el mínimo consumo de energía. Por tal motivo hemos patentado (propietaria la UPC) un nuevo sistema de calefacción que aporta la energía necesaria para compensar las pérdidas energéticas de los residentes con la máxima eficiencia es decir, a base de paneles emisores de radiación en resonancia con la temperatura corporal de las personas (longitud de onda asociada de 9.3 micras).

Obviamente si la calefacción funciona de acuerdo con el diseño las personas se sienten confortables independientemente de la temperatura ambiente en el recinto.

3. Funcionalidad acondicionamiento acústico

Siempre que se plantean los problemas de percepción acústica, luminica está subyacente un tema de percepción espacial.

3.1. Acondicionamiento interior de una sala

3.1.1. Acerca del proceso auditivo

El proceso auditivo obedece a fenómenos no estacionarios por actuar un estímulo que separa al sistema del equilibrio. Al ser un fenómeno ligado a la percepción exige dos condiciones por detectarse a nivel cerebral dos señales simultáneas, en el proceso deben participar dos órganos simétricos (percepción biaural), puesto que el comportamiento de los tejidos depende de la frecuencia del estímulo, siempre está presente la frecuencia de la señal excitadora.

Los tímpanos y los huesos temporales son excitados por una señal y el sistema auditivo de la persona receptor tiende a recuperar su posición de equilibrio siendo también su tiempo de relajación dependiente de la frecuencia.

3.1.2. Características de la sala

Cuando se habla de acondicionamiento de una sala con buena acústica interior se recurre a la Ley de Sabine o fórmulas similares.

$$t_r = 0.164 \frac{V}{\sum S_i \alpha_i} \quad (10)$$

Estas fórmulas pretenden evaluar el tiempo de relajación de la sala para que se vuelva a recuperar el silencio o equilibrio en su interior. Es decir, la excitación desaparezca facilitando que los órganos auditivos se relajen y puedan continuar recogiendo nueva información.

Equilibrio: Se define el tiempo de reverberación como el tiempo necesario para que un sonido de 60 dB se deje de percibir, es decir, que desaparezca prácticamente del ambiente de la sala. En otras palabras es el tiempo necesario para que el sistema receptor de la persona deje de estar sometido al estímulo energético en el rango del “audible” y sea capaz de equilibrarse de nuevo.

Material: Aparte de los materiales estrictamente estructurales se recurre a recubrimientos, paneles, tejidos, etc, que contribuyan a acondicionar la sala para sus fines de diseño. El parámetro “ α ” o coeficiente de absorción-transmisión de los materiales recoge su comportamiento en casos generales o incluso en cada rango de frecuencias utilizadas.

Forma: En una distribución que depende incluso de las condiciones fijadas por el proyecto, la fórmula anterior incluye parámetros como el volumen del interior de la sala, la superficie de los recubrimientos del interior de la sala y su capacidad de absorción o reflexión del mismo. No es necesario insistir en que las variables consideradas son muy similares a las que aparecen en la fórmula del concepto de “inercia térmica” pues el tiempo de reverberación es un tiempo de relajación frente a las oscilaciones internas.

3.2. Interpretación del proceso: ¿El oído y la sala se acoplan entre sí?

Fases a seguir para comprender el proceso y su interpretación.

Nivel 1: En primera aproximación el estudio de la acústica de salas se basa en una respuesta homogénea ante la frecuencia de la señal, sin embargo una solución más precisa exige analizar su tiempo de relajación en tres bandas de frecuencias (graves, medios, agudos) pues tanto el comportamiento de los materiales como la sensibilidad acústica humana son diferentes para las diferentes bandas consideradas.

La faceta funcional es conseguir que dicho tiempo de reverberación se adapte al uso de la sala de forma estable mediante cambios de forma o materiales para adaptarla a diferentes usos:

tipos de música, palabra o cuasi-silencio. Tiempos de reverberación cortos para salas de conferencias o músicas dinámicas con notas breves frente a tiempos de reverberación grandes para músicas sinfónicas o religiosas con un incremento asociado al volumen de la sala en todos los casos.

Nivel 2: Los estímulos están diseñados para favorecer la concentración de la persona cuando los tiempos de reverberación son largos. Se producen alteraciones perceptivas del mismo tamaño de la sala, por tanto el valor del tiempo de reverberación también aumenta con el volumen de la sala.

