

(Página en blanco)

FUERA DE JUEGO

Variables cualitativas de la luz en la Arquitectura

Attenya Campos de Armas

01/10/2015

Tesis doctoral dirigida por la Dra. Helena Coch Roura presentada en l Universidad Politécnic de Catalunya en el Programa de Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Departament de Construccions Arquitectòniques I.

(Página en blanco)

La Revolución

“En mi habitación la cama estaba aquí, el armario allá y en medio la cama.

Hasta que esto me aburrí. Puse entonces la cama allá y el armario aquí.

Durante un tiempo me sentí animado por la novedad. Pero el aburrimiento acabó por volver.

Llegué a la conclusión de que el origen del aburrimiento era la mesa, o mejor dicho, su situación central e inmutable.

Trasladé la mesa allá y la cama en medio. El resultado fue inconformista.

La novedad volvió a animarme, y mientras duró me conformé con la incomodidad inconformista que había causado. Pues sucedió que no podía dormir con la cara vuelta a la pared, lo que siempre había sido mi posición favorita.

Pero al cabo de cierto tiempo la novedad dejó de ser tal y no quedó más que la incomodidad. Así que puse la cama aquí y el armario en medio.

Esta vez el cambio fue radical. Ya que un armario en medio de una habitación es más que inconformista. Es vanguardista. Pero al cabo de cierto tiempo...Ah, si no fuera por ese “cierto tiempo”. Para ser breve, el armario en medio también dejó de parecerme algo nuevo y extraordinario.

Era necesario llevar a cabo una ruptura, tomar una decisión terminante. Si dentro de unos límites determinados no es posible ningún cambio

verdadero, entonces hay que traspasar dichos límites. Cuando el inconformismo no es suficiente, cuando la vanguardia es ineficaz, hay que hacer una revolución.

Decidí dormir en el armario. Cualquiera que haya intentado dormir en un armario, de pie, sabrá que semejante incomodidad no permite dormir en absoluto, por no hablar de la hinchazón de pies y de los dolores de columna.

Sí, esa era la decisión correcta. Un éxito, una victoria total. Ya que esta vez “cierto tiempo” también se mostró impotente. Al cabo de cierto tiempo, pues, no sólo no llegué a acostumbrarme al cambio- es decir, el cambio seguía siendo un cambio- sino que, al contrario, cada vez era más consciente de ese cambio, pues el dolor aumentaba a medida que pasaba el tiempo.

De modo que todo habría ido perfectamente a no ser por mi capacidad de resistencia física, que resultó tener sus límites. Una noche ya no aguanté más. Salí del armario y me metí en la cama.

Dormí tres días y tres noches de un tirón. Después puse al armario contra la pared y la mesa en medio, porque el armario en medio me molestaba.

Ahora la cama está de nuevo aquí, el armario allá y la mesa en medio. Y cuando me consume el aburrimiento, recuerdo los tiempos en los que fui revolucionario."

Slawomir Mrozek

Agradecimientos

A mi madre, por todo.

A Ale por ocuparse de todo lo demás.

A mi hermano, por su gran ayuda.

A mi tutor, por su confianza.

A mi tutora, por su disponibilidad constante y su paciencia.

A Manuel Martín Monroy, profesor de la escuela de Arquitectura de las Palmas de Gran Canaria, experto en arquitectura sostenible, por escuchar mis divagaciones filosóficas.

Al departamento de Klimagerechte Architektur en la Technische Universität Dortmund, especialmente a Gudrun, Helmut Müller y Oliver Klein por su hospitalidad. A Helmut Kirschhof por acogerme como una segunda familia.

A mis compañeros del departamento de Arquitectura Sostenible en el ITER, especialmente a María por su apoyo y por capear mis vaivenes. Al departamento de electrónica de ITER, a Pedro Pablo.

A Madeleine, a Muhammad, Aminata y Malik.

A Walther, Javi, Guayarmina, Teresa, Xiomara, Leiko, Moreiba, María, Elsa, Carmen, Fermín, Diana, Ayoze, David, Esther, Gara, Tavox, Manolito, Aneliya, Raquel, Erica, Natalia, Elena, Mónica, M^a Paz, Samuel, Grego, Magdalena, Rita, Guacimara, Lidia, Iballa, Jorge, Fefi, Iratxe, Sergio, Demetrio, Niobé, Nuria, Joaquín, Otti, Juan Luis, Juanjo, Sonia, Elena Martín, María Martín, Laura, Víctor, Enrica, Ana, Rocío, Cristian, Henry, Joaquina, Ana, Víctor, Alba, Miguel, Nerea, José Carlos, Eliseo, Emilio, Simoneta ...y muchos más que después me dará rabia no haber escrito.

A todos, por cada uno de los momentos, por haberme ayudado, apoyado, animado; por esos instantes compartidos sin los cuales no hubiese llegado aquí nunca...

Resumen

El objetivo fundamental de esta investigación es mostrar la luz en un sentido diferente al únicamente práctico. Se presenta primero un listado de 22 parámetros a tener en cuenta a la hora de evaluar la iluminación natural para sistemas de control solar en su función activa. Si incluimos estos parámetros dentro del diseño de la iluminación natural, el ambiente creado tendrá unas condiciones óptimas. Hoy en día, las personas pasan la mayor parte de su tiempo en espacios interiores. Generalmente se asume que éstas prefieren la luz natural dentro de los edificios, siempre y cuando no esté acompañada de un aporte térmico excesivo o de posibles deslumbramientos originados por esa fuente de luz. Si la luz natural no cumple con nuestras exigencias de confort visual, se sustituye por luz artificial incluso de día.

Además de esto, hay muchos fenómenos relativos a la luz natural que no son tan inmediatos. La luz debe cumplir con unos requisitos mínimos de uso racional y ahorro de la energía, influye en nuestra salud a corto y largo plazo, en nuestro bienestar y nuestro estado de ánimo. Pero la luz también la percibimos como información. Una información que procesamos cambiando nuestra forma de *ver* y *entender* el entorno que nos rodea.

El segundo paso es identificar y comparar las cualidades de la luz de un número representativo de referencias técnicas y artísticas para abrir un mundo de posibilidades que añadan valor a nuestros diseños. El análisis se hace con una herramienta sencilla de trabajo creada para esta investigación que permite interrelacionar a la vez múltiples referencias y variables de una forma gráfica. En este software de fácil manejo se analizan más de 1000 referencias a partir de 194 variables de la luz definidas en el glosario de términos y que se interpretan a través de mapas visuales interactivos. Su principal ventaja radica en que nos proporciona un número considerable de cualidades de la luz que ya han sido estudiadas y valoradas, para que podamos utilizarlas en el diseño de la luz natural en espacios interiores. Es decir, el resultado es una herramienta de diseño intuitiva que pueden utilizar técnicos y usuarios para *ver de otra manera* situaciones lumínicas representativas. Además de las referencias escogidas, es posible seguir añadiendo todas las cualidades de la luz, consideradas imprescindibles para un proyecto, y todas las referencias que encontremos en nuestra trayectoria profesional. Sigue siendo fundamental que pase cierto tiempo para poder recopilar nuestras propias referencias, sin embargo con esta herramienta no partimos de cero.

El primer criterio de diseño de la luz sigue siendo garantizar una cantidad de luz determinada. Los métodos que predicen la iluminancia a partir de los datos de radiación solar, dado el valor de la eficacia luminosa, son probablemente los más versátiles de aplicar ya que son sensibles a variaciones en el clima y la latitud. Para determinar la eficacia luminosa se han realizado mediciones de la luz solar en climas soleados, concretamente en la vertiente sur de Tenerife, Islas Canarias.

La luz natural se compone además de luz directa e indirecta. Cualquier método de cálculo y diseño de la iluminación natural debería tener en cuenta las dos componentes, especialmente en climas soleados.

Para desarrollar esta investigación, me fui a Dortmund, Alemania, a aprender de primera mano de un grupo de investigadores que propuso el factor de luz solar (FLS/SLQ) para sistemas avanzados de protección solar. Este valor es un complemento del factor de iluminación natural (D) para cielo cubierto que incluye el sistema desde su función activa. De esta manera se considera la iluminancia interior en un punto definido en el espacio en relación a la iluminancia exterior para sistemas de protección o reflexión solar en diferentes posiciones. Los resultados del estudio de 6 sistemas de control solar diferentes según los 22 parámetros listados y la opinión de los usuarios, quedan reflejados en este documento en el capítulo 2.

Sería muy interesante considerar las investigaciones desarrolladas sobre el *FLS/SLQ*, adaptando los valores a nuestras condiciones particulares (climas cálidos) y añadiendo la componente industrial en el proceso de fabricación de estos sistemas avanzados de control lumínico. A través del estudio geométrico, se podría llegar a una mejora significativa de las propiedades ópticas micro-estructurales de los sistemas planteados, adaptándose a climas cálidos (Canarias altura solar máxima 85°)¹. Es una meta interesante a largo plazo.

Tras mi estancia en Alemania, empecé a trabajar en un laboratorio al aire libre a escala 1:1 que había sido construido en 1995 y llevaba siendo monitorizado desde 2007 en Tenerife, Islas Canarias. El laboratorio al aire libre está formado por 24 unidades residenciales pensadas para climas cálidos. Rafael Serra Florensa fue parte del jurado que eligió 25 modelos de los más de 400 presentados en un concurso internacional.

Las 25 viviendas bioclimáticas planteadas en un principio con la finalidad de hacer una experiencia accesible a científicos y técnicos y público no especializado, se ofrecen actualmente en régimen de alquiler a cualquier visitante que quiera experimentar la arquitectura bioclimática. La ocupación temporal de las casas permite la obtención de datos reales en cuanto a distintos parámetros ambientales en diferentes habitaciones de cada una de ellas (temperatura, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad).

Los datos obtenidos de la monitorización se comparan con los recogidos a través de 2 cuestionarios, cuestionario bioclimático y de satisfacción. De esta manera conocemos la diferencia entre los parámetros de confort teóricos y los reales. Además de esto, se valora la influencia del usuario en el ambiente interior de cada casa, ya que hay periodos en los que las casas están vacías y otros en los que diferentes visitantes con diferentes patrones de comportamiento y nacionalidades definen el ambiente interior de la casa elegida.

Al laboratorio al aire libre a escala real se le suma un túnel del viento, un laboratorio y una sala limpia para poder estudiar las propiedades ópticas de diferentes superficies. Al estudio continuo de los diferentes parámetros del ambiente interior de la urbanización bioclimática situada en Granadilla de Abona, he añadido el estudio de la luz solar.

El resumen de los datos obtenidos en las viviendas bioclimáticas durante estos años se encuentra en este documento. Los datos obtenidos en las viviendas y las opiniones de los

¹ Protegerse del sol con volados a partir de un ángulo es posible que sea más práctico que diseñar sistemas avanzados que cubran la totalidad de las alturas solares incidentes.

visitantes han dado lugar a una optimización de los patrones de diseño bioclimático. Es importante destacar que el punto de vista es siempre de visitantes esporádicos que acuden a este tipo de establecimientos fuera de lo habitual (turismo de masas de sol y playa, hotel + servicios+ piscina) con unas expectativas preconcebidas muy claras.

Como principales resultados de esta investigación obtenemos más de 1000 referencias técnicas y artísticas relativas a la luz natural (anexos 3,4,5,6,7 y 8) que nos muestran a través de imágenes 194 variables cualitativas de la luz en la arquitectura (capítulo 3, anexo1); un software de fácil manejo que nos permite seleccionar una serie de variables y formar mapas gráficos que nos ayuden a generar nuevas situaciones lumínicas, entender las nuevas variables y calcular el posible grado de aceptación (<http://mapatte.webatu.com>); la valoración por los usuarios de las 22 variables a tener en cuenta para evaluar un sistema de control solar activo (capítulo 2); resultados de aceptación de los usuarios de los diferentes parámetros que definen el ambiente interior (capítulo 5); resultados del nivel de aceptación de los usuarios para un total de 29 actividades clasificadas de las nuevas variables que caracterizan la luz en la arquitectura (capítulo 5); resultados del nivel de aceptación de los usuarios de las manchas solares (capítulo 7); análisis de 24 modelos residenciales bioclimáticos incluyendo el estudio de la iluminación natural (capítulo 10); valores de la eficacia luminosa reales en climas soleados (capítulo 11); estudio de manchas solares generadas a partir de proyectores de la luz natural (capítulo 12).

Durante la investigación he tratado de combinar una mirada aún intuitiva de la luz a partir de la forma de representación de otros profesionales (fotógrafos, pintores, arquitectos, cineastas), con el estudio riguroso basado en el conocimiento científico de parámetros ambientales y concretamente todo lo referido al diseño de la luz natural en la arquitectura.

He preguntado a través de cuestionarios al público general y a especialistas en diseño, imagen y arquitectura sobre las cualidades deseadas y nuestra interpretación de la luz en el espacio.

Espero que este documento sea de utilidad para los deseen enriquecer el ambiente interior incluyendo la luz natural en sus diseños (software sencillo) y sirva para alentar a los que siguen preocupados por garantizar únicamente un mínimo de luz en un espacio, simplemente a dejar entrar la luz del sol en el espacio interior.

Abstract

The main goal of this research is to show light in a way other than for only practicality. First step is to present a list of 22 parameters to have into account in order to assess daylight coming from solar control systems into its active function. If we include them into our daylight designs, the created environment will have optimal conditions. Today people spend most of time inside buildings. It's generally assumed that natural light is preferred on these inside spaces, as long as they don't cause excessive heat input or discomfort glare. If daylight doesn't satisfy our visual comfort requirements is replaced by artificial light, even on daytime.

Added to this, there are many phenomena related to daylight maybe not assumed so immediately. It is an obvious remark that light has to be design not only in terms of rational use regarding sustainability but also creating a positive mental well-being as it is proved in highly studies on human biology and frame of mind. But light is also perceived as information. Information that changes our way of *seeing* and *understanding* the environment around us.

Second step, is to identify and compare light qualities of the largest number of technical and artist references in order to open a new world of possibilities that give value to our designs. Therefore, an easy to work with software that contains those parameters and references is provided. This tool allows a visual interrelation of multiple references and variables. 194 variables defined in the glossary of terms obtained from more than 1000 references are analysed through interactive visual maps. Its main benefit result is that it provides a considerable number of qualities of light that have been studied and assessed so that we can use it regarding the daylight design. The result is an intuitive design tool that can be used by technical people and users in order to watch representative lighting situations *in another way*. In addition to the references selected, people can continue adding other qualities of light that they consider necessary for a project, and all the references founded during their professional careers. We will need sometime in order to have our references, however with this tool we don't start from scratch.

The first criterion of light design is still to ensure a certain amount of light. Methods that predict the illuminance from solar radiation data, given the value of luminous efficiency, are probably the most versatile to apply since they are sensitive to variations in climate and latitude. To determine the luminous efficiency, sunlight measurements were performed in sunny climates, particularly in the south side of Tenerife, Canary Islands. Natural light consists of direct and indirect light and any method of calculation and design of daylight should take into account the two components, especially in sunny climates.

To develop this research, I went to Dortmund, Germany in order to learn first-hand of a group of researchers that proposed the sunlight factor (FLS/ Sonnenlichtquotient) for advanced sun protection systems. This value complements the daylight factor (D) for overcast sky including the active function of the system. Thus it is considering the inside illuminance at a defined point in the space related to the outside illuminance for protection systems o solar reflection systems in different positions. The results of the evaluation of 6 solar control systems considering the 22 parameters are written in chapter 2.

It could be very interesting to consider the developed research on FLS/SLQ, adapting the values to our special conditions (hot climates) and adding the industrial component in the manufacturing process of these advanced light control systems. Through the geometrical study, it could reach a significant improvement of the optical properties of micro-structural systems raised, adapting to hot climates (Canary solar height is 85°). It is an interesting long-term goal.

After my stay in Germany, I started to work in a residential lab that was built in real scale in 1995. It has been monitored since 2007 in Tenerife, Canary Islands. The outdoor laboratory consists on 24 buildings designed for hot climates. Rafael Serra Florensa was part of the jury that chose the models of 400 proposals that were presented in an international competition.

The bioclimatic houses were thought initially in order to make an open experience for technicians, scientific and general audience but they are actually offered on a rental basis to any visitor who wants to know about bioclimatic architecture. The temporary occupation of the houses allows us to obtain real data regarding various indoor environmental parameters of the different rooms (temperature, radiant temperature, air velocity and humidity).

Monitoring data are compared with those collected by questionnaires –satisfaction and bioclimatic questionnaires-. Thus we know the differences between theoretical and real comfort parameters. We also assess the user influence in the indoor environment as there are periods when the houses are empty and where they are occupied by different people with different behaviour patterns and nationalities.

To the real scale outdoor laboratory is add a wind tunnel, a laboratory and a clean room to study the optical properties of different surfaces. To the continuing study of different parameters of the indoor environment of bioclimatic models located in Granadilla de Abona, I have added the study of sunlight. The summary of data obtained in the bioclimatic houses over the years is part of this document. The data in the houses and the opinions of the visitors have led to an optimization of the bioclimatic design patterns. It is important to point out that the view of the visitors is of a sporadic one with a very clear preconceived expectation that want to separates himself from mass tourism (sun and beach, hotel+ service and pool).

The main results of this research are to get over 1000 technical and artistic references of daylight (Annexes 3,4,5,6,7 and 8) showing us through 194 qualitative variables images of light in architecture (Chapter3, Annex 1); an easy use software that lets us select a number of variables and visual maps to help us generating new lighting situations, to understand the new variables and calculate the possible degree of acceptance (<http://mapatte.webatu.com>); the assessment by users of the 22 variables to consider in assessing a system of active solar control (Chapter 2); results of user acceptance of the different parameters that define the indoor environment (Chapter 5); level results of user acceptance for a total of 29 activities classified new variables that characterize the light in architecture (chapter 5); results of the level of acceptance by users of sunspots (Chapter 7); analysis of 24 bioclimatic residential models including the study of natural lighting (Chapter 10); actual values of luminous efficiency in sunny climates (Chapter 11); study of sunspots generated from natural light projectors (Chapter 12).

During the research I have tried to combine an even intuitive look of light from the form of representation of other professionals (photographers, painters, architects, filmmakers), with a rigorous study based on scientific knowledge of environmental parameters and specifically everything based on the design of daylight in architecture.

I asked through questionnaires the general public and specialists in design, image and architecture on the desired qualities and our interpretation of light today.

I hope this document will be useful to enrich the indoor environment including natural light in his designs (single software) and serves to encourage those who remain concerned about guaranteeing a minimum of light in a room, just to let light the sun in the interior.

Objetivos generales

A continuación se resumen los objetivos generales de la investigación:

Objetivo 1. Recopilar un número considerable de referencias técnicas y artísticas relativas al diseño de la luz en el espacio. Precisar los comentarios e ideas, transformar las valoraciones subjetivas en variables de la luz con cierto rigor. Las herramientas de diseño de la luz nos garantizan un acierto cada vez mayor en el diseño de un ambiente luminoso, sin embargo se basan en la limitación de las variables a tener en cuenta. Ampliar el número de variables a tener en cuenta con una herramienta sencilla de fácil manejo que sea complementaria a las herramientas actuales. Incluir todo lo demás de la luz y convertirlo en variables a nivel técnico.

Objetivo 2. Crear un software de fácil manejo en el que se incluya el mayor número posible de cualidades lumínicas y situaciones para utilizarlas de base en cualquier investigación sobre la luz en la arquitectura. Estas variables tienen ya un grado de aceptación conocido, ya que son obtenidas de arquitectura planteada como representativa, con cierto valor en cuanto al diseño de un ambiente luminoso.

Es preciso facilitar el diseño de la luz y no complicar cada vez más con herramientas de difícil comprensión y manejo. Se incluye el máximo número de variables de la luz, para enriquecer cualquier ambiente luminoso a proyectar simplificando las herramientas.

Objetivo 3. Proporcionar datos fiables para poder hacer cálculos sobre la luz solar en la arquitectura. Primero se registran datos y el nivel de aceptación de 6 sistemas de control solar en espacios de oficinas. Y luego se registran y analizan datos sobre la radiación y la eficacia luminosa en climas cálidos. Por último, se mide el nivel de iluminación y luminancias en 24 modelos residenciales, pertenecientes al laboratorio a escala 1:1 en Granadilla de Abona, en la vertiente sur de Tenerife, Islas Canarias. A partir de los datos obtenidos de la aceptación de la luz en los diferentes espacios, se calibra la tabla de comprobación creada en el software previo.

Ya tenemos los argumentos necesarios para incluir la luz solar como una componente imprescindible en el diseño de cualquier ambiente interior creado a partir de la luz natural, especialmente en climas soleados.

La luz natural se compone de luz directa e indirecta dependiendo de si en su recorrido encuentra algún obstáculo antes. Si obviemos la luz solar, en climas cálidos es muy probable que el espacio proyectado se sobrecaliente y provoque deslumbramientos, ya que no se ha planteado la entrada controlada de la luz directa. Por otro lado, las ventajas que nos ofrece la luz directa, son muy difíciles de lograr con la luz artificial.

Objetivo 4. Poner en práctica los objetivos anteriores. Crear un dispositivo que lleve la luz solar al interior de espacios sombríos o en los que previamente no ha sido posible percibir la variación natural de la luz, siguiendo las indicaciones de las variables hasta ahora no contempladas.

Tabla de contenidos

Resumen	iii
Abstract	vi
Objetivos generales	ix

INTRODUCCIÓN

1. Cuestiones generales	1
2. Elección del título	1
3. Exposición de motivos	2
4. Esquema de contenidos	9
5. Resultados esperados	9

DEFINICIÓN DE LA TESIS

1. Hipótesis y cuestiones generales	11
2. Enfoque y método	13
3. Alcance y límites	15

BLOQUE 1 PLANTEAMIENTO TEÓRICO

CAPÍTULO 1. MÉTODOS DE CÁLCULO Y DISEÑO DE LA LUZ	16
1. Avances tecnológicos	16
2. Método de Lumen	17
3. Factor de luz solar (FLS/SLQ)	18
4. Cuestionarios y experimentación on-line	19
CAPÍTULO 2. LA LUZ SOLAR EN ESPACIOS DE OFICINAS	20
1. Listado de parámetros detallado a tener en cuenta en los sistemas de control solar	22
2. Sistemas avanzados de control solar	23
3. Planificación de las mediciones	28
4. Planificación de las encuestas	31
5. Resultados de las mediciones	34
6. Resultados de las encuestas	47

CAPÍTULO 3. NUEVA CARACTERIZACIÓN DE LA LUZ _____	52
1. Referencias técnicas y artísticas _____	53
2. Fuentes de referencias y su impacto _____	54
3. Definición de variables cualitativas _____	57
4. Niveles de aceptación de las variables _____	66
5. División por actividad clasificada _____	66
6. Definición de perfiles de dependencia de las variables _____	70
CAPÍTULO 4. MAPAS VISUALES INTERACTIVOS _____	73
1. Pensamiento visual _____	73
2. Valor añadido de las imágenes _____	76
3. Lo irracional en la investigación _____	78
4. Método de análisis comparativo _____	83
5. Mapas interactivos de imágenes _____	85
6. Software de diseño Alux v.01 _____	87
CAPÍTULO 5. ACEPTACIÓN DE LOS USUARIOS _____	91
1. Niveles de aceptación por actividad clasificada _____	91
2. Planificación de las encuestas _____	96
3. Resultados de las encuestas _____	97
CAPÍTULO 6. EL DISEÑO DE LA LUZ SOLAR _____	102
1. La luz natural y la solar _____	103
2. El rayo de sol _____	103
3. La luz solar en el detalle _____	104
4. Configuración geométrica _____	108
5. Configuración espacial _____	115
6. Configuración temporal _____	116
CAPÍTULO 7. LA LUZ SOLAR DESDE EL OBSERVADOR _____	120
1. Iluminancias y luminancias _____	120
2. Agudeza visual y sensibilidad _____	122

3.	Deslumbramientos _____	123
4.	Memoria y representación _____	125
5.	Influencia en el ambiente luminoso _____	126
6.	Grado de aceptación de las manchas solares _____	127
CAPÍTULO 8. NUEVA CARACTERIZACIÓN DE LA LUZ SOLAR _____		129
1.	Definición de las variables relativas a la luz solar _____	130
2.	Distribución de variables relativas a la luz solar _____	131
3.	Variables según actividad diferenciada _____	132
BLOQUE 2 LABORATORIO EXPERIMENTAL		
CAPÍTULO 9. CONDICIONES PARTICULARES DE CLIMAS SOLEADOS _____		133
1.	Caracterización de la radiación solar _____	133
2.	Irradiación directa y difusa _____	134
3.	El recorrido solar _____	135
4.	Probabilidad de incidencia solar _____	138
5.	La eficacia luminosa _____	139
6.	Dinamismo y color _____	140
7.	El mar de nubes en Canarias _____	141
CAPÍTULO 10. LABORATORIO A ESCALA REAL _____		145
1.	24 Viviendas bioclimáticas _____	146
2.	Técnicas de acondicionamiento pasivo _____	148
3.	Monitorización de las unidades residenciales _____	149
4.	Sistema domótico _____	151
5.	Resultados de las mediciones _____	153
6.	Ocupación de las viviendas _____	168
7.	Resultados de las encuestas _____	169
8.	Comparación de resultados _____	171
CAPÍTULO 11. MEDICIONES DE LA LUZ SOLAR _____		175

1. Cálculo de la eficacia luminosa _____	175
2. Mediciones de luminancias en el espacio interior _____	178
CAPÍTULO 12. MEJORAS EN EL AMBIENTE LUMINOSO _____	184
1. Tabla de comprobación _____	184
2. Proyectores de luz natural _____	186
3. Maquetas y estudio in situ _____	186
4. Complejidad espacial espacios por ambiente luminoso _____	187
5. Instantes de luz _____	187
6. Variables relativas _____	202

BLOQUE 3 CONCLUSIONES

1. Conclusiones parciales _____	203
2. Conclusiones finales _____	205
3. Limitaciones y futuras investigaciones _____	206
Anexo 1 Glosario de términos _____	210
Anexo 2 Listado de variables por orden numérico _____	274
Anexo 3 Listado de variables consolidadas _____	279
Anexo 4 Estratificaciones del ser (Göttingen, Nicolai Hartman) _____	282
Anexo 5 Espejos en arquitectura _____	284
Anexo 6 La ventana en otras artes _____	309
Anexo 7 Listados de referencias _____	321
Anexo 8 Memoria de actividades TU-Dortmund _____	615
Anexo 9 Cámaras y herramientas informáticas _____	617
Anexo 10 Cuestionario sobre la luz (Dortmund) _____	619
Anexo 11 Fichas resumen de las Viviendas bioclimáticas ITER _____	629
Anexo 12 Cuestionario bioclimático del ITER _____	640
Anexo 13 Características principales de los sensores de las viviendas bioclimáticas _____	642
Anexo 14 Bibliografía _____	647

Anexo 15 Listado de figuras _____	661
Anexo 16 Listado de imágenes _____	663
Anexo 17 Listado de tablas _____	665
Anexo 18 Mapas visuales de interrelación entre variables _____	668
Anexo 19 Matriz base sobre el grado de aceptación de las nuevas variables lumínicas por actividad diferenciada _____	670

(página en blanco)

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Cuestiones generales
Elección del título
Exposición de motivos
Esquema de contenidos
Resultados esperados

1. Cuestiones generales

La tesis está claramente dividida en dos partes: una experimental, basada en las mediciones, control y aceptación de LA LUZ SOLAR EN LA ARQUITECTURA; y otra empírica, basada en la comparación de cualidades lumínicas a través de MAPAS VISUALES INTERACTIVOS. Ambas se complementan, incluso se superponen en algunos puntos. No he querido prescindir de ninguna de ellas, así que trataré de desarrollarlas durante esta investigación de forma paralela sin confundir al lector. En algún apartado se desarrolla de forma más intensa una cuestión que otra, pero en el fondo están las dos siempre presentes.

2. Elección del título

El título de esta tesis es lo primero que se encuentra el lector al recoger el escrito, así que me gustaría explicar los motivos que me han llevado a elegirlo:

1. *Destellos. Soluciones óptimas de arquitectura en el diseño y control de la luz natural*, fue el título en la presentación de la investigación que iba a realizar. Se trataba de recopilar una amplia base de datos sobre las soluciones óptimas adoptadas por los arquitectos en el control de la luz natural de alta intensidad en la arquitectura. Dónde habían sido utilizadas, cómo se había llegado a esas soluciones, sus comentarios y valoración en el diseño de los elementos de control de la luz natural en la arquitectura, incidiendo en la importancia que tenían las machas de sol de pequeñas dimensiones, alta intensidad y corta duración en el espacio interior. Sin embargo, las soluciones encontradas en papel no eran tan numerosas como esperaba y se repetían en las fuentes bibliográficas que iba consultando, en su mayoría simplemente mostrando una serie de fotos. Una de las mejores referencias que encontré al respecto es el libro de Elías Torres, *Luz cenital, luz celestial*. Surgieron, por lo tanto dos cuestiones: la primera, que las soluciones no eran tan numerosas ni tan fácil de extraer de la propia obra para reinterpretarlas y traerlas a nuestra propia condición; y la segunda, que la investigación se iba a convertir en un catálogo de soluciones en los que los que no estaban presentes, podría considerarse que no eran soluciones óptimas. Así que pensé en extraer la esencia de cada diseño, qué tipo de luz, cuál eran las cualidades de la luz lograda en lugar de la forma de conseguirlo, para crear un mapa de instantes en los que la luz directa incidiera en el espacio interior. Este mapa de destellos, dinámico, interactivo establecería una relación
-

entre diferentes situaciones lumínicas, no de una forma lineal, cronológicamente, sino *de un vistazo* con el objetivo de entender ese *todo lo demás* no considerado por la tecnología actual. En ese momento los destellos se transforman en *Fuera de juego*, contemplando la parte irracional del estudio de la luz y *todo lo demás* en relativa situación marginal en el contexto científico actual.

2. *Fuera de juego, el valor de lo irracional en los procesos de innovación en la arquitectura*, fue el segundo título. Un sinfín de cualidades lumínicas se perdían en la transición de las imágenes mostradas en las fuentes bibliográficas, sus cualidades descritas de un modo incluso poético y los estudios técnicos y herramientas informáticas de cálculo y diseño de la iluminación a partir del aprovechamiento de la luz natural. Así que amplíé mi tema de tesis: como volver a recopilar *todo lo demás* que quedaba en el vacío insoslayable de lo subjetivo, lo no cuantificable relativo a la luz natural de alta intensidad. *Fuera de juego* destaca el punto de vista del observador. El sujeto se vuelve de nuevo el protagonista y cualquier consideración sobre la luz solar en la arquitectura se hace desde lo subjetivo. Nos quedamos *fuera de juego*, es decir en estado de perplejidad, cuando nos ciegan múltiples *destellos*. Nos quedamos *fuera de juego* cuando nos deslumbra la luz, cuando algo nos impresiona y cuando nos adelantamos más de la cuenta, dejando atrás a los demás. Contiene por lo tanto, tres aspectos fundamentales de la luz solar en la arquitectura. Tras el *fuera de juego* puedes continuar ciego si el objetivo es lo suficientemente intenso para no necesitar verlo o simplemente comenzar otro juego diferente
3. *Fuera de juego. Variables cualitativas de la luz en la arquitectura*, es el título definitivo. Más de 1000 referencias artísticas y técnicas han sido recogidas en esta investigación para generar 194 variables relativas a la luz y el espacio. La luz solar contiene 22 de estas variables con la que se puede volver a *jugar*. Una herramienta para pensar en imágenes y ampliar las posibilidades de diseño espacial. La casilla vacía de Deleuze...

3. Exposición de motivos

El primer motivo de la investigación se resume en estas dos imágenes. En la imagen de la izquierda (imagen 1) observamos una escena bajo la luz natural, con unas manchas muy suaves de luz solar perpendiculares a las tablas de la tarima de madera. Un instante después se retiran las nubes, y la misma escena se llena de luz procedente directamente del sol (imagen 2). La luz natural en la segunda imagen se compone de luz solar directa e indirecta, y ocurre lo siguiente:

- Aumento de las luminancias; al aumentar la intensidad de la luz incidente, aumenta la luz reflejada en las superficies, creando una nueva fuente de luz que aumenta el nivel de luz general; esto se puede observar en la imagen pero especialmente en la pared del fondo.
 - Aparición de las manchas solares que se entrecruzan con las formas y las luminancias preexistentes; variación natural de la luz, de la posición, forma e intensidad de las manchas solares; y,
-

- Aparición de nuevas sombras que contrastan aún más con las manchas de sol.



Imagen 1 La luz natural en la arquitectura. Izquierda: luz difusa, cielo cubierto 02/07/2015, 16:07:09 h; derecha: manchas de luz solar, cielo despejado 02/07/2015,16:07:47 h.

Cuando la luz solar entra en escena, cambia todo el ambiente lumínico, no sólo en las manchas en sí, sino en el aumento del nivel de luz (iluminancias, E) y el aumento de contrastes. La luz natural varía a lo largo del día, es una variación mucho más lenta y sutil que el movimiento de las manchas solares.

En este caso, la luz solar incide en diagonal atravesando una celosía situada en la entrada de la vivienda 1 denominada *La Geria*, Primer Premio del Concurso de Arquitectura Sostenible convocado en 1995 por el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables apoyado por el Colegio Internacional de Arquitectos y promovido por el Cabildo de Tenerife.

Motivos relativos a la luz en la arquitectura

UNO. La falta de datos técnicos relacionados con la luz solar en la arquitectura contrasta con los deseos de disfrutarla de la mayoría. La atención de los técnicos respecto a la luz natural está hoy en día dirigida principalmente a limitar o definir intensidades mínimas para ahorrar energía y garantizar el confort visual. Mientras tanto la atención de fotógrafos, diseñadores y el público general está dirigida a retener ese instante fugaz (foto2). El diseño de la luz natural debería conservar la visión de unos y las capacidades de control de otros. Debería alejarse al máximo posible de proveer a los espacios únicamente de una cantidad de luz mínima.

DOS. Desde hace tiempo sabemos que la luz nos influye en cuatro niveles diferenciados: material-físico, corporal, intelectual y espiritual, simultáneamente. Los cuatro niveles tienen sus propias leyes y principios. Resulta imposible evaluar el cuarto nivel (espiritual) mediante los mismos principios que el primero, y así ocurre con cada uno de ellos. Es decir, lo que ocurre a nivel inconsciente hasta la integración de la realidad en la experiencia visual completa de la luz y el espacio, es completamente diferente, aunque por su puesto mantienen entre estratos cierta dependencia y autonomía (Transgresiones fronteras, N. Hartman).

TRES. Todos los indicios apuntan a que los espacios diseñados sin una actividad específica como los espacios de transición, poseen una luz con cualidades singulares, especialmente agradables. Es posible que tengan mejores condiciones lumínicas que aquellos en los que la luz ha sido limitada a un uso determinado.

CUATRO. Es posible además, que la coherencia entre el espacio y la luz esté directamente relacionada con la necesidad de reforma de los edificios; los edificios en los que la forma se entrelaza con la luz natural podrían tener una mayor durabilidad sin modificaciones sustanciales. Además de esto, si nos dan a elegir, solemos preferir las manchas de sol (imagen 2, estudio en una muestra de más de 250 personas en el capítulo 6).

CINCO. Si damos un paseo por cualquier calle mirando hacia arriba, nos damos cuenta de que la mayoría de las ventanas están cubiertas por cortinas, adornos, persianas, ¡he llegado a conocer incluso casos de ventanas zapateras!, de manera permanente, sin importar la orientación. Quizás esto tenga que ver más con la intimidad o la falta de ella, el tiempo que dedicamos a estar en ese espacio, las necesidades visuales que tengamos u otros factores que nada tienen que ver con los supuestos inconvenientes de la luz solar (deslumbramientos y sobrecalentamiento). Otro motivo podría ser que la luz natural en el interior de los espacios no nos aporta mucho hoy en día.

SEIS. Por último, la luz solar como cualquier otro aspecto de la arquitectura depende de múltiples factores y normalmente su estudio es mucho más complejo que una simple cuestión de intensidades.

Motivos relacionados con la luz solar

UNO. La luz natural procedente del sol se compone de luz directa –luz solar- y luz indirecta o difusa. Son numerosos los documentos técnicos y manuales que partiendo de la necesidad de evitar los deslumbramientos y sobrecalentamiento de la luz solar, definen la iluminación homogénea basada en intensidades mínimas para poder desarrollar ciertas actividades en su interior (oficinas, por ejemplo) como situación lumínica óptima. En ellos se aconseja a los técnicos considerar un día nublado para poder hacer los cálculos de iluminación y así garantizar un nivel de luz mínimo, para poder desarrollar determinada actividad en el espacio dado.

En este documento se propone incluir la luz solar en el espacio interior, de una forma controlada. Se limita a las técnicas de luz natural entendidas como aquéllas que se utilizan para conformar una luz dinámica en el interior de los edificios, con diferencias de claridad, dependiendo del día y del momento del año y con incidencia de los rayos solares en el interior de los edificios. No contempla el estudio de mecanismos de control solar ya sean manuales o mecánicos mediante los cuales se pierda el dinamismo vivo de la luz natural, derivando en espacios monótonos.

DOS. Las ventajas de introducir la luz natural en los edificios son obvias: calidad lumínica y energía procedente de una fuente renovable, en este caso el sol. A esto se le debe sumar los beneficios en la salud y el bienestar que aporta la luz natural, conocidos solo en parte hasta ahora. Las desventajas de la luz natural están asociados normalmente a la falta de control de

ésta, que en muchos casos se traduce en: sobrecalentamiento e incomodidad visual, ya sea por exceso o deficiencia. A los problemas habituales de falta de control de la luz, se deben añadir los que derivan de la postura opuesta: no dejar que la luz natural entre en el edificio, para evitar deslumbramientos y sobrecalentamiento, dando lugar a espacios monótonos, sin relación con el exterior y, por lo tanto, sin apenas referencias espacio temporales. En las grandes superficies comerciales no poder orientarse en relación al tiempo que llevamos dentro del espacio comercial, puede convertirse en una ventaja para el vendedor. En otros espacios puede derivar en enfermedad.

TRES. La luz es información y si no hay contradicción, el ser humano permite unos niveles altos de contraste sin tener la sensación de incomodidad. Contamos con una infinidad de soluciones, materiales, acabados, etc para moldear el espacio mediante la luz, mejorando a su vez la comodidad, la salud y el bienestar general en su interior. Aproximadamente el 80% de la información procedente de nuestro entorno la percibimos -la mayoría de personas- a través de la visión y para ella es necesaria la luz.

La cantidad de luz que necesita cada persona viene determinada por el entorno lumínico en el que se encuentra, la actividad que esté desarrollando, el tiempo de permanencia en una misma actividad y sus expectativas personales y culturales. Hay ciertos espacios en los que las exigencias lumínicas vienen definidas por reglas sociales más que por necesidades personales.

CUATRO. La luz natural es dinámica, cambiante y para poder moldearla con precisión según las exigencias actuales se precisan métodos de cálculo, simulación y predicción cada vez más fiables. La posición del sol, es muy fácil de predecir, no lo es tanto definir con exactitud la fuerza de los rayos solares, ya que dependen de las condiciones meteorológicas (temperatura, vapor de agua, polución etc). Existe una amplia geografía científica que insiste en la precisión como meta en el cálculo, simulación y predicción de la luz natural en el interior de los edificios.

En esta búsqueda y si la tecnología acompaña, aumenta el número de variables que incorporar a cada caso y disminuye la distancia entre lo simulado y lo real. Sin embargo, junto a la precisión también crece la complejidad de los métodos y programas de cálculo y llegando a ser inútiles para la mayoría. Es posible que ciertas herramientas básicas como el factor de luz natural (FLD) vuelva a ser una herramienta útil, que relaciona interior con exterior según una geometría posible. Sin embargo, para ciertos climas sería más útil un factor de luz solar SLQ/FLS más que FLD.

CINCO. Eso en cuanto a la luz natural. Las consecuencias espaciales de la luz artificial en la arquitectura son evidentes; ha desaparecido la distancia máxima de separación del hueco en la envolvente del edificio a partir de la cual la luz deja de ser suficiente para poder ver. Ahora entran en juego otras variables en la distribución espacial como son los usos, la seguridad, la ocupación...la mayoría de nuestras actividades se detendrían si no tuviésemos una fuente de luz alterna. Las consecuencias no geométricas de la independencia entre el interior y el exterior no son tan directas. Las mediciones numéricas no siempre coinciden con las preferencias de los usuarios.

Criterios y deficiencias relativos a la luz solar

Criterios relativos al diseño de la luz natural en el interior de los espacios:

- Relación entre luminancias interiores con la luz precedente de un cielo cubierto, es decir cuando las luminancias son relativamente constantes. (FIN/FLD).
- Distribución y dimensionado de huecos en fachada en relación al ángulo desde el que tenemos cielo visible y con respecto a la superficie total de la habitación.
- Relación 1/3 en diferentes campos de visión.
- Influencia de la luz sobre la productividad y el confort visual.
- Deficiencias relativas al diseño de la luz natural en el interior de los espacios:
- Excesiva simplificación de los requisitos derivando en espacios monótonos.
- Configuración espacial basada principalmente en la distribución de usos, la economía y la seguridad.
- Falta de control de la luz natural derivando en sobrecalentamiento e incomodidad visual.
- Falta un factor de luz solar (FLS), es decir relacionado con la luz directa en el interior.
- Ausencia de fiabilidad de las unidades de medida de los parámetros subjetivos.
- Escasas investigaciones relativas a la complejidad de la calidad de la luz natural.
- Excesiva complejidad de los métodos de cálculo y simulación de la luz natural en los edificios.
- Baja capacidad de comunicación de los nuevos adelantos relativos a la luz al público general.

Limitaciones de las métricas estáticas (FLD) de la luz natural:

- Se utiliza para poder hallar un valor aproximado y determinar la claridad mínima en habitaciones hasta 50 metros cuadrados.
- No considera ni el clima ni la orientación.
- Se basa en valores mínimos recomendados, por lo tanto produce grandes superficies vidriadas presentando sobrecalentamiento y deslumbramientos.
- Fomenta el uso intensivo de protectores solares y en consecuencia al uso de iluminación artificial casi permanente, lo que se opone al objetivo de edificios sostenibles.
- La protección solar impide las posibles vistas al exterior y la conservación de la variación natural de la luz.
- Deja de lado los aspectos positivos de la penetración de la luz solar en un edificio, como los efectos en la salud y el bienestar de los ocupantes (HOBDA, 2006). Este método no considera tampoco las franjas de uso o el tipo de recinto.

Mapas visuales interactivos

UNO. Las nuevas tecnologías sólo abarcan una pequeña parte de la complejidad del ambiente lumínico, los técnicos siguen basando su conocimiento en gran parte en la intuición, sensibilidad y experiencia.

DOS. Las nuevas tecnologías resultan inútiles si el proceso de aprendizaje y si el conocimiento para poder usarlos es excesivamente detallado. El motivo por el cual surge Alux (programa de diseño creado para esta investigación) es abarcar las cualidades lumínicas no definidas ni contempladas actualmente por medio de las nuevas tecnologías, para evitar el *fuera de juego* actual. El programa se basa en el método comparativo, en capturar una serie de instantes en los que la luz intensa incide en la arquitectura, destacando el papel de la arquitectura como *reflejo* de un momento y un lugar determinados – el espejo, la identidad como artificio, de nuevo *destellos*-. La cuestión no es si la situación lumínica escogida es correcta, si corresponde con la realidad de una arquitectura concreta y su contexto o si es representativa, sino si transmite un concepto o cualidad de la luz concreto.

TRES. Mediante un juego de similitudes entre destellos intelectuales (soluciones óptimas en cuanto al diseño de la luz en la arquitectura) y momentos de luz capturados, he desarrollado varios mapas de referencias interactivos para relacionar entre sí alrededor de 1000 *destellos*, instantes capturados en los que la luz tenga un carácter especial. Una cuestión fundamental de los mapas comparativos es no proponer soluciones definitivas sobre la luz y la arquitectura, a modo de catálogo dogmático sobre grandes obras en un círculo cerrado, sino profundizar en las cualidades lumínicas para luego cruzar los datos y concluir sobre la comparación.

CUATRO. Durante el desarrollo de la tesis, el motivo *destellos* -análisis de soluciones óptimas – dejó paso a otra consideración, lo que esos *destellos* provocan; es decir analizar, primero la influencia de la luz en las personas, cómo la perciben y cómo la representan, las diferentes necesidades de luz a lo largo de la historia de la arquitectura, los comentarios publicados en revistas y libros en los que se destaca un diseño de la luz en la arquitectura sobre otra: qué se considera hoy en día como situaciones lumínicas significativas y los motivos por los que se destacaban ciertos aspectos de la luz o ciertos diseños en función de sus cualidades lumínicas.

Alux

Programa de diseño de la iluminación de ambientes interiores

Variables

Imágenes

Mapas

Interrelación

Aceptación

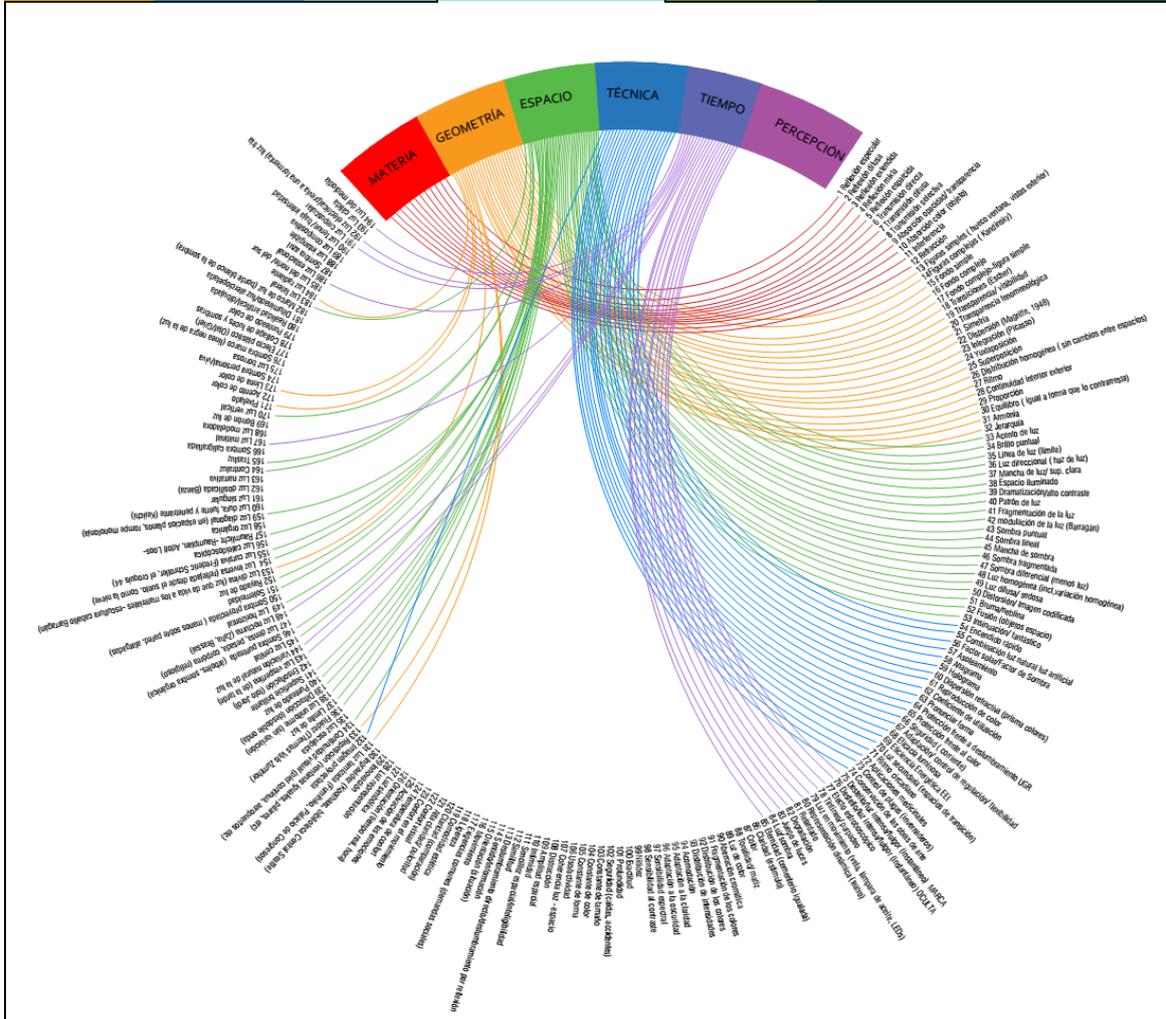


Imagen 2 Mapa visual interactivo sobre las relaciones entre referencias y parámetros de la luz

Al incidir en la importancia de que cada *instante de luz* reflejaba un fragmento incompleto o al menos deformado por el propio intelecto – el esperpento-, y que cualquier herramienta que utilizáramos para evaluar el ambiente lumínico, por muy precisa que fuera, también estaría incompleta [monstruosidades imposibles]; la arquitectura, en un proceso de elucidación recíproca no sólo actúa como *reflejo*, como material acabado inalterable, sino que se transforma con cada *destello*. El dossier de referencias, el glosario de términos y un ejemplo de selección de parámetros de los mapas interactivos se encuentran en los anexos.

CINCO. Cuando la comparación de reflejos y modos de entender la luz se repite una y otra vez, nos hallamos en un fuera de juego, donde la aceleración continua del tiempo nos provoca la ceguera perpetua [mental y espacial]. Ese momento de perplejidad se propone entonces como un estado de carencia de objetivos y por lo tanto de límites en la investigación, un espacio para

un nuevo juego donde divagar, imaginar, innovar...el juego como método de investigación avanzado.

EN RESUMEN, el motivo fundamental de esta investigación es provocar intencionadamente un desequilibrio capaz de romper las reglas del juego establecidas hasta ahora respecto a la luz solar, insistiendo en la importancia de lo irracional en cualquier disciplina [FUERA DE JUEGO].

4. Esquema de contenidos

La luz solar en la arquitectura

- Sistemas de control solar en su función activa. Definición de la luz solar, configuración espacial y cálculos de la luz solar. Mediciones de la luz natural en diferentes espacios. Factor de luz solar. Estudio del grado de aceptación de la luz solar en espacios de oficinas.
- Laboratorio a escala real, monitorización de parámetros del ambiente interior de 24 modelos bioclimáticos. Estudio de luminancias a lo largo del recorrido solar. Mapeos de luminancias a partir de la técnica de Imágenes de Alto Rango dinámico (HDR) y mediciones de luminancias puntuales de validación. Comparación de los datos obtenidos en las predicciones a partir de programas de cálculo y simulación de la luz natural y los obtenidos in situ. Comparación de los datos obtenidos por los instrumentos de medición y los sensores, y la valoración subjetiva de las personas encuestadas.

Nueva caracterización de la luz

- Estudio de variables lumínicas a partir de referencias técnicas y artísticas. Definición de 194 variables relativas a la luz y el espacio. Correlación, perfiles de dependencia, consistencia y grado de aceptación por actividad clasificada. Creación del software Alux v.0.1. Encuestas sobre el grado de aceptación de cada variable por actividad clasificada. Grado de desviación con respecto a la tabla teórica.
- Mapas visuales interactivos. Estudio de reflejos, destellos y situaciones lumínicas concretas; glosario de términos, método comparativo según diferentes fuentes y forma de representación en diferentes artes; tipos de luz: (1) destellos, (2) luz en movimiento y (3) luz sin variaciones. Cuestionario sobre las preferencias de los usuarios de luz natural con o sin manchas de luz solar. Tabla de comprobación del ambiente lumínico según el grado de aceptación de los usuarios.
- Tabla sencilla de comprobación. Selección entre 194 variables, según la cual obtenemos el grado de aceptación de un espacio.

5. Resultados esperados

Los resultados que se esperan de la investigación se resumen en lo siguiente:

La luz solar en la arquitectura

- Valor real de eficacia luminosa para el sur de Tenerife.
- Mapas de luminancias a partir de fotografías HDR en el espacio interior real para espacios en los que incide la luz solar para diferentes configuraciones geométricas.
- Análisis del recorrido solar en el interior de los espacios a partir de secuencias fotográficas tipo Snap.
- Maquetas experimentales sobre la luz solar: configuración espacial y superficies; reflejos de la luz solar. Proyectores.

Nueva caracterización de la luz

- Base de datos y software de análisis comparativo: recopilación de un número significativo de ejemplos en los que la luz penetra directamente en el espacio interior y reflexión a partir de una serie de mapas visuales sobre diferentes instantes según una serie de parámetros lumínicos preestablecidos.
 - Tabla de comprobación de la selección de variables cualitativas nominales simultáneas en relación con el grado de aceptación de los usuarios.
 - Mapas visuales sobre distribución e interrelación de variables lumínicas complejas.
- Conclusiones sobre cada apartado y valoración transversal de los resultados.
-

DEFINICIÓN DE LA TESIS

DEFINICIÓN DE LA TESIS

Hipótesis y cuestiones generales
Enfoque y método
Alcance y límites

1. Hipótesis y cuestiones generales

Las investigaciones acerca de la luz y el espacio han avanzado mucho en cuanto a programas de simulación, protocolos de medición, valores deseados e incluso la cuantificación de los beneficios que tiene la luz natural en las personas. La calidad de la luz se vincula mediante una descripción matemática estandarizada sobre la sensibilidad visual a los valores objetivos derivados de la distribución espectral de la radiación.

Cuando se tiene en cuenta al observador, la luz debe garantizar un rendimiento visual mínimo, debe ser útil según un índice de utilidad (UDI, *Useful Daylight Illuminance*), confortable (UGR, índice de deslumbramiento unificado), eficaz (VEEI, valor de la eficiencia energética de la instalación), etc.

La luz es también la principal fuente de información del ser humano. El 80% de la percepción de nuestro entorno procede de la visión. Hasta ahora para poder controlar la luz en el espacio, ésta se ha desgranado, analizando sus cualidades una por una.

En esta investigación se agrupan de nuevo esas cualidades de la luz, descritas a partir de luminancias, color, distribución etc. Se define entre otros términos lo que es la luz narrativa, la transparencia fenomenológica, una sombra fragmentada (glosario de términos) y se analizan a partir del estudio de referencias técnicas y artísticas.

La desventaja de analizar soluciones arquitectónicas concretas es caer en evaluaciones simplistas de orden lineal según las cuales unas soluciones son mejores frente a otras.

Las ventajas de analizar un ambiente luminoso virtual son: el control de la variación de la luz en el tiempo, la posibilidad de recurrir a un instante concreto cuantas veces sea necesario durante la investigación y la capacidad de transmitir vía online la misma situación a un número mucho mayor de observadores.²

¿Qué significado tiene la luz? ¿Qué información nos transmite? ¿Qué importancia tiene?

² [4115] Los estudios demuestran que los datos obtenidos a partir de la simulación de un entorno lumínico y otro desarrollado en laboratorio no presentan diferencias significativas en cuanto a la percepción de éste por los observadores (*p. 418 Lighting Research & Technology volumen 45, número 4, 2013, The Society of Light and Lighting, An International Journal, CIBSE. ISSN 1477-1535*).

Toda esa información se encuentra en las referencias. Las referencias bibliográficas nos aportan descripciones de ambientes luminosos, instantes de luz capturados en papel fotográfico, interpretaciones de nuestra realidad, representaciones.

De esta manera, comienza la investigación formulando las siguientes hipótesis:

- Hipótesis 1** El tratamiento de la luz natural en el interior de los espacios influye directamente en nuestra calidad de vida. En 80% de la percepción de nuestro entorno procede de la visión, así que sin luz, nos perdemos una buena parte de lo que nos rodea. Desde el punto de vista del confort visual la luz es necesaria no sólo para ver, sino también para interactuar con las demás personas que conviven con nosotros. Influye positiva o negativamente en todo nuestro organismo, en nuestra capacidad intelectual, en nuestra activación psicológica y en nuestra salud general.
- Hipótesis 2** Estudiar las formas de representación de la luz y compararlas con situaciones reales nos da una idea de cómo la entendemos y qué esperamos de ella.
- Hipótesis 3** Más de un 85% de las personas prefiere las manchas solares en el espacio interior. Al igual que la mayoría de las personas prefiere un nivel de iluminación mayor al mínimo necesario establecido por normativa para evitar la fatiga visual, la mayoría prefiere ver los rayos de sol y los contrastes derivados de la luz natural en su totalidad (resultados obtenidos a partir de encuestas).
- Hipótesis 4** La luz natural se compone de luz directa e indirecta, por lo tanto cualquier método de simulación, medición y/ o control de la luz natural debe tener en cuenta ambas componentes para evitar el sobrecalentamiento de espacios y deslumbramientos a los usuarios. Muchos de los métodos de cálculo actuales sólo tienen en cuenta la componente indirecta o son demasiado complicados.
- Hipótesis 5** Son numerosos los ejemplos de arquitectura publicados en los que la luz solar incide en el espacio interior. Sin embargo, son aún más numerosos los documentos técnicos que aseguran que hay que evitar la luz solar para comenzar a diseñar una iluminación óptima.
- Hipótesis 6** Una simplificación excesiva de los parámetros lumínicos implica la necesidad de mayores niveles de luz. A esto se le suman otros problemas asociados al cálculo de la luz. La consideración de la luz como un fenómeno estático lleva a una excesiva homogeneidad de la luz.
- Hipótesis 7** No todos los espacios tienen las mismas exigencias de luz. Hay espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico, que se quiere transmitir con la iluminación, son preponderantes.
- Hipótesis 8** La luz dinámica nos activa, la necesitamos. Es una fuente de información y de referencia temporal.
-

2. Enfoque y método

Una situación lumínica creada en laboratorio o a través de programas de simulación no refleja la complejidad visual a la que se expone a diario el ser humano. En ningún caso, el objetivo final es la elaboración de un catálogo de soluciones arquitectónicas particulares. En este documento se incluye el amplio espectro de posibilidades lumínicas que se dan en espacios singulares, pero también en espacios corrientes considerando la luz desde un punto de vista holístico.

En términos generales la investigación sigue el siguiente método: la investigación está dividida en dos grandes bloques: el bloque 1 basado en el conocimiento científico técnico sobre luz solar en la arquitectura especialmente en climas soleados, y el bloque 2 basado en el conocimiento empírico sobre la luz en el espacio.

LA LUZ SOLAR EN LA ARQUITECTURA. Definición de la luz solar, configuración espacial y cálculos de la luz solar. Mediciones de la luz natural en diferentes espacios. Factor de luz solar.

Laboratorio a escala real, monitorización de parámetros del ambiente interior de 24 modelos bioclimáticos. Estudio de luminancias a lo largo del recorrido solar. Comparación de los datos obtenidos en las predicciones a partir de programas de cálculo y simulación de la luz natural y los obtenidos in situ. Comparación de los datos obtenidos por los instrumentos de medición y los sensores, y la valoración subjetiva de las personas encuestadas.

MAPAS VISUALES INTERACTIVOS. Recopilación de referencias y definición de familias de variantes junto a la descripción breve de situaciones lumínicas singulares (1), desarrollo de una herramienta gráfica dinámica en la que quede reflejada la interrelación de variables (2), estudio gráfico de las variantes en relación a las características espaciales, temporales y ambientales (3) y, por último, conclusiones acerca de las hipótesis planteadas (4).

La parte de mapas visuales interactivos se desarrolla en su mayoría en el desarrollo teórico (capítulos 3,4 y 5). El bloque 2 se desarrolla en su mayoría en el capítulo 3, nueva caracterización de la luz; aunque ambos tienen una parte de desarrollo experimental y otra teórica. Las tareas relacionadas con los mapas interactivos, desarrollo teórico y práctico se resumen a continuación:

TAREA 1.- Análisis de situaciones lumínicas singulares a partir de referencias técnicas, imágenes, obras de arte en las que la luz es analizada según sus cualidades. Cualquier forma de expresión que capte un instante luminoso es válida mientras refleje cualidades lumínicas singulares en un espacio determinado. Definición de familias de variantes y acumulación de referencias.

TAREA 2.- Creación de un software de fácil manejo basado en el método comparativo y los mapas de imágenes interactivos. Comparación de las referencias analizadas a través de una herramienta gráfica dinámica a modo de gestor de referencias. Análisis de la complejidad de variables asociadas a la configuración geométrica y espacial. A los problemas de identificación y búsqueda de variables se añade, cada vez con más importancia, el de organización de la información. Los gestores de referencias comparten una serie de funciones básicas permitiendo ampliar el número de variables de acuerdo con el contexto tecnológico actual.

TAREA 3.- Estudio gráfico a través del software *Alux v1.0*.

TAREA 4.- Estudio de situaciones reales según las variables y complejidad establecidas.

TAREA 5.- Creación de una tabla de comprobación de las variables lumínicas que se han elegido como preponderantes a la hora de definir un ambiente luminoso.

Los límites de esta investigación son los que se especifican a continuación. No se define de nuevo lo que es la esencia³ de la arquitectura al establecer la luz como elemento esencial en el espacio arquitectónico. En esta investigación la luz solar es esencial en el espacio arquitectónico, debe ser incluida en los cálculos de iluminación natural, al menos en climas donde más de la mitad de los días el sol incide directamente en el interior de los edificios. La formación del concepto asociado actualmente a la iluminación, eficiencia energética y sostenibilidad⁴ a lo largo de la historia, tampoco es una tarea que deba ser recogida en este documento. Sobre la esencia de la arquitectura, las necesidades básicas del ser humano – en la práctica mayoría de la documentación consultada sólo se consideran las necesidades fisiológicas- y los requisitos básicos que debe cumplir la arquitectura para alcanzar ciertos valores en el uso racional de la energía, existe ya documentación extensa que se puede consultar, analizar y valorar.

³ HEIDEGGER, Martin. El origen de la obra de arte.

‘Para encontrar la esencia del arte, que verdaderamente reina en la obra, buscaremos la obra efectiva y le preguntaremos qué es y cómo es [...] Pero si la diferenciación entre materia y forma nos lleva a este punto, ¿cómo podremos aislar con su ayuda el ámbito específico de las meras cosas a diferencia del resto de los entes? Tal vez esta caracterización según la materia y la forma vuelva a recuperar su poder de determinación si damos marcha atrás y evitamos la excesiva extensión y consiguiente pérdida de significado de estos conceptos. Es cierto, pero esto supone saber de antemano cuál es la región de lo ente en la que tienen verdadera fuerza de determinación. Que dicha región sea la de las meras cosas no deja de ser por ahora más que una suposición. La alusión al empleo excesivamente generoso de este entramado conceptual en el campo de la estética, podría llevarnos a pensar que materia y forma son determinaciones que tienen su origen en la esencia de la obra de arte y sólo a partir de allí han sido transferidas nuevamente a la cosa. ¿Dónde tiene el entramado materia-forma su origen, en el carácter de cosa de la cosa o en el carácter de obra de la obra de arte? [...] Según esto, la esencia del arte sería ese ponerse a la obra de la verdad de lo ente. Pero hasta ahora el arte se ocupaba de lo bello y la belleza y no de la verdad. Por eso, a las artes que producen este tipo de obras se las denomina bellas artes, en oposición a las artes artesanales, que elaboran utensilios. No es que el arte sea bello en el campo de las bellas artes, sino que dichas artes reciben ese nombre porque crean lo bello. Por el contrario, la verdad pertenece al reino de la lógica, mientras la belleza está reservada a la estética’

⁴ ILLICH, Iván: Energía y equidad

El desarrollo sostenible es un tipo de desarrollo que responde a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de responder a las suyas. Consta de tres vertientes, la económica, la social y la medioambiental, que deben abordarse políticamente de forma equilibrada.

Bibliografía asociada, anexo18: [POI], [McN], [COM], [MEAA], [MEAb], [MEAc], [MALT],[ITEC], [WE], [BRUG], [BRA], [BET], [ROG].

Informe Brundtland: ‘Nuestro futuro común’. Comisión’ Mundial del Medioambiente y del Desarrollo
WORLD RESOURCES: La Guía Global del medioambiente. Población y Medioambiente. Consumo de los Recursos. Crecimiento Demográfico.

Se menciona la base conceptual en la que se apoya esta investigación – términos como eficiencia energética, confort, hábitos de comportamiento, métodos de investigación y protocolos de estudio experimental-. Su importancia no se sigue debatiendo aquí.

Definir los requisitos que debe cumplir una solución arquitectónica para que sea considerada como óptima en su contexto y comparar con las necesidades actuales, cuales son las ideas arquitectónicas que lograron en su momento satisfacer las necesidades del ser humano en toda su complejidad, social, cultural, económica y energética, es un posible estudio con grandes aspiraciones. Con humildad no supuesta, se abarca aquí únicamente una serie de fenómenos lumínicos asociados a la luz, incluida la luz solar que podrían considerarse singulares para analizarlos, asociarlos entre sí y reinterpretarlos. El objetivo fundamental es entender un poco mejor el ambiente lumínico a través del estudio de experiencias y de la propia experimentación.

3. Alcance y límites

Los límites de la investigación son los que se definen a continuación. No se contemplan las soluciones de arquitectura relacionadas con el correcto uso de la luz natural, desde el punto de vista material; es decir, no se hace una clasificación ni tipificación de artilugios ni soluciones arquitectónicas como por ejemplo de los diferentes lucernarios, o las dimensiones mínimas para cumplir con unas cualidades lumínicas determinadas; altura mínima para que el rayo de luz incidente tenga cierta repercusión en el espacio generado, etc.

Aquí se trata de capturar alrededor de 194 conceptos relacionados con la luz natural y sus cualidades no cuantitativas, que han sido plasmadas en diferentes obras, para comprarlas entre sí. El número de referencias escogidas ronda las 1000 referencias. El elemento fundamental es la luz, no la superficie en la que se ve reflejada o la forma que la limita.

En este documento se menciona por encima los requisitos básicos que debe cumplir la arquitectura para alcanzar ciertos valores en el uso racional de la energía. Sin embargo, no es un aspecto fundamental en esta investigación. Definir los requisitos que debe cumplir una solución arquitectónica para que sea considerada como óptima en su contexto y buscar la forma de diseño que satisfaga nuestras necesidades en toda su complejidad, social, cultura, económica y energética, es sin duda un estudio con grandes aspiraciones. En este documento se destaca únicamente el valor de la luz solar a partir de una serie de consideraciones, la importancia que tiene y se dan algunas herramientas para poder avanzar en el conocimiento científico de la luz solar en la arquitectura.

Cualquier texto, documento técnico, catálogo o enunciado, en el que se recomiende evitar la luz del sol como premisa de diseño de la luz natural, es limítrofe de esta investigación.

BLOQUE 1 PLANTEAMIENTO TEÓRICO

Capítulo 1. Métodos de cálculo y diseño de la luz

BLOQUE 1	CAPÍTULO 1 MÉTODOS DE CÁLCULO Y DISEÑO DE LA LUZ	Introducción Avances tecnológicos Método de Lumen Factor solar (FS/SLQ)
----------	--	--

Introducción

Para el estudio y diseño de la iluminación interior de edificios con luz natural es preciso determinar las herramientas de diseño que hemos desarrollado hasta ahora. El objetivo de este capítulo es situarnos frente a los avances tecnológicos y herramientas de diseño y cálculo respecto a la luz natural para edificios en climas soleados.

El cálculo metódico y científico de la luz natural es relativamente reciente (1895 ca.). Ha avanzado mucho en muy poco tiempo. En esa transformación acelerada de los métodos empíricos en herramientas informáticas de alta precisión, han quedado muchas cualidades de la luz sin considerar. A esto se le suma la complejidad en el uso y manejo de las herramientas informáticas especializadas en la iluminación a partir del aprovechamiento de la luz natural.

Para diseñar la iluminación de cualquier espacio basado en el aprovechamiento de la luz natural, es necesario añadir cierto conocimiento sistemático y datos a nivel regional al método de cálculo y diseño actual (Bloque 2 laboratorio experimental).

1. Avances tecnológicos

El estudio científico de la luz natural en el interior de los edificios podríamos decir que es relativamente reciente. Sus inicios datan de 1895 [WAL]⁵ cuando se comenzó a medir la iluminación exterior. Las mediciones se hicieron básicamente con fotómetros, muchos tipos

⁵ WALSH, J.W.T 1951: The early years of Illuminating engineering in Great Britain. Transactions of the Illuminating Engineering Society 15 (3): 49-60.

inventados por numerosos científicos, uno de los primeros fotómetros diseñados para medir la luz del día fue diseñado por Trotter A.P.

Los primeros estudios sobre la luz natural en edificios se basan en la valoración de su rendimiento, es decir, la mayoría de los métodos, estudios, indicadores, sistemas y herramientas eran creados para poder valorar el rendimiento lumínico.

Los métodos iniciales fueron basados en gráficas como el diagrama de Waldrams (1923), el diagrama *pepper-pot* de Pilkington, las tablas de *Building Research Establishment* (BRE) y *Graphic Daylight Design Method* (GDDM). Más adelante, los investigadores trataron de desarrollar métodos empíricos para el cálculo de la iluminación natural. Algunos de estos métodos se transformaron en herramientas como calculadoras de mano que posteriormente se incorporaron a los estudios como herramientas informáticas sofisticadas de predicción de la luz natural.

A su vez, fueron desarrollándose algunos indicadores como el *Daylight Factor* (D), *Daylight Autonomy* (DA) y el *Useful Daylight Illuminance* (UDI). Los métodos no gráficos básicamente consisten en: (a) configuraciones geométricas a modo de transportadores, (b) reglas de cálculo, (c) fórmulas empíricas y (d) gráficas y tablas de uso directo para calcular el D.

Recientemente, los avances han sido en lo referente al ahorro energético en la edificación, considerando la reducción del consumo de la luz artificial, en muchos casos combinada con la luz natural y la reducción de la electricidad según el cálculo de la componente térmica de la luz. Algunas de las herramientas informáticas desarrolladas son DOE-21, Energy plus, eQuest, RADIANCE y DAYSIM. En 1983, fue desarrollado el Lumen- Micro versión 1.0, su última versión es el Lumen-Micro 2000 se utiliza para modelos de cielo CIE despejado, intermedio y cubierto. Calcula la componente reflejada interior (LRM/ IRC) por aproximaciones de radiación denominadas elementos finitos del método de transferencia del flujo.

En resumen, el cálculo de la luz natural en edificios ha avanzado mucho en poco tiempo. Las herramientas informáticas actuales se pueden dividir en dos grandes grupos: (1) los programas de simulación puramente de la luz natural como el Lumen Micro, SuperLite, RADIANCE y DAYSIM; (2) los programas de cálculo de estrategias de tipo energético como el DOE-2, eQuest y Energyplus. Cada uno de ellos tiene sus ventajas e inconvenientes. Hoy en día se investiga para lograr una combinación de ambos, que incluyan los conocimientos actuales y una simplificación de los parámetros necesarios.

2. Método de Lumen

En los últimos diez años, ha aumentado considerablemente el estudio que acomete el diseño de la luz natural en edificios para cielos despejados. Como resultado de estas investigaciones, el método Lumen ha sido desarrollado en líneas similares al diseño y cálculo de la luz artificial. La cantidad de luz solar y del cielo que incide en una ventana y la reflejada por el terreno y otros obstáculos exteriores se calcula y multiplica por un coeficiente según el factor de transmisión del vidrio y las reflexiones en el interior que llegan al plano de trabajo. Los principios son muy

parecidos a aquéllos utilizados en el factor de iluminación natural (D , %), sin embargo el fin de los cálculos es la cantidad de luz en un punto expresada en unidades lumínicas.

La principal ventaja de este método es que se calcula tanto para cielos despejados como cubiertos. La principal desventaja con respecto a D es que el cálculo se hace para una serie de puntos fijos; el factor de luz natural se puede calcular en cualquier punto del espacio interior. Otra desventaja es que para su cálculo se suelen utilizar tablas sobre registros del cielo.

3. Factor de luz solar (FLS/SLQ)

Como parte del proyecto de investigación *La Luz en espacios de oficina* (capítulo 2), de Helmut Müller y Friedrich Göttfried, se desarrolló el denominado factor de luz solar (FLS/SLQ) para sistemas avanzados de protección solar y sistemas de modificación de la dirección de la luz en activo. Se hicieron mediciones cuando estos sistemas estaban cerrados y en diferentes circunstancias de soleamiento y altura solar.



Imagen 3 Espacio de trabajo con luz solar, luz reflejada en el techo, sistema de reflexión integrado en el vidrio y sombreado exterior. Fuente Dr. Ing Helmut Köster, FITLicht; edificio: Landesdenkmalamt Ba-Wü, arquitecto Odilo Reutter, Esslingen

Este valor es posiblemente un buen complemento del factor de iluminación natural (D) para cielo despejado, ya que incluye el sistema desde su función activa. Es decir, se considera la iluminancia interior en un punto definido en el espacio en relación a la iluminancia exterior para sistemas de protección o desviación de la luz solar en diferentes posiciones.

Sería muy interesante considerar las investigaciones desarrolladas sobre el FLS/SQ , adaptando los valores a nuestras condiciones particulares (climas soleados) y añadiendo la componente industrial en el proceso de fabricación de estos sistemas avanzados de control lumínico.

A través del estudio geométrico, se podría llegar a una mejora significativa de las propiedades ópticas micro-estructurales de los sistemas planteados, adaptándose a climas soleados (Canarias altura solar 85°)⁶. Una de las cuestiones a resolver aún en cuanto a los sistemas avanzados de control lumínico es su relación con las vistas hacia el exterior y su grado de transmisión de la luz. El factor de luz solar (FLS/SQ) es fundamental en el ahorro energético (capítulo 2.5, Factor de utilidad y posibilidades de ahorro energético) en espacios donde la luz solar tiene una probabilidad de incidencia de más de la mitad de los días del año.

4. Cuestionarios y experimentación on-line

En las conclusiones del estudio de Labayrade y Villa [VIL]⁷, determinan:

El análisis estadístico no muestra diferencias significativas entre los datos obtenidos en laboratorio y online según el panel de control de 30 observadores.

El estudio desarrollado investiga sobre la validez de los experimentos online con respecto a la valoración psico-visual de los entornos luminosos. Desarrollaron una aplicación para investigar el potencial y límites de los experimentos online en el cual se preguntaba a cerca del ambiente luminoso de una oficina a 1114 observadores en un entorno no controlado. Descubrieron que con el aumento del tamaño de la pantalla y el brillo de ésta, la claridad del entorno era insignificante. De esta manera se podría llegar a un mayor número de encuestados (multiplicaron por 3,3 el número de personas encuestadas).

⁶ Protegerse del sol con volados a partir de una altura solar, es posible que sea más práctico que diseñar sistemas avanzados que cubran la totalidad de las alturas solares incidentes.

⁷ VILLA C.; LABAYRADE R.: Validation of an online protocol for assessing the luminous environment, Lighting Res. Technol. 2013, 45: 401-420. Department Genie Civil et Betiment, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Vaulx-en-Velin, France.

Capítulo 2. La luz solar en espacios de oficinas

BLOQUE 1	CAPÍTULO 1 MÉTODOS DE CÁLCULO Y DISEÑO DE LA LUZ CAPÍTULO 2 LA LUZ SOLAR EN ESPACIOS DE OFICINAS	Introducción Listado detallado de parámetros Sistemas avanzados de control solar Planificación de las mediciones Planificación de las encuestas Resultados de las mediciones Resultados de las encuestas
----------	---	--

Introducción

Este capítulo resume las experiencias relativas a las mediciones y encuestas sobre la aceptación de diferentes sistemas de control solar en espacios de oficinas. Los sistemas se analizan desde su función activa según el listado de parámetros a tener en cuenta en la evaluación de cualquier sistema de control solar. En el listado, se enumeran 22 variables, consideradas por Helmut Müller en 2004. Este estudio se presenta resumido como base teórica y práctica de la investigación. Tiene especial importancia ya que determina el grado de desviación entre los valores obtenidos en las mediciones y la valoración subjetiva de los datos obtenidos.

El grado de desviación es relativamente alto. El primer motivo de esta diferencia podría ser que necesitamos aún algo más de tiempo para poder hacer los estudios experimentales correspondientes a las variables establecidas; es decir, que de las variables que tenemos queda mucho por afinar. Otro posible motivo, el considerado en esta investigación, podría ser que la percepción del ambiente luminoso fuera un proceso mucho más complicado que el definido por esas 22 variables; la luz nos transmite información, nuestras expectativas dependen de nuestro bagaje cultural y social, y según ya se ha demostrado, depende mucho del conocimiento que tenemos de la luz en sí, sus posibilidades de diseño y control.

En resumen, en el capítulo 3 se presentará una nueva caracterización de la luz desarrollada a partir de los comentarios, formas de representación y modos de entender la luz, que nos permita ampliar nuestro conocimiento antes de seguir *afinando*.

Contexto social

El aumento progresivo de la industrialización en nuestra sociedad dio lugar en su momento a una mayor preocupación por el bienestar y el rendimiento de cada uno de los trabajadores en su puesto de trabajo. Fueron numerosos los estudios que se hicieron para conocer las condiciones óptimas en cuanto a la seguridad, a la prevención de riesgos, pero sobretodo, al mayor rendimiento del trabajador; posteriormente las consideraciones han sido respecto a la

salud, la eficiencia energética y nuevamente la activación del rendimiento. El estándar de vida había subido y con él las exigencias de confort en el trabajo. Todo esto referido a la luz, se vio reflejado en una mayor demanda de claridad, uniformidad y estabilidad de la luz especialmente en espacios compartidos, eliminando cualquier posible distracción. En 1930, la iluminación de las oficinas era con bombillas incandescentes y las recomendaciones en cuanto al nivel de iluminación del espacio interior eran de mínimo 60 y máximo 120 luxes. En 1939, se muestra por primera vez al público general, en una Feria Mundial celebrada en Nueva York, el tubo recto de luz fluorescente. En los años 70 comienzan a incorporarse los ordenadores en los puestos de trabajo. En 1997, se publica en España, El Real Decreto 486/1997, sobre los lugares de trabajo, en el que se establecen las recomendaciones relativas a las intensidades mínimas de luz para poder desarrollar una tarea durante continuado tiempo y sin sufrir fatiga visual en espacios de trabajo interiores. Hoy en día se sabe que los trabajadores prefieren niveles de iluminación más altos que los mínimos necesarios definidos por normativa (> 500lx), porque les influye no sólo evitando una posible fatiga visual, sino a nivel psicológico y anímico.

La cuestión principal que nos atañe es que una gran mayoría sigue trabajando hoy en día durante el día en espacios interiores, en horario partido (9:00-13:00/17:00-20:00) o continuo (8:00- 15:00). De esta manera se crea un latido conjunto al ritmo de 5 días de trabajo, 2 de descanso, con un patrón de comportamiento claramente definido. El consumo de los trabajadores en su tiempo libre ha cobrado importancia y ciertos espacios de tipo comercial por ejemplo han adquirido importancia a la hora de diseñar un tipo de ambiente luminoso para lograr un comportamiento deseado de los clientes. El uso de otros espacios por el día es, desde el punto de vista de la cantidad de personas, totalmente secundario.

En los años 70 se hicieron estudios experimentales sobre las preferencias de los usuarios al elegir casa en cuanto a la luz natural y su incidencia en el interior, posteriormente sobre los museos y la calidad de la luz natural frente a la artificial, siempre con la espina clavada de los efectos perjudiciales de los rayos ultravioletas, sin poder llegar a una conclusión definitiva en cuanto al uso y control de la luz natural en el interior de espacios expositivos. Hoy en día se focaliza todo lo que tiene que ver con el aprovechamiento de la luz natural hacia el ahorro energético y económico. Su estudio se centra en lograr el mayor aprovechamiento de la luz natural, el máximo tiempo posible y con un aporte térmico adecuado para cada ocasión. El esfuerzo deriva en la mayoría de los casos en definir la iluminación artificial del modo más eficiente posible mediante el uso de lámparas de mayor eficacia luminosa y la combinación de luz natural y artificial, a través de sistemas domóticos.

Las cualidades de la luz que no determinan la visibilidad de las tareas a ejecutar o que no afecten a la agudeza visual, la sensibilidad de contraste o capacidad de discriminar diferencias de luminancia y color, y la eficiencia de acomodación o de enfoque sobre las tareas en diferentes campos de visión, o cualquier criterio de calidad y diseño que no tenga que ver con el rendimiento visual, han quedado derivadas a un segundo plano. Estas otras cualidades no definidas, se tratan desesperadamente de recalcar en revistas y artículos de arquitectura, más relacionados con la poética de la imagen que con un análisis científico y riguroso sobre el espacio y la luz natural. Las cualidades logradas por una luz singular, se publican como algo extraordinario logrado sólo por algunos arquitectos que han tenido la habilidad innata o simplemente el interés y la posibilidad de dedicar cierto tiempo a un material de lujo, gratuito,

pero de base innecesario. Además de esto, ha pasado ya tiempo suficiente para darnos cuenta de que las teorías de la luz natural y su valoración cuantitativa no siempre coinciden con el grado real de comodidad de los usuarios y sus valoraciones subjetivas.

1. Listado de parámetros detallado a tener en cuenta en los sistemas de control solar

En el estudio que se resume en este capítulo, se tuvieron en cuenta **22 variables relativas al diseño de la iluminación natural**. Este listado puede servir como referencia para otros estudios:

1	Iluminancias	1.1	Gradiente
		1.2	Nivel de iluminación
		1.3	Nº de veces en los que se supera los límites de luxes establecidos
2	Potencial de ahorro de energía	2.1	Factor de utilidad
		2.1	Demanda energética
3	Luminancias	3.1	Superación de los valores máximos
		3.2	Superación de contrastes máximos
		3.3	Claridad
		3.4	Variación diaria
4	Análisis térmico	4.1	Ganancias solares durante los periodos de calentamiento
		4.2	Protección del calor en verano
5	Color	5.1	Composición espectral
		5.2	Reproducción del color
		5.3	Temperatura de color
6	Control	6.1	Posibilidad de control
		6.2	Ergonomía/ velocidad de adaptación
7	Aceptación de los usuarios	7.1	Percepción de la claridad
		7.2	Valoración de la funcionalidad
		7.3	Deslumbramientos/ molestias
8	Otros aspectos relevantes	8.1	Costes
		8.2	Integración en fachada
		8.3	Desarrollo de ruidos

Tabla 1 Variables cualitativas respecto a sistemas de control de la luz solar, Helmut Müller 2004

Las variables definidas en el listado anterior definen la complejidad de la luz natural y su efecto en el espacio interior. Se dividen en ocho grupos, dos de ellos directamente relacionados con el usuario y su percepción, el último grupo relativo a los costes, el ruido que generan los sistemas activos de control solar y su integración arquitectónica.

2. Sistemas avanzados de control solar

El estudio de Heide G. Schuster “*Tageslichtsysteme im Spiegel der Nutzer*” [019]⁸ es un ejemplo más de estudios que plantean crear un puente entre los parámetros cuantitativos de la luz establecidos por normativa y los deseos de los usuarios respecto a su entorno luminoso. Utilizó el trabajo desarrollado por el departamento *Klimagerechte Architektur* de la Universidad Técnica de Dortmund desde el año 2000 en colaboración con el *Solar Institut Jülich*, en la ciudad alemana Aachen, en el que se comparaban 6 sistemas de control solar diferentes colocados en la fachada suroeste en un edificio de oficinas. Primero, se midió la luz natural en diferentes condiciones climáticas y luego Heide G. Schuster preguntó a los usuarios a través de cuestionarios sobre sus preferencias en cuanto a cada uno de los sistemas.

En 2009, tras haber sido elegido el sistema de vidrio de reflexión (sistema 2 explicado más adelante) por los usuarios, se siguió investigando, junto al departamento de microelectrónica, para poder hacer el *rayado* del material acrílico más pequeño y tener vistas hacia el exterior sin que las líneas del material fueran perceptibles⁹. A continuación se presentan brevemente los resultados de las investigaciones.

Espacio de experimentación

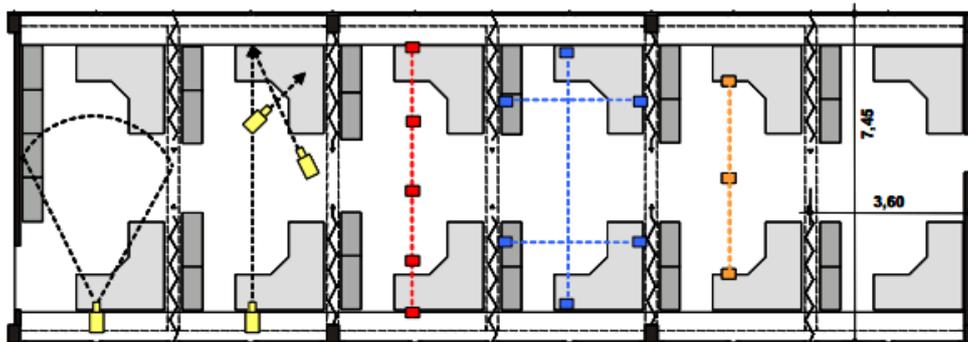


Figura 1 Posición de los sensores de iluminación y las cámaras de luminancias en Dortmund

Para poder realizar las mediciones en espacios de oficinas de los 6 sistemas de control solar diferentes, primero se taparon las fachadas que daban hacia el norte. Las 6 oficinas estudiadas tenían exactamente la misma configuración espacial e idéntico mobiliario. Se colocó la pantalla

⁸ SCHUSTER, H.G.: *Tageslichtsysteme im Spiegel der Nutzer - Zur Nutzerakzeptanz von Sonnenschutz- und Lichtlenksystemen in Büroräumen*. Dissertation an der Universität Dortmund (2006).

⁹ Yo participo en este proyecto a partir de esta tercera fase.

de ordenadora 45 ° con respecto a la fachada. No fue posible hacer la división de los seis espacios desde el punto de vista térmico. Los sistemas colocados fueron los siguientes:

1. Holograma concentrado con fotovoltaica y protección contra deslumbramientos
2. Vidrio de desviación de la luz con una celosía incorporada en su interior
3. Persiana regulable reflectora de la luz hacia el exterior (sistema de referencia)
4. Elementos con un ángulo óptico y holográfico selectivo con una celosía reflectora
5. Vidrio electro-cromado con protección contra deslumbramientos
6. Persiana exterior con lamas que optimizan la luz a una altura solar superior

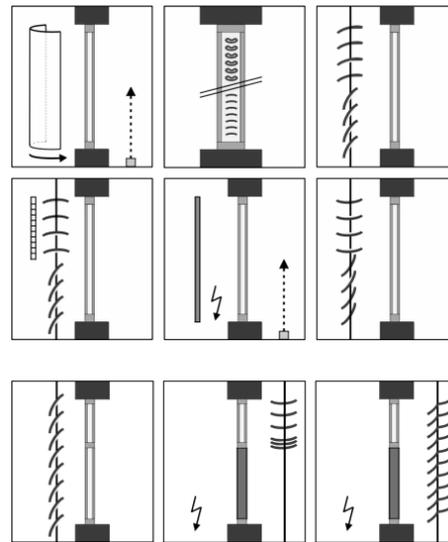


Figura 2 De izquierda a derecha, esquemas generales de los sistemas de control solar avanzados

Sistema 1 Holograma concentrado

Está concebido para colocar en el exterior de la fachada y está formado por un vidrio curvo tratado (HOE- holografisch –optische Elemente). El holograma desvía la luz solar directa que cae perpendicular sobre el vidrio hacia el elemento fotovoltaico y evita así el sobrecalentamiento del espacio interior por la radiación solar directa. Permite la entrada curvada de la luz difusa. El sistema se adapta a la trayectoria solar de manera automática. El factor de sombra es de $z = 0,2$.



Figura 3 Imagen y sección horizontal del sistema 1 holograma concentrado

Sistema 2 Vidrio de desviación de la luz con celosía

Es la combinación de un vidrio reflector colocado en el tercio superior del hueco, con un vidrio de dos hojas, con cámara en la parte inferior. En la cámara se encuentra una celosía de lamas orientables eléctrica. En la parte superior se coloca una muestra de un material acrílico que desvía la luz incidente hacia la parte superior del espacio de oficinas. La inclinación solar que se considera para la parte superior va desde los 15° a los 65°. El coeficiente total de energía que traspasa de $g = 0,3$ para el vidrio reflectante (compuesto por dos hojas y el material acrílico rayado) y $g = 0,12$ para la celosía inferior, cuando ambos están cerrados. El coeficiente de transmisión del vidrio reflectante es aproximadamente del 55%. Es importante incidir en la

importancia que tiene que la luz natural sigue entrando, a pesar de que los sistemas de control solar están cerrados.

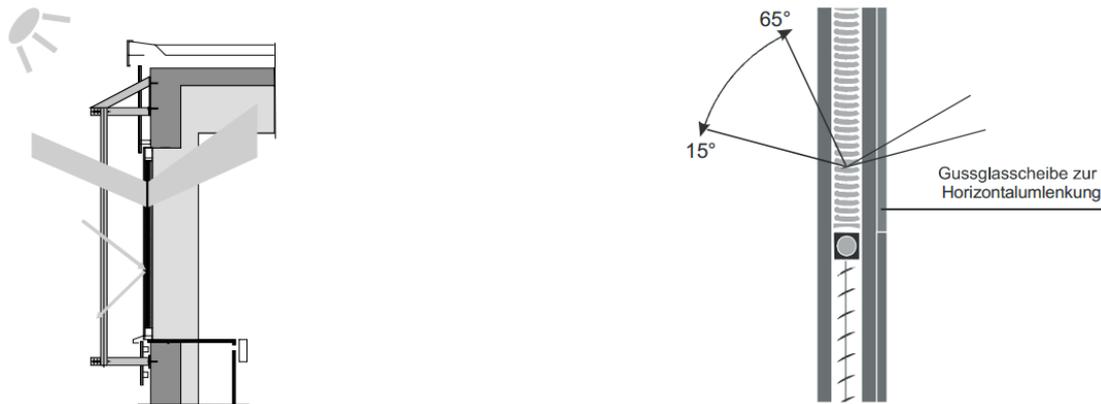


Figura 4 Sección vertical de la combinación y detalle del material acrílico colocado en cámara.

Sistema 3 Persiana exterior reflectante

En el tercer espacio se coloca una persiana de lamas metálicas convencional, con una orientación de lamas diferente en la parte superior y otra en la parte inferior. La luz que incide en la parte superior de la celosía se redirige hacia el techo en el interior, y la luz que incide en la parte inferior de la persiana, se refleja hacia el exterior. No es posible regular la persiana o las partes de la persiana por separado. El factor de sombra es $z = 0,18$ y el coeficiente total de energía que traspasa $g = 0,1$.

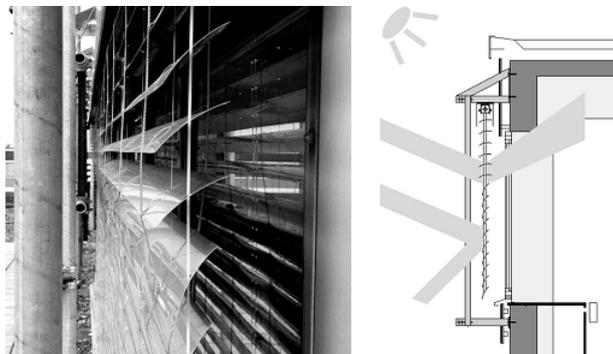


Imagen 4 Vista exterior del sistema 3 y sección vertical de la combinación

Sistema 4 Holograma blanquecino con persiana exterior

En el exterior de un vidrio de aislamiento se coloca en la parte superior un sistema de lamas que proyectan la luz incidente hacia el techo de la habitación. Para la protección solar se instala una persiana convencional. La luz que cae en un ángulo horizontal, es redirigida siempre con ángulo con respecto a la horizontal de 10 grados. Para los demás grados de incidencia solar, el vidrio se comporta como un vidrio transparente. Mediante este sistema se evitan sombras indeseadas en el interior, creando un ambiente luminoso uniforme.

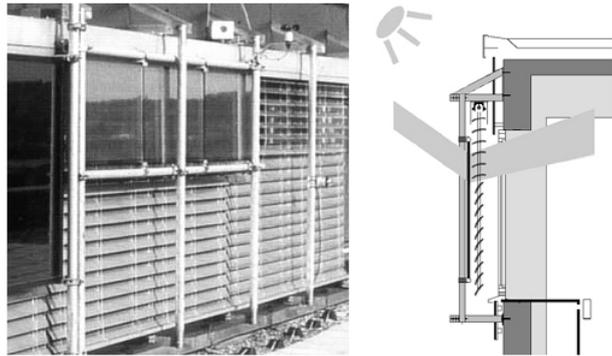


Imagen 5 Vista exterior del sistema 4 y sección vertical de la combinación

Sistema 5 Vidrio electro-cromado

Este vidrio se tinte con una pequeña carga eléctrica y permanece transparente. La coloración del vidrio disminuye el coeficiente total de energía transmitida (36- 12%) evitando el sobrecalentamiento del espacio interior. El grado de transmisión también se reduce (50- 15%). Este sistema se midió en combinación con una protección solar interior.

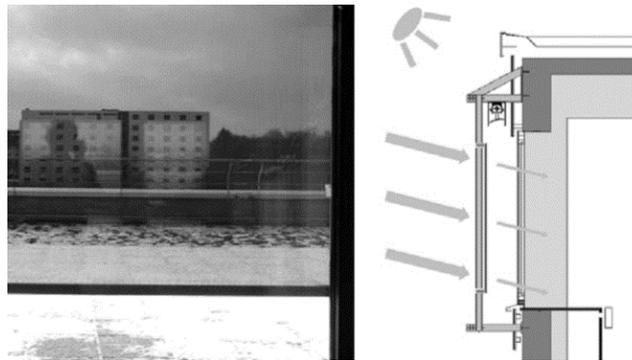


Imagen 6 Vista exterior del sistema 5 y sección vertical de la combinación

Sistema 6 Celosía optimizada

El sistema en el sexto espacio está compuesto por una celosía optimizada para el aprovechamiento de la luz natural. Una celosía dividida en dos partes formada por lamas cóncavas, reflejan la luz directa del sol hacia el fondo de la habitación. Esta celosía se puede orientar en cada una de sus partes por separado. El factor de sombra es $z = 0,18$.

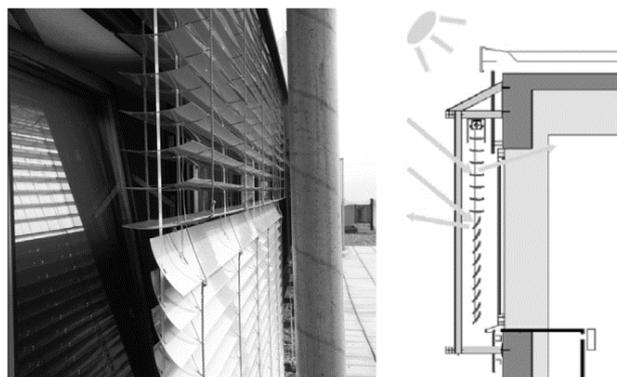


Imagen 7 Vista exterior del sistema 6 y sección vertical de la combinación

Actualidad de los sistemas avanzados de control solar

Desde láminas adhesivas que filtran los rayos UV y polarizan los rayos de luz deseados en el interior, hasta complicados sistemas de celosías que permiten la manipulación y control de la luz exacta que los usuarios son capaces de definir incluso desde otro lugar (domótica, control vía móvil). En pocos años se ha alcanzado una gran precisión tanto en la cantidad y calidad de la luz, los instrumentos de medición de la luz y el análisis y comparación de datos basados en la valoración subjetiva que se tiene de la calidad espacial. Sin embargo, esta precisión ha tendido hacia diseños de tecnologías avanzadas que son excesivamente sofisticadas y por lo tanto pierden su utilidad, por entre otras las siguientes razones:

- elevados costes de fabricación;
- excesivo conocimiento necesario para su correcto funcionamiento;
- dependencia continua de la manipulación de los usuarios para poder lograr el máximo confort;
- carencia de información entendible por los usuarios directos;
- especialización excesiva de los espacios, definidos para un uso único con condiciones lumínicas muy focalizadas que son desaconsejables para cualquier otro uso.

Sistemas micro-estructurales de control lumínico

El éxito de los sistemas micro-estructurales de control lumínico para mejorar el confort y reducir el consumo energético ya se ha demostrado sobradamente. Se trata de sistemas avanzados que reflejan la luz solar procedente de altitudes entre 15° y 65° para dirigirla hasta el fondo de locales en el interior de edificios, sin producir deslumbramientos ni sobrecalentamiento. Basados en estas soluciones de reflexión de la luz natural, se han fabricado sistemas de polimetilmetacrilato (PMMA) que se han colocado en la parte superior de ventanas, reduciendo significativamente el consumo de luz artificial durante el día en edificios de oficinas. Los prototipos implementados hasta ahora han sido monitorizados e investigados a través de programas de cálculo *Ray Tracing*, optimizando la forma y geometría de las muestras, que podrán ser fabricadas en serie. Han sido desarrollados principios de diseño de integración de estos paneles en fachadas, en sistemas de sombreamiento y sistemas de control de la luz natural. Para un local típico la distribución de la luz influye directamente en el gasto energético del edificio y confort lumínico de sus usuarios.

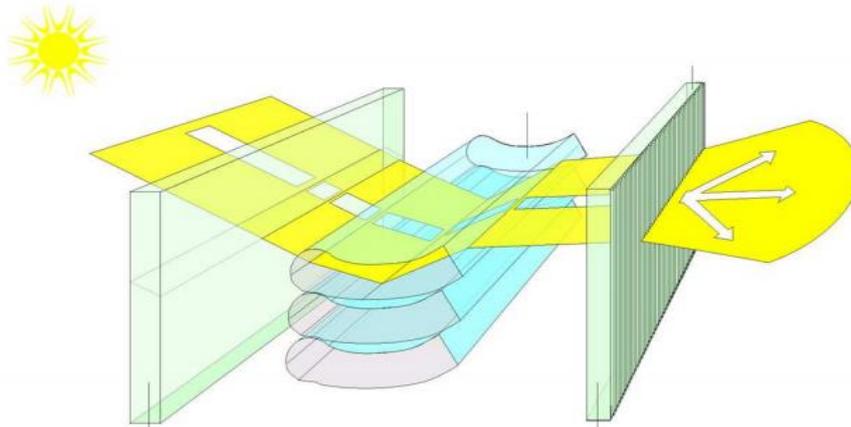


Figura 5 Vidrio reflector de la luz con macro estructuras: muestra acrílica [497]¹⁰

En la actualidad, se sigue el desarrollo de este módulo para aumentar el potencial del material con la aplicación de tecnologías micro-estructurales con una mayor eficiencia demostrada en laboratorio en comparación con los modelos macro-estructurales, reduciendo a su vez el espesor del objeto. Otro objetivo importante relativo a este sistema, es que el rayado del material no sea perceptible y no distorsione las vistas hacia el exterior. De esta manera, las ventanas no quedarían divididas en dos partes, una superior de desviación de la luz, y las vistas al exterior no quedarían deformadas.

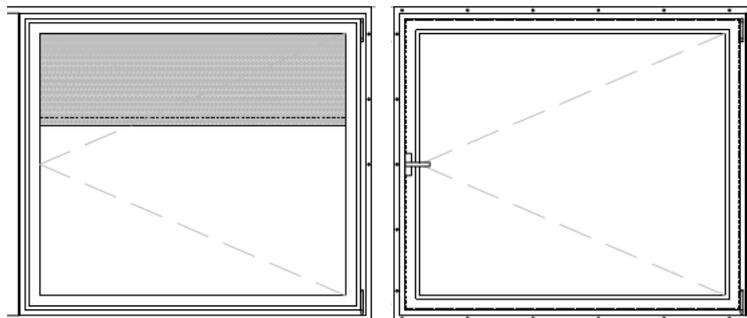


Figura 6 Alzado de las ventanas, la de la izquierda con LUMITOP en la parte superior, la de la derecha con un único panel de LUMITOPMINI, desarrollo actual de los paneles de desviación de la luz natural

3. Planificación de las mediciones

Las mediciones de los sistemas anteriormente presentados comenzaron el 1 de julio de 2001 en Dortmund y Aachen. Para llevar a cabo las mediciones de la luz se siguieron las directrices del protocolo establecidas ese mismo año por la *International Energy Agency* (IEA Task 21), “*Monitoring Procedures for the Assessment of Daylighting Performance of Buildings*” [IEAc]¹¹. Se tomaron mediciones de los siguientes parámetros lumínicos:

¹⁰ Klammt, S., Müller, H., Neyer, A.: Advanced Daylighting by Micro Structured Components.

¹¹ VELDS, M.; CHRISTOFFERSEN, J.: Monitoring Procedures for the Assessment of Daylighting Performance of Buildings, IEA, 2001.

- Condiciones meteorológicas (iluminancias verticales y globales en el exterior de la fachada, posición solar, temperatura, viento y radiación global y difusa)
- Iluminancias horizontales (en la zona de trabajo 1, 1 sensor cerca de la ventana, en el techo 3 sensores) e iluminancias verticales en la pared del fondo así como a la altura de los ojos orientado hacia la ventana (2 sensores).
- Luminancias en el campo de visión del usuario con dos ángulos diferentes, abarcando la mitad de la habitación, desde la pared del fondo y abarcando las vistas hacia el exterior, con cámaras CCD.
- Espectro de las iluminancias de luz natural en el interior con mediciones en todos los puntos así como mediciones en el exterior (mediciones realizadas en la *Technische Universität* de Ilmenau).
- Mediciones termo-gráficas de las fachadas y estudio de las temperaturas superficiales
- Comportamiento y satisfacción de los usuarios mediante cuestionarios referidos a la calidad de la iluminación, deslumbramiento y confort visual (planificación para Ilmenau y Dortmund)
- Mediciones bidireccionales de los nuevos sistemas de desviación lumínica (TU Berlin, ILB Köln) para poder desarrollar las simulaciones de la luz en Radiance (Lawrence berkley Lab, USA) y compararlas con las mediciones reales (Ilmenau y Dortmund)
- Comportamiento del sistema eléctrico de las lamas y desarrollo de estrategias de optimización de encendido de los componentes de fachada (Solar Institut Jülich)

Los sistemas de control solar (sistema 1, sistema 5) fueron apoyados con un sistema de protección anti-deslumbramientos, mientras que los sistemas que tenían celosías se mantuvieron intactos. En la siguiente tabla se resumen los sistemas:

Espacio	Sistema	Preparación
1	Holograma concentrado	Sistema automático, con protección anti-deslumbramiento
2	Vidrio de desviación de la luz con celosía	Persianas cerradas, sin protección anti-deslumbramiento
3	Persiana exterior reflectante	Persianas cerradas, sin protección anti-deslumbramiento
4	Holograma blanquecino con persiana exterior	Persianas cerradas, sin protección anti-deslumbramiento
5	Vidrio electro-cromado	Encendido, con protección anti-deslumbramiento
6	Celosía optimizada	Cerrado abajo, arriba según altura solar, sin protección anti-deslumbramiento

Tabla 2 Resumen de los sistemas de control solar elegidos y su preparación

Mediciones de luminancias

Las luminancias se midieron con dos cámaras CCD colocadas en diferentes posiciones y con diferentes objetivos (8mm y ojo de pez) simultáneamente. La ventaja de esta manera de medir, es que se pueden conocer exactamente las fuentes de deslumbramiento en su posición y

fuerza, según la claridad de la habitación, y hacer un análisis de luminancias de todo el espacio mientras se hacen las encuestas. Las mediciones son continuas –no se deja de medir- así que se puede detectar los momentos de día en los que cada una de los sistemas es mejor que otro según las condiciones exteriores. Las cámaras utilizadas fueron *Technoteam LMK 98-2* (datos técnicos en los anexos). Las estaciones de monitorización y *datalogger* fueron elegidos de la empresa Ahlborn Mess- und Regelungstechnik.

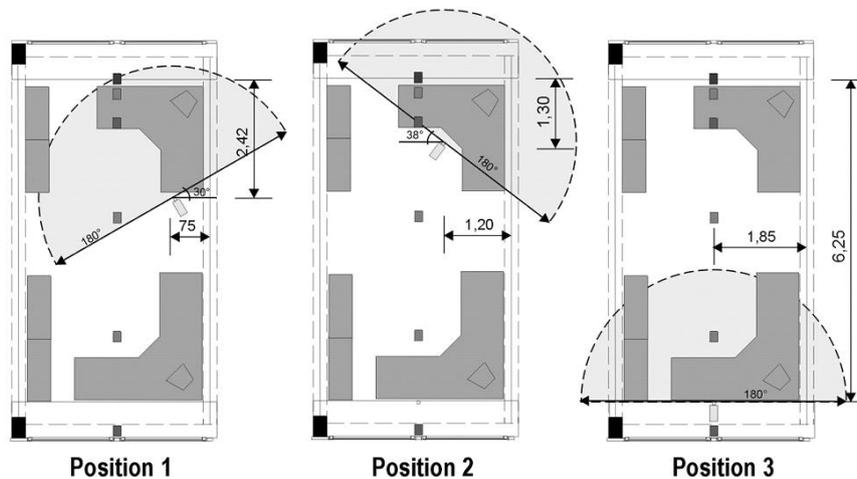


Figura 7 Posición y ángulo de las cámaras de luminancias en planta

Las mediciones se hicieron primero de forma manual, colocando las cámaras en los 3 puntos elegidos y luego, durante la encuestas de forma automática, y de dos en dos habitaciones. De esta manera se pudo tener una panorámica completa de las habitaciones vacías, y se pudo comparar para diferentes condiciones climáticas, las variaciones entre sistemas. También se obtuvieron datos de las variaciones de la luz desde el principio al final de las encuestas.

Mediciones espectrales

Las mediciones espectrales se realizaron en la TU- Ilmenau, para determinar la calidad respecto a la luz de color, la temperatura de color y la reproducción de color de los distintos sistemas y sus sistemas de regulación. Los diferentes momentos del año y del día, y las condiciones meteorológicas dan lugar a una luz natural dinámica. Las luminancias del cielo y las temperaturas de color de la luz natural cambian con las estaciones, desde por la mañana hasta por la noche, así como los grados de nubosidad. La percepción de los colores en relación con la claridad así como su influencia en los ritmos circadianos son cuestiones que se deben estudiar. Las mediciones realizadas en este estudio realizadas con sistemas de desviación y protección solar, se hicieron para lograr la optimización de la iluminación a la vez que de la protección solar, a partir de diferentes comportamientos de la luz natural. Las cualidades de la luz natural pueden variar dependiendo del coeficiente de transmisión y reflexión del sistema así como de la dirección de incidencia solar y los diferentes colores de la luz en el interior.

Se tomaron datos de los espacios en los puntos mencionados así como para diferentes posiciones de los usuarios en diferentes momentos del año. De esta manera se obtuvieron datos para cielos despejados, con luz solar y con diferentes grados de cielo cubierto. Como las fachadas estaban orientadas hacia suroeste, el sol las alcanzaba a primera hora de la tarde. Los diferentes ángulos de incidencia solar se tuvieron en cuenta en las mediciones continuas. Tanto

en verano como en invierno se tomaron medidas en dos días enteros de la luz. A continuación se hace un resumen de los días de las mediciones y las diferentes condiciones meteorológicas:

Día de mediciones	Cielo en la mañana	Cielo en la tarde
12 de julio de 2003, verano	Claro, sin sol	cubierto
13 de julio de 2003, verano	Claro, sin sol	Despejado, con sol
1 de diciembre 2002, invierno	Cielo variante	variante
2 de diciembre 2002, invierno	Cielo variante	variante

Tabla 3 Días de las mediciones realizadas en TU Ilmenau y sus condiciones del cielo

Los resultados de las mediciones espectrales fueron contrastados con los resultados de los cuestionarios realizados.

4. Planificación de las encuestas

Planificación estadística

La suma total de datos es muy alta: los espacios a medir son en total 9 (Dortmund seis, tres en Ilmenau), los momentos del año 3 para 2 condiciones del cielo diferentes, siendo el número de preguntas 336 en Dortmund, 450 en total. Este número fue considerado suficiente como para obtener un resultado representativo. Las encuestas se llevaron a cabo durante cuatro trimestres (2002-2003), por la tarde (13:00 – 17:00 horas) a 28 personas, hombres (51%) y mujeres (45%) entre 20 y 36 años. En total se realizaron 9 sesiones de preguntas en verano, 14 en primavera y otoño, y otras 9 en invierno. El 75% de los encuestados lo fueron durante cielo despejado y con los sistemas de control solar cerrado, 18% con nubes ligeras y el 7% con cielo cubierto y con sistemas o bien abierto o no adaptable a las condiciones -estos últimos fueron encuestados de esta manera para tomarlos como referencia en los resultados de las preguntas-.

Según el estudio de Wolgramm [WOL]¹² y Boyce [4116]¹³, no existe diferencia en la percepción de la luz, sino entre personas que tienen ciertas nociones acerca de ella y las que son completamente ajenas al tema de la luz. Todas las personas elegidas para las encuestas eran completamente ajenas a la luz en la arquitectura. Antes de comenzar con los cuestionarios, se les dio cierta explicación sobre los términos asociados a molestias, deslumbramientos, desviación de la luz, protección solar, etc para evitar posibles errores en las respuestas.

Las preguntas de los cuestionarios (anexo 10) se formularon para poder determinar la aceptación de los usuarios respecto a sistemas de control solar activos y sobre las manchas solares, siguiendo los siguientes aspectos generales:

¹² WOLGRAMM, F.: Untersuchungen zum UGR-Blendbewertungssystem. Dissertation, Technische Universität Berlin, 1994.

¹³ BOYCE, P.R.: Why daylight? Tagungsbericht Daylight'98, 1998.

- Deseo individual sobre la posición correcta del sistema, así como de la protección solar y anti-deslumbramientos y la necesidad de luz artificial.
- Valoración de la funcionalidad de los sistemas y su adaptación
- Comparación de los diferentes sistemas
- Valoración del nivel de iluminación
- Valoración de los deslumbramientos, su aceptación y la tolerancia hacia las manchas solares.
- Efectos de la luz y el espacio (profundidad)
- Evaluación de las temperaturas en el interior
- Evaluación de la desviación de la luz (hacia el techo, cuando ocurría)
- Privacidad así como la estética de los sistemas y su introducción como símbolo de status
- Valoración general

Las preguntas fueron diseñadas en colaboración con el departamento de matemáticas estadísticas de Dortmund, y analizadas con el programa informático SPSS (SPSS 12.0G for Windows. SPSS Inc. 1989-2003). Para conocer la veracidad de las respuestas, se diseñan las preguntas de manera que se comprueba la consistencia de éstas, preguntando varias veces lo mismo e intercalando preguntas sobre aspectos generales que nada tienen que ver con la iluminación.