La explicación de los detalles del proceso tiene varios caminos complementarios:

- La percepción acústica es una de las vías de percepción espacial y ello está ligado a la percepción del tamaño de la sala: nuestra percepción de la distancia disminuye al alcanzar un estado de concentración
- La percepción de la distancia en una sala grande también se ve afectada por la temperatura de la sala. Es difícil imaginarse al público escuchando música gregoriana en una sala (catedral de gran tamaño y elevado tiempo de reverberación) donde la gente esté sudando pues las catedrales siempre son frescas, son de piedra y gran tamaño.

Nivel 3: La forma de la sala va asociada al camino acústico recorrido por las señales directas y las reflejadas en las paredes. En caso de salas de pequeño tamaño las diferencias entre la señal directa y la primera reflexión permiten definir y optimizar la geometría de techos curvos al aprovechar el techo como “sistema amplificador”. En efecto, el sistema auditivo de la persona percibe como una única señal las señales directa y reflejada superpuestas, si el intervalo de tiempo entre ambas es inferior a su tiempo propio de relajación. Sistemas informáticos permiten mejorar los resultados al evaluar los efectos de señales indirectas secundarias que también contribuyan a incrementar la intensidad de las señales recibidas y con ello mejorar o corregir la forma interior de la sala. En otros casos se puede rectificar la forma interior para generar sonidos de fondo o difusos.

Nivel 4: Los tiempos de reverberación representan el tiempo de relajación del sistema auditivo. Sin embargo dicho tiempo dependería de la forma y materiales que recubren la sala. Es decir, el sistema auditivo se adaptaría o estaría en resonancia con la sala. En el fondo estamos hablando de un problema de percepción espacial a través del sonido donde la persona perceptora y la sala forman una unidad. Eso explica las matizaciones de algunos diseñadores de salas relativas a las condiciones de audición musical en función de las propiedades acústicas de la sala. Es lo que algunos autores llaman “condiciones subjetivas de la música” (Egan, 2007).

Nivel 5: El modelo teórico utilizado en la Ley de Sabine se basa en una sala homogénea e incluso de forma cúbica sin concentradores de sonido (formas cóncavas) ni zonas ciegas. Sin embargo los sistemas de cálculo actuales a base de rayos permiten estudiar los efectos de la ruptura de la simetría u homogeneidad de la sala mediante estructuras móviles o bien por cambios en la absorción de los materiales y su ubicación. Desde un punto de vista abstracto todo es posible sin embargo el sonido es fundamental en la vida y ayuda a equilibrar pero también puede desequilibrar. Por ejemplo, si las personas mantenidas en una sala anecoica durante un largo período de tiempo pierden la razón habría que plantearse que no solo la ausencia de sonido sino su distribución nos plantea ¿en qué medida se rompe la homogeneidad de la generación o distribución del sonido en la sala? ¿será una sala para niños? ¿cuál será el uso de la sala? ¿durante cuánto tiempo? ¿se rompe de forma drástica la

percepción binaural durante un largo período de tiempo? ¿la sala estará ocupada por personas con fuertes desequilibrios mentales como la bipolaridad?, etc.

En suma, la acústica debe profundizar aún más en las peculiaridades de las personas y conocer con mayor precisión los límites de reversibilidad de sus ocupantes. Por ejemplo, en los geriátricos las personas suelen tener bastante limitadas sus capacidades auditivas pues no existe una acústica para personas sordas. La única solución consiste en comprarse un aparato amplificador. Sin embargo ante la elevada sensibilidad de los niños ¿la solución sería colocarles tapones en los oídos como cuando pasean los bebés en medios urbanos y circulan motos emitiendo un nivel de intensidad de 85 dB o aún más?

3.3. Acondicionamiento exterior de la sala o edificio

Para comprender mejor los aislamientos, podemos recurrir a la electrónica del rango del audio que ha desarrollado amplificadores de mayor o menor calidad dependiendo de su potencia y del grado de fidelidad a la calidad de la onda y a la frecuencia de la señal amplificada. El concepto de “ganancia del amplificador” medible en dB compara las intensidades (o potencias) de las señales de entrada y salida mediante el logaritmo del cociente de las intensidades de ambas señales.

Los aislamientos acústicos se caracterizan de manera similar pero en sentido contrario. Una pared tendría unas “pérdidas” definidas mediante la TL (o R) dependientes de la frecuencia o bien globales y con el dB como unidad de medida.

Los métodos de amortiguamiento del sonido pueden ser explicados mediante el lenguaje de las oscilaciones amortiguadas y destacar las “trampas acústicas” donde las ondas se debilitan por sufrir múltiples reflexiones antes de volver a la sala. Las Leyes de la masa o de la frecuencia han sido clásicas en la enseñanza del tema sin embargo los nuevos materiales o nuevas técnicas constructivas ejercen una fuerte influencia y exigen rectificaciones y matizaciones.