Desarrollo de las encuestas

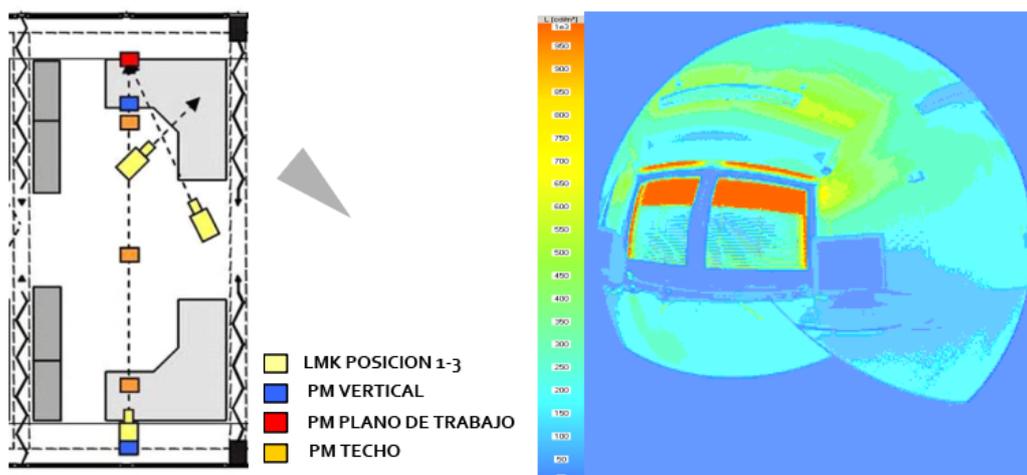


Figura 8 Izq.: Colocación de las cámaras durante las encuestas. Der.: imagen de luminancias del sistema 6, Dortmund, posición del usuario 2, verano 16/08/2002, 15:30 h

Con una cámara digital se grabó cada ronda de preguntas en cada espacio y según las diferentes posiciones de cada sistema. Durante las preguntas se grabó el comportamiento lumínico de los sistemas para poder referenciarlo con respecto a las respuestas obtenidas. Las preguntas se realizaron en las condiciones solares más desfavorables en este caso – por la tarde cuando el sol cae en perpendicular sobre la fachada-. El siguiente diagrama muestra el esquema general de las encuestas realizadas. Todos tienen una fase de adaptación de la visión a las condiciones lumínicas, esa media hora de explicación de los términos generales de la encuesta, y por último

un espacio de tiempo en el que el usuario puede colocar el sistema de control solar como mejor le convenga según las condiciones lumínicas y térmicas deseadas:

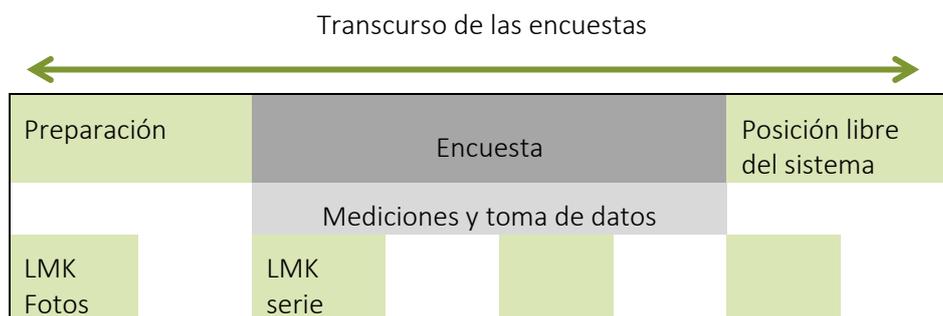


Tabla 4 Esquema del desarrollo de las encuestas

Método de evaluación

Tras haber realizado las encuestas durante un año seguido se metieron todos los datos en el programa SPSS¹⁴ según las siguientes categorías:

Datos generales	Mediciones	Temas específicos
Documentación básica (sistemas, tiempo, etc)	Temperatura (interior/externo)	Temperatura interior
Datos personales (trabajo, procedencia, edad, etc)	Nivel de iluminación (lux) interior/ exterior	Vistas al exterior
Bienestar	Vertical / horizontal	Molestias+ deslumbramientos+ manchas
Lugar de trabajo	Percepción de luminancias desde la posición del usuario (objetivo ojo de pez)	Flexibilidad y función
	Datos espectrales	Claridad del espacio
	Datos del clima	Desviación de la luz
		Color y efectos espaciales
		Privacidad y estética
		Evaluación total

Tabla 5 Esquema general sobre las categorías de los datos recogidos para la evaluación

Según estas categorías se hizo la evaluación de lo siguiente:

- Evaluación 1: Contabilización sencilla de datos y dependencias de los sistemas
- Evaluación 2: Consolidación de los datos dentro de cada categoría
- Evaluación 3: Análisis de los factores (mediciones y respuestas)
- Evaluación 4: Análisis de un nivel determinado (80% al ser respuestas subjetivas)

A continuación se presentan los resultados obtenidos, primero respecto a las mediciones, luego respecto a la aceptación de los usuarios de cada uno de los sistemas.

¹⁴ SPSS 12.0G for Windows. SPSS Inc. 1989-2003, *Statistical Product and Services Solutions*.

5. Resultados de las mediciones

Iluminancias en el exterior

El transcurso de las encuestas, con los sistemas de control solar cerrados y cielo soleado o parcialmente soleado, se obtuvieron los siguientes valores de nivel de iluminación:

Situación del sensor	Valor mínimo	Valor máximo	Diferencia	Valor medio
Exterior de la fachada medición vertical	7.182	114.870	107.688	62.257
Radiación global total	5.581	79.895	74.314	43.216

Tabla 6 Resumen de resultados para sistemas cerrados

Iluminancias en el interior-comparación de sistemas

En relación con las mediciones de iluminancias de los sistemas de control lumínico en funcionamiento, se caracteriza principalmente el efecto de desviación de la luz natural (sistemas 2, 3, 4 y 6). De esta manera se desarrolla una nueva medida de evaluación llamado el coeficiente solar (Sonnenlichtquotient, SQ) para comparar los datos obtenidos, independientemente de las condiciones de radiación. Este coeficiente se asemeja con el coeficiente de luz natural (D), sin embargo posibilita también la evaluación de sistemas activos bajo la acción directa de la luz solar. Se calcula a partir de la relación entre las iluminancias interiores en relación a las exteriores para días despejados y con los sistemas cerrados ($SQ = E_{\text{interior}} : E_{\text{exterior}} / \text{horizontal}$). El SQ no describe características constantes de los sistemas, como ocurre con el D. Depende completamente de su orientación.

Se hace también un análisis de la suma de repeticiones (las veces en la que se superan determinadas iluminancias como nuevo método dentro de la investigación. De esta manera se analizan los sistemas de control solar durante un periodo determinado. Esto sirve para evaluar la claridad del espacio, la cantidad de veces que obtenemos una luz útil y su repercusión en el rendimiento visual y los biorritmos.

En la figura siguiente se representa el factor de luz solar SQ para el sistema 1- holograma concentrado- y el sistema 5 –vidrio electro-cromado- en comparación con el sistema 3 –persiana exterior reflectante- para los casos en los que el sol no incide en fachada (protección solar abierta así como vidrio electro-cromado apagado) y para protección solar cerrada (así como vidrio electro-cromado encendido) para el día 25/08/2002. En casos especiales no se activó la protección anti-deslumbramientos interno.

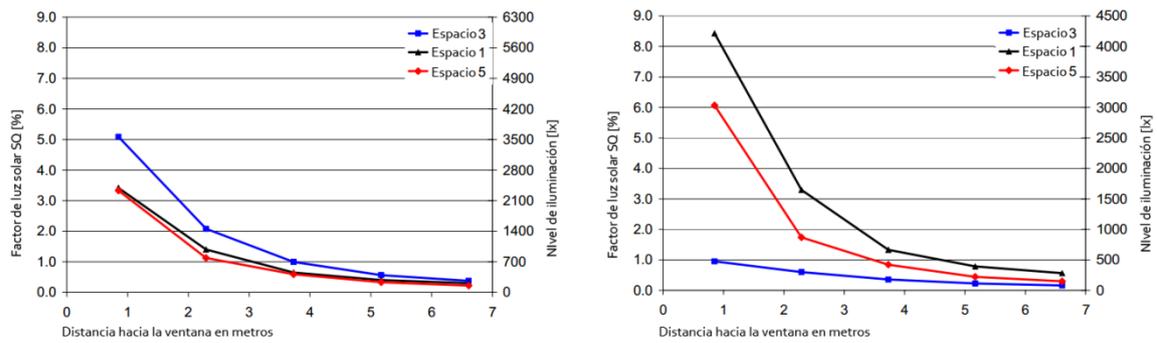


Figura 9 Comparación del factor solar SQ y nivel de iluminación en la profundidad de espacio de los sistemas 1,3 y 5 fecha 25/08/2002, cielo despejado, con protección anti- deslumbramiento. Izquierda: 12:00h, sol no incidente sobre la fachada, protección solar abierta. Derecha: 16:00 h sol incidente sobre la fachada, protección solar cerrada.

Los sistemas 1 y 5 muestran con las protecciones solares abiertas o con el vidrio electrocromado apagado tienen un coeficiente de transmisión muy bajo y presentan por lo tanto unos niveles de iluminación también muy bajos. Con el sol incidiendo en la fachada, el sistema 1 – holograma concentrado- es el que mayor factor solar SQ tiene.

Con los sistemas cerrados y clima soleado mientras se realizaron las encuestas, los niveles de iluminación medidos fueron los siguientes:

Punto de medición (lx)	Min.	Max.	Var.	Medio
Punto D1 (techo)	35	4866	4831	954
Punto D2 (techo)	16	1355	1339	256
Punto D3 (techo)	9	295	286	105
Punto A1 (plano trabajo)	58	4442	4384	916
Punto RW1 (fondo pared vertical)	8	936	928	205
Punto vertical a la altura de los ojos AUG	91	6834	6743	1021

Tabla 7 Resumen de iluminancias interiores sin reflejar el espacio de medición; esquema de situación de los sensores y cámaras dentro de cada espacio en Dortmund

La función del sistema juega un papel fundamental, sobretodo en el plano de trabajo cercana a la ventana (punto de medición A1) con valores entre 58-4442 lx; el valor más alto y el más bajo tuvieron lugar con vistas hacia el exterior; ambos se midieron en combinación con una protección anti-deslumbramiento. El valor por encima de los 4000 lx aparece sólo aisladamente, y puede tener que ver con la radiación solar directa sobre el sensor. En la siguiente figura quedan reflejados los valores por espacio y tipo de sistema:

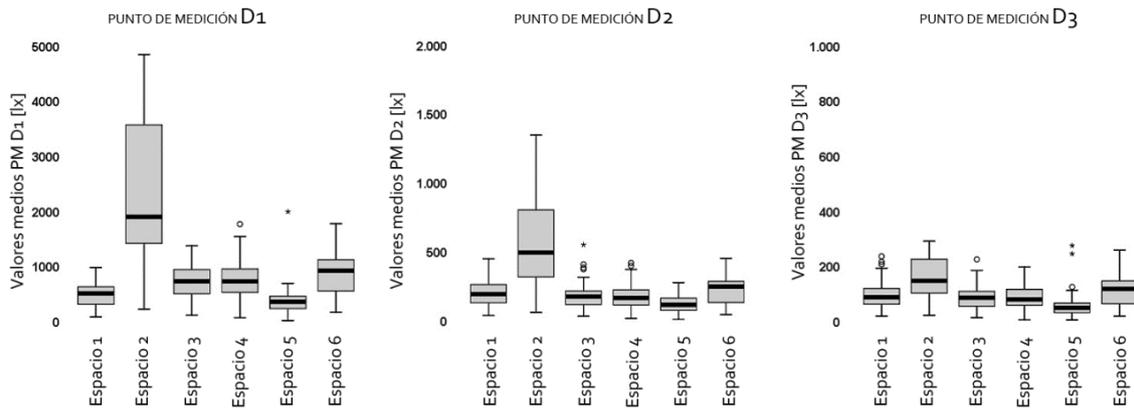


Figura 10 Comparativa de los valores obtenidos en las mediciones en techos para sistemas cerrados de los 6 sistemas propuestos para Dortmund

Las mediciones de iluminancias en el techo son considerablemente más altas para el sistema 2 – vidrio de desviación de la luz y celosía-. Otra clara diferencia se establece entre los sistemas puros de protección solar (espacio 1 y 5) y los sistemas de desviación solar (espacio 2, 3, 4 y 6).

Sobre las mediciones de iluminancias en el plano de trabajo, medidas en horizontal, las mediciones verticales a la altura de los ojos y las mediciones en el fondo de pared, se resumen los siguientes resultados:

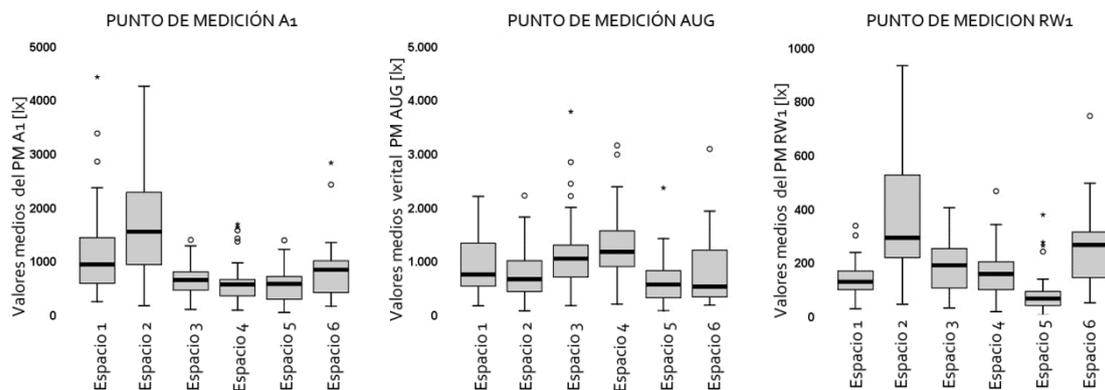


Figura 11 Comparativa de valores de medición en el plano de trabajo, vertical a la altura de los ojos y vertical en la pared del fondo de los 6 sistemas de control cerrados en Dortmund

El espacio 2 – vidrio desviación de la luz solar con celosía- proyecta un mayor nivel de iluminancias (luxes) en el plano de trabajo (punto de medición A1) y en la pared del fondo (punto de medición RW1). A la altura de los ojos es el espacio 4 el de mayores valores obtenidos. El sistema 2 refleja gran cantidad de luz hacia el techo, lo cual supone un aumento importante de la claridad del espacio interior, sin embargo no supone un mayor nivel de luz vertical a la altura de los ojos.

Iluminancias-estaciones del año

Los factores de luz solar SQ se diferencian para cada uno de los sistemas a lo largo del día, así como según las estaciones, es decir dependiendo de la altura solar. A continuación se presentan los resultados obtenidos para verano, invierno y las transiciones.

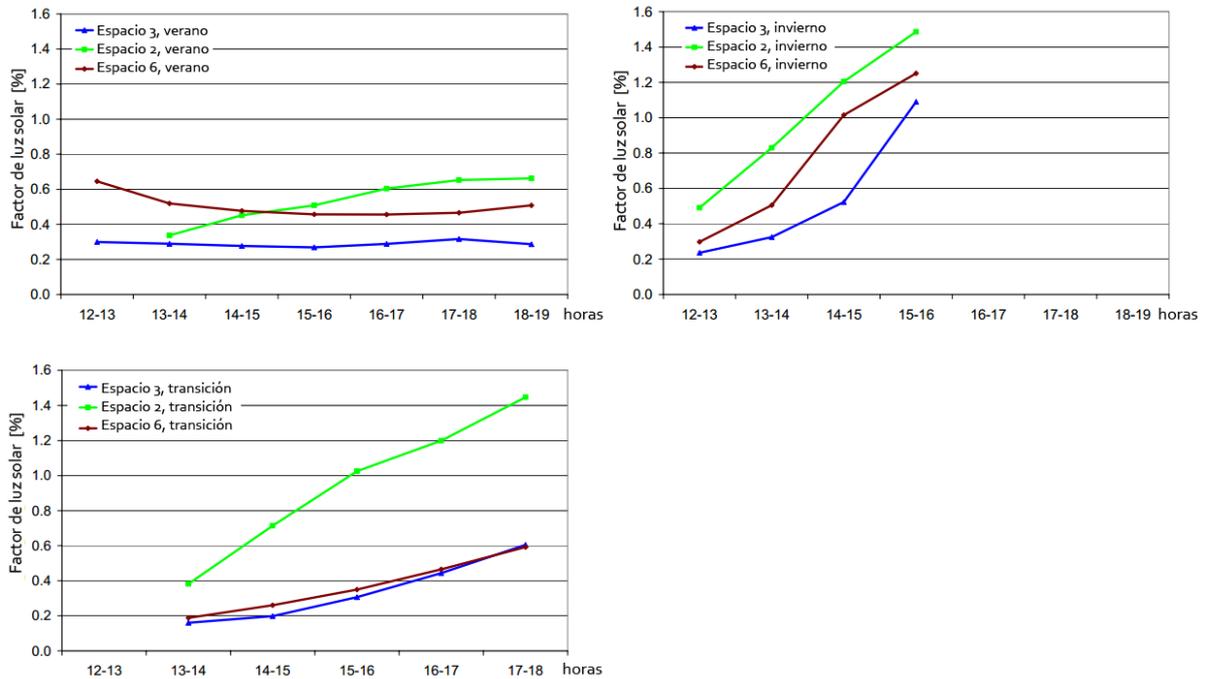


Figura 12 Valores medios de los factores solares SQ en el punto de mediciones D2 (2,35m de distancia de la ventana) por trimestre, dependiendo del momento del día, con sistemas cerrados

La variación natural de la luz a lo largo del día marca una fuerte diferencia estacional. Mientras que en verano, la variación es lineal, en invierno la diferencia horaria es claramente dependiente de la altura solar así como del momento del día: con el aumento de la altura solar aumenta casi linealmente el factor de luz solar SQ. Este comportamiento de la iluminación se acentúa aún más en el sistema 2 – vidrio de desviación lumínica con celosía-. Hasta casi entrando en el verano, el sistema 2 permanece con el SQ más alto. A pesar de que el SQ es alto en las tardes de invierno, como las iluminancias exteriores son muy bajas también lo son en el interior de los espacios estudiados.

Frecuencia de aparición-comparación de sistemas

Los sistemas de control solar fueron comparados según la frecuencia de aparición de los niveles de iluminación, en la totalidad del periodo de estudio y para la totalidad del periodo en el que los sistemas de control solar estaban cerrados (cuando el sol incide en fachada). En las primeras gráficas se muestra la variación de los sistemas 1,3, y 4 durante las nueve horas de trabajo, así como del tiempo en el que los sistemas estaban cerrados.

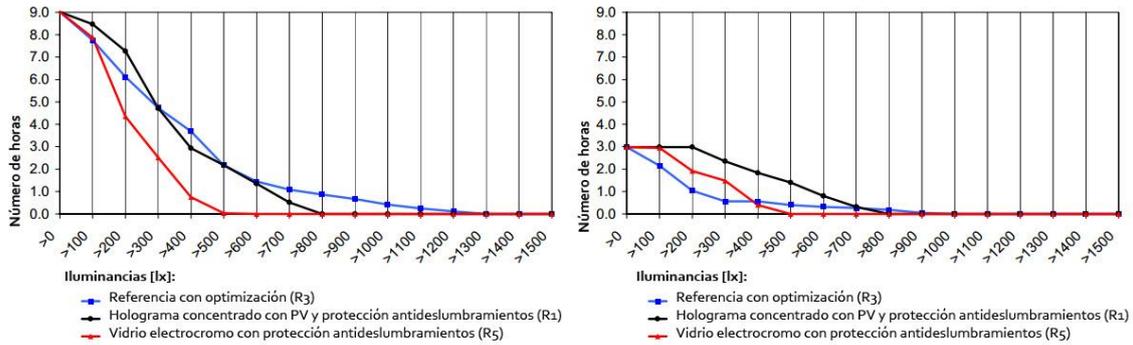


Figura 13 Frecuencia de aparición de los sistemas 1,3 y 5. Punto de medición D3, días soleados. Izq.: durante todo el horario laboral, 28/07/2002; der.: con el sistema de protección solar cerrado.

En el tiempo en el que los sistemas son activos (cerrados), el sistema 1 – holograma concentrado- es el que muestra los niveles de iluminancias más altos. En la totalidad de los días sin embargo no se diferencia de los niveles de luz logrados por el sistema de referencia (sistema 3). Habría que hacer una diferenciación de las cualidades de los sistemas respecto a las diferentes horas del día.

En las siguientes tablas se muestra la frecuencia de aparición de los niveles de iluminación en los sistemas 2 y 6 en relación al sistema 3 - persiana exterior reflectante-.

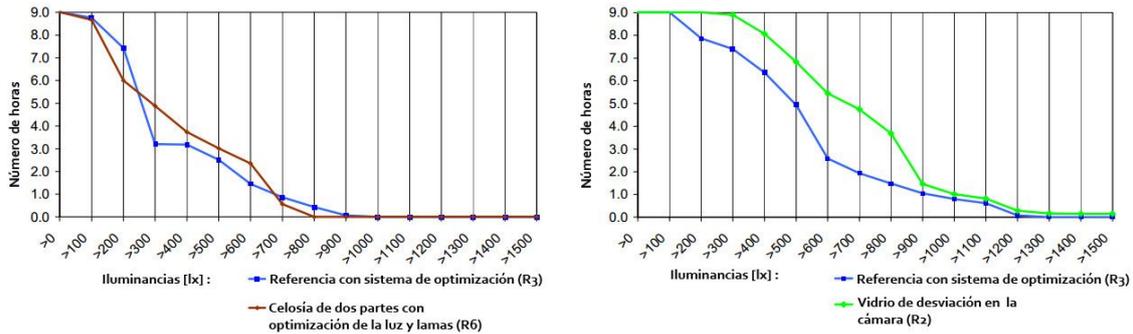


Figura 14 Frecuencia de aparición durante todo el tiempo de trabajo. Punto de medición D3, días soleados. Izq.: sistema 3 y 6, 28/07/2002; der.: sistema 2 y 3, 17/08/2002

Para hacer la siguiente tabla, se hizo una extrapolación de los datos para todo el año durante la jornada laboral y para las horas en las que los sistemas estaban cerrados también durante el horario laboral.

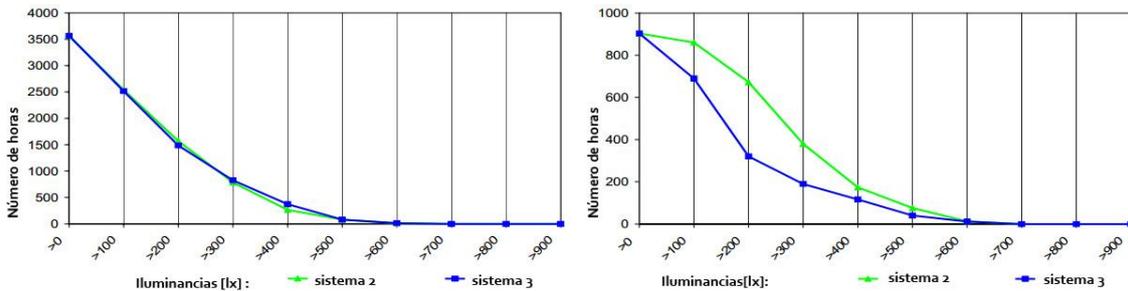


Figura 15 Frecuencia de aparición para los sistemas 2 y 3, punto de medición D3. Izq.: durante el horario de trabajo; der.: con el sistema de protección solar cerrado

Se puede observar que el sistema 2 y 3 (ambos de reflexión de la luz) muestran un gráfico muy similar. En ninguno de los casos se superan los 700lx. Sin embargo, con los sistemas de

protección solar cerrados, el sistema 2 muestra una mejora significativa. Durante las horas de sol en muy raras ocasiones fue precisa la luz artificial, lo cual supone una reducción significativa del calor en verano.

Para la repercusión biológica de la luz, es importante tener en cuenta la dosis diaria de luz más que los picos alcanzados, de manera que la frecuencia de aparición se convierte en un valor muy importante para evaluar la calidad de la luz. Así, el nivel de iluminación mínimo durante al menos una hora debería alcanzar los 2000 luxes [5117]¹⁵, valor mucho más alto que la luz necesaria (luz útil; lxh/d).

Luminancias

Desde el inicio de las encuestas se midieron las luminancias de cada espacio, con tres cámaras con objetivo de ojo de pez en cada espacio (figura 8). Además se hizo la medición de cada espacio antes de cada encuesta, de manera que se pudiera tener como referencia esa imagen. Los espacios se midieron también en días soleados y con los sistemas de protección solar cerrados.

Las luminancias máximas y medias en el espacio y sobre las diferentes superficies (zona de trabajo, superficie de ventana, zonas de desviación de la luz, manchas en el techo) revelan el comportamiento de las luminancias con respecto a los contrastes y posibles fuentes de deslumbramiento. Las luminancias mínimas son irrelevantes para la práctica. Se consideran por lo tanto las máximas y medias para los diferentes sistemas de control solar en las tres posiciones elegidas:

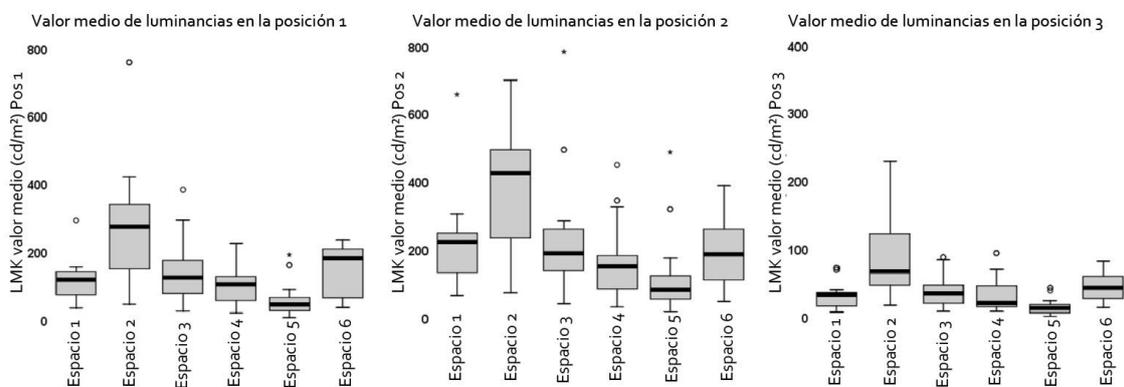


Figura 16 Luminancias medias al comienzo de las encuestas

El sistema 2 – vidrio de desviación de la luz en la cámara con celosía- da los mayores valores de luminancias en las tres posiciones. El sistema 5 – vidrio electro-cromado- da en total los valores más bajos de luminancias, debido a su factor de transmisión bajo.

Durante las mediciones de las luminancias máximas, las posiciones 1 y 2 muestran las posiciones reales frente a la pantalla del ordenador y en el campo visual (ventana). En el espacio

¹⁵ MÜLLER, Helmut: Licht in Büroräumen-Sonnenschutz. Verbundprojekt. Abschlussbericht über das Forschungsvorhaben, Klimagerechte Architektur, Universität Dortmund, Solar- Institut Jülich, Fachhochschule Aachen, 2004.

1 obtenemos el rango de luminancias mayor, en la segunda posición con una media de 5000cd/m^2 . Las luminancias máximas más bajas aparecen en el sistema 5 - celosía optimizada, dos partes-.

En general, las luminancias son significativamente mayores que las recomendadas¹⁶. Las encuestas nos muestran en qué medida estos valores de luminancias dan lugar a deslumbramientos:

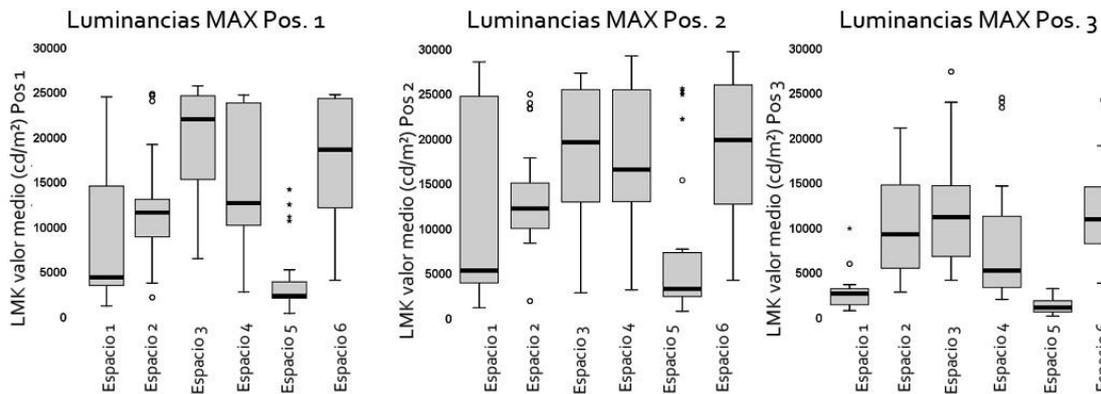


Figura 17 Luminancias máximas al comienzo de las encuestas para las tres posiciones y 6 sistemas de control solar

Los mayores valores de luminancias se producen en la posición 2. Se diferencian las manchas de luminancias en la ventana LF1 (ámbito de reflexión, parte superior de las ventanas) y las luminancias en LF2 (campo visual, ámbito visual inferior de la ventana) así como de las manchas en el techo y en la mesa de trabajo. En la zona de trabajo las luminancias son como máximo de 5000cd/m^2 .

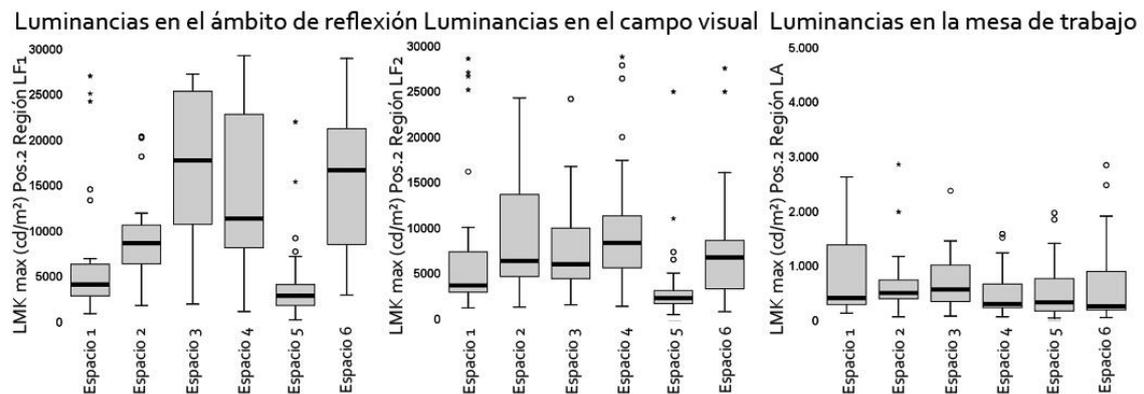


Figura 18 Luminancias máximas al comienzo de las encuestas para las ventanas y las zonas de trabajo

En todos los sistemas de desviación de la luz, los valores más altos de media se encuentran en la parte superior. Las luminancias máximas en las zonas de trabajo son relativamente bajas, con un rango de media que va desde las 500cd/m^2 hasta las 2600cd/m^2 .

¹⁶ Recomendadas por la normativa alemana VDI6011, Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung, p. 18: Raumflächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln können, sollten bei Bildschirmen hoher Güte (Güteklasse I nach DIN EN ISO 9241-7) im Flächenmittel 1000cd/m^2 und als Maximalwert 2000cd/m^2 nicht überschreiten.

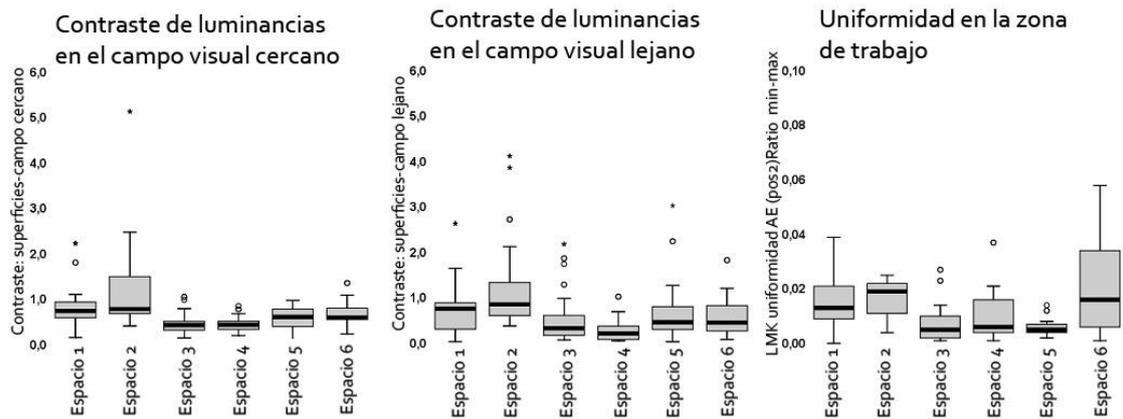


Figura 19 Contraste de luminancias en el campo visual cercano y lejano y uniformidad en la zona de trabajo

Con respecto a los contrastes de luminancias, en el campo visual cercano y lejano, el sistema 2 muestra los mayores valores, el sistema 5 muestra una mayor uniformidad (E_{\min}/E_{\max}), mientras que el sistema 4 muestra los contrastes más bajos.

Variación temporal de las luminancias

A continuación se muestran las seis imágenes de luminancias de los diferentes sistemas registrados en Dortmund en verano a las 15:00 horas. Los ámbitos rojos marcan los valores en torno a las 4000 cd/m^2 o superiores. Estos valores son significativamente más altos en el sistema 2 – vidrio de desviación de la luz en cámara-. Los valores mostrados son representativos del año por sistema.

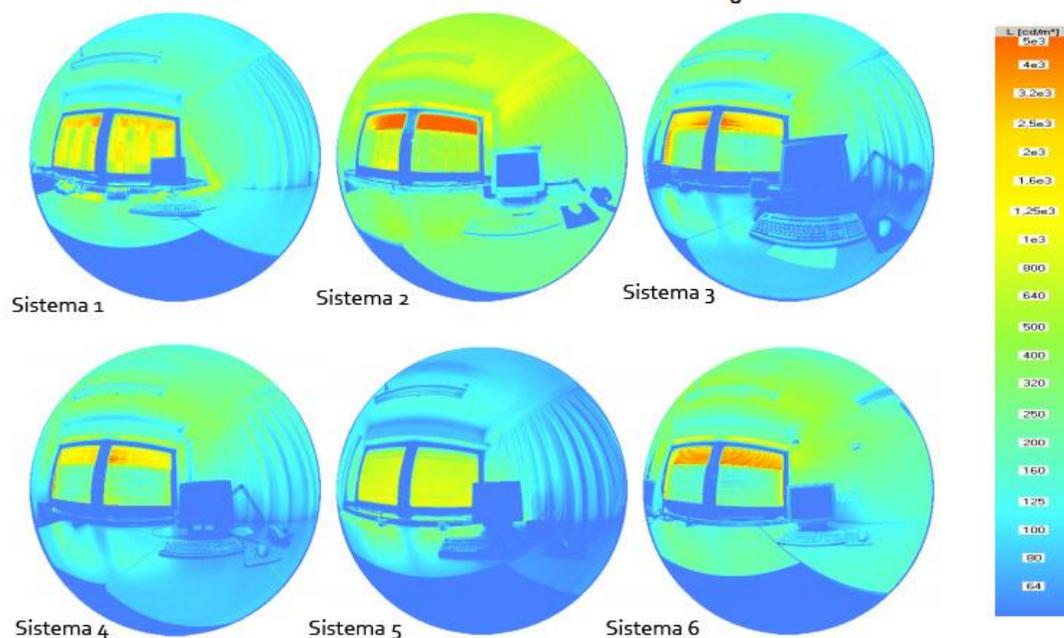


Figura 20 Registro de luminancias desde la posición del usuario, 16/08/2002, 15:00 h, día despejado, sistemas de control solar cerrados

En el sistema 5 el valor máximo no supera nunca las 4000 cd/m^2 . Con los demás sistemas se obtuvieron luminancias considerablemente mayores en invierno, lo cual tiene que ver con la altura solar (fachada suroeste)

Con respecto a la variación de luminancias diaria, se muestra a continuación la variación en el sistema de referencia –sistema 3- desde las 12:00 hasta las 18:00. Se pueden observar claramente las variaciones del tiempo en la claridad de los espacios. La imagen de las 12:00 es con el sistema de control solar abierto, a partir de la 13:00 con él cerrado.

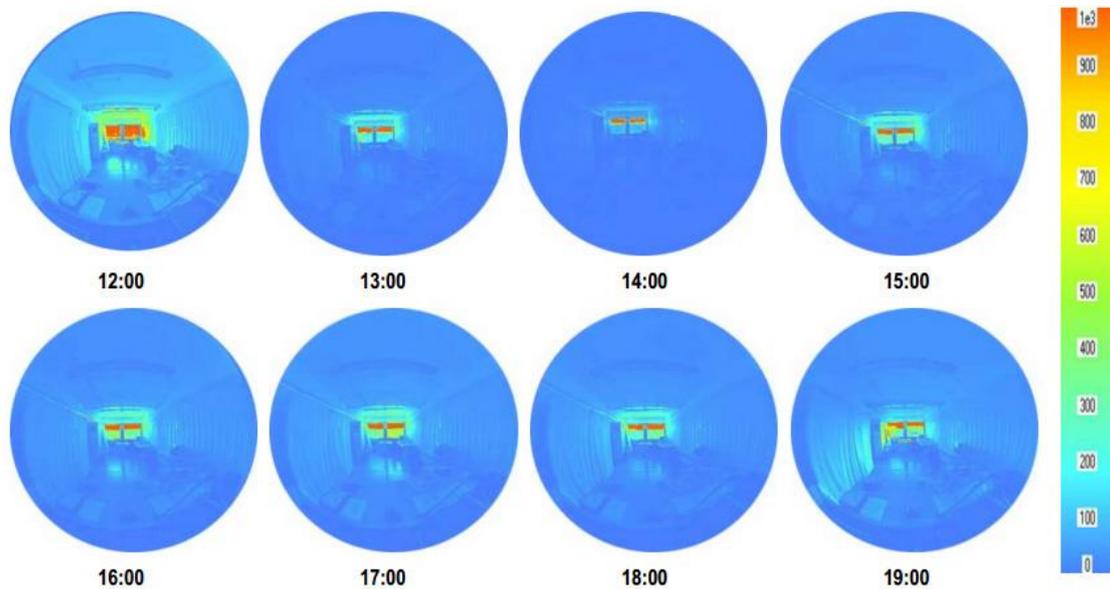


Figura 21 Distribución de luminancias en cd/m^2 , sistema 3, verano 04/08/2002, 12:00 hasta las 19:00, día soleado

Por medio de la comparación de las imágenes, se muestra una clara diferencia en el sistema 2.

Mediante el programa de simulación RADIANCE se puede hacer una previsión de otras series y sobretodo comparar los datos de las mediciones con los de la simulación y poder establecer el grado de exactitud de las simulaciones.

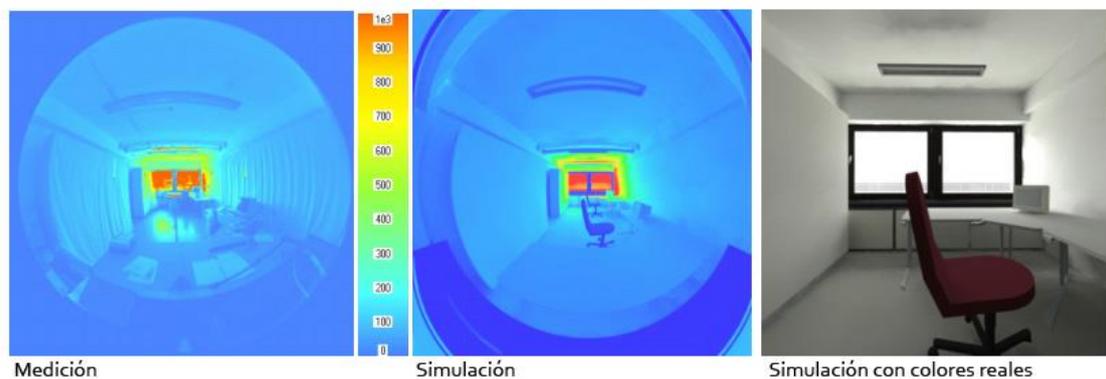


Figura 22 Comparación de las mediciones y simulación así como vista con colores reales; sistema 3, protección solar abierta, 22/06/2002, 13:00 horas

La figura 22 muestra la comparación para cielo cubierto de las mediciones y la simulación, así como la vista en colores reales. Los resultados son similares. El sistema 4 coincide con los resultados y comparativa del sistema 3. El sistema 1 no está reconocido como sistema de luz natural y por lo tanto los cálculos son demasiado laboriosos y no se describen aquí.

Sistema 2: Vidrio de desviación de la luz en cámara

Las mediciones dan unas pequeñas desviaciones entre las mediciones y la simulación en los puntos de mayor profundidad del espacio. En el primer metro de distancia de la ventana los valores de las mediciones son mayores, cerca de los 4 metros inferiores y en el fondo de la pared otra vez un poco más altos. Se hicieron mediciones en un día soleado y otro cubierto en cada trimestre, midiendo cada hora. En general las desviaciones entre las mediciones y las simulaciones eran muy pequeñas, sobre todo para días soleados y sistema de protección solar cerrado.

Sistema 5: Vidrio electro-cromado

En el sistema 5 las mediciones están un poco por encima de las simulaciones. La inexactitud procede del coloreado, es decir el grado de transmisión del vidrio. Las simulaciones en este caso son inexactas, sin embargo suficientes para un diseño aproximado.

Sistema 6: Celosía optimizada –dividida en dos partes-

Las simulaciones y mediciones son coincidentes. En la comparación en un día soleado tiene ciertas desviaciones sin excesiva importancia; 1m y 3m de distancia desde la ventana ligeramente inferior en las mediciones que en la simulación, a 2m, 5m y en el fondo de la pared, las mediciones son superiores a las simulaciones (15/09/2002).

En definitiva, las simulaciones y mediciones coinciden en la mayoría de los casos con pequeñas desviaciones. Las pequeñas desviaciones se producen principalmente en días soleados, y es posible que sean debido a la radiación directa sobre el sensor en el punto de medición. La correcta interpretación es tan importante como la comprobación exacta de los datos.

Factor de utilidad y posibilidades de ahorro energético

Los resultados obtenidos en el sistema de referencia y el sistema 2, nos muestran una demanda de luz artificial anual muy parecida, a pesar de que durante los días soleados, los niveles de iluminación (E) son mucho más altos. Esto se debe al bajo grado de transmisión en comparación con el sistema 3 – de referencia-. En el año cerca de 2900 horas son de cielo cubierto, 1600 horas de días soleados y de éstas alrededor de 990 horas de sol directo sobre la fachada. Estos valores son completamente diferentes en climas soleados. Cuando el sol incide en fachada, la demanda de luz artificial es mucho más baja en el sistema 2.

	Sistema 2 [klxh]	Sistema 3 [klxh]
Zona 1	40	80
Zona 2	140	190
Zona 3	225	250

Tabla 8 Demanda de luz artificial en los espacios de los sistemas 2 y 3 (referencia) por año en días soleados (a partir de las mediciones)

Mediciones espectrales

Las mediciones espectrales se realizaron durante el proyecto en las oficinas de la TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik. El desarrollo completo dio lugar a varios trabajos de investigación¹⁷. Los resultados se presentan aquí brevemente para poder establecer una relación con los resultados de las encuestas. A continuación se muestra en la tabla la distribución espectral de la luz natural para cielo cubierto y cielo despejado:

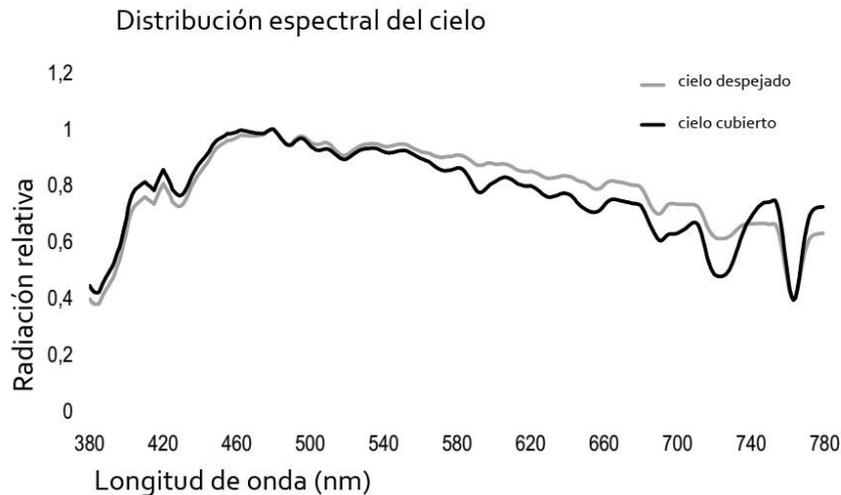


Figura 23 Distribución espectral de cielo despejado (13/07/2003,11:33 h) y cubierto (12/07/2003,15:27 h)

En la siguiente figura se muestra la distribución espectral de cada uno de los espacios, en comparación con las mediciones del cielo y un espacio sin protección solar (referencia). Los sistemas convencionales de vidrios de protección frente al calor (referencia) sin protección solar dan lugar a valores más bajos a partir de la longitud de onda de 480nm. El sistema 1 – holograma concentrado- sigue este recorrido claramente, mientras que el sistema 3 y 6 se acercan más a la distribución espectral de cielo despejado. Los sistemas 4 y 5 son los que más cambian la distribución espectral, siendo este cambio más acentuado en el rango azul, aproximadamente en 480nm este cambio es extremo.

¹⁷ - VOGEL, J: Lichtbeänderung durch Tageslichtsysteme. Diplomarbeit Technische Universität Ilmenau, 2003.

-SCHUSTER, H; OETZEL, M.: Testfassade für innovative Tageslicht- und Sonnenschutzsysteme- Vergleichende Feldversuche. Tagung Innovative Lichttechnik, Staffelstein, 2001.

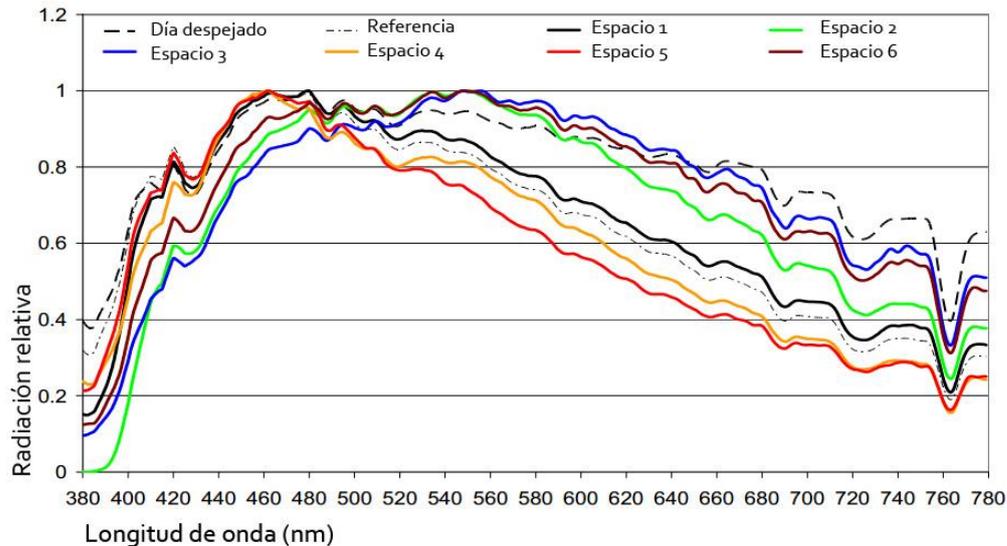


Figura 24 Desviaciones por rango espectral de cada uno de los sistemas en comparación con el vidrio sin protección solar (referencia), 13/07/2003,13:30- 14:30 horas

En el exterior la radiación más alta se encuentra aproximadamente en la longitud de onda 460nm. Sin embargo, los valores en el interior, en los espacios 2,3 y 6 la intensidad más alta está en la longitud de onda 550nm. En el sistema 5 –vidrio electro-cromado- los valores más bajos están en el rango rojo y más altos en el azul.

Temperatura de color

Las mediciones de la temperatura de color en el fondo de cada espacio para diferentes condiciones de cielo, con sistemas abiertos (referencia) muestra la influencia de las condiciones externas sobre la temperatura de color en el interior. En las proximidades de las ventanas es donde se acentúan las diferencias entre sistemas respecto a la temperatura de color. A medida que nos vamos hacia el fondo de cada espacio éstas se igualan, debido a la reflexión en las superficies.

La temperatura de color cambia con la altura solar, el porcentaje de nubes y turbiedad de la atmósfera. Las mediciones en el exterior se hicieron en el plano vertical y horizontal en la cubierta del edificio. Las mediciones en el plano horizontal registran la luz solar en el cenit y en el plano vertical se mide la luz incidente en fachada. Se hace una medición de referencia en el espacio 3 sin protección solar ni protección anti- deslumbramiento en el punto de medición A2, donde los cambios en la temperatura de color son más claros.

Las mediciones en el plano horizontal se mantienen un poco por encima de las mediciones en el punto de medición A2. Se mantienen relativamente constantes entorno al valor de 5700° Kelvin. Las mediciones verticales hasta el mediodía dan un valor aproximado de 6700° Kelvin, disminuyen a partir de la 13:00 y mientras incide el sol directamente sobre la fachada alcanza los 5400° Kelvin. En ese momento se corresponden los valores en el interior con los obtenidos en el exterior. Por la mañana sin embargo, cuando el cielo está despejado pero no incide la luz solar sobre la fachada es cuando las desviaciones entre interior y exterior son mayores.

La protección anti- deslumbramiento apenas ejerce una influencia en la temperatura de color del interior, variando entre 5400 y 5500° Kelvin, siendo los valores resultantes del sistema con

anti-deslumbramiento inferiores cerca de la ventana y superiores al sistema de referencia (sin protección) llegando a la pared del fondo (punto de medición A3).

Balance térmico

La temperatura en el ambiente interior influye en el grado de comodidad de las personas en el interior de los espacios. Ya mencionamos que los espacios donde se realizaron las mediciones no pudieron ser divididos claramente desde el punto de vista térmico. A pesar de ello, se documentó la sensación de calor percibida durante las encuestas.

Las temperaturas en los 6 espacios de Dortmund para sistemas de control solar cerrados, es decir cuando la luz solar incidía directamente en fachada, abarcó desde los 21° C hasta los 32°C.

Temp. interior [°C]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Durante las encuestas [%]	2	12	10	28	12	11	8	4	1	6	4	2

Tabla 9 Distribución de temperaturas en los 6 espacios de medición

La mayoría de las encuestas tuvieron lugar con temperaturas entre 22-26°C (75,80%). La temperatura máxima fue de 32°C.

Evaluación de sistemas complejos de control solar y desviación de luz

A continuación se hace un listado de los posibles puntos a tener en cuenta en la evaluación de sistemas de control solar, obtenidos como resultado de las investigaciones desarrolladas durante un año sobre diferentes sistemas y su utilidad para según cada fachada y condiciones externas:

- Iluminancias en el ambiente interior con sistemas de protección solar cerrados para diferentes condiciones externas
- Distribución de luminancias en relación al campo visual y deslumbramientos
- Temperatura de color del ambiente luminoso interior en relación a la reproducción de color y los efectos psicológicos y biológicos de la luz
- Frecuencia de aparición de iluminancias en relación a la percepción de la realidad y sus efectos biológicos
- Necesidad de luz artificial para poder hacer una evaluación económica y ecológica
- Grado de aceptación de los usuarios

La calidad de la iluminación natural varía con cada sistema de control solar. Es por ello tan importante poder hacer una evaluación, a partir de la toma de datos in situ, de cada uno de los sistemas, contrastándolos con la evaluación de ellos por los usuarios. Los espacios de testado o laboratorios a escala real, son fundamentales en las investigaciones.

6. Resultados de las encuestas¹⁸

Las encuestas se dividen en dos grupos fundamentales. El primero, para los parámetros que son independientes de los sistemas de control solar; el segundo, como donde se pregunta sobre los parámetros a modo de comparación entre sistemas. Se tuvo en cuenta si los resultados variaban dependiendo del sexo, edad o cualquier atributo individual. En general, ninguna de estas variables tuvo una repercusión significativa en los resultados.

Parámetros independientes

Los 6 espacios de mediciones se distribuyeron –mobiliario- exactamente igual. El 90% de los encuestados contestó en valores positivos sobre su bienestar momentáneo, sobre las dimensiones de cada espacio (70,3%), sobre la cercanía de la ventana (83,9%) y sobre la posición elegida del punto de trabajo –pantalla ordenador- (87,4%).

Parámetros dependientes

El 67,4% contestó que el espacio lo encontraban cerrado. Si separamos los sistemas de desviación de la luz (1,5) de los de protección solar (2,3,4,6) los resultados obtenidos cambian:

Sistema de control solar	Espacio abierto	Espacio cerrado	Espacio encerrado
Protección solar (1 holograma,5 electro-cromado)	79,6%	28,2%	25,0%
Desviación de la luz (2,3,4,6)	20,4%	86,1%	83,6%

Tabla 10 Dependencia de los sistemas y la percepción del espacio

Consistencia de los datos

El “bienestar momentáneo” no tiene correlación con la valoración “abierto” o “tamaño del espacio de trabajo”; sin embargo si tiene relación con la “posición de la pantalla” y la “cercanía a la ventana”. Cuanto más se sienta que el espacio está cerrado, más negativo será el resultado en el bienestar. El tamaño del espacio también tiene que ver con la consideración de si el espacio es considerado “abierto” o “cerrado”. Las correlaciones entre variables muestran tan sólo una ligera tendencia; con un número mayor de la muestra se podría llegar a resultados más consolidados, relativos quizás a las vistas hacia el exterior.

Temperatura interior

La temperatura interior en los 6 espacios dio valores entre 21-32° C. El 31,5% de los encuestados consideraron demasiado alta la temperatura interior. En el espacio 2 el 51% de los encuestados criticaron la temperatura como muy alta.

¹⁸ Resultados obtenidos por Heide G. Schuster, Tageslichtsysteme im Spiegel der Nutzer, resumidos en este apartado.

Vistas al exterior

Según los encuestados (61,5%), los sistemas de desviación de la luz y protección solar suponen una disminución en cuanto a las vistas hacia el exterior. El 93,4% consideraron esa reducción de las vistas como algo negativo. Si separamos los valores por sistema, el espacio 1 se diferencia claramente de los demás con un 62,7% que considera como “suficientes” las vistas frente a un valor siempre por encima del 90% de los encuestados que consideraron que con los demás sistemas (2,3,4,5 y 6) la continuidad interior exterior “no es suficiente”.

Deslumbramiento

Las luminancias se midieron en la posición del usuario (dirigido hacia la pantalla del ordenador y hacia la ventana) y en la pared del fondo. Las luminancias medias en el espacio 2 (desviación de la luz) fueron la más altas y en el espacio 5 (vidrio electro-cromado) las más bajas obtenidas. Habiendo considerado las superficies claras como un aspecto positivo del espacio, los sistemas de desviación de la luz (sistemas 2,3, 4 y 5) son mejor aceptados que los demás sistemas.

En la observación de las diferentes manchas solares en el campo visual (ámbito de desviación de la luz, campo visual y área de trabajo), se muestran valores de luminancias muy altos hasta cerca de las 25.000 cd/m² en el ámbito de desviación de la luz, 14.000 cd/m² en el campo visual. En general, se podría concluir que **luminancias hasta 4.000 cd/m²** incluso dando la luz natural en la pantalla del ordenador, son consideradas como no molestas. A partir de ahí, la mancha se puede convertir en una fuente de deslumbramiento. En los espacios 1,3 y 6 es donde los encuestados dijeron que habían sido deslumbrados con mayor frecuencia.

Las manchas de luz solar fueron evaluadas (82,6%) como “más molestas que inaceptables” a partir de 1.121 cd/m² en el punto de medición PM2. El valor máximo de luminancias en el punto PM2 está en torno a las 25.000 cd/m² (29.750 cd/m², 70,4%). A partir de este valor los encuestados marcaron el “deslumbramiento”. El 43% de los encuestados sintieron un deslumbramiento procedente de los sistemas de protección solar en sí, el 14,9% procedente de las paredes y sólo un 1,1% de las luminancias procedentes del techo. A partir de 59 cd/m² de valor medio, el espacio es valorado como “claro” en el 84% de los casos.

El caso más significativo de relación directa entre “necesidad de mayor protección” y “deslumbramiento” es en el espacio 6. Las reflexiones molestas hacen que los encuestados deseen una mayor protección con respecto al sol. La temperatura interior no tiene relación ni con los deslumbramientos ni con la demanda de protección solar.

Funcionalidad

En esta categoría se pregunta a los encuestados sobre la estética de los sistemas, sobre la funcionalidad y su valor como símbolo de estatus. El 90% de los encuestados consideraron los sistemas de protección solar como “más bien bueno que malo”. El 69% consideraron la estética de los sistemas como algo positivo y tan sólo un 29% entendió que los sistemas se podrían considerar como un símbolo del estatus social.

Claridad del espacio

Las iluminancias se midieron cerca de la ventana en la zona de trabajo, horizontal en el techo, vertical en la pared del fondo y a la altura de los ojos en dirección hacia la ventana. Los

diferentes sistemas de control solar en su función activa, es decir cerrados con el sol incidiendo directamente en la fachada, dieron resultados muy amplios: desde 58 lx hasta 4.442lx en la zona de trabajo y entre 91lx y 6.834 lx a la altura ocular. Estos valores representan la diferencia de resultados de la luz en el interior de los espacios según el sistema elegido.

El valor mínimo de iluminancias a partir del cual los encuestados consideraron necesario encender la luz artificial, es de 300lx en el punto más separado del punto de trabajo (56,4%), 500lx para el puesto de trabajo (54,2%) y 1.000 lx como una considerable mejora de la iluminación de ese espacio (51,2%).

Sobre **las iluminancias verticales a la altura de los ojos el valor límite de aceptación es 3.169 luxes**. En el punto de medición A1, hasta un valor de 4.274 lx es considerado dentro de una protección solar buena. La claridad del espacio se considera suficiente o que no hay necesidad de encender las luces con valores de radiación global de 5.581 lx, y 12.316 lx medidos en vertical en la fachada (79%). La iluminación natural se considera como suficiente a partir de los siguientes valores: 79,2%, 829 lx en el punto de medición del techo, en el punto de medición A1 4.442 lx (77,6%), luminancias medias 72cd/m² (80,2%).

En relación a la activación biológica, la componente vertical de la iluminación, ya sea artificial o natural, debe ser considerada de manera integrada. Esto debe fomentar la coincidencia – luz/ritmos biológicos- para determinar los valores mínimos del nivel de la luz así como lo relativo a la dirección de la luz.

Existe una clara relación entre los encuestados que respondieron que el espacio era “claro” y “abierto”. Se puede establecer que la falta de vistas hacia el exterior se podría compensar con el aumento de la claridad de ese espacio.

Desviación de la luz

El 87,1% de los encuestados consideró como positiva la desviación de la luz natural, es decir los sistemas 2 y 6. En el caso del holograma (sistema 1) este valor sólo llegó al 50%.

Color y efecto en el espacio

La temperatura de color se considera como artificial o extraña en torno a 6.745° Kelvin (72,7%), como molesta a partir de 10.024° Kelvin (79,8%). La calidez de la luz influye en la valoración de la desviación de la luz. Cuanto más cálida es la luz, más respuestas en el rango positivo obtenemos respecto a la “comodidad” y “naturalidad” de la luz en el espacio.

Privacidad

La privacidad, es decir la protección del espacio de trabajo interior frente a las vistas desde el exterior, bien sea a través de celosías o incluso estanterías o vidrios traslúcidos en oficinas modernas es algo conocido. Sin embargo, en este caso se midió el grado de privacidad percibido dependiendo del sistema de control solar. Se dividieron las preguntas en “vistas hacia el interior de días/de noche”. El 68% de los encuestados consideró que por la noche no había privacidad en el sistema 1, 50% en el sistema 5. Los valores de menor privacidad por el día también tuvieron lugar en los sistemas 1 y 5. Los demás sistemas obtuvieron valores negativos respecto a la privacidad por debajo del 13%.

Valoración global

A continuación se muestran los resultados respecto a la valoración global de los 6 sistemas de control solar:

Muy bueno	Bueno	Satisfactorio	Suficiente	Insuficiente	Muy insuficiente
2,9%	39,7%	36,1%	18,1%	2,9%	0,3%

Tabla 11 Valoración global de los sistemas de control solar

Dependencia de las variables

A partir de las encuestas realizadas, surge la posibilidad de relacionar las variables entre sí, según la posible dependencia de los valores obtenidos:

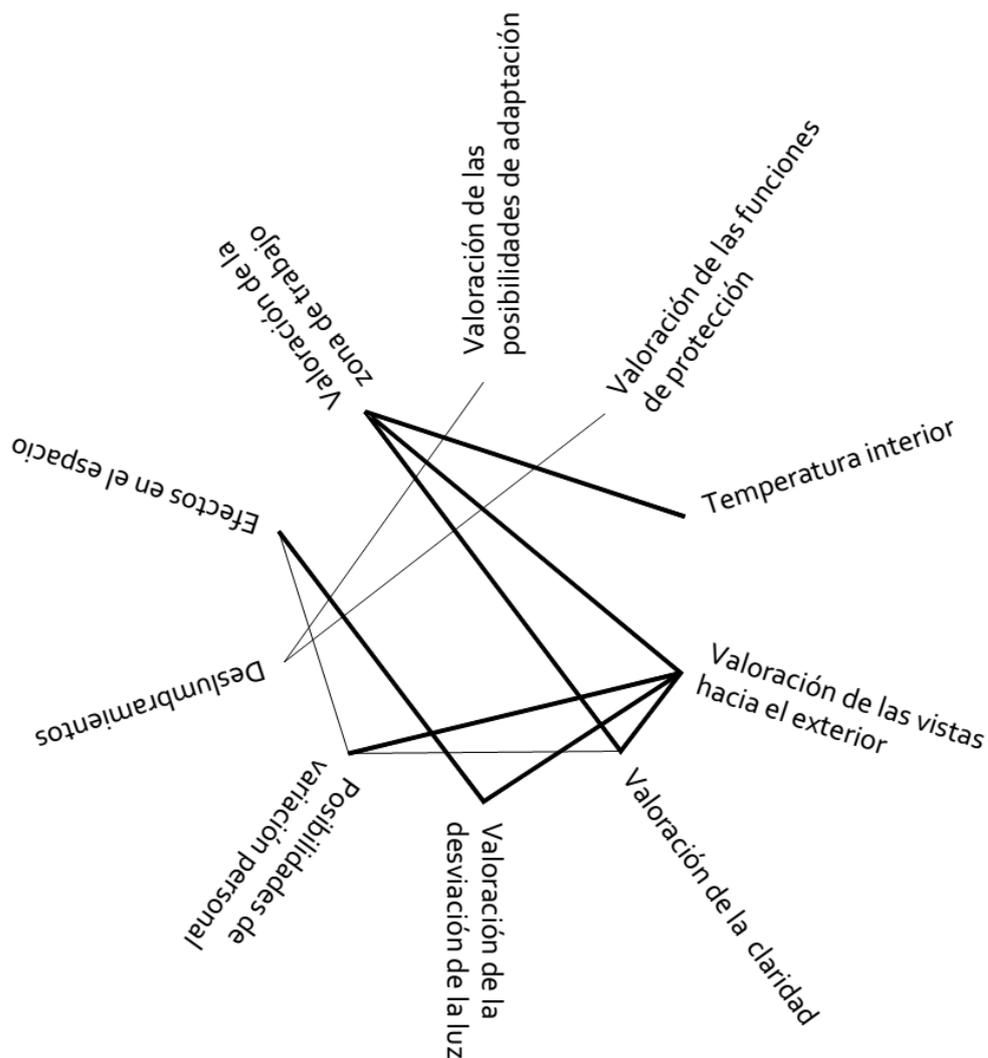


Figura 25 Análisis de dependencia de las variables consideradas en los cuestionarios

Las correlaciones entre variables se han incluido entre los resultados mostrados de cada variable.

Resumen de los resultados obtenidos

En la tabla siguiente se muestran los resultados generales obtenidos a partir de los cuestionarios en relación a las mediciones hechas para los 6 sistemas de control solar:

	TEMA	COMPROBACIÓN
1	Influencia del sistema de control solar sobre la aceptación de la iluminación de un espacio y el bienestar general del usuario	Sí, en relación a la iluminación, pero no directamente sobre el bienestar momentáneo
2	La claridad logra una mayor satisfacción; 500 lx en la zona de trabajo no son suficientes para una impresión de "claridad"	Sí
3	Falta correlación entre la valoración de las variables cualitativas de la luz natural con los datos técnicos (iluminancias horizontales en la zona de trabajo)	Sí, son necesarias varias preguntas para poder valorar las diferentes variables
4	Aceptación de los diferentes sistemas de protección solar con una claridad suficiente o cuando se desvía la luz	Sí, no hay una compensación clara, pero si una disminución de una percepción negativa del espacio
5	Mayor aceptación del deslumbramiento por luz natural de los valores establecidos	Sí
6	Influencia de la variación de la luz de color según el sistema de control sobre la valoración de los efectos en el espacio	Sí, en todo caso tenemos solo tendencias, ya que las mediciones han sido insuficientes en número
7	La descripción de la aceptación de las condiciones lumínicas se logra mejor con una probabilidad de aceptación	Sí
8	La percepción de la temperatura es independiente del sistema y la claridad	No
9	La valoración de la iluminación depende de la iluminación exterior	Sí
10	Los cuestionarios sirven de ayuda para evaluar posibles errores y limitaciones respecto a la luz natural y de nuevos sistemas de control solar	Sí

Tabla 12 Resumen de las variables y su influencia en los usuarios, Heide Schuster 2006

Capítulo 3. Nueva caracterización de la luz

BLOQUE 1	CAPÍTULO 2 LA LUZ SOLAR EN ESPACIOS DE OFICINAS CAPÍTULO 3 NUEVA CARACTERIZACIÓN DE LA LUZ	Introducción Referencias técnicas y artísticas Fuentes de referencias y su impacto Definición de variables cualitativas Niveles de aceptación de las variables División por actividad clasificada Perfiles de dependencia de las variables
----------	---	--

Introducción

La luz natural se define a partir de variables cuantitativas y cualitativas. En el capítulo 2 se resume brevemente el estudio relativo al control de la luz solar en seis sistemas diferentes, en condiciones reales para edificios de oficinas, en fachada suroeste. En la tabla 1, se enumeran los parámetros a tener en cuenta hoy en día en el estudio de la mayor o menor idoneidad de un sistema de control solar en cualquier lugar para diferentes condiciones de cielo (cubierto, semi-cubierto y despejado). La aceptación de los usuarios de cada una de las variables se establece a partir de encuestas realizadas durante las mediciones de la luz.

Hay variables cualitativas de la luz que no son inmediatas y su forma de valoración aún menos. Para poder establecer si una variable es más o menos aceptada, en el caso de los primeros parámetros (22 parámetros en la tabla 1), se hizo un análisis del grado de aceptación de los usuarios (c.30 muestras) durante las mediciones.

A través de esta investigación se facilitan 194 variables con distinta dependencia y correlación relativas a la luz, su representación y formas de entender. No se trata de establecer un baremo entre relaciones que dentro de la vida cotidiana rara vez exista; se trata de ampliar las posibilidades dentro de un modo efectivo. El estudio de variables y su grado de aceptación por tipos de espacios ha sido contrastado con una muestra de 60 personas, con un glosario de términos, a partir de 1000 imágenes tomadas como referencia para poder transmitir gráficamente cada una de las variables y se ha comparado el grado de desviación de la tabla de aceptación teórica de las variables con el estudio de una muestra representativa (Capítulo 6).

Inicialmente, las variables se establecen para todo tipo de luz que aparezca en las referencias. Posteriormente, se establece la dependencia entre las variables relativas únicamente a la luz de alta intensidad y corta duración y a todas aquéllas que estén relacionadas directamente con las manchas solares.

Por último, se consolidan las variables y se estudia a través de una tabla de comprobación en qué medida estas variables en la práctica influyen en la aceptación de los usuarios de un espacio determinado (Capítulo 6).

1. Referencias técnicas y artísticas

Son numerosos los estudios que han demostrado que las referencias visuales conducen a diseños más creativos que el uso de textos u otros medios de representación (Goldschmidt 2011). En el campo del diseño, las imágenes más frecuentemente utilizadas son las referencias. En el dominio de la arquitectura, las referencias tienen que ver con aquellas obras que por algún motivo son significativas. Por ello, son uno de los medios más eficaces para la transmisión de conocimiento¹⁹.

En cuanto al estudio de situaciones lumínicas, las principales fuentes de arquitectura son libros especializados como los de Tregenza o Bartenbach con una visión más técnica de la luz, o libros más centrados en la arquitectura o en el arte como *“Lichteinfall”*, *“Luz cenital, luz celestial”* y *“Das Licht in seinen künstlerischen Manifestationen”*. Por otro lado, están las revistas especializadas en arquitectura, pero también las que mencionan en algún modo la luz en la arquitectura. Y por último, la base de datos más amplia en imágenes y comentarios: las plataformas web, los blogs y las publicaciones en páginas web. *Pinterest* es una de las fuentes de mayor número de imágenes, en las que también se relaciona con una serie de conceptos que eliges como favoritos o temas de especial interés.

Lawson y Loke (1997) aseguraron que cuantas más ideas son exploradas, más aumentan las posibilidades de desarrollo de soluciones creativas. Así mismo, Casakin y Kreiter (2006) demostraron que los diseñadores expertos tienden a involucrarse en la exploración de un gran número de ideas que pueden conducir a soluciones creativas. Aún no existe una teoría global de la creatividad en el campo de la arquitectura, ni si quiera está claro que ésta sea necesaria, sin embargo si es posible identificar ciertas características que son comunes al diseño creativo como: el resultado de un acto creativo es novedoso e inusual, o la creatividad suele manifestarse tanto a través del producto final como del proceso que conduce a éste (Akin, 2006).

Desde el *Taller de Arquitectura* de Ricardo Bofill, *Circo* de Tuñón y Mansilla, hasta las últimas palabras de Andrés Jaque, los diseños publicados por *PrototipoLab*, los trabajos de *Conexiones Improbables*, el *crow sourcing...* parece que la idea de seguir creando, inventando sigue siendo cosa de los arquitectos aunque las formas de creación, antes juntos en un taller, ahora entre una amplia masa [ROG]²⁰ a través de la redes hayan variado de forma vertiginosa:

¹⁹ Tadao Ando es verdaderamente original; aprende con la vista y los sentidos. Cuando se le preguntó en una encuesta en el 2001 en Milán, Italia, si lee revistas de diseño arquitectónico, Ando respondió, “Yo no las leo, solo miro las fotos.” Fuente: distrito 47.

²⁰ El papel de la tecnología [...] resulta fundamental. La microelectrónica está provocando un cambio sustancial en nuestra capacidad para conectar a la gente, en su conocimiento y poder mental. Nos

'Entonces tengo una revelación, la idea genial, que paso a exponer entusiasmado a los ponentes. Se trata de que en los vagones normales de los trenes esté prohibido todo lo que se considere antisocial: fumar, poner música, tocar la armónica, cantar, llevar perros, y hacer uso de la telefonía móvil (lo más antisocial, según mi criterio, por lo que propongo que esos vagones se construyan como auténticas cajas Faraday, absolutamente impenetrables a cualquier onda electromagnética). Pero el convoy, además de esos vagones, irá provisto de uno muy especial; un vagón para tolerantes. En ese carruaje [...] se podrá hacer lo que se quiera [...] Dejándome arrastrar por mi entusiasmo, me lanzo a hacer propuestas de diseño para el vagón en cuestión. Su exterior debería ser claramente reconocible, pintado en un color muy vivo, cubierto de grafitis multicolores relativos a su función. Los mozalbetes que habitualmente realizan pintadas por las tapias de la ciudad estarían encantados de expresarse sobre esos vehículos por una retribución razonable. El interior debería ser sencillo; cómodo pero muy resistente y de fácil mantenimiento. Naturalmente, deberá preverse un número generoso de ceniceros y contenedores de desperdicios (papeles, latas, otros envases, pieles de plátano, mondas de naranja...). Los pasajeros disfrutarán de aire acondicionado, pero se permitirá recuperar las sensaciones que disfrutábamos en las antiguas plataformas. [...] Al llegar a este clímax en mi divagación imaginativa, me tomo un respiro y echo una mirada al resto de la mesa. Por la expresión de los demás ponentes deduzco que por mucho storming que se nos haga solicitado, me estoy yendo por los cerros de Úbeda, cerros llenos de sugerencias, pero no las que se esperaban de esa reunión. Me temo que los Ferrocarrils de Catalunya continuarán circulando sin mi vagón tolerante... ¡Qué pena!' [TUS]21

2. Fuentes de referencias y su impacto

La bibliografía consultada se encuentra en las bases de datos de las siguientes instituciones:

- Universidad de Barcelona (UB)
- Technische Universität Dortmund (TU-D)
- Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)
- Universidad de la Laguna (ULL)
- Biblioteca Pública del Estado en Santa Cruz de Tenerife

Las diferentes universidades poseen archivos abiertos únicamente a sus estudiantes; tesis doctorales, artículos científicos, libros que aún no han sido añadidos a bases de datos telemáticas, y que hay que trasladarse y consultar en sus instalaciones. En el caso de Dortmund, *eldorado* es el nombre de su servidor (<https://eldorado.tu-dortmund.de>). Estudiar qué se ha hecho hasta ahora sobre algún tema y buscar documentación especializada es todavía una labor engorrosa. Hay que destacar el valor que tienen los gestores bibliográficos en entorno web. Metabuscadores abiertos, directorios, portales temáticos como el de la Universidad de la Laguna con el número de publicaciones especializadas publicadas por año y

encontramos en un período de revolución social comparable al provocado por parte de Caxton o por el invento del telégrafo. Así, el potencial de cada cerebro se va a expandir enormemente a partir de la construcción de redes de pensamiento', Richard Rogers + Philip Gumuchdjian, *Ciudades para un pequeño planeta*, ob. Cit., pag. 148

²¹ Óscar Tusquets, 'Todo es comparable', ob. Cit., pag.169

las conferencias, charlas y la cantidad de información nueva que aporta poder asistir a encuentros científicos especializado. Valoración positiva porque se ha avanzado mucho para que la universidad sea cada vez más accesible para todos. Como otro aspecto positivo destacar la facilidad con la que se puede consultar directamente a los autores de esos libros y artículos científicos, que dan todas las facilidades (contacto personal) para debatir con otros investigadores.



Imagen 8 Plano de una planta de una de las bibliotecas de la TU- Dortmund

En cuanto a la presencia de revistas y artículos científicos presentes en bases de datos internacionales, los resultados muestran muy bajos niveles de visibilidad por parte de España, además de mostrar una ausencia de calidad en la presentación de las publicaciones. Según el estudio de Ángela Sorli Rojo [125]²², en el que se consultan 17 bases de datos y listados de revistas, los niveles de calidad de las revistas españolas dedicadas arquitectura, ciencias de la construcción y urbanismo, son muy bajos, cuando se consideran en base a su visibilidad o internacionalidad. Según el estudio de A.Sorli:

“La autoría de los trabajos de revistas de arquitectura —no ocurre así en las de ciencias de la construcción y urbanismo—, es anónima en muchos casos. Esta falta de información sobre los autores hace que los trabajos de estas revistas estén más próximos a los reportajes periodísticos que a los artículos científicos. En los autores declarados también se echa en falta la afiliación de todos los autores en seis revistas, todas ellas del grupo de arquitectura: *A+T: revista trimestral de arquitectura y tecnología*, *Arquitectura viva*, *EGA: revista de expresión gráfica arquitectónica*, *El Croquis: revista internacional de arquitectura*, *On diseño*, *Quaderns d'arquitectura i urbanisme*. De las

²² Sorli Rojo, Ángela; Mochón Bezares, Gonzalo (2013). «Revistes espanyoles d'arquitectura, ciències de la construcció i urbanisme : visibilitat y internacionalització». BID: textos universitaris de biblioteconomia i documentació, juny, núm. 30. <<http://bid.ub.edu/30/sorli.htm>> [Consulta: 09-07-2013].

restantes publicaciones de este grupo RA: revista de arquitectura y tectónica es la que más interesa fuera del ámbito nacional, mientras que el resto apenas recogen autores extranjeros. Todo lo contrario sucede con las revistas de ciencias de la construcción, cuyos artículos con autores y afiliación reconocidos supera el 90% del total de trabajos de cada una. Si se consideran las revistas por materias, la media de los porcentajes de artículos firmados por autores extranjeros en revistas de ciencias de la construcción (15,79 %) es superior a la obtenida en el caso de las publicaciones de arquitectura (9,63 %).

También hay ausencia de información sobre los comités que integran los equipos científicos de las revistas. Se han recogido 324 nombres, de los cuales 100 no tienen afiliación conocida, resultando al final una cifra muy baja de miembros extranjeros: 51. Este dato, unido a que la cantidad de revistas con personal foráneo en sus comités es cinco, revela en conjunto un nivel de internacionalidad muy bajo en comparación con otros estudios de internacionalidad de revistas españolas (Malalana Ureña; Román-Román; Rubio Liniers, 2007; Giménez Toledo; Rodríguez-García; Moneda Corrochano, 2009; Román-Román; Giménez-Toledo, 2010). En estos estudios se recogen muchas revistas con altos porcentajes (superiores al 75 %) de miembros no españoles en sus comités científicos, mientras que en las revistas consideradas en su estudio el máximo nivel es el alcanzado por *Materiales de construcción* (38,24 %)."

Otra gran base de datos y consulta es internet, pudiendo hacer búsquedas directas por imágenes, lo cual facilita mucho el desarrollo de esta investigación.

Los mapas visuales sobre la luz en la arquitectura, funcionan como un pequeño gestor de referencias estéticas, críticas y técnicas. Cualquier persona puede ir ampliando los datos de este gestor para poder seguir ampliando sus conocimientos, comparando y añadiendo datos, a modo de análisis lógico. En el mapa interactivo 2 por ejemplo, no sólo podemos obtener datos sobre la referencia, sino que se refleja en un gráfico, en qué puntos estas referencias coinciden o se cruzan con otras que en principio parecían totalmente ajenas:

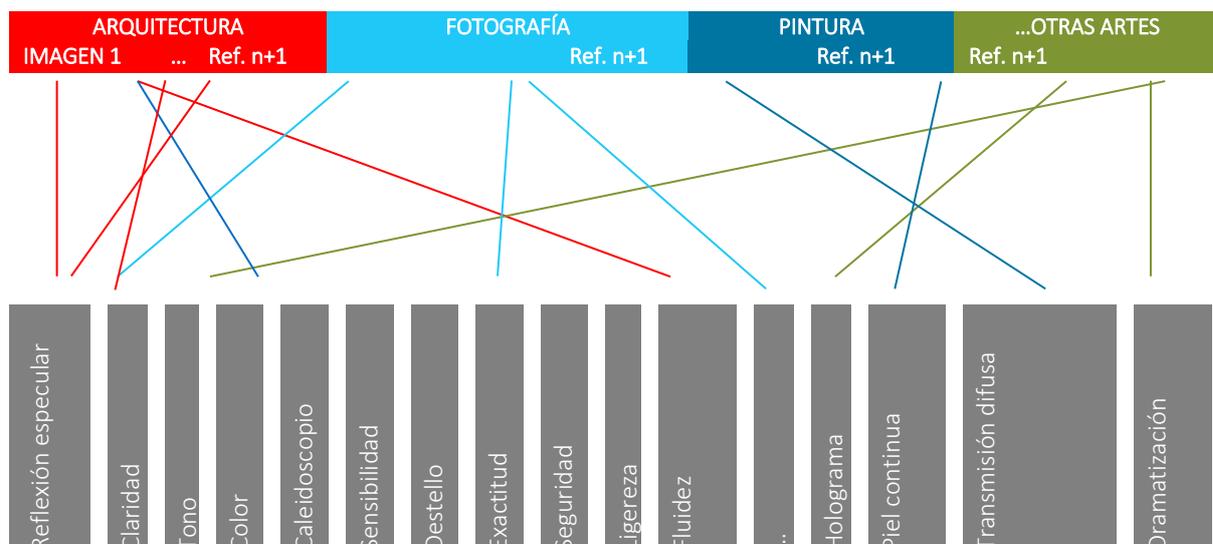


Figura 26 Esquema de relaciones entre conceptos y situaciones lumínicas para elaborar el mapa visual interactivo 2

Variables cualitativas nominales relativas a la luz

Para que el diagrama, que se obtiene a partir de entrelazar referencias a conceptos, sea más sencillo de leer, se ha representado en forma circular, de esta manera destacan las relaciones entre situaciones lumínicas y conceptos, frente a las imágenes:

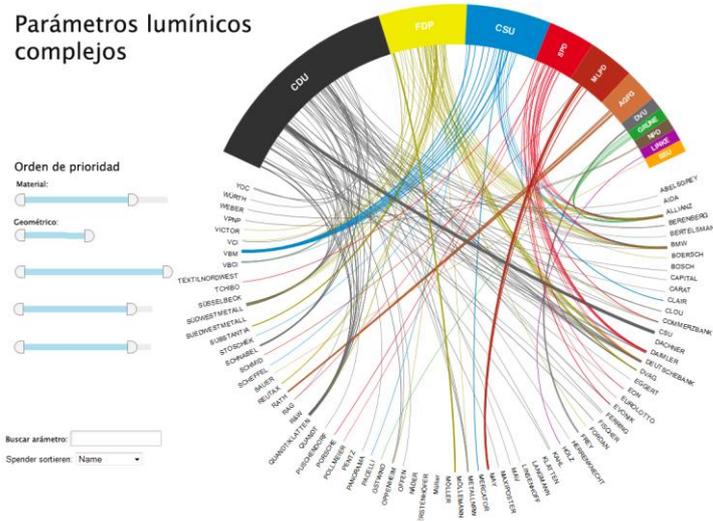


Figura 27 Mapa visual interactivo 2. Estudio gráfico de variables lumínicas obtenidas a partir de las referencias

3. Definición de variables cualitativas

Una serie de variables no cuantificables surgen al hacer la lectura de diferentes situaciones lumínicas. Un total de 194 variables agrupadas en seis bloques en los que se archiva cada imagen relacionada con la arquitectura a partir de la variable principal por la que es publicada (concepto primario) y luego se repite su lectura para descubrir si coincide en más con las demás referencias, como por ejemplo:



Descripción de la cita: Arquitectura del silencio. El cuerpo de la obra de Tadao es conocido por el uso creativo de la luz natural y de las estructuras que siguen las formas naturales del paisaje; caminos de circulación tridimensionales complejos que se entrecruzan entre los espacios interiores y exteriores dando paso a formas geométricas de gran escala. Fuente: Tadao Ando, el concepto arquitectónico de la simplicidad, Leslie Torres, 2013.

Nombre:	Naoshima Contemporary Art Museum
Fecha:	1995
Fecha de publicación:	2013
Autor:	Tadao Ando
Fichero:	ARQ_Naoshima_1_a.jpg
Variable primaria:	1
Variables asociadas:	13,28,31,39,57,64,65,85,107,109,111,115,119,126,130,144,145,151

Tabla 13 Esquema representativo sobre la asignación de variables por referencia y registro de datos de cada referencia de arquitectura (grupo A)

Las referencias obtenidas de arquitectura están formadas por dos grupos: A y B. Dentro del grupo A están las referencias a partir de las que se han extraído la mayoría de variables, son referencias muy repetidas, con una cierta base de datos (motivos, autor, fecha, variable, comentarios, ubicación). El grupo B son referencias arquitectónicas en las que su grado de realidad o ficción es insignificante. Se utilizan tras haber definido todas las variables y simplemente deben mostrar con la mayor exactitud posible las variables asignadas. La mayoría de las imágenes procedentes del grupo B pertenecen a *pinterest*.

Matriz de variables									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
140	141	142	143	144	145	146	147	148	149
150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
170	171	172	173	174	175	176	177	178	179
180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194					

Tabla 14 Matriz de números asignados a cada variable definida en el glosario y representación de variables que aparecen en las referencias relativas a espacios de arquitectura

En la tabla 14 aparecen en blanco las variables que no han sido relacionadas con ninguna de las referencias de arquitectura dentro del grupo A.

De esta manera se va construyendo el gestor de referencias lumínicas y los mapas visuales interactivos. A medida que surge una nueva variable se hace una relectura de las referencias escogidas hasta ahora en lo referente a la luz en la arquitectura. De esta manera se logra una base de datos importante sobre las variables no cuantitativas y obras que se han ido considerando como relevantes hasta ahora. Un total de más de 1000 referencias son analizadas según las 194 variables nominales definidas (anexo 1 Glosario de términos). Los términos lumínicos obtenidos de las diferentes referencias se agrupan de la siguiente manera:

Grupo	1	2	3	4	5	6	TOTAL
	Materia	Geometría	Espacio	Técnica	Tiempo	Percepción	
Nº de variables	12	26	41	22	19	74	194

Tabla 15 Número de variables cualitativas nominales dentro de cada grupo de división

Las variables presentan modalidades no numéricas que no admiten criterio de orden -variables cualitativas nominales-. Se les asigna un número para simplificar la correlación de variables y ambientes lumínicos. Para poder entender el método comparativo a partir de mapas visuales interactivos es preciso aclarar dos puntos:

- Primero, las referencias elegidas son de diferentes fuentes: arquitectura, fotografía, pintura, literatura, instalaciones, cine, publicidad, escultura, etc. Sin embargo, se ha optado por no diferenciar cada una de las disciplinas. Todas ellas son el reflejo de nuestra forma de percibir y entender la luz. La disciplina elegida para representar lo que vemos es un tema secundario en esta investigación. Mayor importancia tiene lograr un número alto de posibilidades de correlación. Se trata de destacar los aspectos comunes y no clasificar por diferencias que nada tienen que ver con la luz.
- Segundo, las variables están formadas por atributos, características y efectos de la luz (grupo 1), cualidades lumínicas (grupo 6), fenómenos espaciales (grupo 3) y temporales (grupo 5), desarrollo de tecnología (grupo 4) y descripciones geométricas (grupo 2). No se hace una diferenciación de ninguno de ellos. Se separan por grupos y en el mapa visual 1 se representa cada variable en su cuadrante correspondiente, pero aparecen de forma no jerarquizada. Cualquier clasificación o calificación más detallada podría no interconectar conceptos que quizás nos aportarían en su contacto muchos datos desconocidos. Se opta en este estudio por allanar diferencias en lugar de plantear aún más límites. E. Allan Poe [POE]²³ describe de una forma magistral el método por aproximación que se utiliza para evitar una investigación dividida en pares antagónicos.

Para establecer una relación entre las variables lumínicas y el grado de aceptación según cada actividad diferenciada (CTE Grupo 2 desarrollado en el *Capítulo 6 apartado 6 Aceptación de la luz solar* de este documento) se ha dividido cada grupo en lo siguiente:

Grupo	Subgrupo
1 Materia	Reflexión Transmisión Absorción
2 Geometría	Forma Composición
3 Espacio	Luz directa Luz indirecta Complejidad
4 Técnica	Control Eficiencia energética Salud Exigencias especiales
5 Tiempo	Continuo Discontinuo
6 Percepción	Captación de un estímulo

²³ POE, Edgar Allan: Eureka o el ensayo sobre el Universo, edit. Losada S.A., Buenos Aires 2004, ISBN 950-03-0574-7.

Valoración / interpretación Comparación (expectativas culturales)

Tabla 16 División en grupos y subgrupos de los conceptos lumínicos

Ciertas variables podrían pertenecer a varios subgrupos, se ha elegido el más acorde, no se han duplicado, excepto con respecto al grupo 7. Los 6 grupos y subgrupos se han elegido siguiendo la estratificación del ser planteada por Hartman [712]²⁴, dividido en 4 estratos desde lo físico, orgánico, psicológico y espiritual. Posteriormente, se añaden las variables relativas a la técnica y el tiempo. Por último, y sólo para los análisis, se añade el grupo 7 de variables cualitativas. El grupo 7 incluye las variables tenidas en cuenta en el capítulo 2, espacios de oficina, en los que se hicieron mediciones y se estableció el grado de aceptación de los usuarios a partir de cuestionarios.

Hay variables que son conceptos simples como adjetivos calificativos, otros que engloban una serie de cualidades más complejas de la luz, como por ejemplo “luz del norte”, en los que se incluye la temperatura de color, intensidad, distribución, la variación natural, la eficacia luminosa, etc. No se divide cada variable en tablas de contingencia, dividiendo cada concepto en cada una de las variables que contiene, estableciendo el grado de interdependencia de las variables ya que esto complica excesivamente el estudio. En el anexo 1, glosario de términos se define cada variable con ejemplos en imágenes, además de tener el mapa visual creado a partir de 1000 referencias que da una que representa determinadas variables.

A continuación se detallan las variables contenidas en cada grupo:

El primer grupo engloba 12 variables relacionados con la luz y la materia. Su interacción provoca tres efectos de grado variable según la composición y la estructura interna de cada material. Es el nivel más básico y por lo tanto, en casi todas las situaciones lumínicas ocurre al menos una de las variables clasificadas.

Grupo 1 Luz- Materia

Nº	Concepto	Nº	Concepto	Nº	Concepto
1	Reflexión especular (espejo)	5	Reflexión esparcida (todas las direcciones e intensidades)	9	Absorción opacidad/transparencia
2	Reflexión difusa (superficie irregular)	6	Transmisión directa	10	Absorción (color de un objeto)
3	Reflexión extendida (dirección predominante)	7	Transmisión difusa	11	Interferencia
4	Reflexión mixta	8	Transmisión selectiva (color/ polarización)	12	Refracción

Tabla 17 Relación de conceptos y número asignado dentro del grupo 1, luz y materia

Cuando la luz se comporta como partícula y entra en contacto con cualquier objeto o superficie, y ocurre, a veces de manera simultánea las diferentes opciones. De las 228 referencias

²⁴ Nicolai Hartman, *Alte und neue Ontologie*(1949).

seleccionadas sobre la luz y la arquitectura sólo en dos ocasiones se menciona directamente alguna de estos términos (primarios), sin embargo en la mayoría de las referencias se encuentra alguno o varios de los efectos seleccionados (asociados).

En el grupo 1 tienen especial importancia la reflexión especular (espejos) y los brillos.

El grupo 2 formado por dos subgrupos está compuesto por 26 conceptos lumínicos. Para la luz solar tienen especial importancia el ritmo, la continuidad interior exterior, la repetición y la luz inversa:

Grupo 2 Luz- Geometría

Nº	Concepto	Nº	Concepto	Nº	Concepto
13	Figuras simples (hueco ventana, vistas exterior)	20	Transparencia fenomenológica	27	Ritmo
14	Figuras complejas (Kandinsky)	21	Simetría	28	Continuidad exterior-interior
15	Fondo simple	22	Dispersión (Magritte, The Lost Jockey, 1948)	29	Proporción
16	Fondo complejo	23	Integración (fondo-figura :Picasso -las señoritas de Avignón)	30	Equilibrio (igual a la forma que lo contrarresta)
17	Fondo complejo-figura simple (papel pared, mesa único color)	24	Yuxtaposición	31	Armonía
18	Transiciones (Escher)	25	Superposición	32	Jerarquía (espacios de transición)
19	Transparencia/ visibilidad	26	Distribución homogénea (sin cambios entre espacios)	156	Luz caleidoscópica
131	Luz tamizada (Fumihiko, Palacio de Congresos)	133	Repetición (ventanas iguales, luz repetida)	184	Luz radiante
171	Pixelado	173	Línea de color		

Tabla 18 Relación de conceptos y número asignado dentro del grupo 2, luz y geometría

El grupo 3 está formado por tres subgrupos y 41 conceptos. Hay ciertas variables (136, 157) en las que aparece reflejada la referencia elegida por ser la más representativa de ese concepto o porque precisamente surge a partir del estudio de esa obra. En ciertas ocasiones los conceptos cambian de significado de una generación a otra, de una sociedad a otra, lo mismo ocurre con la aparición de un concepto asociado a una obra, una nueva mirada o nueva interpretación que hasta el momento de la publicación no se había hecho. En las referencias arquitectónicas se presta especial atención al tiempo que transcurre desde que la obra fue construida o la idea planteada y su publicación. Hay ejemplos de arquitectura que siguen siendo publicados, incluso después de haber sido derribados. Otras obras que van siendo repetidas y que sin embargo nuestra percepción de ellas cambia con el tiempo. En la mayoría de los casos, el tiempo que transcurre desde que eran construidas y publicadas hace 50 años, era mucho mayor que hoy en día. Muchas publicaciones son incluso de las ideas previas hasta cada una de las materializaciones. Por supuesto, la publicación en muchos casos tiene un carácter muy

marcado de difusión y propaganda de la arquitectura publicada, más que de documento técnico difundido entre un público especializado limitado a un campo específico – el espacio y la luz-.

Grupo 3 Luz- Espacio

Nº	Concepto	Nº	Concepto	Nº	Concepto
33	Acento de luz	47	Sombra diferencial (menos luz)	46	Sombra fragmentada
34	Brillo puntual	48	Luz homogénea (incl. si varía pero es la misma variación)	141	Luz horizontal
35	Línea de luz	49	Luz difusa/ sedosa	145	Luz cenital
36	Luz direccional (haz de luz)	50	Distorsión / imagen codificada	146	Sombra punteada (árboles, sombra orgánica)
37	Mancha de luz/ superficie clara	51	Bruma/neblina	149	Luz horizontal
38	Espacio iluminado	52	Fusión (objetos espacio)	150	Sombra proyectada (manos sobre pared alargadas)
39	Dramatización/ alto contraste	53	Insinuación/ fantástico	152	Rayado de luz
40	Patrón de luz	134	Continuidad visual (piel continua)	154	Luz inversa (reflejada desde el suelo, como la nieve)
41	Fragmentación de la luz	136	Fluidez (Thermas Vals Zumthor)	155	Luz cursiva (Frederic Schröller, El Croquis44)
				157	Raumlicht (=Raumplan, Adolf Loos)
42	Modulación de la luz (Barragán, ventanas)	137	Límite de luz	159	Luz diagonal
43	Sombra puntual	138	Luz uniforme (sin variación)	164	Contraluz
44	Sombra lineal	139	Difracción (desdoble onda)	165	Trasluz
45	Mancha de sombra	140	Punteado de luz	170	Luz vertical
				183	Luz lateral

Tabla 19 Relación de conceptos y número asignado dentro del grupo 3, luz y espacio

En el capítulo 7 se presentan los resultados de los cuestionarios formulados entre una pequeña muestra para comparar si especialistas en arquitectura y diseño de la luz, asociarían los mismos conceptos con las mismas situaciones lumínicas que los encontrados en la bibliografía consultada, especializada y no especializada.

El grupo 4 está formado por 22 variables relativas a la luz y la técnica:

Grupo 4 Luz- Técnica

Nº	Concepto	Nº	Concepto	Nº	Concepto
54	Encendido rápido	61	Reproducción de color	68	Eficacia luminosa
55	Combinación luz natural/luz artificial	62	Coeficiente de utilización	69	Eficiencia energética EEI
56	Factor solar/ factor de sombra	63	Pronunciar la forma	70	Luz secundaria (espacios de transición)
57	Asoleamiento	64	Protección frente a deslumbramiento UGR	71	Ritmo circadiano
58	Anagrama	65	Protección frente al calor	72	Aplicaciones medicinales
59	Holograma	66	Seguridad (corriente)	73	Control de plagas (invernaderos)

60	Dispersión refractiva (prisma colores)	67	Adaptación/ control de regulación/ flexibilidad	74	Conservación de las obras de arte
				132	Imagen proyectada

Tabla 20 Relación de conceptos y número asignado dentro del grupo 4, luz y técnica

Como es lógico, los términos asociados a la técnica de la luz se encuentran la mayoría en la bibliografía especializada, aunque hay una tendencia creciente en folletos y documentos orientados al público general y catálogos comerciales en relación a la eficiencia energética en los que se hace mención de ellos.

El grupo 5 contiene 19 términos asociados a la luz y el tiempo:

Grupo 5 Luz- Tiempo

Nº	Concepto	Nº	Concepto	Nº	Concepto
75	Destello/ Luz intensa/ Fulgor (instantáneo) MARCA	80	Representación dinámica (teatro)	85	Eternidad (cementerio igualada)
76	Destello/ Luz intensa/ Fulgor (instantáneo) OCULTA	81	Retardado	143	Luz vespertina
77	Efecto estroboscópico	82	Degradación	144	Variación natural de la luz
78	Tintineo/ parpadeo	83	Juego de luces	148	Luz nocturna (Zaha, Brassai)
79	Luz en movimiento (vela, lámpara de aceite, LEDs)	84	Luz/sombra	167	Luz matinal
186	Luz estacional	191	Luz crepuscular	192	Luz eléctrica (previa tormenta, luz fría)
194	Luz del mediodía				

Tabla 21 Relación de conceptos y número asignado dentro del grupo 5, luz y tiempo

El hecho de que una variable se encuentre en un grupo no es significativo, es simplemente una forma de ordenarlas. Tal y como ya mencioné, entro de cada grupo hay una sub-clasificación, por ejemplo en el grupo 4 las variables asociadas a la luz técnica que tienen que ver entre otros con la eficiencia energética, o en el grupo de mayor cantidad de términos, el grupo 6, las variables están divididos en los siguientes subgrupos:

- Captación de un estímulo
- Valoración/ interpretación
- Comparación (expectativas culturales)

De esta manera podemos simplificar, el término *claridad* está repetido, pero al encontrarse en diferentes grupos, tiene diferentes significados. En el glosario de términos se encuentra diferenciados, pero en el mismo lugar.

El grupo 6 se compone de 74 variables relativas a la luz y su percepción:

Grupo 6 Luz- Percepción

Nº	Concepto	Nº	Concepto	Nº	Concepto
----	----------	----	----------	----	----------

86	Claridad (captación de un estímulo)	104	Constante de color	122	Confort visual
87	Color	105	Constante de forma	123	Confort en el movimiento
88	Tonalidad/ matiz	106	Uso/ actividad	124	Temperatura de confort
89	Luz de color	107	Coherencia luz- espacio	125	Activación de las emociones
90	Aberración cromática	108	Distracción	126	Orientación (tiempo real, hora)
91	Fragmentación de los colores	109	Amplitud espacial	127	Luz simbólica
92	Distribución de los colores	110	intimidad	128	Luz representación
93	Distribución de intensidades	111	Sencillez espacial/ inteligibilidad	129	Innovación
94	Acomodación	112	Similitud	130	Ingravidez (Koolhaas, biblioteca Seattle)
95	Adaptación a la claridad	113	Deslumbramiento directo/ por reflexión	135	Luz esculpida
96	Adaptación a la oscuridad	114	Sentido/ información	142	Ensoñacion (Jordi Bernadó)
97	Sensibilidad espectral	115	Orientación (situación)	147	Luz densa, pesada, corpórea (iglesias)
98	Sensibilidad al contraste	116	Movimiento	151	Solemnidad
99	Nitidez	117	Exigencias comunes (demandas sociales)	153	Luz que da vida a los materiales (Pabellón de mies, escultura caballo Barragán)
100	Exactitud	118	Ligereza	155	Luz cursiva (Frederic Schroller, el croquis 44)
101	Profundidad	119	Comodidad estética	158	Luz orgánica
102	Seguridad (caídas, accidentes)	120	Claridad (expectativas culturales)	160	Luz dura, fuerte, penetrante (Keichii)
103	Constante de tamaño	121	Alta claridad/ pulcritud	161	Luz singular
162	Luz dosificada	163	Luz narrativa	166	Sombra caligrafiada
168	Luz modeladora	169	Borrón de luz	172	Acento de color
174	Sombra viva/ personal	175	Luz borrosa	176	Sombra marco (línea negra de la luz)
177	Efecto plástico (Olaf/Grief)	178	Collage de luces y sombras	179	Punteado de color
180	Realidad artificial/dibujada	181	Difuminado/ luz aterciopelada	182	Marco de luz (borde blanco de la sombra)
185	Luz del norte	187	Sombra azul	188	Luz intangible
189	Luz compositiva	190	Luz tenue	193	Luz cálida

Tabla 22 Relación de conceptos y número asignado dentro del grupo 6, luz y percepción

Los parámetros definidos en el capítulo 2, tabla 1, se incluyen en un único grupo, el grupo 7. Este grupo se incluye en el estudio de la aceptación de los usuarios para establecer un grado de validez de las respuestas asociadas a los demás grupos (1-6). A continuación se resumen las variables y la asignación de su número:

Grupo 7 Listado parámetros contrastados 2004

Nº	Concepto	Nº	Concepto	Nº	Concepto
X1	Gradiente	X2	Nivel de iluminación	X3	Nº de veces en los que se supera los límites de luxes establecidos
X4	Factor de utilidad	X5	Demanda energética	X6	Superación de los valores máximos
X7	Superación de contrastes	X8	Claridad	X9	Variación diaria

X10	máximos Ganancias solares durante los periodos de calentamiento	X11	Protección del calor en verano	X12	Composición espectral
X13	Reproducción del color	X14	Temperatura de color	X15	Posibilidad de control
X16	Ergonomía/ velocidad de adaptación	X17	Precepción de la claridad	X18	Valoración de la funcionalidad
X19	Deslumbramientos/ molestias	X20	Costes	X21	Integración en fachada
X22	Desarrollo de ruidos				

Tabla 23 Relación de conceptos y número asignado dentro del grupo 7, listado de parámetros establecidos por Helmut Müller en 2004 para la evaluación de sistemas de control solar (tabla 1)

A continuación se resumen las variables incluidas tanto en el grupo 7 como en los otros (grupo 1-6) o que están estrechamente relacionados con alguno de otro grupo (1-6):

G	Nº	Concepto del grupo 7	G	Nº	Conceptos relacionados (1-6)
7	X1	Gradiente	3	47	Sombra diferencial
			6	93	Distribución de intensidades
			5	82	Degradación
7	X2	Nivel de iluminación	6	121	Alta claridad/pulcritud
7	X4	Factor de utilidad	4	62	Coefficiente de utilización
7	X5	Demanda energética	4	69	Eficiencia Energética EEI
7	X7	Superación de contrastes máximos	3	39	Alto contraste/ dramatización
7	X8	Claridad	6	86	Claridad
7	X17	Percepción de la claridad	6	120	Claridad
7	X9	Variación diaria	5	144	Variación natural de la luz
7	X10	Ganancias solares durante los periodos de calentamiento	4	65	Protección frente al calor
7	X11	Protección del calor en verano			
7	X13	Reproducción del color	4	61	Reproducción del color
7	X15	Posibilidad de control	4	67	Adaptación/ control de regulación/ flexibilidad
7	X19	Deslumbramientos/molestias	6	113	Deslumbramiento directo/ por reflexión
			4	66	Protección frente a deslumbramiento

Tabla 24 Relación de las variables del grupo 1-6 con las del grupo 7

En el desarrollo teórico se relacionan por actividades diferenciadas espacios donde el criterio de diseño, imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes a los criterios de eficiencia energética²⁵, según el nivel de aceptación.

Posteriormente, en el desarrollo experimental se contrastan los grados de aceptación con una muestra de 60 personas, incluidos 6 expertos en la luz y el espacio.

²⁵ Grupo 2 Zonas de representación del Código Técnico de la Edificación (CTE).

4. Niveles de aceptación de las variables

Tras haber definido cada variable y haber establecido una relación numérica primero y luego haberlas relacionado con situaciones lumínicas reales e imaginarias, se ha establecido en una matriz de niveles de aceptación. Esta tabla no establece correlaciones de una falsa mecánica rigurosa, sino un primer acercamiento entre variables y actividades diferenciadas²⁶. Da una idea aproximada de las variables que son más aceptadas y en qué tipo de espacio definido por su uso. La matriz es tan solo un instrumento para entender mejor la realidad ampliando las variables posibles y estableciendo una relación entre lo planteado –consideración de nuevas variables relativas a la luz- y el modo actual de diseño de la luz. A continuación se definen los niveles de aceptación que se han utilizado:

Nivel	1	3	5	7	9
Grado de aceptación	Imprescindible	Deseado	Posible	No deseado	Prohibido

Tabla 25 Grado de aceptación de las variables lumínicas por actividad diferenciada

El grado de aceptación de cada variable se simplificó a partir de los grados establecidos en el capítulo 2 en nueve niveles, ya que en este caso el número de variables aumentaron considerablemente y lo importante en este caso era definir si entraba dentro del rango positivo o negativo y si esta variable debía tenerse en cuenta a la hora de diseñar cualquier edificio. Los grados (1) imprescindible y (7) prohibido siempre coinciden en que es una variable a tener muy en cuenta. Los 9 niveles se simplifican del siguiente modo antes de comenzar las encuestas:

1	2	3	4	5	6	7	9	SD
Imprescindible	Muy necesario	Necesario	Deseado	Posible	Prescindible	No deseado	Prohibido	Sin datos
Imprescindible			Deseado	Posible	No deseado		Prohibido	x

Tabla 26 Grado de aceptación de los usuarios de las variables lumínicas según 9 escalas

5. División por actividad clasificada

Se ha optado por definir una matriz genérica a partir de 10 grupos de actividades, con un total de 29 actividades diferenciadas. Las actividades se relacionan con las 194 variables definidas. Otra matriz podría establecerse a partir de las variables de diseño seleccionadas (10 variables relacionadas con la luz) y establecer para espacios con un uso pormenorizado el grado de aceptación teórico de los usuarios. La correlación entre actividades diferenciadas y grados de aceptación en esta fase de la investigación es puramente teórica.

²⁶ Grupo 2: Zonas de representación o espacios donde el criterio de diseño, imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética. CTE

ACTIVIDADES DIFERENCIADAS		
I	Pública concurrencia	1.1.Estaciones de transporte, taquillas, áreas de conexión, consigna, facturación 1.2. Religioso general 1.3.Museos y salas de exposición
II	Administrativo general	2.1Espacios de dibujo y diseño 3.1 Oficinas
III	Docente	3.2 Guarderías 3.3Colegios, institutos, universidades 3.4 Bibliotecas, centros y talleres de enseñanza
IV	Hospitalario (medicina general y dentistas)	4.1 Salas de operación, quirófanos, salas autopsias 4.2 Salas especiales 4.3 Farmacias
V	Comercial	5.1 Escaparates y zonas expositivas 5.2 Tiendas y pequeños comercio 5.3 Supermercados, hipermercados y grandes almacenes 5.4 Centros comerciales (excluidas tiendas)
VI	Residencial vivienda	6.1 Cocinas 6.2 Baños 6.3 Zonas de estudio, sala de estar
VII	Residencial público	7.1 Zonas comunes 7.2 Hostelería y restauración
VIII	Ocio y espectáculo	8.1 Bares, cafeterías 8.2 Auditorios, salas conciertos 8.3 Salas de conferencias 8.4 Cines 8.5 Teatros
IX	Industrial (máx. 1000m ²)	9.1 Fábrica de conservas , pastelerías, molinos 9.2 Fábricas de fundición, vidrio, madera 9.3 Fabricación y reparación maquinaria
X	Recintos interiores no descritos en la lista asimilables al grupo 2	

Tabla 27 Definición de las actividades diferenciadas en relación a 194 variables divididas en 6 grupos

Resumen de variables lumínicas contenidas en cada grupo. El listado de variables por orden numérico está recogido en los anexos:

GRUPO 1 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12.

GRUPO 2 13, 14, 15 , 16 ,17, 18, 19,20,21, 22, 23, 24, 25, 26, 27,28,29, 30, 31, 32, 131, 133, 156, 171, 173, 184.

GRUPO 3 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 134, 136, 137, 138, 139, 140, 141,145, 146, 149, 150, 152, 154, 155, 157, 159, 164, 165, 170, 183.

GRUPO 4 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 132.

GRUPO 5	75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 143, 144, 148, 167, 186, 191, 192, 194.
GRUPO 6	86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 135, 142, 147, 151, 153, 158, 160, 161, 162, 163, 166, 168, 169, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 185, 187, 188, 189, 190, 193.

A continuación se resume por grupos los resultados de mayor número del nivel de aceptación 3 –deseado- de la matriz desarrollada a partir del cruce de datos entre variables y actividades:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Grupo 1	33	16	33	18	37	37	22	54	29	10
Grupo 2	44	81	228	164	261	328	145	354	102	44
Grupo 3	87	39	62	77	102	120	71	149	57	19
Grupo 4	23	12	15	23	34	34	17	49	21	7
Grupo 5	30	15	24	16	43	40	20	53	6	2
Grupo 6	135	69	97	99	165	153	80	215	75	25

Tabla 28 Número de veces en las que las variables lumínicas resumidas en seis grupos son posibles según el nivel de aceptación 3, deseado, en relación a los grupos de actividades diferenciadas

El grupo de actividades diferenciadas VIII es la que más número de variables lumínicas en el grado 3 –deseado- contiene, siendo el grupo 2 Luz y geometría, para el grupo de actividades dentro del ocio y espectáculo, el número mayor de variables posibles (354). La actividad diferenciada X recintos interiores no descritos en la lista asimilables al grupo 2 es la que menos veces contiene el grado 3 de aceptación. Esta misma actividad es la más restrictiva respecto al grupo 5, luz y tiempo.