4. Funcionalidad acondicionamiento lumínico

4.1. La acústica comparada con la iluminación

El estímulo lumínico es mucho más potente que el estímulo auditivo sin embargo la acústica ha sido estudiada con mucho más detalle que la iluminación. La cultura occidental le ha dado mucha menor importancia al sonido que a la luz. Apenas hay esculturas o edificios que aprovechen el estímulo acústico salvo esculturas móviles de Calder por citar algunos casos. La luz no solo juega un papel fundamental en la percepción espacial sino que esculturas luminosas de LEDs, OLEDs y multividrios son usuales en el diseño actual de interiores y exteriores de edificios. Incluso ya se puede hablar de una arquitectura diurna y nocturna.

¿Dónde radica el origen de esa diferencia?

- La pintura se ha recreado en la representación de paisajes, ambientes, descripciones de escenas aprovechando el color y la luz como herramientas de expresión.
- La fotografía amplió la búsqueda de la pintura elaborando imágenes a partir de escenas variadas primero en blanco y negro y después en color.
- Posteriormente surge la imagen en movimiento desarrollada en el cine. Sin embargo, el sonido solo ha sido incorporado en el cine a través de la música o recogiendo sonidos de la calle pero apenas existen películas silenciosas donde solo se recogen escenas

cotidianas en total silencio o se valora el impacto de los ruidos cotidianos dentro de un monasterio trapense.

4.2. Características diferenciales de ambos estímulos perceptivos

- No se integran y unifican ambas herramientas de percepción. En efecto, la primera diferencia entre ambas es de lenguaje pues el término Intensidad, que en acústica es el estímulo medible de la percepción, tiene unidades de W/m². Sin embargo, la Intensidad luminosa tiene como unidad la candela (lumen/steradian) cuando hablamos de fuentes puntuales o bien luminancia x área de la superficie emisora cuando se habla de fuentes extensas. Son dos parámetros diferentes con el mismo nombre pero diferente significado y unidades en los dos campos.
Teniendo estímulos perceptivos con las mismas unidades, lo adecuado sería unificar ambos parámetros simplemente especificando si es auditivo o luminoso.
- El concepto de Sensación Sonora (Nivel de intensidad sonora) no tiene paralelo en la iluminación y todos los esfuerzos históricos realizados para acondicionar acústicamente las salas no tienen correspondencia en el campo de la luz cuya evolución ha ido pareja a las luminarias (incandescentes, tubos fluorescentes, lámparas de sodio, plasmas de mercurio de bajo consumo, leds, oleds, etc.) con una clara prioridad en el ahorro energético. Finalmente los programas actuales de cálculo de iluminación recurren a la teoría de Rayos (radiosidad) y recuperan la tradicional teoría ondulatoria.
- El código técnico de la iluminación comienza con iluminaciones de 100 lux, sin citar ningún límite de potencia luminosa máxima en una sala silenciosa para bebés ni la potencia luminosa mínima en las salas de un geriátrico. Sin embargo se ha comprobado que un incremento acusado del estímulo luminoso (25% aproximadamente) ha despertado a los residentes ancianos sumidos en la cuasi-oscuridad perceptiva por ser demasiado débil la iluminación habitual diseñada inicialmente solo para los trabajadores.
- No está claro que podamos hablar de confort luminoso o acústico pues en ambos casos existe un estímulo que separa del equilibrio y el organismo tendería a recuperarlo. Sin embargo la luz (tanto como el sonido) tienen aplicaciones terapéuticas:
 - La cromoterapia y musicoterapia.
 - El aprovechamiento de los nuevos OLEDs en las oficinas para emitir luz adaptada a los ritmos circadianos mejora el rendimiento de los trabajadores en las oficinas: azulada durante las mañanas en resonancia con los colores azules de la luz matinal y colores rojizos de la puesta del Sol en las horas vespertinas. (OSRAM, 2014)
 - Análisis del impacto de la luz en los edificios diseñados para personas autistas. (Sierra, C., 2017)
 - Simulación de la luz solar para personas con depresión invernal. (Innovaticas, 2015)

5. Conclusión

Frente a la acústica, que se encuentra en un estado relativamente avanzado de desarrollo, el aprovechamiento de la luz en el campo de la arquitectura está todavía poco desarrollado excepto en las nuevas luminarias o como factores estéticos.

Campos conocidos y apreciados desde hace años por gente no profesional de la arquitectura, ha sido poco valorados o rechazado por los arquitectos por no saber encajarlo dentro de las variables clásicas del proyecto. En efecto, ¿es un tema estético? ¿es un tema funcional?