El mayor número de variables lumínicas dentro del grado de aceptación positivo (1 y 3) en relación con el primer nivel de división de las actividades diferenciadas, no es tan homogéneo como el del nivel de aceptación neutro (5):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Grupo 1	0	0	0	3	8	6	0	0	0	0
Grupo 2	21	115	243	112	174	212	84	173	132	44
Grupo 3	25	23	47	12	42	18	7	17	9	3
Grupo 4	37	29	47	36	50	49	25	50	42	14
Grupo 5	26	12	23	14	17	20	12	21	18	6
Grupo 6	77	63	101	78	115	114	63	135	96	32

Tabla 29 Número de veces en las que las variables lumínicas resumidas en seis grupos son posibles según el nivel de aceptación 1 y 3 en relación a los grupos de actividades diferenciadas

A continuación se muestra en la tabla el número de las variables lumínicas dentro del grado de aceptación negativo (7 “no deseado” y 9 “prohibido”) en relación con el primer nivel de división de las actividades diferenciadas:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Grupo 1	3	8	3	15	3	5	2	6	7	2
Grupo 2	13	56	75	102	69	84	23	102	144	48
Grupo 3	11	20	14	34	20	26	4	39	57	19
Grupo 4	6	3	4	7	4	5	2	10	3	1
Grupo 5	1	11	10	27	16	16	6	21	33	11
Grupo 6	10	16	24	45	16	29	5	20	51	17

Tabla 30 Número de veces en las que las variables lumínicas resumidas en seis grupos son posibles según el nivel de aceptación 7 y 9 en relación a los grupos de actividades diferenciadas

Las actividades clasificadas se pueden seguir dividiendo y seguir estableciendo el grado de aceptación por espacio y variable relacionada con los efectos de la luz en cada espacio. A continuación se hace una segunda división de los espacios en la actividad I Pública concurrencia, museos y espacios expositivos y de la actividad clasificada VIII, Ocio y Espectáculo, hotel y alojamiento turístico:

Actividad clasificada I Pública concurrencia del Grupo 2 ²⁷	Museos y salas de exposición	Sala de exposiciones general Sala exposición temporal Exposición en paredes Vitrinas Salas de estudio Sala de conferencias Grandes objetos Medios audiovisuales Biblioteca, oficinas Entrada, cafetería, tienda
Actividad clasificada VIII Ocio y Espectáculo	Hotel, alojamiento turístico	Recepción Mostrador Caja Cuarto de equipaje Despacho del gerente Hall Atrio Entrada de equipaje auxiliar Núcleo de escaleras y ascensores Gimnasio Canchas

²⁷ Grupo 2: Zonas de representación o espacios donde el criterio de diseño, imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética. CTE

		Piscinas Terrazas Jardines Sala de fiestas Salón de conferencias Lavandería Comedor Cocina Aparcamiento privado para el personal Aparcamiento para clientes Taxis y bus Aparcamientos públicos Habitaciones sencillas, doble, suite Aseo Vestidor Balcón Cocina
--	--	---

Tabla 31 División por espacios de diferentes actividades clasificadas de la clasificación I y VIII

Estos resultados son teóricos. En el capítulo 7 se establece el grado de desviación de los resultados teóricos con respecto a las encuestas realizadas. La desviación con respecto a las encuestas no alcanza nunca un valor superior a 2, es decir no llega a pasar de un grado de aceptación a otro grado (2 puntos).

6. Definición de perfiles de dependencia de las variables

En este apartado se establece la relación de interdependencia entre grupos, es decir si se influyen mutuamente. De esta manera se conforma la siguiente tabla de correlación o interdependencia entre grupos de variables:

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Grupo 1 Materia	1	0	0	0	1	0/1
Grupo 2 Geometría	1	1	0	0	1	0/1
Grupo 3 Espacio	1	1	1	0	1	0/1
Grupo 4 Técnica	1	1	1	1	1	1
Grupo 5 Tiempo	1	0	1	0	1	0/1
Grupo 6 Percepción	1	1	1	0	1	1

Tabla 32 Perfiles de dependencia de los grupos. Dependiente= 1; independiente =0.

El grupo 1 depende del grupo 5 de variables relativas a la luz y el tiempo. Si no existiera el instante en el que la luz incide en la materia, no existiría ninguna de las dos (materia y luz). El grupo 6 es totalmente dependiente; si no existiera ni el espacio ni el tiempo, no podríamos percibir la realidad; si no fuéramos capaces de percibir la realidad no podríamos desarrollar ninguna técnica asociada a la luz.

Grupo 1 Materia (12 variables)	↔ Grupo 5	
Grupo 2 Geometría (26 variables)	↔ Grupo 1	↔ Grupo 5
Grupo 3 Espacio (41 variables)	↔ Grupo 2	↔ Grupo 5
Grupo 4 Técnica (22 variables)	↔ Grupo 6	
Grupo 5 Tiempo (19 variables)	↔ Grupo 3	↔ Grupo 6
Grupo 6 Percepción (74 variables)	↔ Grupo 5	↔ Grupo 3

A partir de los cuestionarios se establecen los siguientes perfiles de dependencia entre variables. Las variables elegidas para los cuestionarios se agrupan en 8 bloques de 6 variables más dos del grupo 7, es decir ocho en total por bloque, 32 variables por persona, sobre 4 actividades clasificadas:

Bloques	1	2	3	4	5	6	7	8
Grupo 1	1	6	9	11	12	-	-	-
Grupo 2	13	19	22	26	28	29	30	31
Grupo 3	33	34	36	37	34	39	40	49
						157	42	
Grupo 4	54	55	56	57	58	66	67	71
Grupo 5	75	77	79	80	82	83	144	85
Grupo 6	86	87	88	89	90	109	108	125
								163
Grupo 7	X1	X6	X12	X19	X5	X8	X13	X9
	X2	X10	X15	X2	X7	X11	X16	X22

Tabla 33 Grupos de variables incluidas en las encuestas por rondas de preguntas y grupos de variables

Correlación entre variables del mismo bloque

La correlación puede ser de la siguiente manera:

- La “Distribución homogénea de la luz (26)” es deseada, en el mismo bloque, las “Manchas solares (37)” debería ser una variable no deseada. Es decir, la variable (37) y la (26) formarían un par antagónico.
- En cambio, la “Raumlicht (157)” y la “Proporción (29)” están relacionadas en positivo, es decir cuando una es positiva la otra debería estar también en el grado de aceptación positivo. El grado de aceptación según los resultados de las encuestas de las variables no es el mismo.

A continuación se establece la correlación entre variables de cada uno de los bloques a partir de los resultados obtenidos en los cuestionarios. Las variables independientes no aparecen en la tabla:

Bloque	Nº	Concepto	↔	Nº	Concepto
4	26	Distribución homogénea		37	Mancha de luz/ superficie clara
6	157	Raumlicht		29	Proporción
	39	Alto contraste		X8	Claridad
7	40	Modulación de luz		67	Adaptación/ control de regulación/ flexibilidad

Tabla 34 Correlación entre variables del mismo bloque de preguntas establecida a partir de los resultados obtenidos en las encuestas

Covariación entre variables del mismo bloque

A continuación se establece la covariación o dependencia indirecta entre variables de cada uno de los bloques a partir de los resultados obtenidos en los cuestionarios. Las variables independientes no aparecen en la tabla:

Bloque	Nº	Concepto	↔	Nº	Concepto
3	88	Tonalidad/matiz		X12	Composición espectral
4	26	Distribución homogénea		X2	Nivel de luz
7	40	Modulación de luz		X16	Ergonomía/ velocidad de adaptación
8	31	Armonía		85	Eternidad
	163	Luz narrativa		X9	Variación diaria
	85	Eternidad		49	Luz difusa/sedosa

Tabla 35 Dependencia indirecta entre variables del mismo bloque de preguntas establecida a partir de los resultados obtenidos en las encuestas

La modulación de la luz dentro del mismo bloque a decidir si es una variable deseada o no deseada, tiene cierta relación con la adaptación y la posibilidad de control de la luz. Varían en el mismo modo, es decir que si una varía en grado de aceptación, en los cuestionarios obtenemos la otra también varía. Se diferencia de la correlación porque dos variables relacionadas no tienen por qué variar en la misma forma.

Consistencia de las variables

Para conocer la veracidad de las respuestas, se diseñan las preguntas de manera que se comprueba la consistencia de éstas, preguntando varias veces lo mismo e intercalando preguntas sobre aspectos generales que nada tienen que ver con la iluminación. La correlación y covariación de las respuestas nos indica la veracidad de las repuestas o el grado en el que la variable ha sido entendida en relación con su definición. Antes de preguntar acerca de cada variable se lee la definición del glosario. Las encuestas se hacen presenciales para poder asegurar que la variable ha sido entendida. Para poder entender las variables se utiliza el mapa de referencia 1, en el que se han asociado 1000 referencias o situaciones lumínicas en las que aparece de una forma gráfica representativa el concepto que se quiere transmitir.

Capítulo 4. Mapas visuales interactivos

BLOQUE 1	CAPÍTULO 3 NUEVA CARACTERIZACIÓN DE LA LUZ CAPÍTULO 4 MAPAS VISUALES INTERACTIVOS	Introducción Pensamiento visual Valor añadido de las imágenes Mapas interactivos de imágenes Lo irracional en la investigación Método de análisis comparativo Mapas visuales de variables de la luz Software de diseño Alux v.01
----------	--	---

Introducción

En el capítulo anterior, se hace una nueva caracterización de la luz determinando los grupos de variables relativas a la luz y el espacio, su interdependencia y el modo en el que se crean los mapas visuales. En este capítulo, los mapas visuales interactivos se conforman a partir de la selección por un lado de 1000 referencias en las que de algún modo se refleja una variable de la luz en el espacio, y a partir de la relación entre variables. Las referencias relativas a la arquitectura se han seleccionado primero según su impacto, número de veces de publicación y repetición de la misma variable definida en las referencias.

En el apartado 1 se hace una presentación de las fuentes de esas referencias. En los apartados 2, 3 y 4 se presenta el estado de arte, una serie de ejemplos reconocidos acerca de la utilidad de los mapas visuales para poder descubrir conceptos que de otra forma no son perceptibles y diferentes formas de representación visual. En el apartado 5 de este capítulo se recuerda el valor de lo irracional en la investigación. Un total de 74 nuevas variables a tener en cuenta relativas a la percepción de la luz en el espacio han sido seleccionadas en el capítulo anterior, es decir un alto número de las variables a tener en cuenta que son subjetivas, por lo tanto se menciona en este capítulo la importancia que tiene considerar al ser humano en su totalidad, con sus incongruencias y opciones elegidas sin un motivo aparentemente racional.

1. Pensamiento visual

‘El hombre, como la naturaleza, como las células, ha ido escindiéndose en dos; primero con la naturaleza, cuando en vez de una parte de sí mismo la ve como algo ajeno; entonces puede estudiarla y, al estudiarla comprueba que los hombres somos distintos, porque cada uno la ve diferente. Y cuando se dé cuenta de que, según el instante, la ve diferente, pensará que en cada hombre moran varios, y quizá no resista la

tentación de ponerles nombres, como si supiera que sin sentirse varios tampoco podríamos sentirnos semejantes. Una segunda naturaleza, una segunda instantaneidad, un segundo yo.' [MAN]²⁸

Aby M. Warburg es conocido como teórico del arte en cuanto al espacio simbólico de pensamiento, como teórico de la historia del arte y como teórico de la imagen y de los medios en general. Hoy interesa sobre todo su dedicación a las formas de comunicación de contenidos culturales, a la transformación paulatina de sus símbolos: cómo símbolos e imágenes peregrinan a través de regiones y épocas. En un mundo en el que ya no hay prácticamente ningún dato relevante para la comprensión científica de la realidad que no sea imagen (virtual). En el que de hecho se produce un desplazamiento general de la información lingüística a la visual, de la palabra a la imagen, del argumento al vídeo o del tiempo al espacio. En los últimos años ha surgido con el nombre de *embodied cognition* una teoría del conocimiento que explica la formación de categorías partiendo del entorno del agente y del primado del esquema-imagen sobre el lenguaje, como en muchos otros aspectos de la técnica computacional de imágenes. Lo que hoy se llama museo virtual, un banco de datos o red de mapas que recoja cualquier fenómeno que pueda llamarse estético y justificarse como tal, es *warburgiano*: el atlas de Warburg tiene ya una estructura dispositiva semejante a una página de Internet y un diseño de montaje narrativo posmoderno, superador de los grandes relatos cosmovisionales de antaño.

El Atlas "*Mnemosyne, Bildreihe zur Untersuchung der Funktion vorgeprägter antiker Ausdruckswerte bei der Darstellung bewegten Lebens in der Kunst der europäischen Renaissance*" (1866-1929), que concentró las energías del historiador en sus últimos años y que quedó incompleto a causa de su muerte, tendría que culminar su proyecto. Originalmente, se trataba de unos plafones con fotografías de obras de arte, fragmentos, imágenes de la prensa o tomadas de la realidad, reunidas en virtud de sus analogías internas. Cada conjunto, encabezado por un epígrafe textual funcionaba como un dispositivo para interpretar las imágenes. De alguna manera, la biblioteca de Warburg es una suerte de *Wunderkammern* o gabinete de curiosidades y, como tal, representa una visión o interpretación del mundo. También, el *Atlas Mnemosyne*, -desdoblamiento visual de su biblioteca- implica una cosmovisión susceptible de recomponerse una y otra vez a través del **juego de asociaciones**.

Se trata de una máquina para pensar las imágenes, un artefacto diseñado para hacer saltar correspondencias, para evocar analogías. Éste es el mensaje de Warburg inscrito en el reverso del Atlas Mnemosyne.

²⁸ MANSILLA, Luis M.: Apuntes de viaje al interior del tiempo, Fundación Caja de Arquitectos, Barcelona 2002, ISBN 84-93-13888-6



Imagen 9 .Mnemosyne” Aby M. Warburg, 1924-9. Tafeln der Rembrandt-Austellung, 1926. Warburg Institute, London

El pensamiento visual es inherente a todo ser humano. Cualquier pensamiento o asociación de ideas se puede expresar a través de un diagrama de flujo o gráfico organizador, que simbolice la dirección de las ideas o que describan la estructura de conceptos.

Elías Torres [TUR]²⁹, once años tras haber leído su tesis doctoral, publica su libro *Luz cenital, luz celestial*. Hasta entonces, menciona que sólo había encontrados dos publicaciones sobre el mismo tema, una como exploración fotográfica sobre la luz en la arquitectura *con comentarios que, muchas veces, son apreciaciones emocionales de un espectador que pretende explicar la luz desde aspectos más propios de un fotógrafo de LIFE, sin entrar en aquellos aspectos que, en un principio, le pudieran interesar al arquitecto que proyecta* a el trabajo *Poetics of Lights* de Henry Plummer, publicado como monografía en la revista japonesa *a+u* (1987); otra publicación, *un libro técnico sobre cómo controlar la luz en el interior de la arquitectura, ya sea a través de ventanas o desde aperturas en la cubierta, aportando documentación útil de carácter empírico: es un buen manual para la docencia en disciplinas que tratan de medir y enseñar aspectos demostrables de la iluminación, Sunlighting as Formgiver for Architecture*, de William M.C. Lam (1986).

Su estudio (Torres) dice, se encuentra en medio de estos dos libros; se comentan fotografías sobre la luz cenital y, se agrupan y ordenan según aspectos que pueden ser útiles para proyectar con ella.

Esta investigación agrupa, clasifica y ordena imágenes en los que la luz tiene un carácter especial, asociándolas a un *contenido extra*, para luego comenzar a jugar con ellas.

Mapping the blind spot es un proyecto organizado por el Instituto Polaco de Cultura en colaboración con la Fundación Lázaro Galdiano y PHotoEspaña, coordinado, diseñado y comisariado por NOPHOTO y SPUTNIK. Dos colectivos fotográficos que iniciaron sus caminos en 2006 y 2005 (NOPHOTO y SPUTNIK) respectivamente. En los últimos años, ambos grupos han

²⁹ TORRES TUR, Elías: *Luz cenital, luz celestial*, Edit. ACTAR, Barcelona 2005, ISBN 84-96185-29-X

investigado sobre los aspectos históricos, socioculturales y geográficos de su entorno inmediato: Europa del Este (SPUTNIK) y del Oeste (NOPHOTO).

La exposición *Mapping the blind spot* se formaliza con obra ya producida por ambos colectivos. La idea es descontextualizar los proyectos y difuminar la autoría para generar una nueva lectura, un nuevo contexto en el que ambas Europas se confunden. Una de sus exposiciones se hace realizando un collage en formato periódico, con fotografías dañadas, cortadas, censuradas o sobreexpuestas, de nuevo con la intención de crear dos realidades enfrentadas, donde la distorsión implica una crítica al papel de la fotografía documental.

2. Valor añadido de las imágenes

En las funciones del ser humano relativas a la percepción de las formas, tenemos las abstractivas_-constancia de color, magnitud, orientación y forma-, según Lorenz, ya que imponen una disociación entre la forma y la clase accidental de los datos estimulantes y los procesos cognitivos, y por otra parte las objetivadoras, que comunican por igual lo constante de los objetos al margen de las facultades perceptivas del momento. Una serie de procesos compensadores subconscientes suceden, sin que tengamos un control racional de ello, para poder separar lo esencial de lo accidental, y equivalen a cálculos absolutamente válidos y juiciosos. Esta capacidad abstractiva inherente es la base del pensamiento abstracto y del lenguaje articulado, base fundamental de nuestra cultura (LORENZ, K.). El ser humano en su estrato histórico-espiritual, de orden superior, posee funciones que puede conceder o traspasar a lo material. Cualidades que hasta entonces él sí, pero lo material no poseía, pasan a formar parte de lo material. De esta manera los objetos se pueden *cargar* o *vaciar* de cualidades útiles para nosotros según el instante y las necesidades.

Como un ejemplo cotidiano de atributos extrínsecos del objeto en sí, tenemos la marca comercial, que nada tiene que ver en un análisis riguroso de los costes y rendimiento de un objeto, tratado en ese momento como producto y, sin embargo, tiene que ver a la hora de elegir o percibir dos objetos exactamente iguales, pero con atributos “extras” en base a conceptos abstractos. Atributos distintos de los intrínsecos que también son utilizados como criterios de evaluación, señales de calidad y diferenciación de un producto que no conceden utilidad o belleza, pero sí quizás conceptos como fiabilidad o seguridad.

«La mención de las marcas, Colt, Stetson, ¿le parece superflua? No me sorprende; pero un escritor profesional debería saber que en una narración verosímil, el todo está en lo que parece nada. Y dicho sea de paso, le sugiero tener en cuenta que Calamity usaba también un rifle Springfield, y no el fusil Winchester que le atribuyen los ignorantes. » [728]³⁰

³⁰ GALEANO, E.: Las Palabras Andantes, p.13, Siglo XXI de ESPAÑA EDITORES, 1995 Madrid, ISBN 84-323-0814-5

En la película *Despertares*, una serie de internos en un hospital psiquiátrico que no son capaces de manifestar reacción alguna ante lo que les rodea, se apropia de la voluntad de ciertos objetos, cada interno se apropia de algo diferente, un ritmo un gesto o una palabra, como si sólo les hiciera moverse lo que les emociona³¹. En una ocasión, uno de los pacientes se aprovecha en lugar de la voluntad de la pelota, para moverse se apoya en la voluntad de movimiento de otra persona. ¿Qué significa esto con respecto a las referencias y los mapas de imágenes? Podemos atribuir a lo material o incluso lo energético o lo orgánico propiedades y características nuevas, una pelota no está ni viva ni muerta, no tiene ritmo, sin embargo puede ocurrir que al estar cerca de otra imagen adquiriera un nuevo valor. Esto ocurre a diario en la arquitectura cuando por ejemplo un espacio se aprovecha del valor añadido que adquiere al variar su posición con respecto a otros.

El primer mapa visual trata de reflejar este aspecto: por un lado las imágenes de mayor publicación se representan de mayor tamaño (10 publicaciones tamaño de imagen 6x6 cm², a partir de 100, 10x10cm²) si el impacto es mayor a nivel internacional, la imagen en el mapa aparece representado con un tamaño mínimo de 12x12cm². Además del tamaño de las imágenes, el mapa está dividido en seis cuadrantes, uno por cada grupo de conceptos:

material	geométrico	espacial
técnico	temporal	perceptivo

Tabla 36 Cuadrante de contenidos del mapa visual interactivo 1

La distancia entre imágenes muestra por aproximación la cercanía de conceptos. Si la mayoría de sus conceptos asociados son los mismos aparecerán con una distancia menor entre ellas, si son diferentes, estarán primero en cuadrantes diferentes o muy separados entre sí. La

³¹ « - Se llama Lucy Fischman. Los vecinos la encontraron con su hermana varios días después de la muerte de ésta. Ya no le quedan familiares. Y los vecinos dicen que siempre ha estado como ahora; que ni reconoce ni comprende nada y aún así... (le tira una pelota de tenis por encima de ella y la coge)

-Un reflejo

- Si hubiera apartado el golpe, lo llamaría un reflejo. Pero tal como han visto, la ha cogido.

- Sigue siendo un reflejo.

- Si tuviera usted razón lo admitiría. Es como si al haber perdido completamente su voluntad, tomara la voluntad de la pelota.

- ¿La voluntad de la pelota? discúlpenme.

- Esto es ridículo.

- Anda, vámonos.

- ¿Trataba de impresionarnos, doctor? ¿ sólo quería impresionarnos, era eso doctor? Todavía no está integrado.

- Yo también quisiera alegrar esta sala, pero ¿qué es lo que está haciendo?

- Tengo una corazonada, ¿qué es lo que impide a Lucy llegar hasta la fuente?

- Nada.

- Exacto. Pero el campo visual se interrumpe. Hay un vacío. Falta continuidad. Falta ritmo visual. No hay nada que le anime a seguir.

- Nosotros se lo ponemos. »

separación entre imágenes no tiene que ver con el primer mapa de imágenes, sin embargo es interesante comprobar que ciertas obras se siguen publicando como significativas después de mucho tiempo, cuánto tiempo pasa entre la realización de la obra y su publicación (es cada vez menor) y las diferentes publicaciones sobre la misma situación lumínica, diferentes puntos de vista y de representación.

El software creado no muestra todas las situaciones a la vez, sino que está programado para mostrar 60 imágenes por vez de forma aleatoria, siempre relativas a los conceptos o términos previamente seleccionados y según un orden de prioridad que se puede regular.

El diccionario *Metapolis, arquitectura avanzada* muestra un ejemplo de glosario de términos elaborado en por especialistas en la materia, en los que relacionan un concepto arquitectónico a una referencia, una imagen, una situación. Esta investigación se limita a lo relacionado con la luz y supone un avance ya que a partir del glosario creamos un juego interactivo y multidisciplinar.

3. Lo irracional en la investigación

«Una casilla vacía que no es ni para el hombre ni para Dios; singularidades que no pertenecen ni a lo general ni a lo particular, ni personales ni universales; todo ello atravesado por circulaciones, ecos, acontecimientos que producen más sentido y libertad, efectividades que el hombre nunca había soñado ni Dios concebido. Hacer circular la casilla vacía, y hacer hablar a las singularidades pre- individuales y no personales, en una palabra, producir el sentido, ésa es la tarea de hoy. » [DEL]³²

La forma más simple que tenemos de adquirir información es mediante la regulación del equilibrio interno tras una pequeña perturbación –homeostasia-. Sin embargo, un desequilibrio excesivo, por ejemplo en los mecanismos de transferencia energética entre una persona y el exterior, podría provocar lo que denominamos *malestar físico*. Plantear la creación artificial de perturbaciones que impliquen un desequilibrio intencional y controlado en el espacio arquitectónico, es una forma de investigación al menos posible. Aquí se plantea aumentar la flexibilidad en el método de investigación a través de aproximaciones sucesivas hasta llegar a la definición de conceptos relativos a la luz solar en la arquitectura. Simular multitud de posibilidades que en principio pueden parecer absurdas, y sin embargo, al posicionarse en un mapa visual junto a otras variables, nos muestra una nueva idea. Se trata de no descartar desde el principio posibilidades que nos impidan llegar a unos resultados satisfactorios. Incluir el mayor número de variables en el proceso de investigación.

³² DELEUZE, Guilles: *Lógica del sentido*, Barcelona 2005, ISBN 84-493-1803-3.



Imagen 10 CH2 Melbourne City, Council House 2, Designinc

Es posible que a la hora de determinar la luz de un espacio, una oficina en la que por ejemplo comparten 10 personas, una serie de decisiones, consecuencias imprevistas o no queridas de alguna acción hayan terminado imponiéndose a las intenciones originarias y sobre la propia acción individual o colectiva. La luz molesta se va eliminando, hasta que al final nos queda un espacio que no es agradable a ninguno de ellos, pero se ha llegado a un callejón sin salida. Una forma de influir de nuevo en ese espacio, un desequilibrio intencionado pueda restablecen una situación más cómoda para todos. El elemento sorpresa, lo totalmente inesperado, lo aparentemente ilógico, la inversión de los valores habituales, la contradicción voluntaria en el quebrantamiento y la interpenetración de diferentes unidades espaciales a la rotura de un muro de límite coherente con la consiguiente dificultad de orientación... cualquier opción puede ser válida.

“[...] a veces las marcas tienen un significado, si alguien las sabe interpretar, las entiende. Pero muy a menudo tienes que pararte como desconocido, aceptar la marca porque está ahí, porque te la has encontrado, como cuando encuentras algunas inscripciones en una roca. Me interesa ese trabajo de ir aceptando los resultados que van apareciendo. [...] Un proyecto consiste en saber atar múltiples líneas, múltiples ramificaciones que se abren en distintas direcciones. Mi modo de trabajar está muy ligado a la idea de curiosear o de distraerse. Una vez fijado el problema, el siguiente paso es casi olvidarse de la finalidad de lo que estabas haciendo, casi como para distraerte [...]”³³

La expresión contenida en el título “Fuera de juego” tiene implícita una componente relativa a la experiencia subjetiva, a quedarse perplejo. Cuando un espacio te abruma de tal manera que se te nubla el entendimiento (ESPACIOS SIN SENTIDO³⁴), o cuando existe una contradicción, detrás de una señal de luz esperábamos un espacio abierto y nos encontramos con un muro.

³³ Enric Miralles.

³⁴ SORIANO, F.: Sin_tesis. Editorial Gustavo Gili, SA. Barcelona 2004. ISBN 84-252-1525-0

Una pared de carga que parece estar flotando, todo lo que tenga que ver con efectos ópticos, juegos espaciales, pero siempre desde el punto de vista del espectador que se ha quedado en estado catatónico y, después del deslumbramiento, poco a poco vuelve a recuperar la vista, comienza a entender el espacio.

Otra interpretación de la expresión *Fuera de Juego* está relacionada con ser *outsider*, o estar *fuera de lugar*, o *fuera de sitio*. Pero también, *estar fuera de un juego determinado*, de un movimiento exploratorio, de una forma de descubrimiento, de una manera de perder el tiempo, moverse sin un objetivo fijo preestablecido. Estaría fuera de juego el aguafiestas, tramposo o el que no tiene tiempo para juegos.

*Paul Rudolph, who was taught by Gropius in the States,
mentions that when he had finished studying
he didn't really know how to design a building.
And that is what I and many others found
- that the logic didn't produce a building.³⁵*

Johan Huizinga describe (Homo Ludens, 1954) la importancia que tiene el juego en nuestra cultura, explicando que no somos tan razonables como queremos o creíamos ser – Homo Faber- y describiendo el juego como el estadio previo a la aparición de una cultura como la entendemos actualmente. El juego no entendido como la réplica que hacen los niños de la vida de los mayores, donde lo importante es que se le quite seriedad porque no conlleva las mismas consecuencias, o no solamente entendido como “lo no serio”, sino atendiendo a la peculiaridad del juego, profundamente enraizada en lo estético. Con esa intensidad que hace perder la cabeza, aislarse de todo lo demás, incluir las contradicciones ya que como no es real, sino que pertenece a lo imaginario (Alicia en el País de las Maravillas) no sabemos lo que va a ocurrir y no hay nada imposible, y a la vez tiene unas reglas del juego y un orden, unos espectadores, unos que participan y otros que están fuera, fuera de juego (arquitectura del espectáculo, espacios lúdicos, turísticos, escaparates...). Friedrich Schiller dice:

«El ser humano es solo verdaderamente humano allá donde juega.»

Todo esto está directamente relacionado con la luz en la arquitectura, ya que como hemos mencionado anteriormente, las cualidades lumínicas de cualquier espacio tienden a empeorar cada vez que se limitan y se establece el baremo de calidad basado en intensidades mínimas. En ocasiones la mejor iluminación de un espacio aparece cuando ésta se ha dejado al azar (Utilidad de los espacios inútiles, Helena Coch).

Si Manfred Eigen [EIG]³⁶ dio el título de *El Juego* a su obra más innovadora, tal vez fue porque significaba una equiparación del principio creador a una exposición de numerosos sistemas

³⁵ Fuente: Paradise Backyard. Brunswick Park J School, James Gowan and Stirling, New Jersey,EEUU.

individuales con cuya diversidad, y según unas reglas del juego incomprensiblemente simuladas, se crea algo que nosotros experimentamos – debemos experimentarlo- como algo superior, como si fuesen los elementos que lo han originado. Tal vez, habría que recuperar ese acercamiento entre el comportamiento inquisitivo - el pensamiento racional y científico- y el juego.

Podría ser este comportamiento, el jugar sin un fin determinado, el que precedió el invento de una nueva “herramienta” que nos hiciera la vida más fácil, por eso resulta tan atractivo como excusa para *seguir acercándonos* a través de la experiencia.

El cambio social evolucionista no es un proceso misterioso. La gente creativa propone, desarrolla y pone en marcha nuevas formas de resolver problemas. Pueden ser formas características de conducta, soluciones a los problemas mecánicos o medidas sociales más eficaces para hacer las cosas mejor. Algunas se proponen, escogen y conservan para ser partes institucionalizadas de la cultura que se acumula, mientras que otras se rechazan de inmediato, o se eligen para ser abandonadas rápidamente o incluso adoptadas durante un tiempo para ser sustituidas finalmente por algo más eficaz. De esta manera, las personas, al igual que otros seres vivos, hemos intentado continuamente mejorar nuestras posibilidades de supervivencia a través de un constante proceso de selección y experimentación. De este proceso provienen las formas cada vez más eficaces de adaptación social, conductista y mecánica: una evolución de la cultura humana.

Conexiones improbables es un ejemplo de varios grupos de reflexión sobre metodologías para la hibridación de diferentes (Creative Clash o TAFI). Desarrollan herramientas, métodos de puesta en común de lenguajes y seguimiento de proyectos que favorecen la creatividad bajo licencias *Creative Commons*. Así, han editado un juego de cartas inicialmente creado por el artista François Deck, *Encajar lo improbable*, que sirve para verbalizar e intercambiar sobre maneras de trabajar y de ver las cosas. Ofrecen a empresas, centros de investigación, organizaciones sociales y administraciones públicas (independientemente de su tamaño o ámbito de actividad) la posibilidad de incorporar a sus equipos, profesionales con otras referencias y metodologías, en este caso artistas e investigadores provenientes de las ciencias sociales. Éstos ayudan a impulsar procesos de investigación experimental y co-creación, incorporando complejidad, diversidad, pensamiento crítico y creativo, para cuestionar y reformular el por qué y para qué organizativo (la misión, la visión, el negocio, los valores de la organización, sus competencias nucleares y sus marcos relacionales). Los proyectos parten de las necesidades de las organizaciones, y desde improbables, actúan como mediadores y dinamizadores de todo el proceso de colaboración. *Conexiones improbables* son tan sólo un ejemplo más de la innovación colaborativa y las nuevas formas de dinamización en la sociedad actual. A continuación se presenta uno de sus proyectos:

Píldoras creativas

³⁶Eigen M.; Winkler R.: '*Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall.*' Piper Verlag, München/ Zurich, 1975.

*Las píldoras creativas permiten a pymes y organizaciones interactuar con artistas o creador*s que les aportan ideas/ sugerencias/ referencias basadas en una necesidad definida por la propia organización. Las micro-píldoras se desarrollan en 2 sesiones presenciales de trabajo en un periodo de 2 meses; las maxi-píldoras incluyen 4 sesiones de trabajo presenciales en un periodo de 3 a 4 meses. La reflexión puede tener que ver con cualquier aspecto del negocio, desde desarrollar la capacidad interna de innovación hasta la definición de nuevos productos o servicios, o mecanismos de relación con el entorno. Como en las colaboraciones largas, se organiza al principio de las relaciones una sesión de metodología con todos los participantes, y una sesión de presentación pública de resultados cuando se terminan. En paralelo se pueden también organizar sesiones de formación de artistas residentes en el entorno. Las primeras píldoras creativas se pusieron en marcha en Bilbao en 2011. Desde entonces, más de 50 organizaciones (principalmente pymes) las han experimentado, con mucho éxito según las evaluaciones del WZB. Las píldoras se promueven principalmente desde instituciones locales (Ayuntamientos o Agencias de desarrollo).*

Konrad Lorenz [LORa]³⁷ hace una crítica sobre la tendencia del ser humano a dividir en pares antagónicos y escribe sobre el verdadero significado de lo que denominamos subjetivo y objetivo, quizás razón y emoción en la arquitectura, común a un grupo de personas o según criterios individuales.

Según P.O. Fanger [FANG]³⁸, es imposible separar los factores que influyen en el confort, en el caso de su estudio, confort térmico, sin tener en cuenta la influencia sobre este de los demás factores. En este caso – esta investigación- los textos de E. Allan Poe [POE]³⁹ podrían servir como base para elaborar una nueva metodología de acercamiento a la cuestión de la luz solar. Según él, para acercarnos cada vez más a una solución acertada, en lugar de llegar a conclusiones directas bajo una observación apresurada cuando tenemos un gran número de variables, debemos constatar el grado de consistencia de la solución por medio de aproximaciones sucesivas buscando acercarnos cada vez más a una definición clara, correcta de lo que investigamos. Se confirma la actualidad de este método de aproximaciones sucesivas al descubrir que desde 1970 se utiliza el método iterativo en la matemática computacional⁴⁰, muy actual en mecanismos de control térmico de espacios interiores por medio de aparatos electrónicos.

Stuart Sutherland [SUT]⁴¹ explica que vivimos en continua irracionalidad reflejada en nuestro comportamiento y nuestras decisiones diarias, al contrario de lo que se entiende

³⁷ LORENZ, Konrad: Decadencia de lo Humano. Hombre y Sociedad. (Der Abbau des Menschlichen), edit. Plaza y Janes Editores, Barcelona, 1983

³⁸ FANGER, P.O.: Thermal Comfort. Analysis and applications in environmental Engineering, edit. Danish Technical Press, Copenhagen, 1970, ISBN 8757103410.

³⁹ POE, Edgar Allan: Eureka o el ensayo sobre el Universo, edit. Losada S.A., Buenos Aires 2004, ISBN 950-03-0574-7

⁴⁰ Método iterativo: en matemática computacional, un método iterativo trata de resolver un problema (como una ecuación o un sistema de ecuaciones) mediante aproximaciones sucesivas a la solución, empezando desde una estimación inicial. Esta aproximación contrasta con los métodos directos, que tratan de resolver el problema de una sola vez (como resolver un sistema de ecuaciones $Ax=b$ encontrando la inversa de la matriz A). Los métodos iterativos son útiles para resolver problemas que involucran un número grande de variables (a veces del orden de millones), donde los métodos directos tendrían un coste prohibitivo incluso con la potencia del mejor ordenador posible.

⁴¹ SUTHERLAND, Stuart: Irrationality. 2007 Wales. ISBN 978-1-905177-07-3

habitualmente; es decir, la irracionalidad del ser humano tratada como una patología (Freud), un comportamiento extremo:

«El pensamiento racional lleva a la conclusión más probablemente correcta, teniendo en cuenta el conocimiento de que se dispone.»

«Una acción racional deliberada es aquella que, teniendo en cuenta el conocimiento de la persona, tiene mayores probabilidades de alcanzar su objetivo.»

«Ni el pensamiento racional ni la toma de decisiones racional conducen necesariamente a un resultado óptimo» Konrad Lorenz, respecto al "juego"

«En casi todos los animales, el comportamiento inquisitivo y asimismo el juego asociado estrechamente a él, se limitan a la primera edad. El hombre debe agradecer el mantenimiento de su curiosidad durante toda su vida al retardo de su desarrollo y a una neotenia parcial, es decir, la retardación de su crecimiento y el empeño en aferrarse a una etapa juvenil del desarrollo.»

« Si Dios hubiera creado adrede al hombre tal y como es, dudaría de ese Dios.»

La ciencia ya ha comenzado a incorporar ciertos aspectos subjetivos a los métodos científicos (lógica difusa, pensamiento débil) que nos acercan aún mejor a una comprensión y una evaluación más aproximada de lo real. También hemos comenzado a añadir a las máquinas ciertas características que hasta ahora correspondían a los seres vivos (humanización de los objetos, por ejemplo aire acondicionado con un termostato basado en nuestro propio sistema de regulación corporal), atribuir a los objetos características que le son intrínsecas al ser humano (sillas discapacitadas de la exposición INJUVE, edificios inteligentes, productos fabricados en serie que aparentan tener una historia y ser únicos...). Igual volvemos a la incógnita de qué elegir: adaptar a las nuevas necesidades un método científico existente que quizás este obsoleto.

4. Método de análisis comparativo

El método comparativo es simple. Se hace un estudio de un número de referencias que tienen ciertas características comunes pero que difieren en ciertos aspectos. Estas diferencias pueden llegar a ser el foco de la investigación. La comparación entre referencias se puede hacer en paralelo, por ejemplo mostrando varias diapositivas a la vez relacionadas con una única variable o a través de mapas visuales de mayor complejidad relacionando múltiples variables de forma simultánea. El objetivo final de la investigación a través de referencias es revelar una estructura sistemática, la invariante, que podría ser válida no solo para los casos estudiados. La comparación puede ser descriptiva o normativa.

La comparación descriptiva se utiliza normalmente para comparar un número reducido de muestras. Por ejemplo, Susann Vihma examinó metáforas en equipos electrodomésticos en *"Products as Representations"*. Entre sus objetos de estudio había doce planchas de vapor. Descubrió que cuando se estudiaba cada ejemplar aisladamente no era fácil captar su mensaje simbólico; esto se volvía más fácil cuando el objeto se estudiaba junto con otros objetos

similares o cuando dos objetos podían ser comparados entre sí. La comparación descriptiva se hace para un mismo concepto, con diferentes imágenes.

La comparación normativa trata de buscar la norma de un sistema para mejorar el resultado. En el análisis normativo uno de los principales criterios es la evaluación, es decir poder establecer el mejor con respecto a las alternativas que se estudian. Apuli- Suuronen (1999) comparó los planes de estudio de los bachilleratos unificados polivalentes fineses y suecos desde el punto de vista de las artes visuales y encontró muchos motivos de sus diferencias. Luego intentó precisar las estrategias para desarrollar planes de estudio que ayudasen al estudiante moderno a satisfacer los requisitos y desafíos futuros, particularmente lo relativo a la creación, experimentación y entendimiento de los retratos.

Toda evaluación es subjetiva, por eso es importante definir el punto de vista que se utiliza en esta evaluación. La comparación es considerada en este estudio como el criterio de la interpretación valorativa de los resultados empíricos. Si bien no es el principio del conocimiento -como éste debe considerarse, sino más bien el postulado del examen crítico de teorías-, permite la evaluación comparativa de los resultados empíricos (Hartmann 1980).

Como fines de la comparación pueden considerarse de forma teórica (A. Grosser, 1973): (a) hacer comprensibles las cosas desconocidas a partir de cosas conocidas mediante la analogía, la similitud o el contraste, comparación de varias imágenes para un mismo concepto; (b) señalar descubrimientos nuevos o resaltar lo peculiar (heurística) dentro de una misma variable; (c) sistematizar, enfatizando precisamente la diferencia, mapa de referencia 1.

En esta investigación, la comparación de 1000 referencias se vuelve incluso estadística, a partir de la caracterización de la luz por medio de mapas visuales interactivos. En un principio los encuestados tenían la opción en la primera pantalla de poder seleccionar por grupo de variables su orden de prioridad y seleccionar la obra que hacía referencia (arquitectura, fotografía, pintura, etc).

PARÁMETROS LUMÍNICOS		
X	Material	OP 3 2 1 0 -1
	Geométrico	
	Espacial	
X	Temporal	
	Perceptivo	

OBRA	
X	Arquitectura
	Fotografía
	Pintura
	Escultura
	Cine
	Instalaciones

Figura 28 Pestañas del software Alux v.0.0 Pestaña izquierda selección por orden de prioridad y grupo de variables que deseamos que aparezcan en el mapa visual 1. A la derecha selección por tipo de obra

En una versión posterior se considera la disciplina a la que pertenece la obra (arquitectura, pintura, fotografía, cine...) como algo irrelevante en el estudio de la luz en el espacio, y se opta por poder seleccionar primero si las imágenes están referidas a una única variable (estudio comparativo sobre analogías (a) y peculiaridades (b), en cuyo caso se puede seleccionar la pestaña "Imágenes" para ver las referencias relacionadas con esa única variable; o si es relativo a varios parámetros a la vez (c) en cuyo caso optamos por la pestaña "Mapas", donde podemos comparar las diferentes referencias simultáneamente. En la pantalla podemos seleccionar cada uno de los términos por separado, como por ejemplo:

Alux

Programa de diseño de la iluminación de ambientes interiores

Variables	Imágenes	Mapas	Interrelación	Aceptación
<input checked="" type="checkbox"/> Material <input checked="" type="checkbox"/> Luz narrativa <input checked="" type="checkbox"/> Raumlicht <input type="checkbox"/> ...	<input checked="" type="checkbox"/> Variación natural <input type="checkbox"/> Manchas de luz <input type="checkbox"/> Sombra caligrafiada <input type="checkbox"/> ...	<input checked="" type="checkbox"/> Geométrico <input type="checkbox"/> Luz diagonal <input type="checkbox"/> Distribución homogénea <input type="checkbox"/> ...		

Figura 29 Snapshot 2 del software Alux v.0.1 selección pormenorizada de los parámetros de la luz

En la pestaña “Aceptación “ obtenemos el grado de aceptación de las variables en conjunto, teniendo en cuenta la actividad clasificada para la que se han seleccionado las variables, y desde un punto de vista holístico, es decir considerando la complejidad real de cualquier espacio.

5. Mapas interactivos de imágenes

El *mapa conceptual* es una técnica usada para la representación gráfica del conocimiento. Un mapa conceptual es una red de conceptos. En la red, los nodos representan conceptos y los enlaces representan relaciones entre los conceptos.

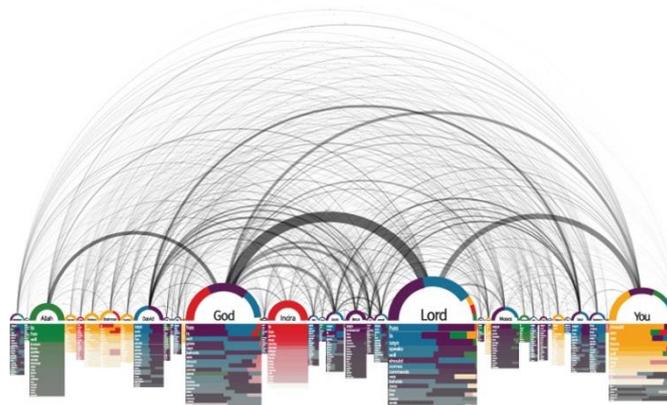


Imagen 11 Philipp Steinweber and Andreas Koller, Similar Diversity, 2007

El mapa mental o *mind mapping* busca y exige imágenes para su construcción. Las imágenes y dibujos tienen varias funciones, algunas nemotécnicas, otras para reducir las palabras manteniendo un concepto o idea compleja y también para buscar nuevas conexiones. Las imágenes conectan rápidamente con ideas afines, por lo que parte de la importancia del mapa mental está en su capacidad visual para generar nuevas conexiones y retener ideas con el hemisferio visual del cerebro.

“Pretender fotografiar la luz para captar el instante luminoso de un espacio es tratar de reflejar la esencia de este espacio” [TOR]⁴²

La imagen simplifica realidades complejas. Los mapas de imágenes son útiles para conocer a primera vista aspectos diferentes de una realidad, ya que pueden comparar contrastes y semejanzas. Desde los griegos se instauró la creencia de que los sentidos no son confiables, y algunas doctrinas filosóficas clasifican la imagen como algo confuso, lo que demuestra la desconfianza en la percepción sensible y la concepción del diseño como una imagen puramente mimética: “Si los sentidos no son confiables y la imagen es una reproducción de lo que se percibe, no hay ninguna razón para confiar más racionalmente en ella de lo que la percepción sensorial” [126]⁴³. Según Català, la imagen es “copia de la copia de la imagen del mundo que se refleja en nuestra mente”, lo que elimina la necesidad de percepción sensible del mundo a través de la imagen, ya que esta operaría sólo para corroborar lo que nuestros ojos ven.

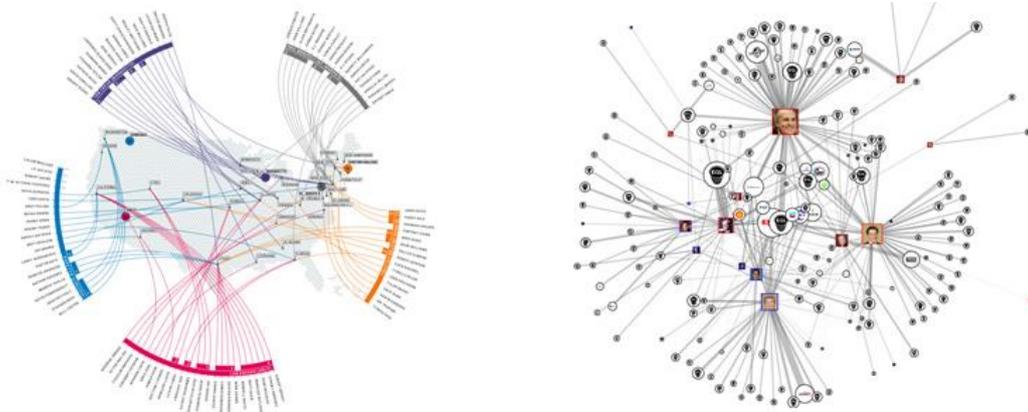


Imagen 12 Visual Complexity, relación entre variables en este caso sobre la relación entre diferentes personas

Aquí se considera la imagen como portadora de datos referentes a un instante concreto de la arquitectura, real o no. Lo importante es lo que transmite y cómo se aproxima a las demás imágenes configurando un mapa visual complejo interactivo. Las imágenes planteadas en nuestros mapas interactivos, obtenidas en la mayoría de los casos de otras fuentes, no pretenden ser miméticas o ilustrativas, sino interactivas, enriqueciendo nuestra percepción de la luz en la arquitectura. Según la definición que Català hace del concepto de imagen compleja:

“La imagen compleja rompe el vínculo mimético que la imagen tenía tradicionalmente con la realidad y o sustituye por un vínculo hermenéutico: en lugar de una epistemología del reflejo, se propone como una epistemología de la indagación. La imagen ya no acoge pasivamente lo real, sino que lo busca, aun así, no quiere decir que rechace la posibilidad de encontrar una objetividad a la espera, pendiente de su descubrimiento: una realidad que ha de ser encontrada. No quiere decir que la imagen, la visualización será un simple instrumento constructor de lo real,

⁴² TORRES TUR, Elías: Luz cenital, luz celestial, Edit. ACTAR, Barcelona 2005, ISBN 84-96185-29-X.

⁴³ CATALÀ, Josep María: La imagen compleja: la fenomenología de las imágenes en la era de la cultura visual. UAB, Belaterra, 2005- Manuales de la Universidad Autònoma de Barcelona, p.84.

sino que indica que lo real para ser realmente significativo debe ser puesto al descubierto y que la visualización es una forma compleja es un camino efectivo para hacerlo".⁴⁴

6. Software de diseño Alux v.01

Alux es un programa de diseño que permite visualizar varias referencias según las variables elegidas sobre la luz y el espacio. Utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar. La principal regla de trabajo es que permita plasmar las ideas de forma rápida sin necesidad de operaciones complejas y lentas.

Las principales características que hace de *Alux* una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Este software de diseño ha sido creado para poder hacer un estudio comparativo de 1000 referencias de manera interactiva, gráfica y sencilla. Cuando se dice que *Alux* es asociativo quiere decir que todas las pestañas están vinculadas y que la modificación en la primera pestaña (selección de variables) queda reflejada en las demás.

Contenido

El menú principal muestra todas las barras de herramientas esenciales para la manipulación del software, las cuales son variables, imágenes, mapas, interrelación, aceptación y dibujar. El software generado es de comprobación y análisis de variables lumínicas complejas; aún no es posible guardar documentos o modificar las características principales por los usuarios.

El enlace para poder acceder por internet a este software de diseño es:

<http://mapatte.webatu.com>

Objetivos

- Facilitar una herramienta de diseño de la luz y el espacio a partir de la suma de variables
- Mostrar el mayor número posible de imágenes o situaciones relacionadas con un concepto de la luz, expresando la complejidad de cada uno de los términos.
- Mostrar la distribución de variables elegidas y su interdependencia.
- Calcular el grado de aceptación de los usuarios de la luz según el uso predominante del espacio a proyectar y las variables elegidas para su diseño.

Pestaña Imágenes

El primer mapa de referencias muestra las imágenes asociadas a una única variable escogida. Las imágenes están clasificadas por cuadrantes (6 grupos de variables previamente definidos). Así por ejemplo seleccionamos "manchas solares" y nos aparecen todas las imágenes relacionadas con esta variable. Esto supone en realidad un problema a la hora de dibujar esas imágenes, ya que las referencias son en muchos casos más que lo que la pantalla admite ver a la vez, simplemente por dimensiones de la pantalla. ES por ello que se ha programado de manera

⁴⁴ [126], p.642.

que cuando haya suficientes referencias asociadas a un concepto, se cree una selección aleatoria. Simplemente volviendo a pinchar “dibujar” aparecen en pantalla las siguientes imágenes.

Pestaña Mapas

El segundo mapa de referencias delimita 6 cuadrantes y dentro de los cuadrantes las imágenes aparecen de forma aleatoria por términos elegidos, es decir el primer mapa visual nos hace una idea de la aproximación conceptual entre imágenes. Para la opción de ver a la vez las imágenes relativas a varios parámetros lumínicos, se puede establecer el orden de prioridad.

Cada una de las referencias ha sido previamente clasificada, es decir se asigna primero la variable por la que ha sido publicada, y luego se le suman las variables relativas. La suma de imágenes a cada una de las variables y la posibilidad de ver de manera simultánea múltiples imágenes relacionadas con una serie de términos de la luz que hemos seleccionado previamente, es el primer interés de este software. El segundo es la tabla de comprobación, es decir, según las variables elegidas para una actividad clasificada, obtenemos un valor según el cual sabemos de antemano el grado de aceptación del espacio proyectado.

Alux

Programa de diseño de la iluminación de ambientes interiores

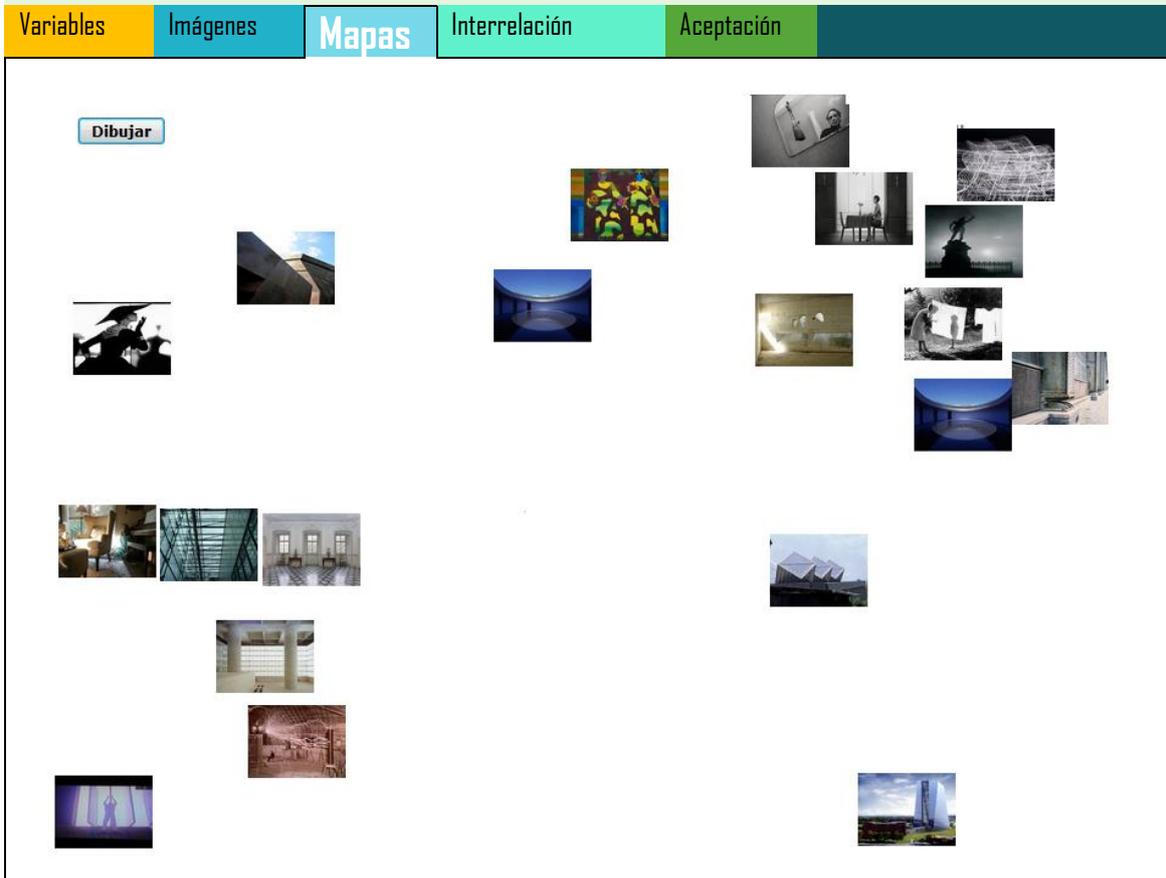


Figura 30 Snapshot Mapas de diseño Alux, selección de una única variable

La pestaña “mapas” muestra las imágenes asociadas a una única variable. Si pinchamos sobre cada imagen nos aparece una breve descripción, para poder seguir investigando sobre cada una de las referencias, y la imagen aumentada. Es interesante comprobar cómo se forman grupos de imágenes según el cuadrante en el que estén situadas y la cercanía debido a una coincidencia mayor de variables asociadas.

La posibilidad de ver a la vez múltiples referencias abre un mundo de posibles conexiones a las que no seríamos capaces de llegar sin esa visión global.

Pestaña Interrelación

En el snapshot de la relación entre variables, tenemos por un lado los conceptos lumínicos, por otro las referencias o situaciones lumínicas. Más que cada concepto en sí, lo importante en este mapa visual es poder ir viendo los cruces y distribución entre conceptos y referencias. Las relaciones aparecen gráficamente según orden de prioridad, por fecha de inicio o de publicación o separadas en bloques de variables cuantitativas o nominales si pertenecen al grupo de variables relativas a la luz solar, etc.

Capítulo 5. Aceptación de los usuarios

BLOQUE 1	CAPÍTULO 4 MAPAS VISUALES INTERACTIVOS CAPÍTULO 5 ACEPTACIÓN DE LOS USUARIOS	Introducción Niveles de aceptación Matriz de variables y actividades Planificación de las encuestas Resultados de las encuestas
----------	---	---

Introducción

Para el estudio de la aceptación de los usuarios de determinados efectos de la luz es preciso realizar encuestas a una muestra representativa. El objetivo de este capítulo es determinar el grado de aceptación teórico de cada variable planteada para una serie de actividades o usos en la edificación, obtener unos resultados a partir de las encuestas y calcular el grado de desviación de esa aceptación teórica con las respuestas obtenidas.

1. Niveles de aceptación por actividad clasificada

Primero se establece el grado de aceptación de las 194 variables según 29 actividades clasificadas (tabla 26), divididas en 10 grupos. Esto nos da lugar a una matriz formada por 5.626 resultados. La matriz desarrollada se encuentra en los anexos. En la tabla siguiente se muestra el esquema general que sigue la matriz.

	Actividad clasificada	Grupo I Pública concurrencia		Grupo II Docente		Grupo X Industrial
VARIABLES (1-194)	Subgrupo	Transporte	...	Oficinas	Comercial	...
1 Reflexión	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación
....	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación
194 Luz difusa	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación	Grado de aceptación

Tabla 37 Esquema de contenidos de la tabla de grado de aceptación (G.A.) de los usuarios por variable y actividad clasificada

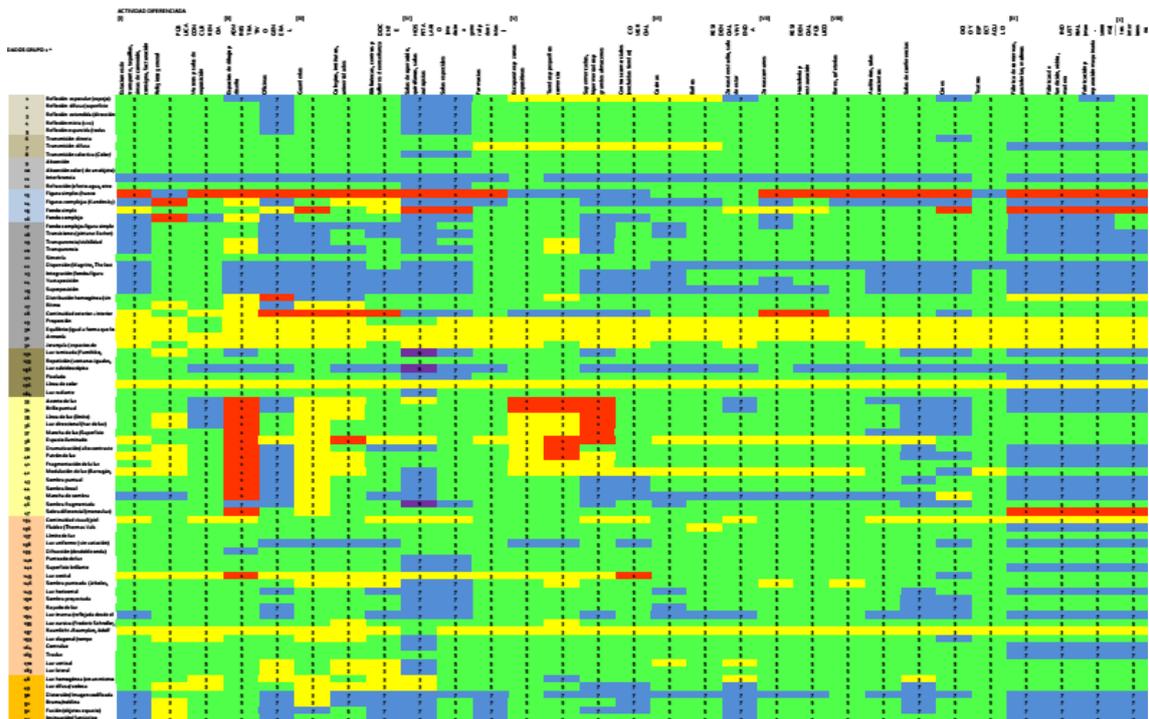


Figura 32 Pantallazo de un trozo de la matriz generada a partir de variables lumínicas por actividades clasificadas y su grado de aceptación (tabla completa en los anexos)

Esta matriz está generada considerando cada una de las 194 variables y 10 grupos de actividades clasificadas. Se asigna el grado de aceptación de los usuarios (1-9) desde imprescindible a prohibido (por normativa) para cada una de las variables, determinando si es más o menos adecuada su aparición según el punto de vista de los usuarios de un espacio con un uso predominante determinado. El siguiente paso, una vez ha sido completada la matriz, es estudiar el grado de aceptación por grupos de variables, es decir si aparecen simultáneamente una serie de fenómenos de la luz en un mismo espacio, creando una complejidad diferente que la simple suma de variables incluso en instantes diferentes. El grado de aceptación resultante del conjunto de variables será posiblemente diferente.

En esta investigación se plantea la necesidad de hacer este estudio simultáneo de variables complejas. Con la herramienta de trabajo creada para esta investigación, *Alux*, software de diseño creado para obtener gráficamente el resultado de combinar múltiples variables de manera simultánea, se podría hacer este estudio a un número considerable de personas vía online. De momento, el grado de aceptación obtenido es el resultado ponderado de la aceptación de variables por separado.

Según la tabla anteriormente descrita obtenemos los siguientes resultados generales:

Actividad clasificada:		I		II		III		IV		V	
		nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
1	imprescindible	22	10,05	31	21,23	31	14,16	16	7,306	40	13,7
3	deseado	41	18,72	16	10,96	65	29,68	27	12,33	48	16,44
5	posible	141	64,38	69	47,26	106	48,40	108	49,32	183	62,67
7	no deseado	14	6,39	27	18,49	17	7,76	65	29,68	21	7,19
9	prohibido	1	0,46	3	2,05	0	0,00	3	1,37	0	0,00
total		219	100	146	100	219	100	219	100	292	100
		VI		VII		VIII		IX		X	
		nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
1	imprescindible	13	5,936	7	4,795	10	13,7	32	8,791	30	13,7
3	deseado	39	17,81	30	20,55	7	9,59	37	10,16	21	9,59
5	posible	143	65,30	106	72,60	31	42,47	238	65,38	92	42,01
7	no deseado	24	10,96	3	2,05	25	34,25	57	15,66	76	34,70
9	prohibido	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Total:		219	100	146	100	73	100	364	100	219	100

Tabla 38 Tabla de resultados del grado de aceptación teórica de las variables según actividad clasificada

Posteriormente, se realizan las encuestas para calcular el grado de desviación de la tabla con respecto a la opinión de los encuestados. A través de rondas de preguntas, se establece el grado de aceptación para las siguientes actividades clasificadas:

- Ronda de preguntas 1 y 2: I. Pública concurrencia: (A) Estaciones e transporte, taquillas, áreas de conexión, consigna y facturación (B) Religioso general, (C) Museos y salas de exposición.
- Ronda de preguntas 3: I. Pública concurrencia: (C) Museos y salas de exposición, IX. Industrial (máx. 1000m²): (D) Fábrica de conservas, pastelerías, molinos, (E) Fábrica de fundición, vidrio, madera, (F) Fabricación y reparación de maquinaria.
- Ronda de preguntas 4: I. Pública concurrencia: (C) Museos y salas de exposición, II. Administrativo general: (G) Oficinas, IV. Hospitalario (medicina general y dentistas): (H) Sala de operación, quirófanos, salas de autopsias, IX. Industrial (máx. 1000m²): (D) Fábrica de conservas, pastelerías, molinos.
- Ronda de preguntas 5: II. Administrativo general: (G) Oficinas, IX. Industrial (máx. 1000m²): (D) Fábrica de conservas, pastelerías, molinos, (E) Fábrica de fundición, vidrio, madera, (F) Fabricación y reparación de maquinaria.
- Ronda de preguntas 6: II. Administrativo general: (G) Oficinas, IV. Hospitalario (medicina general y dentistas): (H) Sala de operación, quirófanos, salas de autopsias, IX. Industrial (máx. 1000m²): (E)

Fábrica de fundición, vidrio, madera, (F) Fabricación y reparación de maquinaria.

Ronda de preguntas 7: III. Docente: (I) Guarderías, VI. Residencial privado: (J) Cocinas, IV. Hospitalario: (H) Sala de operación, quirófanos, salas de autopsias, IX. Industrial (máx. 1000m²): (D) Fábrica de conservas, pastelerías, molinos.

Ronda de preguntas 8: III. Docente: (I) Guarderías, V. Comercial: (K) Supermercados, hipermercados y grandes almacenes, VI. Residencial vivienda: (J) Cocinas.

A continuación se resumen las variables escogidas para las preguntas de las encuestas:

Grupos de variables de la ronda 1, 3, 5,7								
CASO 1 Variables	1	13	33	54	75	86	x1	x4
Grupo	1	2	3	4	5	6	7	7
CASO 2 Variables	6	19	34	55	77	87	X6	X10
Grupo	1	2	3	4	5	6	7	7
CASO 3 Variables	9	22	36	56	79	88	X12	X15
Grupo	1	2	3	4	5	6	7	7
CASO 4 Variables	11	26	37	57	80	89	X19	X2
Grupo	1	2	3	4	5	6	7	7

Tabla 39 Grupos de variables lumínicas de las rondas impares contenidas en la matriz por grado de aceptación según actividad clasificada

De las 194 variables, 5.626 resultados según actividad clasificada, se eligen 64 para incluir en las encuestas. El total de variables consolidadas es de 109, así que se pregunta sobre más del 60% de las variables. De esta manera podemos determinar el grado de desviación que podría tener la tabla, del grado de aceptación teórico observado a partir del estudio de referencias, en relación con la valoración subjetiva obtenida a partir de las encuestas.

Al seleccionar las variables, se trata de hacer una distribución por grupos lo más homogénea posible:

Grupo de variables	1	2	3	4	5	6	7
Nº de variables elegidas	6	8	11	8	7	9	16

Tabla 40 Número de variables por grupo elegidas para las encuestas

El grupo 7 es el que más variables incluidas en las encuestas tiene, sin embargo sólo se incluyen dos por caso. Estas variables son las establecidas hasta ahora como mínimas para poder valorar cualquier sistema de control solar. Son variables medidas y comparadas con la valoración subjetiva de diferentes sistemas in situ (capítulo 2). Se incluyen de nuevo en las encuestas a modo de comprobación de los resultados obtenidos de los grupos de variables 1-6.

Grupos de variables de la ronda 2,4, 6, 8								
CASO 5 Variables	12	28	38	58	82	90	X5	X7
Grupo	1	2	3	4	5	6	7	7
CASO 6 Variables	157	29	39	66	83	109	X8	X11
Grupo	3	2	3	4	5	6	7	7
CASO 7 Variables	42	30	40	67	144	108	X13	X16
Grupo	3	2	3	4	5	6	7	7
CASO 8 Variables	125	31	49	71	85	163	X9	X22
Grupo	6	2	3	4	5	6	7	7

Tabla 41 Grupos de variables lumínicas de las rondas pares contenidas en la matriz por grado de aceptación según actividad clasificada

Tras las encuestas, se calcula el número de respuestas por grado de aceptación que se tiene de cada variable para cada actividad, y la importancia que le dan los encuestados a esa variable a la hora de diseñar ese espacio, como por ejemplo:

CASO 1 Espacio D Fábrica
Conservas

	1	3	5	7	9	1	2	3
1 Reflexión especular (espejo)	13	7	1	6	8	2	1	1
13 Figura simples (hueco ventana, vistas exterior)	15	7	0	6	7	4	0	0
33 Acento de luz	13	6	2	6	8	1	3	0
54 Encendido rápido	14	6	2	5	8	3	1	0
75 Destello/Fulgor (instantáneo) MARCA	12	6	2	6	9	3	1	0
86 Claridad	14	6	2	5	8	3	1	0
x1 Gradiente	12	7	2	5	9	3	1	0
x4 Factor de utilidad	14	6	2	4	9	4	0	0
	107	51	13	43	66	23	8	1

Los resultados de las encuestas se comparan con los datos establecidos en la matriz de base, y se calcula el grado de desviación de los datos teóricos y los obtenidos en las encuestas:

CASO 3 Espacio C Museo

Teórico	Encuestas	
5	3	2 +
7	7	0
5	3	2 +
3	1	2 +
5	5	0
3	3	0
1	1	0
3	1	2
desviación total media		1

CASO 7 Espacio B Religioso

Teórico	Encuestas	
3	3	0
3	1	2 +
3	3	0
5	5	0
1	3	2
5	7	2
3	1	2 +
3	1	2 +
desviación total media		1,25

Tabla 42 Ejemplo del caso 3 y 7 del cálculo de la desviación de la aceptación teórica y los resultados de las encuestas

Si la aceptación de la varía en positivo, es decir cambia por ejemplo de “posible (5)” a “deseado (3)”, entonces se añade una marca “+”. Si el grado de desviación de un caso da igual a dos o mayor, significa que la tabla tiene un error que hace que la opinión de los encuestados con respecto a la valoración teórica cambie en un grado, es decir podría cambiar de “ posible” a “no deseado”, lo cual significaría que la tabla es incorrecta.

La desviación calculada para cada uno de los bloques es siempre menor que dos. Por lo tanto, la matriz de base se incluye en *Alux* y a partir de las variables seleccionadas se establece el grado de aceptación que tendría cada espacio proyectado.

2. Planificación de las encuestas

Planificación estadística

La suma total de datos es la siguiente: las preguntas están divididas en ocho bloques, las personas son 60 encuestados, y se dividen por bloques de preguntas y actividad clasificada en cuatro rondas de preguntas, 256 en total. Este número fue considerado suficiente como para obtener un resultado representativo. Las encuestas se llevaron a cabo en persona a 60 personas, hombres (51%) y mujeres (49%). Un total de 55 personas elegidas para las encuestas eran completamente ajenas a la luz en la arquitectura, el resto eran expertos. Antes de comenzar con los cuestionarios, se les dio cierta explicación sobre los términos asociados a cada una de las preguntas, por medio del glosario de términos (Anexo 1) y se utilizó el gestor de referencias para poder elegir el concepto y mostrar el mayor número posible de imágenes relativas a ese concepto. Esto se hace para evitar posibles errores en las respuestas.

Las preguntas de los cuestionarios se formularon para poder determinar la aceptación de los usuarios respecto a las nuevas variables planteadas, siguiendo los siguientes aspectos generales:

- Grado de aceptación para la actividad clasificada elegida.
- Grado de importancia a la hora de diseñar el ambiente luminoso de un espacio dedicado a un uso concreto.

Las preguntas fueron analizadas con el programa informático SPSS (SPSS 12.0G for Windows. SPSS Inc. 2003-2015). Para conocer la veracidad de las respuestas, se diseñan las preguntas de manera que se comprueba la consistencia de éstas, preguntando varias veces lo mismo e intercalando preguntas sobre aspectos generales que nada tienen que ver con la iluminación.

Desarrollo de las encuestas

Las preguntas se realizaron en diferentes contextos arquitectónicos. En el capítulo 2, tratamos de establecer la aceptación de los usuarios de 6 sistemas diferentes y para ello se hicieron preguntas estando en los espacios acerca de su propia percepción. En este caso, se trata de establecer el grado de desviación de la tabla elaborada sobre la aceptación de cada una de las variables planteadas para un tipo de espacio con un uso diferente. Por lo tanto nos desvinculamos completamente de los espacios. Las encuestas no necesitan un periodo de adaptación. Se explica un concepto, luego se muestran las imágenes referenciadas y se

pregunta, primero si creen que es algo a tener en cuenta a la hora de diseñar ese espacio, y segundo el grado de aceptación que tendrían en ese espacio, para esa variable. Los espacios elegidos forman parte de la clasificación de espacios de representación del Código Técnico de la Edificación, son espacios muy generales, es por ello que se solicita antes que nada una descripción del espacio y cómo se lo imaginan. Este tipo de preguntas podría simplificarse y convertirse también en un formulario online, para poder abarcar un rango mayor de resultados y acotar el grado de desviación concretando cada vez más el tipo de espacio elegido.

Objetivo de las encuestas

Las encuestas dan lugar primero a un calibrado cada vez más preciso de la tabla de aceptación de las variables elegidas a partir de las referencias (194) en relación a diferentes usos. Esta tabla es la base para generar la *tabla de comprobación* que nos ayuda a determinar el grado de aceptación que tiene o va a tener un edificio dependiendo de las variables de la luz elegidas en su diseño. La tabla de comprobación es una herramienta sencilla que cuantifica las variables cualitativas de la luz y establece un equilibrio con el espacio.

3. Resultados de las encuestas

Las preguntas se dividen en 4 grandes bloques. Dentro de cada bloque hay 4 rondas de 8 preguntas, las mismas variables solo que para diferentes actividades. A cada persona se le pregunta sobre su aceptación y la importancia relativa de las 32 variables contenidas en los 4 casos/rondas. Las rondas de preguntas condicionan en cierto modo la respuesta. Del mismo modo, el orden de las preguntas también influye en cierto sentido en las respuestas.

Para cada ronda y luego para cada bloque se ha calculado el grado de desviación de la aceptación planteada por variable y actividad clasificada. En ningún caso la desviación llega a los dos puntos. Dos puntos significaría pasar de un grado de aceptación a otro: por ejemplo de “deseado” a “imprescindible” (capítulo 3.4). A continuación se muestran los resultados de una encuesta:

CASO 1 Espacio D Fábrica Conservas (Persona 46)			Aceptación	Importancia
1	1	Reflexión especular (espejo)	5	3
2	13	Figura simples (hueco ventana, vistas exterior)	1	1
3	33	Acento de luz	7	2
4	54	Encendido rápido	1	1
5	75	Destello/Fulgor (instantáneo) MARCA	9	1
6	86	Claridad	1	1
7	x1	Gradiente	7	1
7	x4	Factor de utilidad	1	1

CASO 2 Espacio E Fábrica metal (Persona 46)			Aceptación	Importancia
1	6	Transmisión directa	1	1
2	19	Transparencia/visibilidad	3	2
3	34	Brillo puntual	7	2
4	55	Combinación luz natural luz artificial	3	1

5	77	Efecto estroboscópico	9	1
6	87	Color	9	1
7	x6	Superación de los valores máximos (luminancias)	9	1
7	x10	Ganancias solares durante los periodos de calentamiento	9	1
CASO 3 Espacio F Fábrica Maquinaria (Persona 46)			Aceptación	Importancia
1	9	Absorción opacidad/transparencia	3	2
2	22	Dispersión (Magritte, The lost Jockey,1948)	9	1
3	36	Luz direccional (haz de luz)	7	1
4	56	Factor solar/Factor de Sombra	1	1
5	79	Luz en movimiento (vela, lámpara de aceite, LEDs)	7	1
6	88	Tonalidad/ matiz	3	2
7	x12	Composición espectral	1	1
7	x15	Posibilidad de control	1	1
CASO 4 Espacio G Oficinas (Persona 46)			Aceptación	Importancia
1	11	Interferencia/Difracción (ondulatoria)	3	2
2	26	Distribución homogénea (sin cambios entre espacios)	1	1
3	37	Mancha de luz /Superficie clara	3	2
4	57	Asoleamiento	1	1
5	80	Representación dinámica (teatro)	1	1
6	89	Luz de color	7	2
7	x19	Costes	1	1
7	x2	Nivel de iluminación	1	1

Tabla 43 Resultados de la encuesta realizada sobre 32 variables a una persona

Resultados generales

A continuación se resumen los resultados generales sobre el grado de aceptación de las variables por bloque:

Bloque 1 Casos 1-8, espacios A, B y C:

Variables	Grado de aceptación					Grado de importancia		
	Imprescindible [1]	Deseado [3]	Posible [5]	No deseado [7]	Prohibido [9]	Mucho [1]	Medio [2]	Nada [3]
Total grupo 1-6	101	120	65	82	13	239	119	23
Total grupo 7	59	21	16	18	14	100	24	4
TOTAL	160	141	81	100	27	339	143	27

Tabla 44 Resultados de las encuestas del bloque 1 casos 1-8, espacios A-C

De las 509 respuestas del bloque de preguntas 1, el 59,136% de las personas considera como las variables elegidas en el rango positivo entre imprescindible y deseado. Un 24,95% considera las variables elegidas para esa actividad clasificadas dentro del rango negativo. Pero sobretodo, el 94,695% de las personas considera necesario que se tengan en cuenta las variables elegidas.

Los bloques de preguntas 2, 3 y 4 muestran la misma tendencia que el primer bloque. Una rotunda mayoría considera las variables en el rango positivo y a tener muy en cuenta.

NOTA: al igual que en la encuesta realizadas en el capítulo 2, las personas son ajenas al estudio o diseño de la luz. Sin embargo, a cualquier persona a la que le cuentes que estás haciendo una investigación sobre la luz y el espacio, y luego le preguntes sobre si las variables de la luz en diferentes espacios son importantes, es muy probable (ca.95%) que conteste que sí, que lo son. Para poder comprobar la validez de las encuestas, se hicieron las mismas preguntas a niños entre 6 y 13 años. En el caso de los niños cambia de nuevo el conocimiento que se tiene sobre los efectos de la luz, y además de leer el glosario de términos juntos, se explica de una forma neutral cada una de las variables antes de preguntarles sobre su grado de aceptación. Los niños son menos dados a responder lo que uno quiere escuchar.

Por otro lado, se hizo una comparación de los resultados obtenidos en el grupo 7, variables contrastadas, con las nuevas variables contempladas. Además de estas dos comprobaciones, se les da la posibilidad de contestar por variable, algunas podrían ser importantes, y otras no. Otro aspecto respecto a la validez de las respuestas, es la diferenciación entre “muy importante” y “moderadamente importante”. Si hubiéramos preguntado entre importante “si/no”, las respuestas podrían tener menos validez. Sin embargo, la diferencia establecida recalca el hecho de que la mayoría de las personas (339 respuestas frente a 143) considera las variables elegidas como algo a tener muy en cuenta.

El grado de importancia “muy importante” y el grado de aceptación “imprescindible” van de la mano. Una respuesta moderada en una fila debe coincidir con la fila paralela.

El objetivo de las encuestas es calibrar la matriz de base. Si la tendencia hacia una respuesta condicionada por el contexto, fuera muy alta, el grado de desviación de la tabla sería mucho más alto que el obtenido.

Por lo tanto, han sido 5 las comprobaciones sobre la validez de las respuestas. Es muy probable que si la muestra fuera mayor, y por lo tanto no hubiese ese contacto personal de las encuestas, la tendencia no fuese tan acentuada (95%) como ocurrió con el test realizado online (capítulo 7.6, en cuyo caso se alcanzó una mayoría cercana al 80%), pero seguiría tendiendo hacia la valoración positiva de las variables y una importancia alta a la hora de diseñar cualquier espacio asociado a una tarea específica.

Para las variables en las que la persona no estaba segura de considerar un efecto de la luz como positivo o negativo, se plantea la posibilidad de contestar de una forma neutral, es decir dependiendo de las condiciones es “posible” que esa variable sea aceptable o no.

En el caso de espacios más habituales, como una estación de transporte (A) o una cocina (J) en el espacio residencial privado, las respuestas fueron más inmediatas y contundentes. En el caso de preguntas sobre “la eternidad (85)” en salas de operaciones (H) o la “activación de las emociones” en espacios de oficinas (G), las respuestas fueron divergentes y necesitaron un poco más de tiempo para responder.

Resultados particulares

A continuación se resumen las variables consideradas como muy negativas por actividad clasificada dentro del bloque 1 y 2:

Caso	Tipo	Espacio	Grupo	Nº	Variable	Aceptación	Nº respuestas
1	A	Transporte	5	75	Destello (MARCA)	Prohibido	1
5	A	Transporte	1	11	Interferencia	Prohibido	2
6	A	Transporte	3	39	Alto contraste	Prohibido	1
6	A	Transporte	5	83	Juego luces	Prohibido	1
2	B	Religioso	5	77	Ef. estroboscópico	Prohibido	3
4	B	Religioso	7	X7	Sup. contrastes	Prohibido	3
2	B	Religioso	7	X6	Superación valores máx. luminancias	Prohibido	3
7	B	Religioso	7	X10	Ganancias solares calentamiento	Prohibido	3
3	C	Museo	2	22	Dispersión	Prohibido	1
8	C	Museo	3	49	Luz difusa	Prohibido	1
1	C	Museo	1	1	Reflexión especular	Prohibido	1
1	C	Museo	2	13	Figuras simples	Prohibido	1
1	C	Museo	5	75	Destello (MARCA)	Prohibido	5
1	C	Museo	7	X1	Gradiente	Prohibido	1
5	C	Museo	1	12	Refracción	Prohibido	2
5	C	Museo	4	58	Anagrama	Prohibido	1
5	C	Museo	6	90	Aberración cr.	Prohibido	4
5	C	Museo	7	X7	Sup. contrastes	Prohibido	5
2	D	Fábrica	1	6	Transmisión dir.	Prohibido	2
2	D	Fábrica	2	19	Transparencia	Prohibido	1
2	D	Fábrica	3	34	Brillo puntual	Prohibido	4
2	D	Fábrica	5	77	Ef. estroboscópico	Prohibido	8
2	D	Fábrica	7	X6	Superación valores máx. luminancias	Prohibido	4
2	D	Fábrica	7	X10	Ganancias solares calentamiento	Prohibido	5
6	D	Fábrica	3	39	Alto contraste	Prohibido	3
6	D	Fábrica	5	83	Juego luces	Prohibido	1
3	E	Fábrica	2	22	Dispersión	Prohibido	2
3	E	Fábrica	3	36	Haz de luz	Prohibido	1
3	E	Fábrica	5	79	Movimiento luz	Prohibido	5
4	F	Fábrica	1	11	Interferencia	Prohibido	3
4	F	Fábrica	3	37	Mancha de luz	Prohibido	2
4	F	Fábrica	6	89	Luz de color	Prohibido	2
7	G	Oficinas	3	42	Patrón de luz	Prohibido	1
7	G	Oficinas	6	108	Distracción	Prohibido	2
8	H	Operaciones	6	125	Act. emociones	Prohibido	1
8	H	Operaciones	6	163	Luz narrativa	Prohibido	2
8	H	Operaciones	7	X9	Variación diaria	Prohibido	4
8	H	Operaciones	7	X21	Desarrollo ruidos	Prohibido	6

Tabla 45 Valoración negativa de las variables en los resultados de las encuestas en los bloques 1 y 2, casos 1-8

Como se mencionó anteriormente, el número de respuestas negativas es relativamente bajo. Hay ciertas variables, incluidas en el grupo 7 de verificación que son valoradas como muy negativas, ya que se plantean directamente en su valor negativo, es decir:

X10, grupo 7, Ganancias solares en periodos de calentamiento podría haberse formulado como lo siguiente \Leftrightarrow aporte térmico considerando las temperaturas exteriores.

Para este tipo de variables (negativas desde su formulación), coincide una valoración general negativa con una respuesta clara de que hay que tenerla muy en cuenta a la hora de diseñar cualquier espacio. No es tan importante si una variable es considerada como positiva o negativa, como la diferencia entre las respuestas obtenidas en las encuestas y las que tenemos a partir de la construcción de la matriz base.

Capítulo 6. El diseño de la luz solar

BLOQUE 1	CAPÍTULO 5 ACEPTACIÓN DE LOS USUARIOS CAPÍTULO 6 EL DISEÑO DE LA LUZ SOLAR	Introducción La luz natural y la solar El rayo de sol La luz solar en el detalle Configuración geométrica Configuración espacial Configuración temporal
----------	---	---

Introducción

Las cualidades principales de la luz solar son su condición geométrica y temporal. La luz directa se percibe como diagonal, como un haz de luz que atraviesa el espacio. Es preciso conocer la luz directa desde su configuración geométrica, espacial y temporal.

En el capítulo anterior, hemos tratado la aceptación de las personas de un ambiente interior. Para ello se establece que la realidad adquiere un nuevo valor diferente a la simple suma de fenómenos de la luz en el tiempo y el espacio. Se ha contemplado la valoración subjetiva de bloques de variables para un uso determinado. Y se ha establecido el grado de desviación con respecto a una matriz base de diseño de la luz y el espacio.

En este capítulo se estudia la luz directa, como variable especialmente importante en climas soleados, desde el punto de vista geométrico y temporal. Cada una de las 194 variables debería ser estudiada del mismo modo, es decir de una forma pormenorizada. Hacer esto con cada una de las variables planteadas en esta investigación, imposibilitaría llegar a su objetivo principal, que es la de recuperar la visión global de la complejidad espacial, para poder ahondar en cada efecto de la luz conservando en la memoria el punto de vista holístico de cualquier ambiente luminoso.

En el capítulo siguiente, se considera la luz solar desde el punto de vista del observador.

1. La luz natural y la solar

La luz natural es la parte visible de la radiación global⁴⁵. Es la suma visible de la radiación directa y la radiación difusa. Abarca las longitudes de onda entre 380-780nm⁴⁶. El máximo rango se encuentra en el azul (436-495 nm).

La luz solar es la parte visible de la radiación solar directa. Es dinámica, unidireccional, de gran intensidad y puede quedar anulada por obstáculos en su recorrido. Abarca las longitudes de onda del rango visible de la luz, entre 380-780nm.

La luz solar se comporta como onda cuando produce los efectos de refracción, dispersión, polarización y difracción y como partícula cuando llega a una superficie produciendo la absorción, la reflexión y/o la transmisión.

2. El rayo de sol

El rayo de luz solar es la línea imaginaria que representa la dirección por la que la luz solar se propaga e incide sobre una superficie. La utilización de este modelo simplifica los cálculos debido al principio de propagación en línea recta de la luz en medios homogéneos o isótropos, como son el aire y el agua. Indica normalmente la dirección de propagación de la luz.

El haz de luz solar es el conjunto de rayos luminosos que emite el sol. Los haces luminosos pueden estar constituidos por rayos divergentes, convergentes o paralelos. El haz solar es siempre divergente, sin embargo proviene de una fuente de luz muy alejada de nosotros, por eso se considera que llega a la tierra como un haz de rayos colimados o paralelos entre sí.

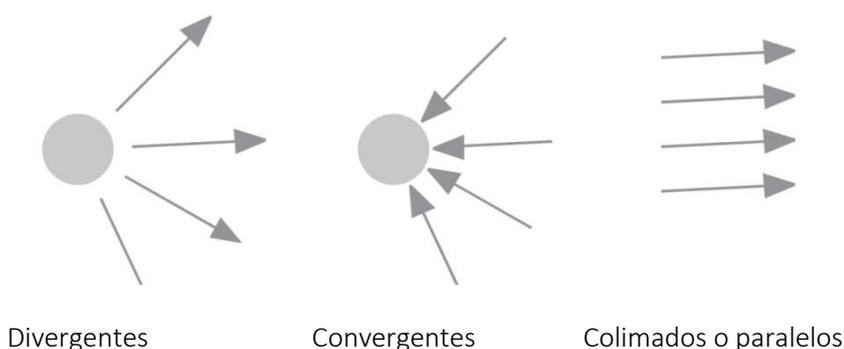


Imagen 13 Esquema de rayos de luz divergentes, convergentes y colimados

La iluminancia o nivel de iluminación de una superficie (E , lux) es la cantidad de luz recibida de una fuente de luz a una distancia determinada (d) por unidad de superficie: $E = I / d^2$ expresada

⁴⁵ La luz de la luna o de una luciérnaga también es luz procedente de una fuente natural.

⁴⁶ Un ojo adaptado a la luz generalmente tiene como máxima sensibilidad un valor de 555nm, en la región verde del espectro visible.

en luxes (lm/m^2). La ley de Kepler o del cuadrado de la distancia establece que la intensidad de la luz es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia del foco emisor.

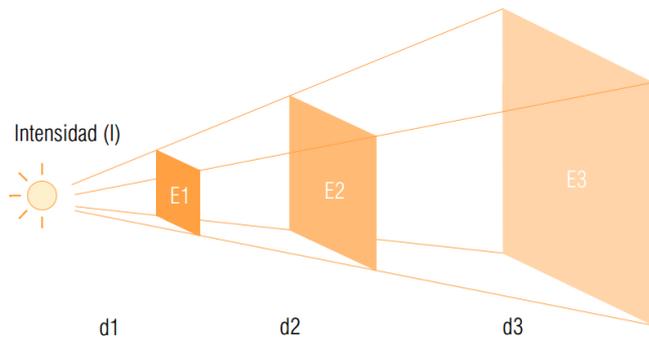


Imagen 14 Esquema de la ley de Kepler o del cuadrado de la distancia

3. La luz solar en el detalle

A nivel subatómico, la luz es una combinación de masa y energía que forman una unidad, una partícula elemental que se denomina fotón y una onda asociada a ésta. Cuando la luz incide en una superficie produce una perturbación capaz de producir tres resultados diferentes:

- La excitación, en la que el electrón de la corteza del átomo absorbe la energía suficiente para situarse en un nivel de energía más alejado del núcleo;
- La ionización, en la que el electrón adquiere suficiente energía y abandona el campo de fuerza del átomo, produciéndose una ionización (positiva, el átomo anteriormente en equilibrio deja de tener debido a la radiación el mismo número de electrones que de protones); y,
- La interacción nuclear, en la que la radiación electromagnética llega hasta el núcleo y desencadena procesos radiactivos de fusión nuclear, emisión de rayos β , etc.

Se mencionan estos tres efectos ya que son determinantes en relación a las propiedades ópticas de materiales complejos. Por ejemplo, hoy en día ciertos recubrimientos multicapas depositados sobre el vidrio permiten un mayor control energético del interior de un espacio a la vez que se mantienen las mismas posibilidades de visión a través de él y se mejoran las condiciones de confort. Existen también sensores opto-químicos que se utilizan para la monitorización de parámetros ambientales.

A nivel material, la interacción de la luz solar y la materia provoca tres efectos en grado variable según las características de cada material:

- La absorción en la que la luz cede energía a la materia, traduciéndose en un aumento de la temperatura si no logra deshacerse del exceso de energía;
- La reflexión cuando la luz aporta energía y de inmediato la materia libera energía, en algunos casos idénticas; y,
- La transmisión, en cuyo caso la luz sigue de largo sin ser perturbada por la estructura interna de la materia.

En cualquiera de estos tres casos, la velocidad de la luz incidente cambia; este cambio propicia la refracción de la luz.

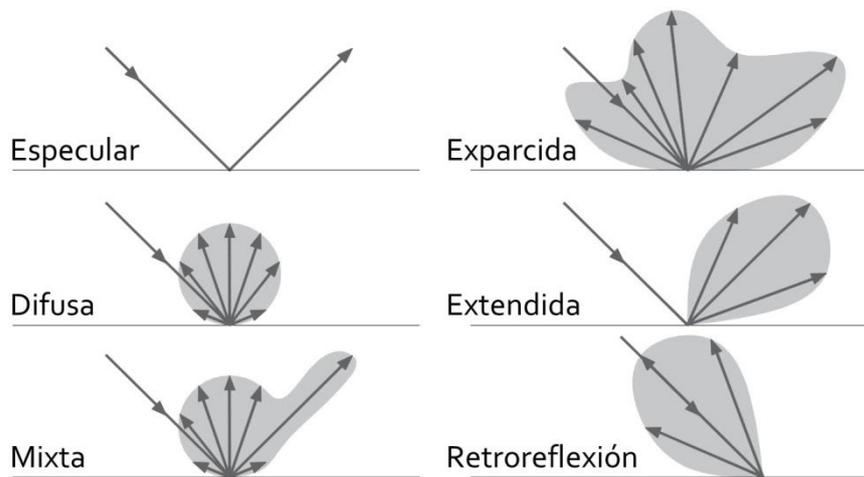


Figura 33 Esquemas gráficos sobre los diferentes tipos de reflexión

Una luz sin apenas información procedente de una fuente de **luz primaria** comienza a tener sentido comprobable desde el punto de vista psicológico para nosotros, a partir de que tiene contacto –la luz- con la modulación o la estructura de material adecuado (**luz secundaria**). Es decir, todas las diferencias de claridad y color forman los cambios de tiempo y lugar, y esta variación posibilita cualquier rendimiento cognitivo en el sentido de la visión de la realidad que nos rodea [BARTa]⁴⁷. Las luminancias de un objeto se pueden obtener a partir de las iluminancias incidentes y el coeficiente de reflexión dados a través de la siguiente fórmula:

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\pi}$$

Luminancias (L, cd/m²), iluminancias o nivel de iluminación (E, lux), (ρ) coeficiente de reflexión del material.

Esta fórmula es válida únicamente para superficies que reflejan en todos sus puntos en todas las direcciones con la misma fuerza, es decir, para la **reflexión difusa**.

Para la elección y composición del material según sus cualidades lumínicas y su repercusión óptica, es importante conocer cada parte de la luz que va a ser devuelta por el objeto; si la luz que no devuelve el objeto la absorbe o la transmite (coeficiente de transmisión τ):

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

(ρ) coeficiente de reflexión, (α) de absorción y (τ) de transmisión.

En la siguiente tabla [RIE]⁴⁸ se establecen los coeficientes de absorción, transmisión y reflexión de materiales traslúcidos, válidos para luz perpendicular incidente con una temperatura de color de aproximadamente 3000 K:

⁴⁷ BARTENBACH, C.; WITTING, W.: Handbuch für Lichtgestaltung. Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen, p. 143/4.

⁴⁸ [RIE] Handbuch für Beleuchtung; 5, Auflage; 1-5, p.13.

Material	Espesor	Coef. De transmisión	Coef. De reflexión	Coef. De absorción
Vidrio transparente liso	1-4	0,90-0,92	0,06-0,08	0,02-0,04
Prisma de vidrio	3-6	0,70-0,90	0,05-0,20	0,05-0,10
Vidrio ornamental	3-6	0,60-0,90	0,07-0,20	0,03-0,20
Vidrio de alambre	ca. 6	0,53-0,70	0,15-0,27	0,15-0,20
Vidrio mate grabado (luz sobre la parte lisa)	2-3	0,63-0,78	0,12-0,20	0,10-0,17
Vidrio mate grabado (luz sobre la parte mate)	2-3	0,82-0,88	0,07-0,08	0,05-0,10
Vidrio opaco (vidrio de transmisión)	2-3	0,36-0,66	0,31-0,54	0,03-0,10
Vidrio opaco (vidrio de reflexión)	2-4	0,12-0,38	0,42-0,57	0,20-0,31
Alabastro puro	11-13	0,17-0,30	0,54-0,62	0,16-0,21
Vidrio Thermolux	5-8	0,21-0,47	0,37-0,48	0,16-0,25
Vidrio acrílico transparente	ca. 3	ca. 0,92	ca. 0,08	ca. 0
Vidrio acrílico blanco difuso	ca. 3	0,55-0,78	0,17-0,41	0,04-0,05
Plástico blanco nublado	2-3	0,40-0,60	0,20-0,40	0,10-0,20
Pergamino blanco	1-2	0,35-0,55	0,35-0,50	0,10-0,15
Tela blanca fina (algodón, seda)	-	0,30-0,70	0,30-0,60	0,02-0,08

Los diferentes efectos entre la luz y la materia dan lugar al denominado espectro de reflectancia. Al irradiar un material, dependiendo de sus cualidades materiales (color y estructura interna), da lugar a un espectro diferente.



Figura 34 Esquemas gráficos sobre los diferentes espectros de reflectancia

La transparencia ideal de un material es posible solamente cuando una luz dirigida atraviesa el material en la misma dirección. De otra manera ocurren multitud de diferentes grados de transmisión difusa, determinados por el coeficiente de reflexión (ρ) y transmisión (τ) de un material hacia una iluminancia. Para los materiales traslúcidos hay un espectro de reflectancia característico, que nos muestra que longitud de onda en qué intensidad absorbe o deja pasar.

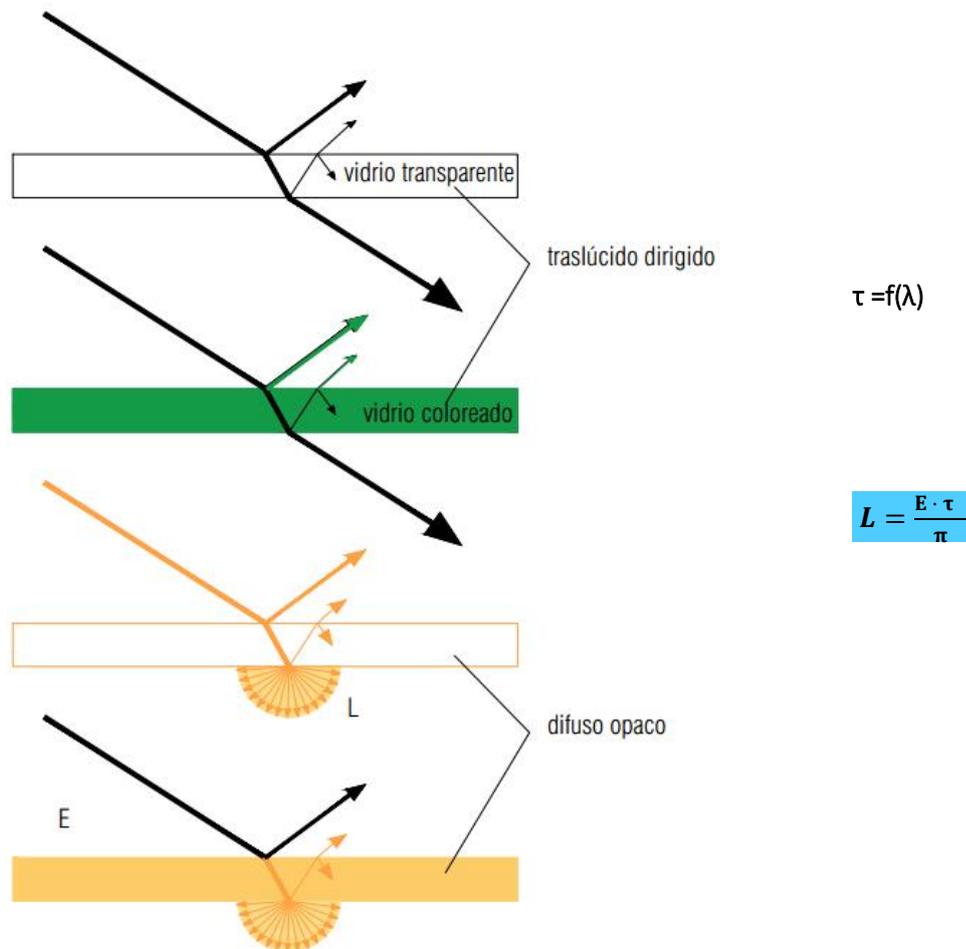


Figura 35 Esquemas de transmisión para materiales translúcidos

La luz primaria con sus propiedades espectrales específicas es modulada por los efectos de cambio con el material en un espacio, donde se forma la apariencia espacial y un **ambiente luminoso** concreto según una luz determinada. Las características del ambiente luminoso se determinan por un lado por las propiedades de la luz primaria (espectro, variaciones de la luz) y por otro lado por las propiedades físicas de las superficies con respecto a la luz.



Figura 36 Esquemas de ambiente luminoso a partir de la misma luz primaria y diferentes luces secundarias (pared clara y pared oscura)

Las teorías ondulatorias describen los siguientes fenómenos de la luz solar:

- La refracción, es el cambio brusco de dirección del haz de luz incidente al pasar por medio a otro que se origina en el cambio de velocidad de la onda. Cuanto mayor sea el índice de refracción mayor será la reflectividad del material (metales).
- La difracción, se define como la distorsión de una onda cuando se encuentra con un obstáculo opaco – placa con orificios, rendija comparable a la longitud de onda

incidente-. Cada punto del frente de ondas limitado por la rejilla se convierte en un foco emisor de ondas secundarias de idéntica frecuencia. Los focos secundarios que corresponden al extremo de la abertura generan ondas que son las responsables de que el haz se abra tras la rendija y bordee sus esquinas. En los puntos intermedios se producen superposiciones de las ondas secundarias que dan lugar a zonas de intensidad máxima y de intensidad mínima típicas de los fenómenos de interferencia. Esto es, un haz de luz monocromático difractado forma bandas de luz y oscuridad en la pantalla proyectada. La difracción y las interferencias no están presentes en la dinámica de partículas. Una partícula produciría simplemente sombras definidas. La cantidad de difracción estará dada en función del tamaño de la propia abertura y de la longitud de onda. Si una abertura es grande en comparación con la longitud de onda, el efecto de la difracción es pequeño.

- La dispersión, es la separación de un haz de luz en sus componentes monocromáticas debido a que cada longitud de onda tiene diferentes ángulos de refracción.
- La polarización, en el proceso por el cual la luz que vive en todas las direcciones perpendiculares a la dirección de su propagación es filtrada, dejando pasar la energía en un único plano. Existen tres tipos de polarización lineal, circular y elíptica.

4. Configuración geométrica

La Iluminancia (E) de una superficie se calcula por la ley de Lambert que establece que la intensidad de la luz que llega a una superficie es proporcional al coseno del ángulo formado por dicha superficie y la dirección de emisión.

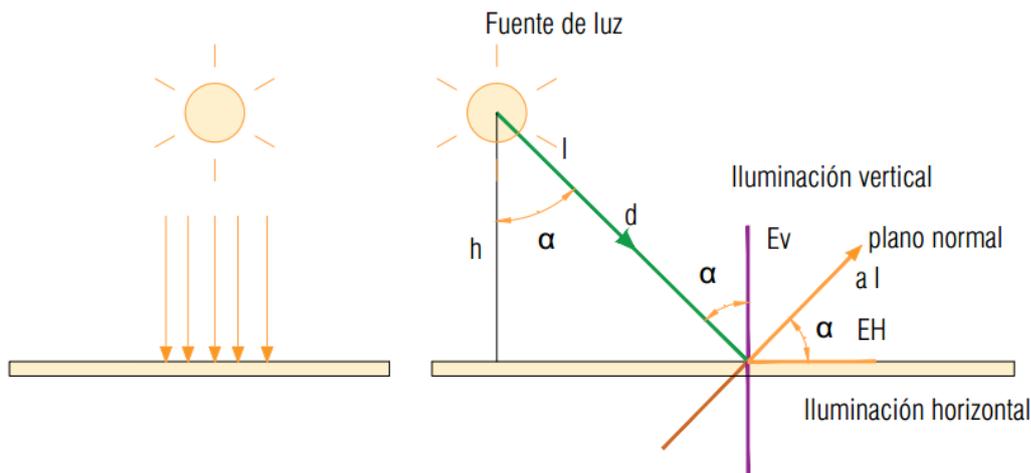


Imagen 15 Esquema gráfico sobre la Ley de Lambert

Suponiendo una fuente de luz con una potencia $P = 50.000 \text{ W}$ con un rendimiento de $R = 115 \text{ lm/W}$, el flujo luminoso sería $\Phi = P \times R = 50.000 \times 115 = 5.750.000 \text{ lm}$. Si la intensidad es igual en todas sus direcciones, $I = \Phi / \omega = 5.750.000 / 4\pi \text{ l}^2 = 457.802,55 \text{ cd}$, a una distancia $d = 2$ metros de la superficie y un ángulo de incidencia $\varphi = 30^\circ$, se obtienen como resultado los valores siguientes:

$E_H = I \cdot \cos \alpha / d^2 = 99.117,16$ lux, iluminancias en el plano horizontal (E_H)

$E_V = I \cdot \sin \alpha / d^2 = 57.225,32$ lux, iluminancias en el plano vertical (E_V)

A continuación se resumen las diferentes configuraciones geométricas que se describen más adelante:

- Foco solar que marca u oculta un punto concreto del espacio.
- Línea de luz diagonal que atraviesa el espacio
- Rayado de luz que moldea el espacio
- Manchas de luz de tamaño medio aisladas o muy separadas entre sí
- Grandes superficies de luz iluminadas, probablemente con un aporte térmico significativo
- Múltiples manchas de luz de alta intensidad y contraste

Ciertos estudios sobre la configuración geométrica de las manchas solares en el interior de los edificios hacen una clasificación en tres grupos: manchas pequeñas, medianas y grandes, a partir del tamaño de los huecos en la envolvente edificatoria. Es importante destacar que dentro de la configuración geométrica de las manchas solares, hasta cuatro tipos de los planteados no significan un aporte térmico significativo. Por otro lado, una de las variables más importantes es el tiempo que permanece la mancha en el interior de un espacio determinado, al igual que el tiempo que está el observador desarrollando una misma tarea y por supuesto si la mancha está en el campo visual primario, secundario o terciario. A continuación se hace una descripción más detallada de cada uno de los tipos de manchas:

- Foco solar que marca u oculta un punto concreto del espacio. La arquitectura abre un óculo en la cúpula del Panteón de Adriano (125 d.C.) y nos revela las dimensiones de la cúpula mediante un círculo de sol. Ese foco de luz cenital nos indica un lugar y un momento del día. El ser humano necesita esa información para poder situarse, sus ritmos circadianos coinciden con la variación natural de la luz (foto 1, Jordi Bernadó). La luz dirigida puede producir profundidad espacial, tensión en el claro oscuro o despertar la atención sobre un punto.
 - Línea de luz diagonal que atraviesa el espacio. La pared actúa como reflector de la luz incidente, de manera que percibimos una mancha precisa de luz de alta intensidad que varía según la posición del sol. Esta línea rompe la configuración geométrica del espacio. Se trata de una línea que a veces se convierte en límite, otras veces centra nuestra atención en el final de la recta en un punto en el interior con la exactitud de un reloj solar. Esta línea no genera un aporte térmico significativo para el espacio marcado (foto 2).
 - Rayado de luz que moldea el espacio. Exceptuando algún ejemplo (Wissa Wooden Hotel) estas líneas suelen ser paralelas. A veces llegan a deformar el espacio completamente, otras veces simplemente adornan las superficies unificando fondo y figura, creando una piel continua dinámica. En la casa Gilardi (Barragán, 1973/5) las líneas paralelas van marcando el recorrido con un degradado en tonos amarillos; cada línea de sombra da lugar a una línea más intensa de amarillo, galería de luz que insinúa el camino hacia un amplio espacio azul iluminado cenitalmente.
-



Imagen 16 Ejemplos de diferentes manchas solares. Fuente: gestor de referencias

- Manchas de luz de tamaño medio aisladas o muy separadas entre sí. En las regiones soleadas, la luz difusa no es el componente más importante de la iluminación natural. En este caso el tamaño de la mancha y su duración son de vital importancia. Según los estudios de Grandjean [GRAN]⁴⁹, estas manchas son deseadas durante al menos 2/3 horas en el salón, llegando a 4 horas para las habitaciones de los niños en casas de grandes dimensiones (3 a 5 habitaciones). Las dimensiones óptimas de estas manchas solares están entre 15-25% de la superficie [473]⁵⁰. En la práctica, podemos partir de la base de que para las manchas con un valor de 4000 cd/m² de luminancias procedentes de la luz natural, incluso sobre la pantalla de ordenador, no llegan a ser molestas [019]⁵¹.
- Grandes superficies de luz iluminadas, probablemente con gran aporte térmico. Son pocos pero de gran interés los museos que hoy en día permiten la entrada de luz directa en el interior de sus espacios expositivos. Por medio incluso de grandes ventanales posibilitan las vistas hacia el exterior o hacia un patio interior por el que continúa el recorrido de la exposición mientras descansa nuestra mirada. Percibimos diferencias⁵², es decir vemos porque hay niveles de iluminación diferentes, si no nuestros ojos dejarían de ver. Cuando estas diferencias no existen, el cerebro las sigue creando para poder seguir entendiendo el espacio. Si entendemos la arquitectura a través del recorrido, como una sucesión de espacios y situaciones, éstos deben variar y las personas que están acostumbradas a que estos cambios sean de alto contraste (luz/sombra) tienen la expectativa de que esto siga siendo así. Igual que el deslumbramiento, la excesiva homogeneidad en cualquier espacio es percibida como algo incómodo. A la vez, una luz homogénea puede hacer que los límites espaciales se difuminen, que el tiempo se pare. Cuando las manchas ocupan una superficie y durante un tiempo significativo, están asociadas a un gran aporte térmico en climas con una eficacia luminosa muy baja. En climas cálidos se debería considerar algún

⁴⁹ GRANDJEAN, Etienne: Wohnphysiologie. Grundlagen gesunden Wohnens, p.258.

⁵⁰ TREGENZA, P.: The design of light, p.94.

⁵¹ SCHUSTER, H.G.: Tageslichtsysteme im Spiegel der Nutzer - Zur Nutzerakzeptanz von Sonnenschutz- und Lichtlenksystemen in Büroräumen. Dissertation an der Universität Dortmund (2006).

⁵² El umbral diferencial es la cantidad de estímulo que se requiere para que un receptor perceptivo (oído, vista, tacto, olfato, gusto) pueda captar una variación en el estímulo variación de sensación.

mecanismo de control solar externo para combatir un calentamiento excesivo y la exposición excesiva a los rayos ultravioletas. Destacan las celosías, los porches, soportales, habitaciones sombrías, huecos pequeños. Los lugares oscuros tienen connotaciones positivas. Sin embargo en el norte lo oscuro se trata de llenar como sea de luz, se trata de captar el máximo de una luz escasa en tiempo e intensidad, aportando claridad a los espacios.

- Múltiples manchas de luz de alta intensidad y contraste. Estas manchas suelen superponerse al espacio sin tener en cuenta su configuración espacial (Imagen 4). Son habituales en espacios de transición como patrones de luz definidos por una celosía. Espacios donde el claro oscuro crea una cierta conexión con las formas naturales (Bodega de Herzog y De Meuron) o espacios incompletos en los que los vacíos de luz se completan con la imaginación (Kolumba Museum). Las celosías en ciertas ocasiones permiten ver el exterior sin ser vistos, permiten el control solar en el interior y por lo tanto evitan el sobrecalentamiento. Un cúmulo de pequeñas manchas de luz cambiantes podrían considerarse como *ruido luminoso* en determinados espacios (quirófano).



En el plano XY, degradación de la luz solar:

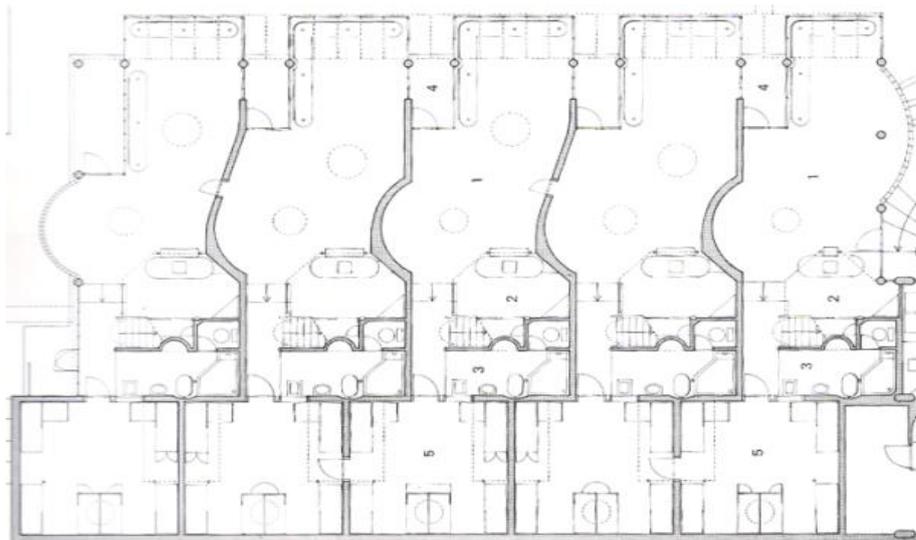


Imagen 17 Hubertus House, 1973/8, Aldo van Eyck

En planta se ve claramente como la configuración del espacio acompaña a la luz: se hace más rígida hacia la oscuridad y más sinuosa hacia el exterior, hasta que los muros se desvanecen y ya sólo queda la carpintería.