Finalmente surge una reflexión ¿no será que deben incluir dentro de las facetas del proyecto, una tercera faceta que sería su contribución al equilibrio de las personas que habitan los edificios? (Shang YM, Wang GS et al., 2013) (Iluminet, 2017).

Esta tendencia del diseño se orienta hacia los efectos que tiene la luz en la salud del ser humano.

Human Centric Lighting es un nuevo enfoque en el diseño de iluminación que busca beneficiar la salud y el bienestar a través de los efectos no visuales que tiene la luz en las personas. La luz regula nuestro ciclo circadiano (sueño-vigilia), nuestras respuestas inmunes, el apetito y muchas otras de nuestras funciones y comportamientos. Además, la luz tiene efectos agudos sobre el estado de ánimo, el estado de alerta y la atención. Todos estos efectos de la luz, llamados ‘no formadores de imagen’, se pasan por alto en la práctica actual de iluminación, que está dominada por aspectos visuales. Aunque nuestra comprensión actual de los efectos no visuales de la luz está lejos de ser completa, continuar despreciando estos efectos no visuales en las normas de iluminación, las recomendaciones, los diseños y las instalaciones es potencialmente más dañino que incluirlas.

La Iluminación Centrada en el Ser Humano (HCL, por sus siglas en inglés) utiliza características como la intensidad, composición espectral, duración y sincronización de la exposición a la luz. Obviamente, cualquier solución de iluminación que se ocupe de los efectos no visuales de la luz, también debe abordar los aspectos visuales.

En suma que la terna inicial equilibrio - material - forma se integraría dentro de una categoría superior “*equilibrio - estética - funcionalidad*” y con ello damos un salto cualitativo en el proceso de formación y aprendizaje de los estudiantes de arquitectura pues es sabido que las ondas de dos regiones del cerebro se sincronizan al aprender categorías. (Antzoulatos, K. Miller, 2014)

6. Bibliografía

ANTZOULATOS, E., K. MILLER, E. (2014). “Increases in Functional Connectivity between Prefrontal Cortex and Striatum during Category Learning” en *Neuron*, 2014, volumen 83, numero 1, p. 216-225. [http://www.cell.com/neuron/abstract/S0896-6273\(14\)00391-2](http://www.cell.com/neuron/abstract/S0896-6273(14)00391-2) [Consulta: 10 de mayo de 2017].

EGAN, D. (2007). *Architectural Acoustics*. New York: J. Ross Pub.

FRANCO, F., ROSET, J. (2005). “Profundizar en el ahorro de energía” en *IV Congreso Latinoamericano sobre confort y comportamiento térmico de las Edificaciones*, Ciudad de México: UAM.

GREENPEACE (2008). *LEDs: Diodos Emisores de Luz Información de la Tecnología*. <http://www.greenpeace.org/argentina/es/informes/leds/> [Consulta: 12 de mayo de 2017].

ILUMINET (2017). *Iluminación Centrada en el Ser Humano y los efectos no visuales de la luz*. <http://www.iluminet.com/iluminacion-centrada-ser-humano/> [Consulta: 18 de mayo de 2017].

INNOVATICIAS (2015). *La innovación del día. CoeLux, el techo artificial que simula la luz solar*. <http://www.innovaticias.com/innovacion/29097/la-innovacion-del-dia-coelux-el-techo-artificial-que-simula-la-luz-solar-ver-video#ixzz4oKt6wzbg> [Consulta: 15 de mayo de 2017].

OSRAM (2014). *Arktika-P Biolux: luz diurna dentro de la oficina*. <http://www.voltimum.es/novedades-producto/arktika-p-biolux-luz-diurna-dentro-oficina> [Consulta: 18 de abril de 2017].

SIERRA, C. (2017). *La Iluminación LED y sus efectos en la salud, Jornada LED y SALUD*. http://www.icandela.com/es/blog/blog_de_carlos_sierra_36.php [Consulta: 11 de mayo de 2017].

Shang YM, Wang GS, Sliney D, Yang CH, Lee LL. (2014). "White light-emitting diodes (LEDs) at domestic lighting levels and retinal injury in a rat model". *Environ Health Perspect*, 2014, volumen 122, número 3, p. 269–276. <https://ehp.niehs.nih.gov/1307294/> [Consulta: 8 de mayo de 2017]

FRANCO,F (2015). *Sistema calefactor emisor que ahorra energía y mejora el confort térmico de los ocupantes de los edificios y vehículos*. P201530909.