Variación en el tiempo. El mismo espacio es capaz de generar diferentes manchas a lo largo del día, dependiendo de la intensidad de la fuente de luz o el ángulo de incidencia. La misma solución tiene una apariencia totalmente distinta en un día cubierto que en uno soleado, al igual que cambia según el recorrido solar en un mismo día.

Cálculo de iluminancias a partir de la luminancia de una fuente de luz difusa:

$$E_H = \pi \cdot L \cdot \sin^2 \alpha$$

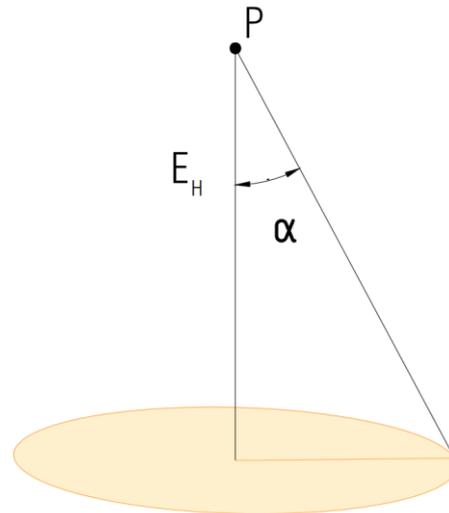


Figura 37 Esquema de iluminancias a partir de una mancha solar

Z
Y En el plano YZ, manchas de luz solar en el interior en diferentes configuraciones:

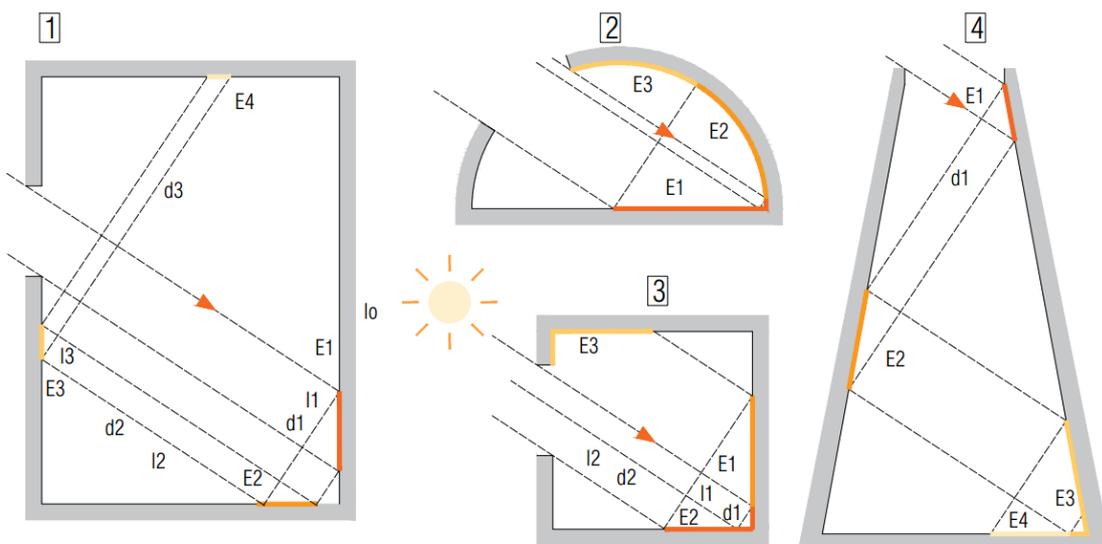


Imagen 18 Esquemas de reflexión especular según diferentes configuraciones geométricas

Figura 1. Espacio rectangular, ventana pequeña alta en espacio amplio. Las manchas están dispersas y las grandes distancias entre un paramento y otro hacen que la intensidad disminuya de una reflexión a otra mucho.

Figura 2. Espacio compacto semicircular, con una gran apertura. La mancha de luz ilumina el espacio y se forma un degradado de luminancias hacia el hueco.

Figura 3. Espacio compacto, cuadrado. La luz se refleja en el paramento del fondo y llega hasta el techo.

Figura 4. Espacio alargado, trapezoidal. Las manchas aumentan de tamaño y si la superficie tiene un coeficiente de reflexión alto la intensidad no disminuye excesivamente. Las distancias entre paramentos hacen que la intensidad sea mucho menor que en un tubo solar.

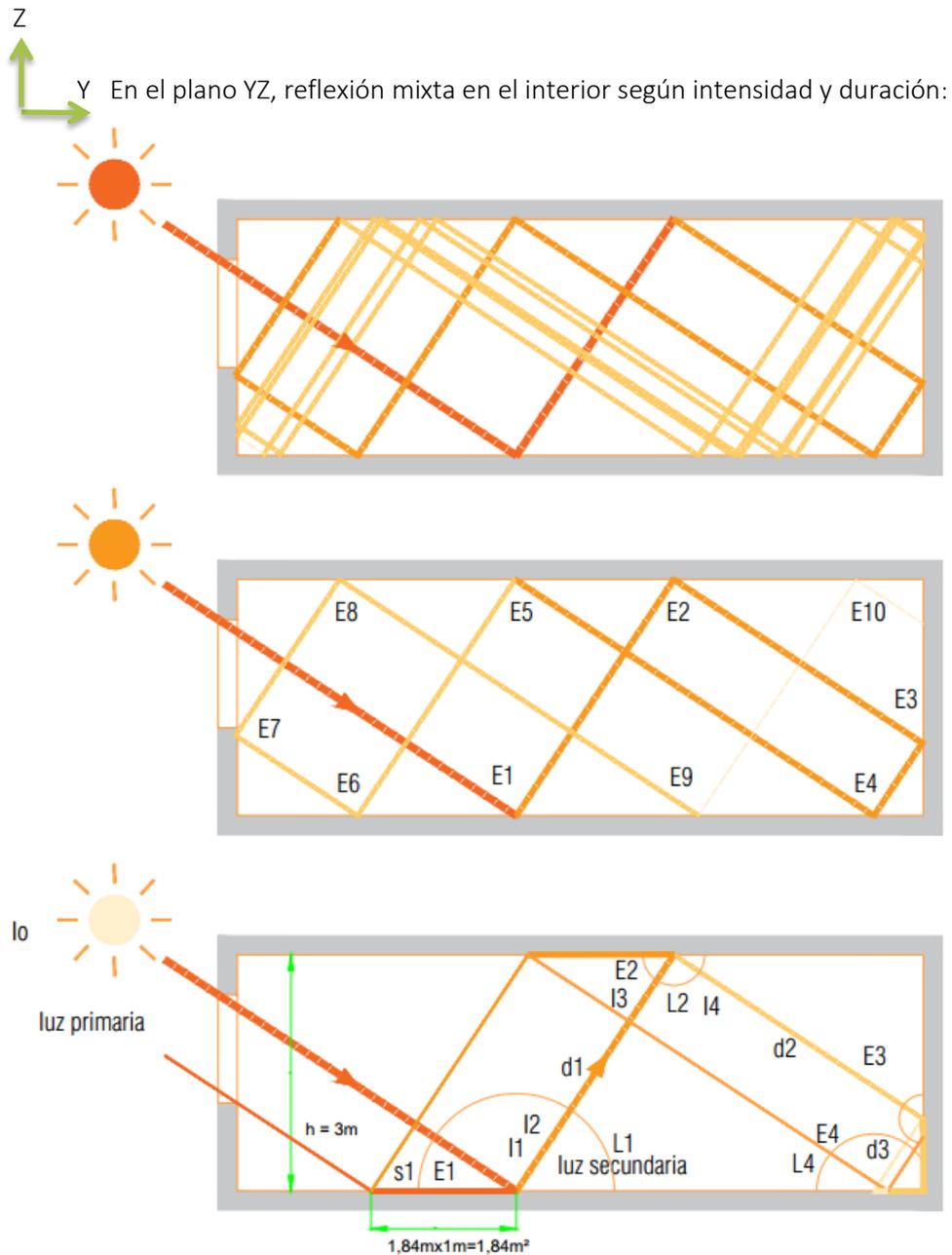


Figura 38 Esquemas de reflexión dependiendo de la intensidad del rayo (altura solar)

Coefficiente de reflexión $\rho = 0,90$

$$I_0 = 458.000 \text{ cd}$$

$$E_1 = I_0/d_0^2 = 37.388 \text{ lm/m}^2$$

$$I_3 = 0,90 \times I_0 + I_2 = 412.200 \text{ cd} + 11.715 \text{ cd} = 423.915 \text{ cd}$$

$$E_2 = I_3/d_1^2 = 32.676 \text{ lx}$$

$$L1 = E1 \times 0,90/\pi = 10.710 \text{ cd/m}^2 \text{ (reflexión difusa)}$$

$$L2 = 9.361 \text{ cd/m}^2$$

La luz solar al chocar con una superficie crea una mancha de luz intensa que a su vez aumenta los niveles de luz (luxes) en el interior por reflexión en paredes y superficies de los objetos. La mancha se convierte en una nueva fuente de luz. Si además, la intensidad se mantiene

constante o incrementa con el tiempo, con el mismo tamaño de la mancha – superficie reflectante- las luminancias aumentan, y por lo tanto con ellas la iluminación.



Figura 39 Esquema de filtros solares en fachada, diferentes grados de opacidad. Fuente: elaboración propia

El porcentaje de huecos pero también su disposición en fachada, permiten moldear la luz solar en el interior de los espacios.

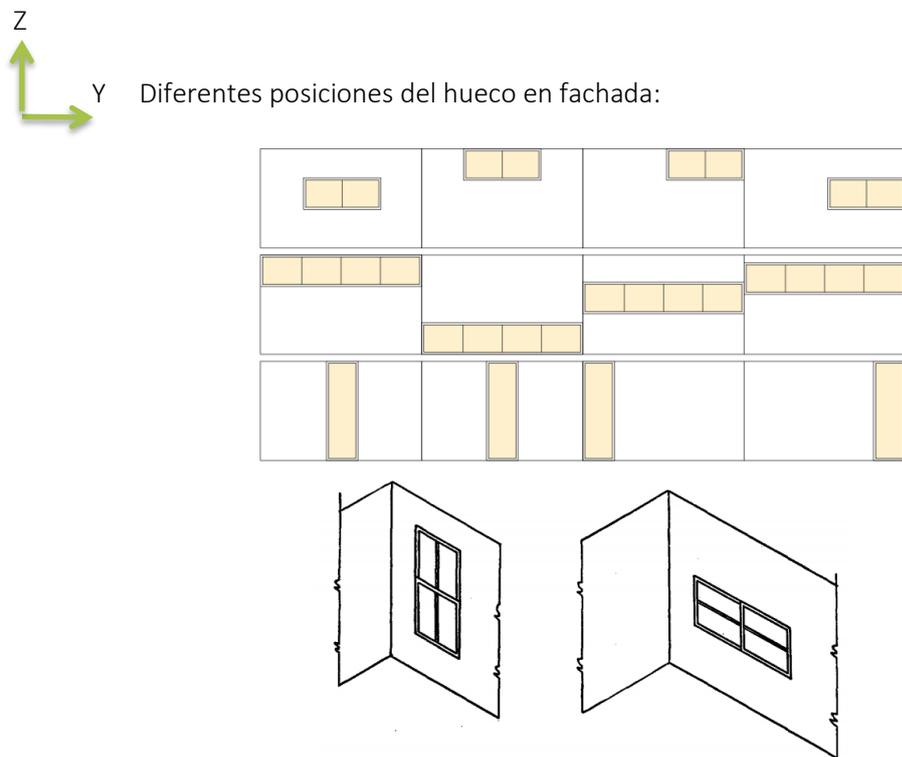


Figura 40 Esquemas de ventanas horizontal y vertical en diferentes posiciones

La ventana de Louis Kahn:

La ventana en forma de llave inventada por Kahn, tiene una doble función: el panel horizontal a ras del panel vertical y del techo, provee al espacio de luz generosa, el panel vertical permite las vistas hacia el exterior conservando la intimidad.

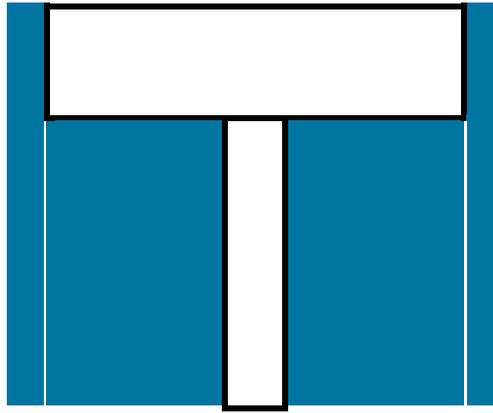


Figura 41 Esquema de la ventana en llave de Louis Kahn

5. Configuración espacial

Para definir el espacio interior, los medios probablemente más importantes son la posición, textura, color e iluminación –modelado de la forma- de las superficies. El espacio está determinado por las superficies limítrofes, las aperturas y el tratamiento que se le da a cada uno de ellos. De forma simplificada, el espacio interior queda definido a partir del techo, los paramentos o paredes y el suelo. El suelo suele ser una superficie más o menos plana, aunque puede contener diferencias de nivel e inclinaciones –escaleras, rampas-. El techo suele tener una posición fija y se percibe como distante. El tratamiento de las paredes suele ofrecer mayor libertad que los anteriores elementos.

Una propiedad fundamental de nuestro entorno es su tridimensionalidad. Abarca diferentes áreas individuales, desde la extensión del espacio a nuestro alrededor, por la situación y orientación de los objetos en el espacio, hasta su forma espacial y estructura de la superficie. En la percepción de estos aspectos intervienen numerosos procesos fisiológicos y de percepción psicológica.

Obviamente, nuestra percepción del espacio se da cuando el *mapa de luminancias tridimensional* que aparece en nuestro campo visual adquiere significado, o sea cuando nuestro cerebro las procesa. Lo que significa: primero, no somos capaces de ver la luz (E) en sí, sino que la vemos cuando choca con algo y este algo nos la devuelve (L). La variación de luminancias es lo que procesamos para entender nuestro entorno; segundo, no somos capaces de decidir cuando dejamos de procesar la información que recibimos⁵³. Así que utilizamos herramientas de

⁵³ M. Proust: El Mundo de Guermantes, Madrid, Alianza: “el testigo, el observador con sombrero y gabán de viaje; el extraño que no es de la casa, el fotógrafo que viene a tomar un “cliché” de unos lugares que no volverán a verse. Lo que, mecánicamente, se produjo en aquel momento en mis ojos cuando vi a mi abuela, fue realmente una fotografía. Nunca veos a los seres queridos como no sea en el sistema animado, en el movimiento perpetuo de nuestra incesante ternura, que, antes de dejar que las imágenes que su rostro nos presenta lleguen hasta nosotros, arrebatada en su torbellino a esos seres, los lanza sobre la idea que de ellos nos formamos desde siempre, hace que se adhieran a ella, que coincidan con ella (...)Yo, para quien mi abuela era todavía yo mismo, yo, que jamás la había visto fuera de mi alma, siempre en el mismo

medición y grabación para poder analizar en mayor profundidad nuestro espacio, de una manera *objetiva*. Un instante con una complejidad espacial determinada puede quedar grabado a través de la fotografía de manera que nuestros ojos *vuelvan a ver* sin procesar de forma inmediata. La complejidad espacial no quedaría definida en su totalidad a partir de situaciones lumínicas estáticas descontextualizadas, pero dentro de sus limitaciones consigue detener el tiempo pudiendo luego volver al contexto lumínico complejo, donde la luz nos influye simultáneamente a todos los niveles: físico, corporal, perceptivo y espiritual.

6. Configuración temporal

El primer elemento que permitió la entrada de luz al interior oscuro pudo ser la puerta. Desde entonces la luz penetra en nuestros espacios de forma gradual o invade de una vez todo el espacio o sencillamente va recorriendo de zona en zona tocando suavemente todo lo que se encuentra en su camino. En cuanto la luz y el tiempo sabemos también que los edificios tienen dos caras, una de día y otra de noche, una definida por la luz artificial y otra por la luz natural, y en medio una combinación de ambas. El paso del día a la noche a veces es muy largo; en el norte puedes sentarte a ver el atardecer⁵⁴, mientras en otros lugares del mundo no te daría tiempo ni de ir a buscar la silla [TAN]⁵⁵.

*“Una elipse tiene dos focos centrales, y su forma sugiere el movimiento. Un círculo y una esfera producen la sensación de ser completos en sí mismos, y de estar situados en una fase eterna. Por el contrario, una elipse sugiere una dirección que avanza hacia el futuro, al tiempo que oscila entre los polos del pasado y el futuro. Mi intención fue la de construir un espacio con estas directrices.”*⁵⁶

En el contexto arquitectónico se puede atender a los diferentes tiempos según su posición: interior (individuo), exterior (mundo) y compartido (histórico). En el estudio de la luz solar es imprescindible entender la posición temporal frente a la espacial.

El tiempo externo es impuesto, subraya el incesante movimiento del cosmos, la repetición y el ciclo: los días y las noches, los meses, estaciones y añadas. El tiempo exterior o del mundo se origina con el estudio del tiempo físico, en el sentido real, aparentemente medible y con un instante neutro en el sentido absoluto y universal.

lugar del pasado, a través de la transparencia de los recuerdos contiguos y superpuestos, de repente (...) por vez primera y sólo por un instante, porque desapareció bien pronto, distinguí en el canapé, bajo la lámpara, colorada, pesada y vulgar, enferma, soñando, paseando por un libro unos ojos un poco extraviados, a una vieja consumida, desconocida para mí.”

⁵⁴ Luz del Norte, Museo Nacional Centro de Arte reina Sofía, Madrid 1995.

⁵⁵ TANIZAKI, Junichiro: El Elogio de la sombra. *En Occidente, el poderoso aliado de la belleza ha sido siempre la luz. <en cambio en la estética tradicional japonesa lo esencial es captar el enigma de la sombra. Lo bello no es la sustancia en sí sino un juego de claroscuros producido por la yuxtaposición de diferentes sustancias que va formando el juego sutil de las modulaciones de la sombra.*

⁵⁶ Tadao Ando, El croquis 44, p.187



Figura 42 1) Tiempo continuo uniforme, infinito, lineal, divisible en segmentos a voluntad. 2) Tiempo eterno, reinterpretación cíclica de la realidad.

La concepción circular de la experiencia temporal, además de en la agricultura, hunde sus raíces en la cultura oriental. El diagrama del tiempo permite definir un área de atemporalidad en su centro, es decir, el tiempo circular, a diferencia del lineal, es un tiempo religioso que define la posición estática y/o eterna (centro) y un retorno constante⁵⁷. Este tipo de tiempo forma parte de nuestro legado socio- cultural⁵⁸. Esperamos que el *tiempo del mundo* sea como se espera que debe ser (expectativas culturales).

El tiempo del individuo según Martin Heidegger (intratemporalidad) y Paul Ricoeur (fenomenológico) es el tiempo que viene definido por la conciencia despierta y la condición biológica que como seres vivos no podemos evitar. Para Hussler el tiempo pasado del individuo es singularmente activo en nuestra conciencia, de tal modo que su rememoración crea una especie de modificaciones en el mismo al hacerse presente de nuevo y volver con ello a reescribir (rememorar) su esencia en forma de vivencia y, por lo tanto, acumular una experiencia adicional de significado.

Por un lado se podría entender estas experiencias irrepetibles como huellas en el tiempo o destellos de luz que permanecen mientras lo demás desaparece; una serie de instantes que nos marcan por algún motivo y que permanecen inmóviles en el tiempo subjetivo (*The Decisive Moment*, Henri Cartier Bresson). Por otro lado, estas marcas se encuentran en nuestra memoria y pueden ser ese material lumínico maleable que se transforma con cada viaje hacia el presente.

La percepción del tiempo no es igual para todos, incluso una misma persona lo percibe diferente en cada momento.

*“Ayer fue miércoles toda la mañana.
por la tarde cambió:
se puso a casi lunes,
La tristeza invadió los corazones
Y hubo un claro
movimiento de pánico hacia los
tranvías
que llevan los bañistas hasta el río. [...]”⁵⁹*

⁵⁷ Construcción de los templos japoneses.

⁵⁸ ROBERT, Elías (1982): *Apenas podemos exagerar la importancia de este cambio: el tiempo físico a partir del tiempo social.*”

⁵⁹ GONZALEZ, Ángel: Antología poética, Ayer, p. 59, Literatura Alianza Editorial 1998, , ISBN 84-206-5590-2

En resumen, el tiempo del individuo carece de instantes neutros que caracterizan al tiempo del mundo, ya que éste (el mundo) carece de objetividad para nosotros, la línea temporal está constituida por instantes percibidos (Merleau- Ponty, 1945).

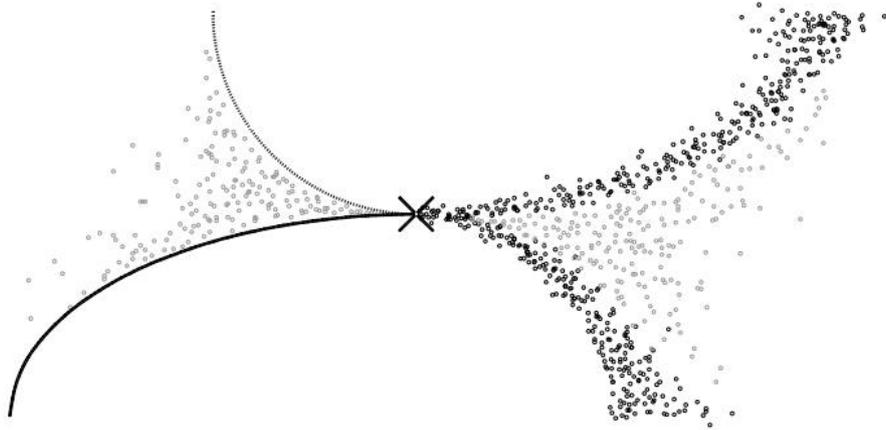


Imagen 19 Bachelard, G., *La intuición del instante* (1932). Fondo de cultura, Méjico, 2000. Esquema asimétrico y curvo variable. El porvenir es entendido como un manantial, discontinuo del que brota el tiempo, el instante

En el tiempo individual el movimiento de la luz en el espacio puede ser eterno o esfumarse en un instante sin ser apenas percibido. La luz en el tiempo dibuja su propio movimiento. Es el tiempo individual en el que es percibido ese movimiento natural, la arquitectura simplemente presencia o registra los movimientos mientras que nosotros nos ocupamos de acotar ese fenómeno variable que es la luz solar, como lo hicieron otros con el movimiento de un cuerpo o de un objeto (Duchamp, László Moholy-Nagy).



Imagen 20 De izquierda a derecha: Duchamp (1), László Moholy-Nagy (2) y Picasso dibujando con luz en Vallauris, 1949 (3)

En ese tiempo individual se encuentra el recorrido en el que se articulan los espacios que componen un edificio. Este recorrido puede tener múltiples formas, simples o complejas. Cada uno de estos recorridos depende de la lectura individual que se le da al espacio en el tiempo.

Puede estar predeterminado (IKEA, promenade de la Villa Saboye) o puede ser libre. En una situación intermedia nos movemos por ejemplo en las obras de Alvaar Alto donde lo solemos hacer entorno a un espacio central, respecto al cual es generan tangencialmente todos nuestros movimientos como los diferentes volúmenes que los acogen y la luz que baña esos espacios. Desde el punto de vista de la iluminación las transiciones espaciales generadas por el movimiento individual son de gran importancia al igual que lo es el propio movimiento de la luz.

En cuanto a la traslación de la experiencia cinematográfica al proyecto arquitectónico (Graham Cairns, *El arquitecto detrás de la cámara*) quizás uno de los que más claramente lo han hecho podría ser Carlo Scarpa, por la revelación secuencial del espacio (también la usa Barragán), la importancia que le da al punto de vista y la imposición de encuadres pictóricos. Jean Nouvel quizás por sus cortes fílmicos en sus saltos de escala repentinos y por su relación con la fenomenología. La fotografía que también ha influido en la arquitectura de manera significativa, proporciona tal vez una visión más estática que el cine.

El tiempo histórico es el tiempo compartido. Brandel señala: “*es más apropiado hablar de estratos temporales que de un único tiempo histórico: un tiempo de larga duración, uno en medio de la coyuntura y el tiempo de corto acontecimiento*”. Se trata del registro del tiempo en la memoria común.

En resumen, en cuanto a la luz y el tiempo, en la definición de variables se establecieron dos subgrupos: el tiempo continuo y el discontinuo. Pero también podemos añadir el tiempo acelerado, arquitectura de Tadao Ando o el tiempo fragmentado (Jean Nouel), incluso deslizado en las traslaciones provocadas por Daniel Libeskind. Al igual que la arquitectura se puede considerar como la composición de formas bajo la luz, el espacio puede estar definido por una sucesión de instantes inconexos o por el contrario como un auténtico un *promenade* propio de Le Corbusier.

El tiempo se puede detener en un punto, siempre en el mismo, como ocurre en la película *Smoke* en un álbum de fotos siempre en el mismo lugar, a la misma hora, mostrando siempre instantes diferentes, o como ocurre cuando Claude Monet, 1892, cuando decide pintar La Cathédrale de Rouen, Le Portail au Soleil. Ir al mismo sitio a dibujar lo mismo, con diferente luz, un instante completamente diferente.

El tiempo puede ser repetitivo cuando circulamos por un pasillo con ventanas iguales, incluso estroboscópico, como ocurre en *El día de la marmota*.

Capítulo 7. La luz solar desde el observador

BLOQUE 1

CAPÍTULO 5 ACEPTACIÓN
DE LOS USUARIOS
CAPÍTULO 7 LA LUZ SOLAR
DESDE EL OBSERVADOR

Introducción
Iluminancias y luminancias
Agudeza visual y sensibilidad
Deslumbramientos
Memoria y representación
Influencia sobre el ambiente luminoso

Introducción

En el capítulo anterior hemos estudiado la luz solar desde su condición geométrica, espacial y temporal. En un momento histórico se llegó a considerar que sin la mirada no existía la luz, prácticamente el rayo de luz salía de nuestros ojos para conformar la realidad, es decir sin un observador que creara la realidad no existiría tal realidad.

En este capítulo se considera la luz solar desde el punto de vista del observador, cómo le influye, cómo la recuerda y representa y la preferencia de la mayoría de las personas de las manchas solares.

En el siguiente capítulo se hace una nueva caracterización de la luz solar en la arquitectura a partir de las variables obtenidas en el estudio de referencias, relacionadas de algún modo con la luz solar directa procedente del sol.

1. Iluminancias y luminancias

Su unidad es la candela [cd]. Es decir, es una medida de cuanta luz emite el haz en una dirección particular.

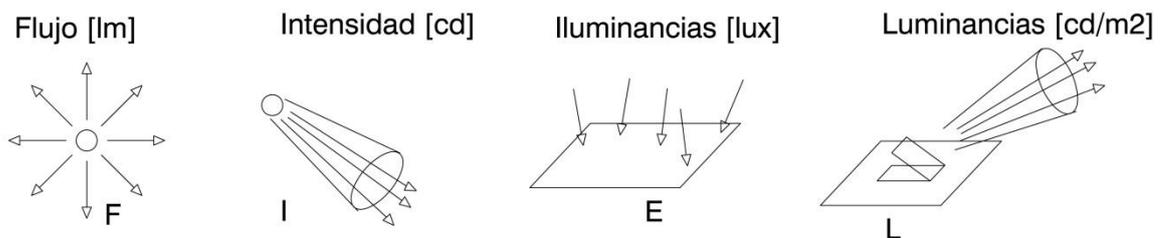


Figura 43 Esquemas conceptuales sobre la luz. Fuente: Tregenza, *Design of lighting*.

Se denomina *flujo luminoso* Φ a la potencia luminosa percibida, expresado en lúmenes [lm]. Es la energía emitida por un foco con intensidad de 1 candela [cd] en un ángulo sólido de 1 esterradián sr (1m^2 a 1 m de distancia). Se obtiene ponderando la potencia para cada longitud de onda con la función de la luminosidad⁶⁰, que representa la sensibilidad del ojo en función de la longitud de onda. El flujo luminoso es la suma ponderada de la potencia en todas las longitudes de onda del espectro visible. La radiación fuera del espectro visible no contribuye al flujo luminoso:

$\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$ [lm] lumen, [cd] candelas y [sr] ángulo sólido de un esterradián.

Se denomina *iluminancia* E a la cantidad de luz que incide en una superficie. La Iluminancia se mide en luxes, es el flujo luminoso recibido por unidad de superficie ($\text{lux} = \text{lm}/\text{m}^2$). Los valores típicos de iluminancias son:

Cielo despejado y soleado	100.000 lux
En el suelo con cielo cubierto	10.000 lux
En la mesa de una oficina	500 lux
Una vela a un metro de distancia	1 lux

Se denomina *Luminancia* L al brillo⁶¹ objetivo que parte de una superficie hacia el observador: depende de la intensidad luminosa de la superficie y de la dirección en la que se encuentra el observador. Su unidad es el Nit [cd/m^2] o el Stilb [cd/cm^2]. Las unidades típicas son:

Papel blanco en una mesa	130 cd/m^2
Cielo cubierto	3.000 cd/m^2
Papel blanco bajo luz solar	25.000 cd/m^2

Los métodos que predicen la iluminancia a partir de los datos de radiación solar, dado el valor de la eficacia luminosa, son probablemente los más versátiles de aplicar ya que son sensibles a variaciones en el clima y la latitud. Se basan en medidas de irradiancia solar que se realizan habitualmente por la red meteorológica nacional de muchos países⁶².

⁶⁰ La luminosidad es la potencia (cantidad de energía por unidad de tiempo) emitida en todas las direcciones por un cuerpo celeste. *Luminosidad instantánea* es el número de partículas por unidad de superficie y por unidad de tiempo en un haz. La luminosidad del Sol es constante $L_0 = 3,827 \cdot 10^{26}$ [W]; la densidad de potencia que recibe la Tierra del Sol es aproximadamente $1.367 \text{ W}/\text{m}^2$ (constante solar).

⁶¹ Luminosidad superficial o brillo aparente. Luminosidad (color) o claridad, un propiedad de los colores.

⁶² P. OTEIZA; A. Soler; G. Yáñez: Eficacia luminosa de la radiación solar global para superficie horizontal en Madrid, España. Informes de la construcción, 1992.

2. Agudeza visual y sensibilidad

Si abandonamos por fin el área de la cantidad de luz y nos dirigimos hacia cualidades de la luz, la diferencia entre la luz directa y la difusa resulta ser uno de los aspectos más importantes. Como mencionamos anteriormente, la luz directa o luz solar en un cielo despejado produce un cambio dramático de luces y sombras; la luz difusa con un cielo cubierto da lugar a una iluminación uniforme, casi sin sombras. La luz difusa genera amplias superficies luminosas. Ésta también se refleja, de manera que crea una iluminación uniforme y suave, que da luminosidad y claridad a todo el espacio, sin prácticamente reflejos o sombras. La luz directa emana de fuentes de luz puntuales –luz solar-. La propiedad más importante es quizás la creación de sombras sobre cuerpos y superficies estructuradas, así como de reflejos sobre objetos brillantes.

‘Si el ojo no fuera adaptable a la luz solar, jamás podría distinguir el sol.’⁶³

La luz directa lleva mediante sombras marcadas, a una fuerte modelación. Se acentúan las formas y estructuras de la superficie, pero al mismo tiempo se cubren detalles mediante sombras sobrepuestas. La luz con partes de luz difusas y directas produce sombras suaves. Se reconocen claramente las formas y estructuras de la superficie, pero no se originan molestas sombras sobrepuestas. La luz difusa no produce sombras. Formas y estructuras de la superficie se reconocen con dificultad.

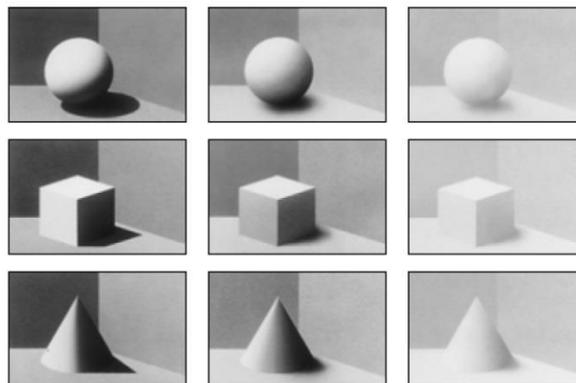


Imagen 21 Modelado para luz directa, mixta y difusa. Fuente: Erco.

Para la percepción de formas cúbicas y estructura de superficie es de primordial importancia la modelación a través de la luz. Si observamos una esfera con la iluminación totalmente difusa, no se percibe su forma espacial, sólo aparece como una superficie circular. Únicamente cuando la luz directa cae sobre la esfera, se puede reconocer su volumen. Lo mismo ocurre con la estructura de las superficies. Es decir, sólo mediante la luz directa se posibilita la información sobre la disposición espacial de los objetos. También un exceso de modelación puede ocultar información.

Igual que la modelación, el brillo también es un efecto de la luz directa. Los efectos de brillo se producen por la reflexión o la refracción, no dependen de la cantidad de luz incidente, sino de la luminancia de cada fuente de luz en cuestión. Por hacer resaltar más la forma y estructura de

⁶³ GOETHE, Wolfgang: Fausto.

superficies, el brillo produce una valoración psicológica del objeto iluminado y de su entorno. Proporciona a los objetos un aspecto interesante y valioso, llama la atención. La información transmitida por el brillo puede ser la pura existencia de una fuente de luz brillante, pero también se puede tratar de la información sobre el tipo y la calidad de la superficie, la geometría y la simetría de los reflejos. Puede ser algo agradable que nos transmite información o un deslumbramiento molesto, que oculta información debajo de los reflejos.

El contraste se define como la diferencia de luminancias en relación a la luminancia de fondo: es el cociente entre la diferencia de luminancias y la luminancia de fondo.

La sensibilidad al contraste es la capacidad del sistema visual de distinguir entre cambios de luminancia en su campo visual. Depende de los cambios de luminancia del entorno, incluidos los reflejos parásitos o fuentes deslumbrantes en el campo visual del observador.

La agudeza visual de una persona depende del contraste, tamaño, posición, color, tono, brillo (claro/oscuro) y la saturación – matiz (pálido/ intenso) del objeto. La agudeza visual depende también de la edad de la persona y el tiempo que transcurre mientras observamos.

La acomodación es la capacidad casi inmediata del ojo de adaptarse a las variaciones del nivel de iluminación en una escala de 1/3 de nivel de un momento dado, lo que permite multiplicar la cantidad de luz que lo penetra.

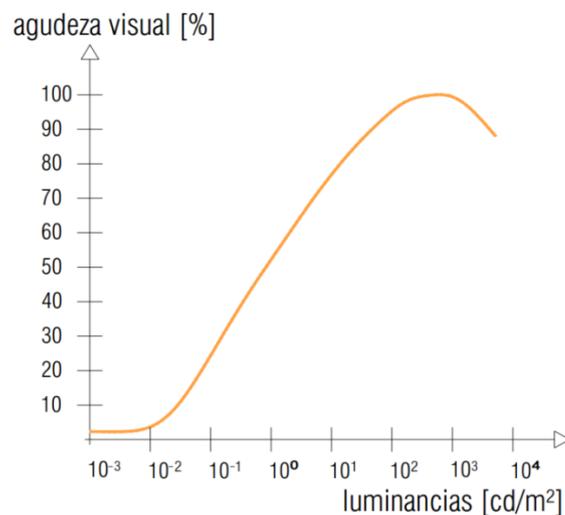


Figura 44 Dependencia de la agudeza visual de las luminancias. Fuente: *Optimale Beleuchtung am Arbeitsplatz*, Hartman, p.43.

3. Deslumbramientos

La *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA, 2000) define el deslumbramiento como la sensación producida por luminancias dentro del campo visual suficientemente mayores a la luminancia a la que el sistema visual está adaptado como para causar molestia, incomodidad o pérdida en el funcionamiento visual y la visibilidad. En 1987, la *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) definió el deslumbramiento como las *condiciones visuales en que hay excesivo contraste o una inapropiada distribución de fuentes de luz que molestan al observador o limitan*

la capacidad de distinguir detalles y objetos. Es la turbación de la vista por luz excesiva o repentina.

El deslumbramiento puede ser directo si proviene directamente de la fuente de luz o reflejado si la luz antes choca con cualquier superficie. Se diferencia entre deslumbramiento molesto, perturbador o de velo. La CIE establece una diferenciación entre:

- El deslumbramiento fisiológico, que provoca un deterioro de las funciones visuales, causando pérdida de sensibilidad para captar los contrastes.
- El deslumbramiento psicológico, un tipo de molestia visual que conduce a una sensación subjetiva de malestar. Es el resplandor o brillo que produce una sensación desagradable, sin que sea necesario impedir la visión.

La falta de control de la luz natural puede provocar el deslumbramiento pudiendo estar generado por los siguientes factores:

- Nivel excesivo de iluminación en el campo visual
- Salto brusco entre la luz de diferentes espacios en un mismo recorrido visual
- Brillor o reflejos excesivos en comparación con el contexto (alto contraste)

Las personas que habitan en climas soleados suelen tener un mayor nivel de tolerancia a la presencia momentánea de altos contraste en luminancias debidos a la presencia de la luz solar, siempre que estas manchas de luz no conlleven un aporte excesivo de calor. Normalmente la condición de esta tolerancia es poder cambiarse de sitio o moverse de las manchas de sol (son de mayor frecuencia en los espacios de transición), que el brillo o el alto contraste no permanezca largo tiempo y que la mancha de sol conlleve tener vistas al exterior interesantes.

El deslumbramiento cobra especial importancia en el diseño de la luz artificial. Los índices que se utilizan para determinar el deslumbramiento son, entre otros, los siguientes:

- BRS Glare Equation
- CGI CIE Glare Index
- DGI Daylight Glare Index
- DGP Daylight Glare Probability
- UGR Unified Glare Rating
- VCP Visual Confort Probability

El DGI y el CGI son los índices de deslumbramiento utilizados habitualmente en relación a la luz natural. El índice de deslumbramiento por iluminación natural (DGI) fue planteado por Hopkinson (1963) y desarrollado por Cauvel et al. (1998) para grandes fuentes de luz uniformes. La fórmula de Cornell deriva de estas investigaciones, sumando las fuentes individuales de luz determinando el deslumbramiento total. No abarca fuentes no uniformes de luminancias, no

predice correctamente en situaciones cuando la fuente se acerca a 2π sr o cuando las luminancias de figura y fondo son iguales (Inoue and Itoh, 1989)⁶⁴.

Nazzari propone en 2004 un nuevo DGI_N en el que la luminancia de fondo se reemplaza por la luminancia de adaptación debido a su influencia en el deslumbramiento incómodo (disconfortante). Advierte en sus conclusiones de la necesidad de mejorar el modelo teórico con ajustes basados en las investigaciones sobre la valoración subjetiva de diferentes regiones. Es decir el deslumbramiento puede ser predicho a través del cálculo matemático pero debe ser ajustado y contrastado ante el estudio de la valoración subjetiva.

Actualmente se utilizan para evaluar el ambiente lumínico a través de mapeos de luminancia, dos herramientas: RADIANCE (EVALGLARE) y las imágenes de alto rango dinámico (Newsham, G.R. 2010).

4. Memoria y representación

Entre una luz cegadora que atraviesa la oscuridad para convertir en cenizas a dos criaturas míticas y la claridad inmaculada que no ha sido arañada aún por la sombra, podemos descubrir la riqueza de los clarososcuros y modulaciones de la sombra que nos transmiten desde la calidez de un recuerdo doméstico hasta la sensación de estar deambulando al otro lado en un espacio sepulcral⁶⁵. Para poder percibir y valorar simultáneamente las cualidades lumínicas que nos rodean, no hay máquina más precisa que la combinación de nuestro propio cuerpo con nuestra mente. Esa valoración ocurre en un proceso cognitivo fugaz, que se repite y retroalimenta constantemente, donde tan sólo una quinta parte de esa realidad procede del exterior. En este proceso ciertas cualidades lumínicas obtenidas empíricamente como favorables ni siquiera coinciden con los cálculos lumínicos hechos previamente. En efecto la percepción de un entorno lumínico es siempre subjetiva y con el transcurso de nuestra experiencia vamos adquiriendo una sensibilidad cada vez más precisa en la captación de armonías⁶⁶; para eso cualquier aparato de medición es completamente inútil.

⁶⁴ A.A. V.V.: Confort visual en espacios interiores iluminados con luz natural en climas soleados. Modelos teóricos y valoraciones subjetivas. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda- Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYTC.C.131CP 5500, Mendoza.

⁶⁵ Cementerio de Igualada, Enric Miralles y Carme Pinós.

⁶⁶ [...] en el campo cultural falta la diversidad de la acción recíproca, premisa indispensable para todo desarrollo creativo. Así pues, la juventud contemporánea afronta una situación particularmente crítica. Con objeto de soslayar la amenazadora Apocalipsis, es preciso sensibilizar a la gente joven, infundirle un nuevo despertar a lo bello y lo bueno, que han sido subyugados por el cientifismo y el pensamiento tecnocrático. Las medidas educativas empiezan con el ejercicio de las facultades perceptivas para apreciar formas, lo único que puede procurar una fina sensibilidad en la captación de armonías. Cuando ello funciona adecuadamente, permite almacenar, como cualquier aparato computador, una cantidad muy considerable de datos. Konrad Lorenz, La otra cara del espejo, ob.cit, pag.19

Al igual que somos capaces de asociar un olor determinado a un recuerdo, también somos capaces de distinguir con gran exactitud unas cualidades de la luz en concreto y asociarlas con un concepto totalmente abstracto; una claridad homogénea con la pulcritud casi espiritual del que prescinde de su cuerpo, los delgados hilos de luz cenital con una imagen divina, el dinamismo del color con la alegría, un brillo deslumbrante con el lujo o la novedad; cada uno tiene sus propias asociaciones adquiridas a lo largo del tiempo. Hay muchas veces que son sencillamente individuales; dependen por supuesto de nuestra capacidad perceptiva y asociativa, de nuestro estado de ánimo y de lo que nos haya ocurrido previamente. Sin embargo, hay otras veces que las asociaciones pertenecen a un número de personas considerable que por su edad o por motivos culturales por ejemplo les son comunes, así un color brillante puede ser para muchos un color vivo o una luz tenue entenderse como una luz melancólica.

5. Influencia en el ambiente luminoso

La influencia de la luz en las personas ha sido tratada en una amplia geografía intelectual y científica y puede ser consultada para resolver dudas de diferentes disciplinas –medicina, arquitectura, óptica, etc-. Sin embargo, en este apartado se trata de la influencia de los usuarios sobre la luz, un tema quizás no tan interesante para la inmensa mayoría. En cuanto a la influencia del usuario sobre la luz:

- Primero, hay que diferenciar al usuario de la que persona que no se limita a hacer únicamente uso de las cosas o de los espacios. Según la Real Academia Española el usuario es la persona que hace uso ordinariamente –frecuentemente- de algo. Así un edificio se configuraría mediante la correcta distribución de usos.
- Segundo, hay un momento en la historia de la arquitectura a partir del cual las cualidades ambientales de los espacios, por normativa, vienen definidos a partir de su uso, incluidas las cualidades lumínicas. A partir de ahí, cada espacio se define para desarrollar una actividad la mayor parte del tiempo y esa actividad tiene un nivel de iluminación mínimo que debe cumplir para poder desarrollarla sin pérdida de visión o fatiga visual. Durante el proceso de industrialización multitud de estudios determinaron las condiciones óptimas para diseñar los espacios de trabajo, posibilitando el desarrollo frecuente de una actividad o incluso mejorando el rendimiento de los trabajadores en sus puestos influyendo en su estado de ánimo a través de una iluminación adecuada.
- Tercero, en la última fase el diseño de la luz no sólo tratamos de lograr las condiciones de confort óptimas para evitar la fatiga visual de los usuarios de un espacio -en su puesto de trabajo, considerado una mesa a altura 0,80-0,85m de altura del suelo- sino que, además debemos hacerlo de forma eficiente desde el punto de vista energético.

Partiendo de estos tres aspectos, se plantea un análisis al revés; de qué manera influye nuestra forma de entender y definir el espacio, en las cualidades lumínicas y cómo se ve afectada su relación con el espacio en lugares sin uso o sin uso preestablecido, comparando posteriormente la luz de espacios con y sin uso. Un método comparativo simple.

Los espacios abandonados, aunque probablemente fueran construidos en base a unos usos preestablecidos, pueden darnos una idea de los aspectos comunes y diferencias entre ambos. Los espacios intermedios o espacios de transición, como galerías, pasillos, atrios, también nos dan una idea de las cualidades lumínicas con un mayor rango de cobertura que aquéllas que han sido diseñadas para un único uso. Se estudia posteriormente su grado de aceptación.

6. Grado de aceptación de las manchas solares

El grado de aceptación de las personas de las manchas solares se determina a partir de una encuesta realizada para esta investigación a 270 personas de 5 nacionalidades diferentes, hombres (34%), mujeres (66%) en edades comprendidas entre 6 y 68 años. La encuesta se realiza online, siguiendo las conclusiones del estudio de Labayrade y Villa presentado en el capítulo 1 (4. Cuestionarios y experimentación online).

El cuestionario plantea diferentes situaciones lumínicas para el mismo espacio. Ya establecimos en el capítulo 2, que las personas prefieren un nivel de iluminación más alto que el establecido por ley para desarrollar cualquier tarea, así que se plantearon las imágenes para poder distinguir entre la preferencia hacia la mancha en sí o el nivel de iluminación:

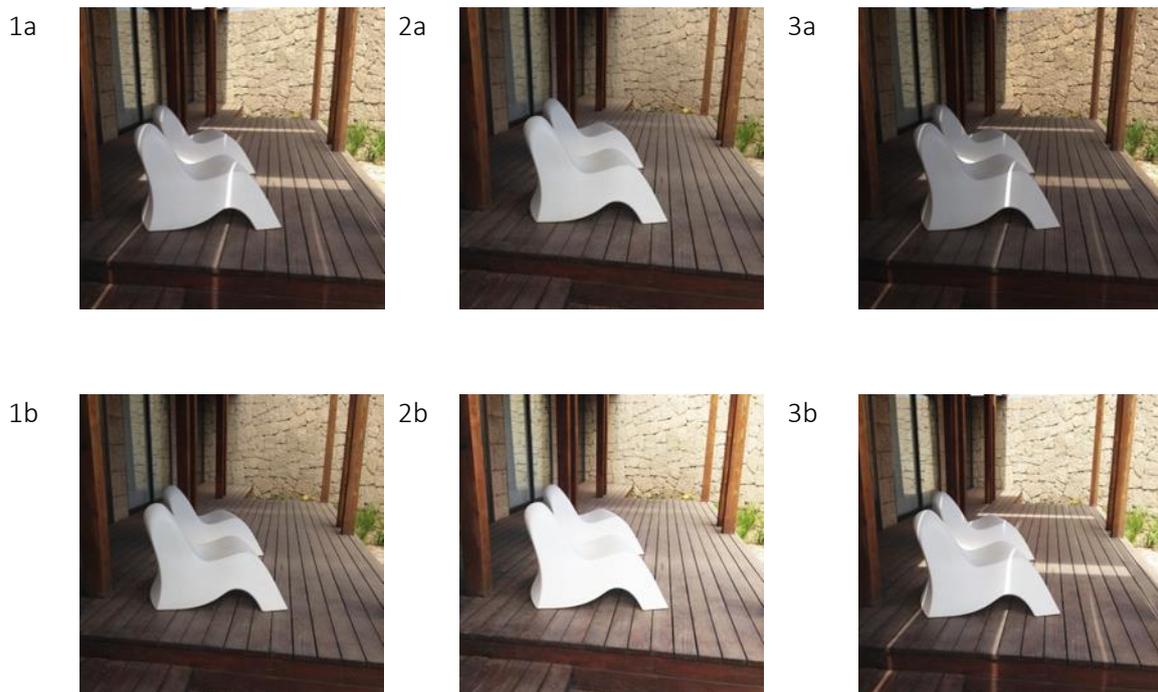


Figura 45 Resumen de situaciones lumínicas planteadas en el test 1 sobre las manchas solares

Se trata de un juego sencillo, en el que cada persona tiene que elegir entre la imagen “a)” o “b)” de cada número, es decir al final debe escoger 3 imágenes, una de cada columna. Las imágenes son presentadas de dos en dos, según lo siguiente:

- 1a) y 1b) fotos originales, instantes separados por unos segundos en los que desaparecen las nubes y aparecen las manchas solares, aumenta el nivel de luminancias y nivel general de iluminación.
- 2a) y 2b), imagen 1b modificada, la 2a) es la 1b sin retocar, la 2b) es la misma imagen aumentando su brillo manipulando la imagen con Adobe Photoshop CS5 para que el nivel de iluminación sea más alto incluso que cuando aparecen las manchas solares.
- 3a) y 3b), imágenes modificadas para que el contraste (3a) y el brillo sea mayor que en las originales.

Resultados del test 1

Para la muestra escogida, el porcentaje de imágenes elegidas es el siguiente:

Situación lumínica	1a	1b	2a	2b	3a	3b
% de elección	80	20	29	71	20	80

Tabla 46 Porcentaje de elección de diferentes situaciones lumínicas en un mismo espacio

El 80% de las personas eligieron la situación en la que aparecían manchas solares frente al 20 % que eligieron la situación de cielo cubierto.

El 71% de las personas eligieron la imagen que reflejaba un mayor nivel de iluminación frente a la imagen en cielo cubierto.

El 80% de las personas eligieron la situación con manchas solares y mayor nivel de iluminación.

Porcentaje de error de la muestra

El error de estimación es el error que surge a causa de observar una muestra de la población completa. La estimación de un valor de interés como la media o el porcentaje, estará generalmente sujeta a una variación entre una muestra y otra. Por eso se ha elegido una muestra de personas lo menos homogénea posible. El margen de error base es el 0,02% (0.2 para muestreo paralelo y 2 para muestreo directo).

Suponiendo un error de la muestra del 2%, los resultados siguen favoreciendo la creación de espacios en los que se incluyan las manchas solares, controlando la luz directa para que no se produzcan deslumbramientos ni sobrecalentamiento en el espacio interior diseñado.

Capítulo 8. Nueva caracterización de la luz solar

BLOQUE 1	CAPÍTULO 7 LA LUZ SOLAR DESDE EL OBSERVADOR CAPÍTULO 8 NUEVA CARACTERIZACIÓN DE LA LUZ SOLAR	Introducción Definición de las variables de la luz solar Distribución de variables de la luz solar
----------	--	--

Introducción

En los capítulos anteriores se ha hecho una presentación de 194 variables relativas a la luz (artificial, natural, solar) que se pueden tener en cuenta, para establecer luego el grado de aceptación de los usuarios de cada variable según la actividad clasificada del espacio y la importancia relativa que los usuarios consideran que esas variables deberían de tener a la hora de diseñar un ambiente lumínico confortable.

En este capítulo se destacan las variables relativas a la luz solar, espacialmente importante en climas soleados. Entre las variables incluidas en ocho bloques de preguntas de los cuestionarios, tenemos un total de 21 variables relativas a la luz solar. La mayoría de los encuestados considera como “muy importante” considerar estas variables a la hora de diseñar la arquitectura, siendo su grado de aceptación si no “deseado”, “imprescindible”.

En el desarrollo práctico por lo tanto se han formulado dos cuestionarios a partir de los cuales se establece que las manchas solares y las variables relativas a la luz solar en la arquitectura, para más de un 80% de los usuarios son considerados como positivos y a tener en cuenta.

NIVELES ACEPTACIÓN		n	%
1	imprescindible	230	11,02
3	deseado	309	14,81
5	posible	1212	58,07
7	no deseado	329	15,76
9	prohibido	7	0,34
		2087	100

Figura 46 Grado de aceptación (1,3,5,7,9) respecto a la luz solar. El 83,09% de los casos obtiene una valoración positiva

1. Definición de las variables relativas a la luz solar

En el glosario de términos (anexo 1) se refleja la dependencia de las variables de la luz solar de la siguiente manera:

- ◆◆◆ Concepto de mayor importancia en relación con la luz solar (12 variables)
- ◆◆ Concepto con especial importancia en relación con la luz solar (39 variables)
- ◆ Concepto de relativa importancia en relación con la luz solar (20 variables)

Grupo	1	2	3	4	5	6	TOTAL	(%) Total
◆◆◆	0/9	1/9	4/9	3/9	0/9	5/9	13/72	18/100
◆◆	5/38	1/38	13/38	4/38	5/38	11/38	39/72	54/100
◆	1/20	2/20	8/20	2/20	4/20	3/20	20/72	28/100
TOTAL	6/12	3/26	25/41	7/22	9/19	19/74	72/194	37/100
%	50/100	12/100	61/100	32/100	47/100	26/100	36/100	100/100

Tabla 47 Variables relativas a la luz solar por grupo y según diferentes grados de importancia

Las variables por orden de mayor o menor importancia en relación con la luz solar son las siguientes:

- Relativa importancia: 12,27,36,41,56,64,78,115,126,133,141,144,145,155,159,165,183, 187, 191,194.
- Especial importancia: 1, 2, 3,4, 5,33, 34,35, 38,40,43,44,46,55,60,66, 71,75, 76, 79, 83, 84,95, 96,116, 122, 124,125,135, 137,140,146, 150,152,156, 158, 161, 166,178 .
- Mayor importancia: 37,39, 57,65, 72, 108, 131, 153,157, 160, 162,182, 184.

El 37% del total de las variables (194) es relativa a la luz solar. El 16% de las variables relativas a la luz solar (71) de mayor importancia en relación con la luz solar. El 61 % de las variables del grupo 3 (luz geometría) están directamente relacionadas con la luz solar. El 50% de las variables del grupo 1 (luz materia) son relativas a la luz solar.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
130	131	132	133	134	135	136	137	138	139

- Variable de mayor importancia
- Variable con especial importancia
- Variable de relativa importancia

140	141	142	143	144	145	146	147	148	149
150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
170	171	172	173	174	175	176	177	178	179
180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194					

Figura 47 Representación del número de variables relativas a la luz solar y su grado de importancia dentro de la matriz de variables total

2. Distribución de variables relativas a la luz solar

En el gráfico siguiente (figura 48) podemos observar que las variables relativas a la luz solar tienen una distribución homogénea entre los seis grupos de variables, es decir, pertenecen a lo relativo a la luz y la materia, la geometría, el espacio, el tiempo, la técnica de la luz y la percepción.

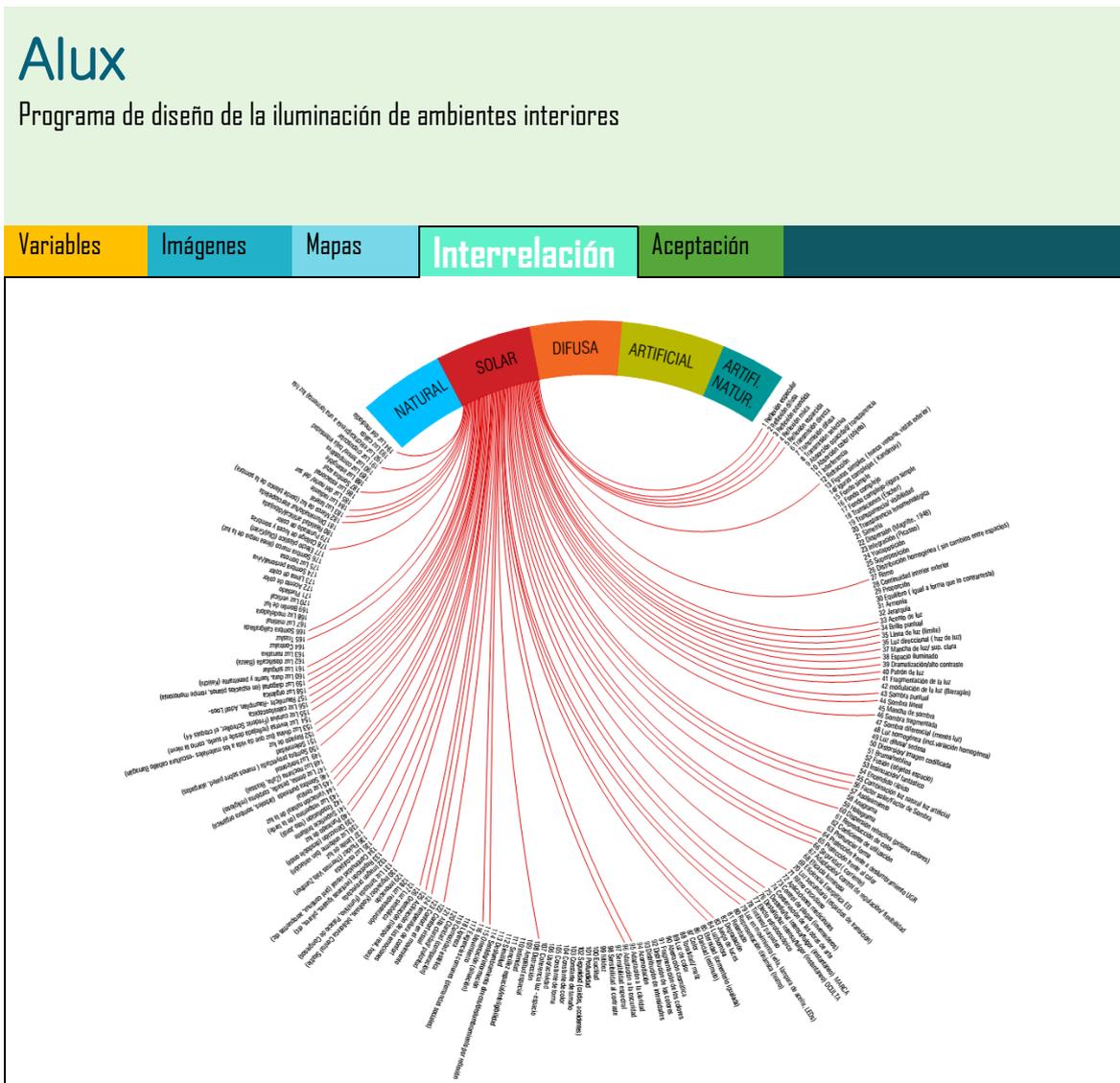


Figura 48 Distribución de variables relativas a la luz solar en la arquitectura generado a partir del mapa visual 2

3. Variables según actividad diferenciada

La misma matriz base planteada en el **capítulo 5**, desarrollada en los anexos, sobre la aceptación de los usuarios de determinadas variables para diferentes actividades clasificadas, es utilizada seleccionando únicamente las variables relativas a la luz solar en la arquitectura. En la siguiente tabla podemos observar que un alto porcentaje de las variables son valoradas por su grado de aceptación como “posibles” en todas las actividades clasificadas. La actividad industrial tiene un claro aumento de las variables no deseadas en su interior.

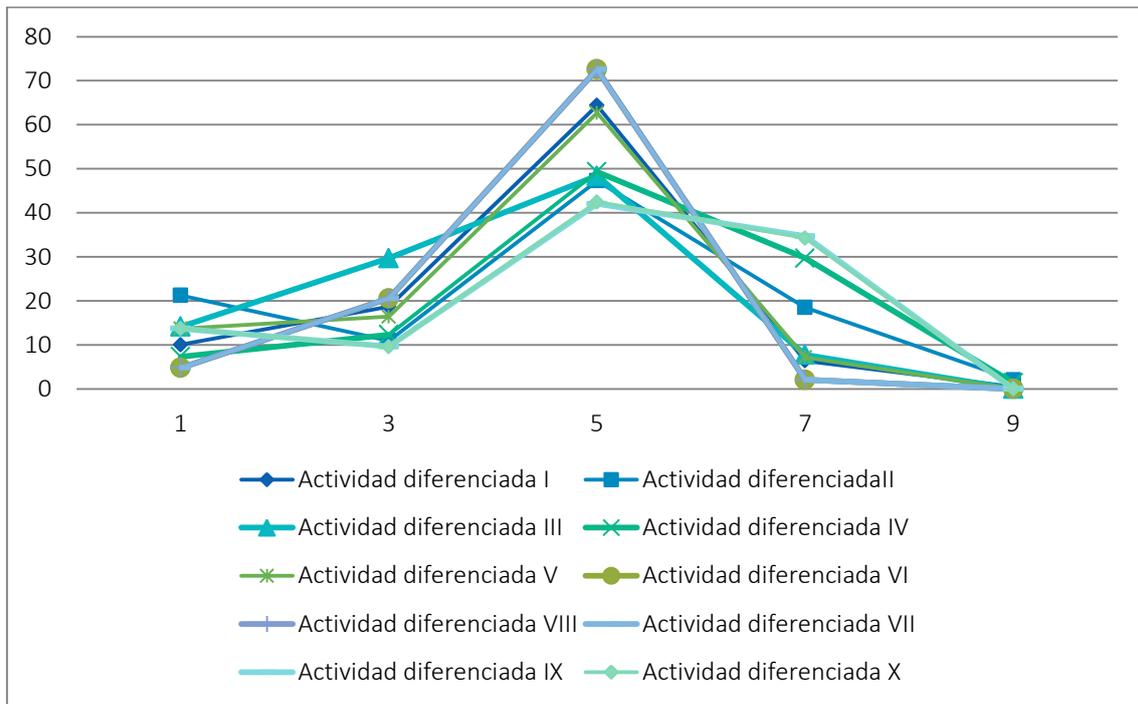


Tabla 48 Porcentaje de aceptación de las variables relativas a la luz solar por actividad diferenciada

BLOQUE 2 LABORATORIO EXPERIMENTAL

Capítulo 9. Condiciones particulares de climas soleados

BLOQUE 2	CAPÍTULO 9 CONDICIONES PARTICULARES PARA CLIMAS SOLEADOS	Introducción Caracterización de la radiación Irradiación directa y difusa El recorrido solar Probabilidad de incidencia solar Eficacia luminosa Dinamismo y color El mar de nubes en Canarias
----------	--	--

Introducción

Para el estudio integral de las manchas de luz solar de edificios es preciso determinar la incidencia de la luz solar en el interior de éstos. El objetivo de este capítulo es definir las unidades y fundamentos básicos respecto a la luz natural en climas soleados.

1. Caracterización de la radiación solar

Se denomina radiación solar a la energía electromagnética radiante emitida por el sol. El sol es una estrella de tipo espectral G2 que se encuentra en el centro del sistema solar y constituye la mayor fuente de radiación electromagnética de este sistema planetario. Su superficie está a una temperatura media de 6000°K, en su interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa en forma de energía. Se define a partir de la constante solar; es decir, la cantidad de energía recibida en forma de radiación por cada metro cuadrado en un plano perpendicular al sol en cada segundo. La constante solar es medida sin tener en cuenta la influencia de la atmósfera terrestre⁶⁷. La radiación solar tarda aproximadamente 8 minutos y 19 segundos en llegar a la tierra atravesando la atmósfera hasta llegar a nosotros.

⁶⁷ La radiación emitida por el sol no es exactamente constante, sino que sufre fluctuaciones caóticas de muy pequeña amplitud y de oscilaciones periódicas descritas como ciclos de actividad, así como de variaciones tendenciales por las cuales el brillo del sol ha ido creciendo a lo largo del tiempo.

Según las últimas mediciones **la constante solar⁶⁸ es de 1.367 W/m²**. Sin embargo, este valor se reduce cuando atraviesa la atmósfera y llega a la superficie de la tierra hasta quedarse en un valor general de 800-1.000W/m². En condiciones óptimas con un día perfectamente claro y con los rayos de sol cayendo casi perpendiculares, como máximo las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior alcanza la superficie de la tierra. En términos generales, la energía que llega al nivel del mar suele ser radiación infrarroja (49%), luz visible (42%) y radiación ultravioleta (9%).

2. Irradiación directa y difusa

Se denomina *irradiación solar* a la irradiancia⁶⁹ recibida en un intervalo de tiempo, es decir la energía solar recibida en forma de intensidad o densidad de flujo energético [1W = 1J/s; 1kcal/h = 1,163 W], cuando se tiene en cuenta el tiempo y la superficie. La irradiación solar se separa en dos componentes dependiendo de la dirección de incidencia: la irradiación solar directa y la irradiación solar difusa:

La irradiación solar directa es aquella que incide en la superficie con la misma dirección con la que fue emitida por el sol.

La irradiación solar difusa es aquella cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias (densidad atmosférica, partículas u objetos con los que choca antes de incidir de nuevo sobre una superficie). En un día en el que el cielo está cubierto por las nubes la irradiación solar difusa se refleja en todas las direcciones, por lo tanto se denomina radiación difusa.

La suma de ambas es la irradiación global o total incidente. Dada la lejanía del sol respecto a la tierra, podemos suponer como una buena aproximación, que los rayos del sol inciden prácticamente paralelos sobre la superficie. No obstante, en cada punto de la tierra, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto a dichos rayos depende de la latitud y de la hora del día para un cierto punto en longitud. Dicha inclinación se puede definir a través del ángulo que forman el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar.

⁶⁸ Constante solar 1.367 W/m² según la escala del *World Radiation Reference Centre* (WRRRC) ,1.373 W/m² según la *Organización Mundial de Meteorología* (WMO) ,1.353 W/m² según la NASA.

⁶⁹ *Irradiancia* es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética, incluida la solar. En forma de *flujo radiante*, es decir la energía que transportan las ondas por unidad de tiempo, su unidad sería el vatio o julios por segundo: [1 W = 1J/s]. $I = P / A_s$ [W/m²], donde I es la irradiancia, P es la potencia y A el área de la superficie. La irradiancia de una bombilla de potencia 100W a 2 metros sería Irradiancia = P/A = 100/4π2² = 2W/m².

Para definir el ambiente luminoso de un espacio interior conviene determinar por separado la radiación solar directa que puede incidir en los huecos y la radiación difusa procedente de la bóveda celeste.

La radiación solar directa se puede predecir mediante el estudio del recorrido solar diario mediante el uso de cartas solares. Para ello se utilizan gráficos geométricos o medios analíticos, a partir de ecuaciones de trigonometría espacial definidos por la *mecánica celeste*.

La distribución de luminancias de un cielo cubierto varían según el lugar (latitud), hora del día, densidad y uniformidad del cielo difuso.

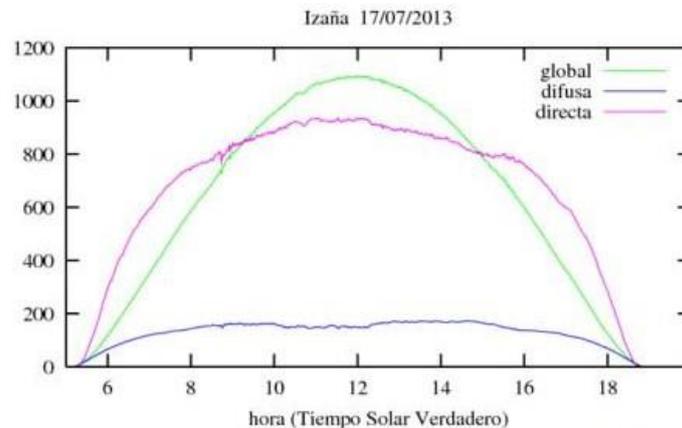


Imagen 22 Irradiancias global, difusa y directa [W/m²] en Tiempo Solar Verdadero en Izaña, Tenerife el día 17 de julio de 2013. Fuente: AEMET.

3. El recorrido solar

El recorrido solar se puede establecer a partir de gráficos geométricos o cálculos numéricos. Los gráficos más utilizados son las coordenadas polares y cartesianas: la carta solar cilíndrica consiste en un diagrama en el que se representa la posición del sol sobre un lugar determinado para fechas diferente y a diferentes horas en función de la altura del sol y el acimut del punto con respecto al norte, si nos encontramos en el hemisferio sur. En el eje vertical se sitúa a la altura solar en grados sexagesimales y en el eje horizontal el acimut medido desde el norte.

Con la carta solar cilíndrica se puede determinar la trayectoria solar, el número de horas de sol y los ángulos de sombra vertical y horizontal.

Tenerife 28°16'07" N, Islas Canarias

Altura solar máxima: 85° Verano, 38° Invierno

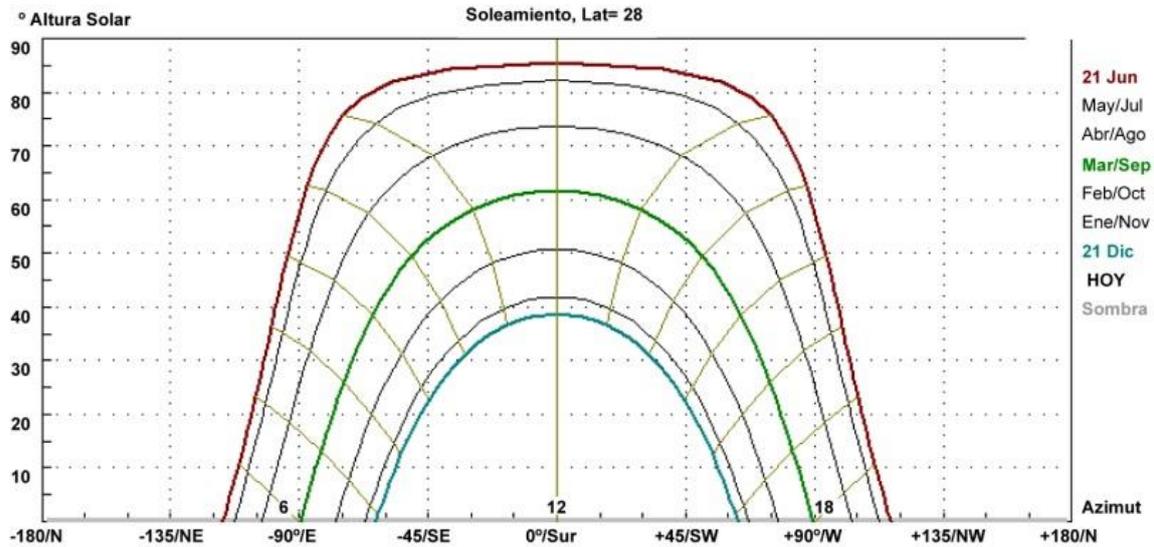


Imagen 23 Carta solar cilíndrica para Tenerife. Fuente: Carta Solea-2.

Equinoccio es el recorrido solar el 21 de marzo y septiembre. Se caracteriza porque el Orto (amanecer) coincide con el este a las 06:00 horas y el ocaso (puesta del sol) con el oeste, a las 18:00 horas, con una duración total de 12 horas (equinoccio= igual noche). Otro dato fundamental es que al mediodía (12:00 hora solar) el sol se halla sobre el sur, con acimut $Z = 0$, y formando con el cenit un ángulo igual a la latitud φ , de manera que se puede calcular la altura solar como $A = 90 - \varphi$.

Los recorridos solares diurnos son arcos de círculo perfectos, cuyo eje coincide con el de la tierra. El sol recorre 360° en 24 horas, correspondiendo a cada hora un ángulo horario $\omega = 15^\circ$. Los Equinoccios son los únicos días que el recorrido diurno es de 12 horas exactas.

Solsticio de verano es el recorrido solar del 21 de septiembre. Se caracteriza porque el mediodía (12:00 hora solar), cuando el sol se haya sobre sur, se forman con el cenit una ángulo igual a la latitud φ menos en la declinación ($\delta = +23,5^\circ$), de manera que se puede calcular la altura solar como $A = 90 - \varphi + 23,5^\circ$. En Canarias, con una latitud⁷⁰ de 28° N, el 21 de junio al mediodía la altura solar es de $A = 90 + 17 - 23,5 = 83,5^\circ$, casi en el cenit.

Solsticio de invierno es el recorrido solar del 21 de junio. Se caracteriza porque al mediodía (12:00 hora solar), cuando el sol se haya sobre sur, se forma con el cenit un ángulo igual a la

⁷⁰ Las Islas Canarias se hallan ubicadas en el Océano Atlántico fuera de la plataforma continental, son unos volcanes que como chimeneas han emergido del fondo oceánico. Entre islas hay profundidades de más de 4 km. El archipiélago se halla al Noroeste del Continente Africano, entre las latitudes $27^\circ 37'$ y $29^\circ 25'$ Norte (situación subtropical) y las longitudes $13^\circ 20'$ y $18^\circ 10'$ al Oeste de Greenwich. Normalmente adoptamos como media el paralelo 28. Se alzan como colosos con el Teide a la cabeza con una altura de 3.718 m. Sólo Fuerteventura y Lanzarote no sobrepasan los 1.450 m, por el hecho de ser las islas más antiguas y por ello más erosionadas. La superficie total del archipiélago es de 7.529 km^2 . (Fuente: Antonio Pulido Alonso)

latitud φ + la declinación ($\delta = +23,5^\circ$), de manera que se puede calcular la altura solar como $A = 90^\circ - \varphi - 23,5^\circ$. En Canarias, con una latitud de 28° N, el 21 de diciembre al mediodía la altura solar es de $A = 90 - 28 - 23,5 = 49,5^\circ$.

Dortmund 51'31"45" N, Alemania

Altura solar máxima: 62° Verano, 15° Invierno



Imagen 24 Carta solar cilíndrica para Dortmund. Fuente: Carta Solea-2

Dortmund, es una ciudad alemana situada en el estado federal de Renania del Norte- Westfalia, en la Región del Ruhr. Está situada en la zona de clima templado. Los inviernos y los veranos son relativamente suaves. La temperatura media anual se encuentra aproximadamente entre $9-10^\circ$ C. El total de la cantidad media anual de precipitación se encuentra aproximadamente en 800mm. Precipitación uniforme que cae durante todo el año.

Las Islas Canarias se encuentran situadas en el Océano Atlántico entre las latitudes $29^\circ 24' 40''$ N de la punta Mosegos (Alegranza) y $27^\circ 38' 16''$ de la punta de los Saltos (El Hierro). Está a 97 kilómetros de la costa africana y a unos 1.400 kilómetros de la Península Ibérica. El clima canario es suave y presenta pequeños contrastes estacionales en el año. La temperatura media anual supera los 20° C en las costas del sur de todas las islas. El clima dominante en Canarias es subtropical seco y húmedo, pero debido a su posición en medio del Atlántico y a su relieve existen numerosos microclimas con variaciones muy significativas. Las islas están divididas en la zona norte de las islas, barlovento y la zona sur, sotavento. Ambas se dividen en tres zonas dependiendo de su altitud: zona baja (barlovento: < 200 m, $19-23^\circ$ C, promedio anual de precipitación 200mm; 200-600, $16-21^\circ$ C, 200mm), zona media (barlovento: 600-1.500m, $12-16^\circ$ C, 500-1.000mm), zona alta (barlovento: 1.500-2.700, $0-9^\circ$ C, < 400 mm, 2.700-3.700, -15° C).

Si superponemos las cartas cilíndricas podemos ver claramente dos diferencias fundamentales:

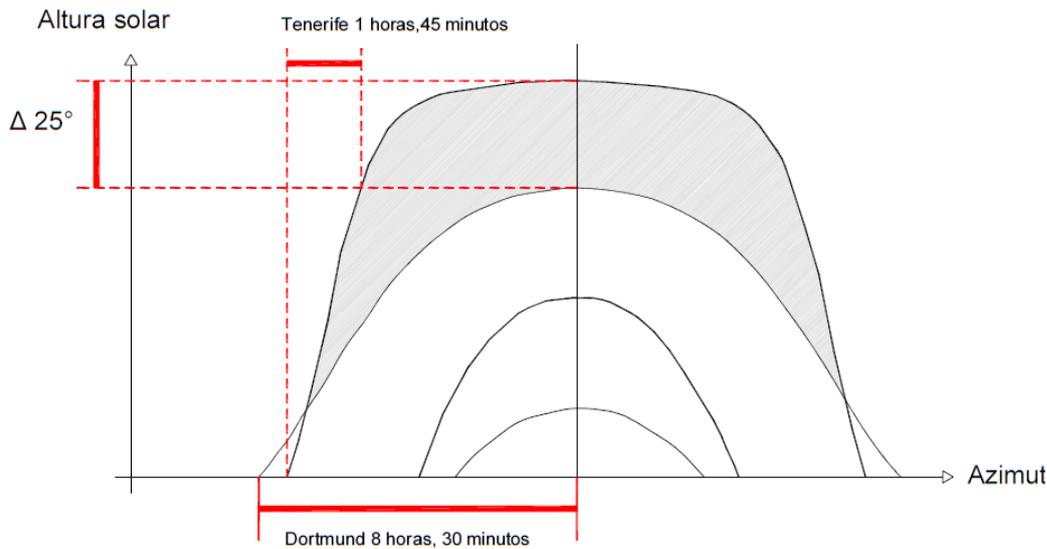


Imagen 25 Comparación de las cartas solares de Dortmund y Granadilla de Abona

- El sol tarda 1 hora y 45 minutos en alcanzar una altura solar de 60° en Tenerife, mientras que en Dortmund tarda 8 horas 30 minutos.
- En Tenerife el sol alcanza una altura solar máxima de 85° , mientras que en Dortmund la altura solar máxima (21 junio) es de 60° .

Se destacan estos dos puntos ya que, la altura solar repercute en el valor de la eficacia luminosa y, el tiempo que tarda en alcanzar la altura solar máxima, influye en la cantidad de calor transmitido al interior de los espacios (sobrecalentamiento).

4. Probabilidad de incidencia solar

Según establece la normativa en Alemania⁷¹, la radiación solar directa (medida perpendicularmente al sol) alcanza una probabilidad máxima del 37% en fachada sur. En las fachadas oeste y este, este valor se divide por la mitad. En verano la radiación solar directa incide con mayor intensidad a estas fachadas debido a la variación de la posición del sol. Para un cielo cubierto, la radiación difusa, es decir aquella que la atmósfera ha difuminado, es de $170\text{W}/\text{m}^2$. Con cielo despejado este valor aumenta a $600\text{-}1.000\text{W}/\text{m}^2$.

En Londres, la probabilidad de radiación solar directa es de 1.500⁷² horas al año. En el aeropuerto de Barcelona la radiación solar directa medida por la AEMET se da durante 2.524 horas, en Santa Cruz de Tenerife 2.851 horas e Izaña (el Teide) 3.433 horas⁷³ al año.

⁷¹ VDI 6011, 'Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung'.

⁷² Tregenza, The Design of Light, p. 39.

⁷³ Mediciones correspondientes al año 2012, INM, AEMET, Agencia Estatal de Meteorología.

Localización	Días despejados
Izaña (Altitud 2.371m)	75,14%
Santa Cruz de Tenerife (Altitud 35m)	63,90%
Barcelona	52,50%
Santander	32,10%
Gran Canaria (aeropuerto, orientación Este)	27,39% ⁷⁴
Londres	31,25%

Tabla 49 Probabilidad de cielo despejado al año según las diferentes latitudes. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del INM.

Se podrían diferenciar a grandes rasgos dos grupos según la probabilidad de incidencia de la radiación solar directa:

- **La radiación solar directa incide en la edificación con una probabilidad menor al 50%.** Para este grupo, los espacios deberían diseñarse para lograr al menos una cantidad mínima de luz natural al año para poder garantizar intensidades mínimas, ahorrar energía y garantizar el confort visual. Para este grupo tiene menos sentido que las líneas generales del diseño se basen en evitar el deslumbramiento y el sobrecalentamiento derivado de la radiación solar directa.

- **La radiación solar directa incide en la edificación con una probabilidad mayor al 50%.** El diseño de la luz solar en el interior de los espacios debería alejarse lo máximo posible de proveer a los espacios únicamente de una cantidad de luz mínima. Para este grupo tiene más sentido que las líneas generales del diseño se basen en evitar el deslumbramiento y el sobrecalentamiento derivado de la radiación solar directa.

Como hemos visto anteriormente, sólo una pequeña parte de la radiación solar es luz visible⁷⁵.

5. La eficacia luminosa

Se denomina *eficacia luminosa K* al cociente entre el flujo luminoso dividido por el flujo radiante, expresado en lúmenes/vatio. Es la magnitud que relaciona la iluminancia y la irradiancia de una fuente energética [lm/W]. La eficacia luminosa de la radiación solar varía con la altura solar, con la cobertura de nubes, la cantidad de aerosoles y vapor de agua de la atmósfera. También varía dependiendo de si la radiación es difusa, directa o global.

La DIN5034⁷⁶ establece una **eficacia luminosa K = 115 lm/W**, para cielos cubiertos.

⁷⁴ Instituto Nacional de Estadística. Santa Cruz de Tenerife se parapeta tras el macizo de Anaga y obtiene más días soleados que las mediciones en los dos aeropuertos quedan a Este.

⁷⁵ La luz en sí no es normalmente visible, es el medio por el cual vemos y somos capaces de reconocer nuestro entorno como real.

⁷⁶ DIN5034 Tageslicht in Innenräumen, Teil 2, p.11.

A continuación se resumen los valores típicos de la eficacia luminosa⁷⁷ de cielos cubiertos:

	K mínima [lm/W]	K máxima [lm/W]	K ponderada [lm/W]
Eficacia luminosa de radiación directa (altitud solar $\gamma > 10^\circ$)	50	120	85
Eficacia luminosa de radiación difusa	84	173	128,5
Eficacia luminosa de radiación global	60	129	94,5

Tabla 1.50 Eficacia luminosa obtenida en diferentes lugares del sur de Europa. Fuente: IDAE [4114]

En el programa CARTA SOLEA-2, se establece para Canarias (lat = 28°N) los siguientes valores de eficiencia luminosa o rendimiento luminoso, dependiendo de si la radiación es directa (R= 100lm/W) o si de la luz procede de la bóveda celeste (R = 130 lm/W)⁷⁸.

Al mediodía en Canarias, en el solsticio de verano (21 junio) tenemos con cielo despejado 110.000 lux de horas de sol efectivas, 45.000 lux para cielo cubierto. Según el *Instituto Nacional de Estadística* (INE) Santa Cruz de Tenerife tiene 235 días al año nubosos, Izaña 114 días/año y Gran Canaria 265 días/año. En el solsticio de invierno, para cielo despejado se registra un valor de 75.000 lux, para cielo cubierto 30.000 lux de horas de sol efectivas. Según los gráficos típicos de cálculo de la luz natural empleados en Londres, entre las 9:00 y las 17:00 un cielo cubierto obtendríamos un valor aproximado de 30.000 lux durante al menos el 20% del tiempo⁷⁹, el mínimo en Canarias. La eficacia luminosa medida en la vertiente sur de Tenerife queda reflejada en el capítulo 11.

6. Dinamismo y color

La luz natural es dinámica. En el cielo podemos apreciar los diferentes grados de claridad, color y dirección de la luz. Incluso cuando el cielo está cubierto no es homogéneo en toda su amplitud, sino que cambia dependiendo de la orientación y el ángulo solar.

La temperatura de color para un cielo despejado depende totalmente de la altura solar, la longitud de las sombras, la intensidad de los rayos, la dirección del cielo, la hora, el día del año y de la uniformidad del cielo. Hay momentos en los que predomina el azul (cielo del norte) otros en los que predomina el rojo (atardecer), dependiendo si predomina la temperatura de color fría o caliente.

⁷⁷ LITTLEFAIR, P.: The luminous efficacy of daylight: a review. *Lighting Research and technology*. Vol. 17, nº4, 162-182, 1985.

⁷⁸ Se recomienda llevar a cabo las mediciones pertinentes para establecer la eficiencia luminosa en Canarias.

⁷⁹ Tregenza, *The Design of Light*, p.39.

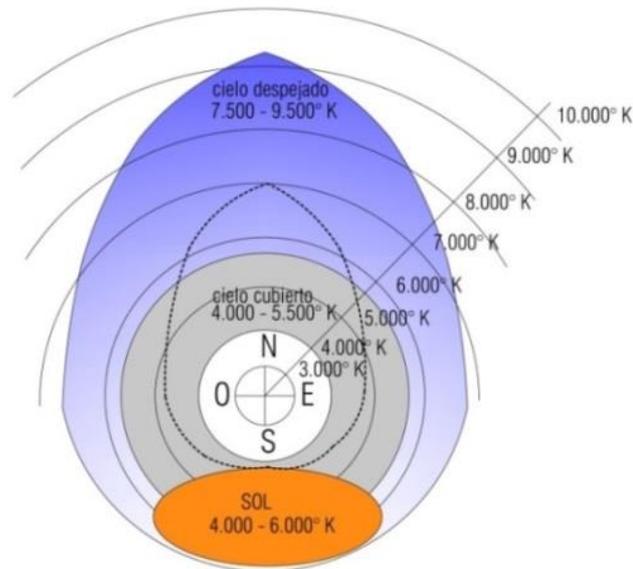


Imagen 26 Esquema de color del cielo. Fuente: Bartenbach⁸⁰

7. El mar de nubes en Canarias

El Archipiélago Canario formado por siete islas mayores, seis menores y pequeños islotes, está situado en el Océano Atlántico frente a la costa africana. El clima dominante es oceánico subtropical, con temperaturas suaves y precipitaciones escasas.

Por su localización, el clima templado de las Islas está sometido a la acción de efectos muy variados como los anticiclones atlánticos y, en especial, al régimen de los alisios. Estos vientos presentan dos componentes: una capa inferior húmeda, de dirección nordeste, y otra superior con aire seco y cálido de dirección noroeste, que al interactuar generan una zona de inversión térmica con efectos visibles como el mar de nubes. Estos vientos fluyen hacia las Islas de forma permanente en verano, mientras que en invierno se alternan con entradas de aire polar. Junto a ello, se hace sentir la influencia del continente africano, cuya proximidad permite la intrusión, en verano sobre todo, de masas de aire caliente sahariano (calima).

En cada una de las islas podemos encontrar diferentes microclimas.

El microclima en Canarias

El contacto con la corriente marina fría de Canarias atempera y suaviza las temperaturas, que oscilan entre los 15 y los 20°C por término medio, y cuyas máximas y mínimas se sobrepasan con las intrusiones de masas de aire polares o saharianas antes mencionadas. Otro aspecto climático determinante viene representado por las precipitaciones, relacionadas con los vientos dominantes, y limitadas en las islas altas por el efecto barrera de los macizos de sus dorsales y cumbres. Esto genera, junto al efecto de lluvia horizontal de los alisios, una región nororiental

⁸⁰ [RIE] Handbuch für Lichtgestaltung, p.45.

húmeda o Alisocanaria y otra suroccidental seca o Xerocanaria. Estas condiciones, el relieve de las islas y en especial sus respectivas alturas y la exposición al alisio, producen hechos diferenciales que generan una gran variedad microclimática en el interior de las Islas. Este efecto se manifiesta en la compartimentación barlovento-sotavento patente en todas las Islas y en sus costas y medianías especialmente.

Vertiente norte de las Islas

Se refiere al lado de barlovento, aquel que está expuesto a la acción de los vientos alisios, y en el que podemos diferenciar tres zonas, a medida que subimos en altitud, con características climáticas diferentes.

Zona baja. Dentro de ella podemos diferenciar dos áreas. La primera corresponde a la cota que llega hasta los 200 metros de altitud. Se caracteriza por la influencia de las brisas marinas. Son muy escasas las oscilaciones térmicas. La temperatura media va desde los 19°C a los 23°C. El promedio anual de precipitación es de 200 mm. Una segunda cota abarca entre los 200 y los 600 metros de altitud. En ella la influencia del mar se reduce y se observa una mayor oscilación de las temperaturas que va de 16°C a 21°C.

Zona media. Comprende desde los 600 metros a los 1.500 metros de altitud. Aquí el clima es frío y húmedo, dándose la formación de nubes que beneficia al suelo con el rocío y las nieblas. La temperatura media oscila entre 12°C y 16°C. Las precipitaciones alcanzan de 500 a 1.000 mm al año.

Zona alta. En esta zona podemos diferenciar dos niveles. Por un lado el que comprende de los 1.500 a los 2.700 metros de altitud. Sólo existe en las islas con mayor elevación: Tenerife, La Palma y Gran Canaria. Suele caracterizarse por un aire seco, constituido por el componente superior de los alisios, excepto cuando se producen las invasiones de aire polar marítimo. Cae nieve casi todos los años. Las precipitaciones no suele superar los 400 mm. Existe una gran oscilación térmica entre el día y la noche. Con frecuencia se producen temperaturas inferiores a los 0°C. ,su media anual es de 9°C. Es zona de pinos en su parte inferior, y cuando éstos desaparecen se desarrollan matorrales o retamas. Un segundo nivel en la zona alta, es el que comprende entre los 2.700 y 3.700 metros de altitud. Este nivel sólo existe en la isla de Tenerife, en el Pico Viejo y El Teide, llegándose a alcanzar temperaturas de 15°C bajo cero, con importantes nevadas, fundamentalmente en invierno.

Vertiente sur de las Islas

Por el lado de sotavento, es decir, donde no inciden los vientos alisios, se diferencian tres zonas climáticas.

Zona baja. Es la franja costera y seca. De mayor aridez que la de la zona norte y mayor variación de temperatura. Las zonas de sotavento se presentan áridas y secas, al no recibir la influencia directa de los vientos alisios. (MC)

Zona media. Suele recibir precipitaciones locales e intensas de los temporales del Sur. El clima de esta zona es similar en algunos aspectos al clima mediterráneo que se da en la Península. En esta vertiente no existe la zona media como en el norte, por no recibir directamente la influencia de los vientos alisios.

Zona alta. Con características similares a las de la vertiente norte, es decir, gran oscilación térmica y precipitaciones anuales en torno a los 400 mm.

En resumen, el clima canario es suave y apenas presenta contrastes estacionales en el año. Sin embargo sorprenden los contrastes climáticos en distancias tan cortas. Es lo que se conoce como microclima. Esta variedad climática en tan poca extensión es lo que ha hecho que las islas mayores sean consideradas como microcontinentes. Las diferencias climáticas, dan lugar a marcadas diferencias en la vegetación y, por consiguiente, a los más variados paisajes.



Imagen 27 Parque Natural de Tamadaba, Artenara, Gran Canaria

El mar de nubes

El mar de nubes es la formación nubosa más frecuente en Canarias, sobre todo en las islas que alcanzan una mayor altitud. Está compuesta por un manto de estratocúmulos y muestra gran estabilidad debido a la influencia del anticiclón y a la presencia de una corriente oceánica fría que baña el litoral. La acción combinada de ambos factores provoca que el estrato de aire más próximo al suelo sea más húmedo y fresco que el que se le superpone.

La inversión térmica que separa las dos capas, situada en torno a los 1.200 m, impide el desarrollo vertical de nubosidad, sin embargo favorece su disposición horizontal. El relieve de aquellas islas que sobrepasan los 1.000 metros de altitud (La Palma, El Hierro, Gran Canaria y Tenerife) propicia el estancamiento del manto nuboso en las vertientes abiertas a los vientos alisios.

Este fenómeno nuboso registra una distribución estacional muy clara: es frecuente en primavera y otoño por encima de los 1.000 metros mientras que en verano es más probable su formación por debajo de esa cota.

Las variaciones de altura del mar de nubes a escala horaria dependen de la acción de las brisas y vientos locales que remontan las montañas durante el día obligando al mar de nubes a ascender y caer hacia el mar durante la noche.

El espesor del mar de nubes experimenta claras variaciones a lo largo del año: es mayor en otoño y primavera y menor en verano.

Granadilla de Abona

Granadilla de Abona, es un municipio perteneciente a la provincia de Santa Cruz de Tenerife, en las Islas Canarias, España en el que se sitúa el laboratorio bioclimático a escala real. Las temperaturas medias anuales están entre 21-25° C. Las condiciones climáticas son las derivadas de su situación en la vertiente sur de la isla. Las medianías registran un mayor volumen de precipitaciones y la humedad ambiental es así mismo superior a la del área costera.

Según las zonas climáticas de Köppen (Cs) es una zona húmeda mesotérmica, con un verano seco subtropical, con una oscilación media diaria de temperaturas de 7,3°. Los vientos predominantes son los alisios (NE) y las precipitaciones anuales de 185 mm. La radiación sobre superficie horizontal (media diaria) es en agosto de 7,54 kWh/m², 4,36 kWh/m² en febrero. La vegetación más abundante es el Tabaibal cardonal y las Phoenix canariensis.

Capítulo 10. Laboratorio a escala real

BLOQUE 2	CAPÍTULO 9 CONDICIONES PARTICULARES PARA CLIMAS SOLEADOS CAPÍTULO 10 LABORATORIO A ESCALA REAL	Introducción 24 Viviendas bioclimáticas Técnicas de acondicionamiento Monitorización de las viviendas Resultados de las mediciones Ocupación de las viviendas Resultados de las encuestas
----------	---	---

Introducción

En este capítulo se resumen los parámetros del ambiente (interior y exterior) monitorizados de 24 viviendas bioclimáticas consideradas en su conjunto como un laboratorio de investigación en condiciones reales en climas soleados a escala real. Los resultados de las mediciones se contrastan continuamente con la valoración subjetiva de los usuarios, que se obtienen a través de cuestionarios de satisfacción y el cuestionario bioclimático. Antes de entrar en cada casa se les da una breve explicación de las características de la vivienda y el funcionamiento de los elementos de control ambiental que cada usuario puede modificar para poder estar más cómodo en cada momento. Además de esto, los usuarios pueden ver los datos que se están midiendo en la pantalla del televisor que hay en cada vivienda, incluidos los datos sobre su consumo energético.

En el capítulo anterior presentamos las condiciones generales que se deberían tener en cuenta en el diseño de la luz en climas soleados. En este capítulo se presenta una valoración de los datos obtenidos para situarnos en un ambiente interior concreto, con la valoración de todos los parámetros ambientales, para incluir en el siguiente capítulo las mediciones de la luz natural.

Instituto Tecnológico y de Energías Renovables

El Instituto Tecnológico y de Energías Renovables S.A., ITER, fue creado en 1990 por el Cabildo Insular de Tenerife para cubrir la necesidad de iniciar un nuevo campo de investigación en las islas canarias con el que contribuir a reducir la dependencia exterior de abastecimiento energético y permitir un desarrollo más limpio y sostenible en las mismas.

Para cumplir con este fin, sus objetivos son potenciar trabajos de investigación y desarrollo tecnológico relacionados con el uso de las energías renovables, así como otras facetas de interés para el desarrollo socioeconómico regional: los recursos hídricos subterráneos, la

vigilancia y predicción sísmico volcánica, el control medioambiental, y el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación.

El ITER está dividido en 5 áreas. Dentro del Área de Energías Renovables se encuentra el Departamento de Arquitectura Sostenible, con el Laboratorio al aire libre, entre otros proyectos.

1. 24 Viviendas bioclimáticas

Situado al sur de la isla de Tenerife (Granadilla de Abona, Islas Canarias) se encuentra el laboratorio de energías renovables, formado por las siguientes instalaciones:

- 24 viviendas bioclimáticas, resultado del Concurso Internacional de Arquitectura, en la que se seleccionaron los 24+1 (no construido) mejores entre 397 propuestas.
- Centro de visitantes y paseo tecnológico
- Parque eólico
- Túnel del viento
- Plantas fotovoltaicas
- Laboratorios (bioclimático, química, electrónica, unidad móvil de Medioambiente)

Las viviendas bioclimáticas forman una urbanización de baja densidad, considerado como un laboratorio a escala real –monitorizado y en continua evaluación- que sirve a su vez como espacio de difusión de técnicas constructivas de ahorro energético actuales – visitas guiadas y régimen de alojamiento en estancias cortas-.

En marzo de 1995, el ITER convocó un Concurso Internacional para la Selección de 25 Propuestas de Viviendas Unifamiliares diseñadas bajo el principio del mayor aprovechamiento bioclimático, con utilización en la medida de lo posible, de materiales reciclados y reciclables, que integrarán una urbanización de este tipo en los terrenos del Parque Tecnológico de Granadilla, Sur de la Isla de Tenerife. El resultado de este concurso es un conjunto urbano autónomo, dotado de espacios libres y espacios para la acogida de visitantes.

Los tres primeros premios fueron:



Vivienda 1 La Geria

Sup. Construida 149,60 m²

6 personas-3 habitaciones

Jardín + Terraza

Arquitectos:

César Ruíz-Larrea Cangas

Enrique Álvarez- Sala Walther

Carlos Rubio Carvajal

Javier Neila González

Alberto Monedero Frías

Gonzalo Ortega Barnuevo



Vivienda 2 El Caminito

Sup. Construida 130,80 m²

6 personas-4 habitaciones

Jardín + Acequia

Arquitectos:

Natasha Pulitzer

Sergio Los; Sergio Lot

Enrico Cozza; Alberto Miotto

Cristina Boghetto

Annamaria Bertazzon

Salvatore Pandolfo



Vivienda 3 La Estrella

Sup. Construida 112,40 m²

6 personas-3 hab.

Patio

Arquitectos:

Sergi Serra Casals

Marta Puig Adroer

[Imagen 28 Tres primeros premios delas viviendas bioclimáticas ITER laboratorio al aire libre. Datos generales](#)

La monitorización y estudio de esta urbanización se lleva a cabo desde 2008 a través del proyecto PROFIT, Programa de Fomento de la Investigación Tecnológica, que fomenta los proyectos que puedan repercutir en la calidad de vida. Tanto la implementación de un sistema domótico y la monitorización como la vivencia directa de los visitantes en las viviendas, permite desde entonces hacer un análisis de los diferentes patrones arquitectónicos dentro del mismo conjunto residencial. Este conjunto se centra en el análisis y divulgación de sistemas bioclimáticos validados en condiciones reales de uso.

El régimen de alquiler planteado en sus inicios (científicos) ha delegado en el alquiler a usuarios que nada tienen que ver con las actividades de investigación. Los grupos científicos siguen alojándose en las viviendas, ocupando un máximo de tres viviendas al año, en ocupación máxima (6 personas) en los meses de verano.

El interés de las viviendas, además de suponer 24 modelos residenciales bioclimáticos en una misma urbanización que plantean soluciones completamente diferentes y que pueden ser valoradas in situ, es que las viviendas no tienen un único usuario con unas necesidades de confort concretas. Las viviendas son ocupadas en régimen de alquiler corto, son viviendas dedicadas al turismo, y por lo tanto hay veces que están ocupadas y otras veces que están libres. Es decir, es posible realizar un análisis del comportamiento de las viviendas con y sin usuario, pudiendo determinar la influencia del usuario en el control del ambiente interior de cada modelo arquitectónico por separado, y la capacidad de la unidad alojativa en sí para crear condiciones de confort en su interior.

Las viviendas se han replanteado como unidades alojativas extrahoteleras. Para ello se han tenido que replantear ciertos aspectos, como por ejemplo, las viviendas más vendidas suelen ser las que tienen una lámina de agua, lo ideal para los clientes sería incluso encontrar una piscina en cada casa, esto no sigue criterios de sostenibilidad; se ha ido haciendo un estudio de

las necesidades/ demandas reales de los clientes, qué es lo que el visitante espera encontrarse y qué márgenes de confort son los que considera aceptables, dependiendo de su país de origen, sexo y edad.

En ocasiones los valores comerciales se contraponen a las medidas de sostenibilidad, por ejemplo: la baja densidad es negativa desde el punto de vista del planeamiento sostenible, sin embargo es uno de los motivos más atractivos por el cual los visitantes eligen las viviendas.

Aspectos poco justificables desde el punto de vista de la sostenibilidad de las viviendas bioclimáticas:

- Baja densidad de la urbanización
- Durante la construcción, la maquinaria pesada aplastó la tosca volcánica (paisaje protegido)
- Sobre los materiales planteados inicialmente por los arquitectos proyectistas, quizás no tan adaptados a la sostenibilidad local
- Periodo largo de construcción, ya que no había técnicos y mano de obra especializada y formada.

2. Técnicas de acondicionamiento pasivo

Para la óptima aplicación de las técnicas de acondicionamiento pasivo, de los sistemas domóticos, de los sistemas solares activos y de las energías renovables, es necesario hacer evaluaciones periódicas de los patrones bioclimáticos elegidos en condiciones reales de uso. De esta manera, estas edificaciones se convierten en modelos de referencia comparables con otras, que nos permiten conocer la adaptación al clima local y en definitiva el comportamiento energético, en este caso de distintas tipologías de vivienda unifamiliar aislada.



Figura 49 Emplazamiento general de la urbanización bioclimática e instalaciones del ITER

El complejo bioclimático se encuentran dentro de la manzana 10 en la zona 5 definida por el Plan Especial ITER Sistema General, aprobado definitivamente el 27 de enero de 2003. La calificación del área es de Parque Industrial, laboratorio bioclimático, desarrollado por el

artículo 40 del Plan Especial ITER. Cada una de las viviendas que conforman la urbanización está concebida mediante diferentes técnicas bioclimáticas, de integración en el paisaje y de adaptación a las condiciones del medio. Las condiciones de uso característico están determinadas como laboratorio a escala natural de proyecto de experimentación de urbanización bioclimática e investigación.

Unidad residencial		Denominación			
1	La Geria	9	La Geoda	18	El Bernegal
2	El Caminito	10	La Tea	19	El Dispositivo
3	La Estrella	11	Las Bóvedas	20	El Escudo
4	El Cubo	12	Compacta	21	La Religa
5	Bernoulli	13	El Río	22	El Patio
6	El Alisio	14	El Pueblo	23	Arcilla
7	El Muro	15	Noche Y Día	24	Duna
8	El Gavión	17	La Vela	25	El Cangrejo

Tabla 51 Unidades residenciales pertenecientes al laboratorio bioclimático

Las condiciones climatológicas han sido especialmente determinantes a la hora de concebir el Complejo Bioclimático: los vientos del noreste son casi constantes, hay un gran asoleamiento, escasez de lluvias y aridez de su territorio. Por otro lado, cuenta con la cercanía del mar, facilitando experiencias de desalación de agua de mar mediante energías renovables. De las 24 unidades bioclimáticas dentro de la manzana 10 en la zona 5 definida por el Plan Especial ITER Sistema General -la vivienda 16 no ha sido desarrollada-, se detallan los siguientes datos identificativos en la tabla anterior.

3. Monitorización de las unidades residenciales

Hasta ahora se han llevado a cabo 7 años de monitorización, análisis y evaluación de los 24 modelos residenciales a partir de los datos registrados a través del proyecto PROFIT, sobre cada uno de los paquetes de técnicas de acondicionamiento pasivo en condiciones reales de uso y los parámetros ambientales de cada una de las viviendas.

Los datos obtenidos de cada uno de los sensores son registrados cada minuto (temperatura, temperatura superficial de los paramentos, humedad relativa y velocidad del aire). Los datos obtenidos se interpretan con la ayuda de los principales diagramas bioclimáticos (Givoni y Olgyay). Luego se contrastan con la valoración subjetiva de los visitantes obtenida a partir de cuestionarios de satisfacción y bioclimáticos (anexos). De esta manera se relacionan los datos de ambiente interior, primero con los parámetros de confort generales, luego con la valoración personal de cada uno de los visitantes. Esto da lugar a una base de datos muy alta referida a los modelos bioclimáticos en climas soleados. A continuación se muestra el ejemplo de monitorización de la vivienda 1:

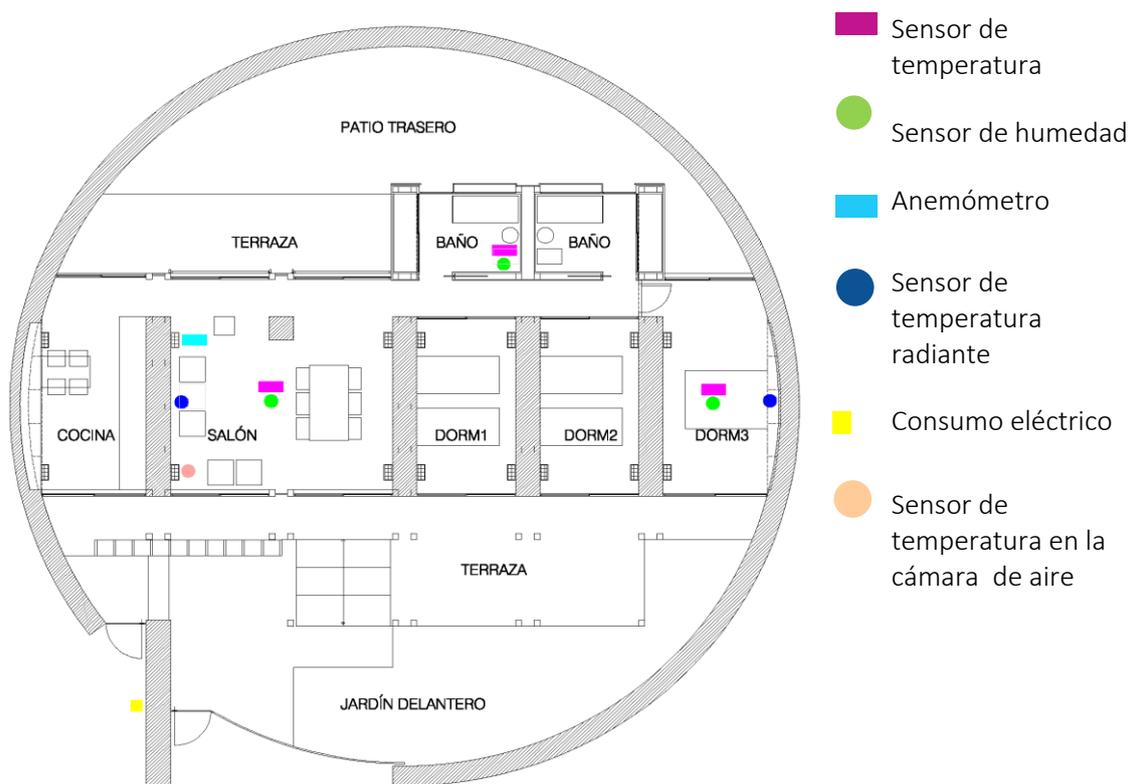


Figura 50 Esquema de distribución de los sensores en la vivienda 1 La Geria

Los 3 sensores integrados de temperatura y humedad se encuentran en la vivienda 1 *La Geria* del siguiente modo: uno en la estructura de acero inoxidable que cuelga del techo del salón, otro en el altillo que está encima de los baños y por último el que está en el dormitorio principal, también colgado del techo. Las características principales del sensor integrado de temperatura y humedad SHT11 SENSIRION son las siguientes:

Temperatura

- Precisión típica ($^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,4$
- Rango de medida ($^{\circ}\text{C}$) -40 a 123,8
- Resolución ($^{\circ}\text{C}$) 0,01
- Frecuencia de muestreo (Hz) 3
- Resolución de lectura accesible ($^{\circ}\text{C}$) 0,1

Humedad relativa

- Precisión típica (%RH) ± 3
- Rango de medida (%RH) 0 a 100
- Resolución (%RH) 0,05
- Frecuencia de muestreo (Hz) 3
- Resolución de lectura accesible (%RH) 0,1

Los 2 sensores de temperatura radiante están colocados, uno en la pared que separa el salón de la cocina y el otro en la pared circular de mampostería en la habitación doble. Las características principales de estos sensores TC 77 DE MICROCHIP son las siguientes:

- Rango de alimentación (V) 2.7 a 5.5
- Consumo (μ A) 0.1 a 250
- Precisión típica ($^{\circ}$ C) \pm 0,5
- Rango de medida($^{\circ}$ C)-55 a 125
- Resolución ($^{\circ}$ C) 0,0625
- Frecuencia de muestreo (Hz) 3
- Resolución de lectura accesible ($^{\circ}$ C) 0,1

La temperatura de las cámaras de aire situadas debajo del suelo de la vivienda se mide debajo del salón. El anemómetro se encuentra dentro de la cámara a la altura de la pared que separa la cocina del salón para medir la velocidad del aire de renovación de la vivienda. Las principales características del anemómetro de hilo caliente para bajas velocidades de aire son las siguientes:

- Rango de trabajo seleccionable 0-1m/s, 0-1.5/s, 0-2m/s
- Salida -10V o bien 4-20mA
- Exactitud:
 - 0.04m/s+2% del valor medio (0-1m/s)
 - 0.05m/s+2% del valor medio (0-1.5/s)
 - 0.06m/s+2% del valor medio (0-2m/s)

El consumo eléctrico queda registrado en la pared exterior de acceso a la vivienda mientras que el cuadro general está situado en la cocina. Todos los datos obtenidos, las herramientas de valoración y los patrones de diseño obtenidos estarán disponibles en el Centro de Visitantes existente en las instalaciones del ITER, así mismo están disponibles a tiempo real en cada vivienda y de forma histórica en la página web, dotando a éste no solo de un carácter técnico sino también divulgativo de forma que sea útil para los usuarios de las viviendas. En el caso de la vivienda 1 *La Geria*, el cuadro de control de acceso directo a los sensores por los usuarios de las viviendas se encuentra en la cocina de la vivienda, junto al cuadro general.

4. Sistema domótico

El sistema de automatización y gestión técnica de la energía de las viviendas se estructura esquemáticamente de la siguiente manera: en las viviendas existen diferentes sensores a través de los cuales se toman datos que se remiten a un servidor, el cual pone a disposición de un ordenador central los datos recogidos. El ordenador central realiza una compilación global de todos los datos de cada una de las viviendas, permitiendo el acceso a los datos globales o individuales, la monitorización de su funcionamiento en tiempo real y el estudio de la evolución de los distintos parámetros a lo largo del tiempo. Los sistemas que forman el sistema domótico son: la red de sensores, el sistema de comunicaciones, el sistema de proceso y almacenamiento. Los sensores comunes a todas las viviendas incluyen:

- Sensores de temperatura a distintas alturas de la vivienda
 - Sensores de temperatura superficial a ambos lados de paredes y techos
 - Sensores de humedad relativa
 - Medidores de flujos de aire
-

Los principales objetivos del sistema domótico de las viviendas son los siguientes:

- Gestionar técnicamente la eficiencia energética de las viviendas de manera individual y global – a modo de urbanización-.
- Permitir la comunicación del sistema con una red general de telecomunicaciones
- Facilitar el acceso a la información desde las viviendas y desde cualquier PC que se encuentre conectado a LAN del ITER, usando simplemente un navegador Web.
- Mejorar el confort de las viviendas mediante el registro y publicación de los datos obtenidos

La monitorización de las viviendas no sólo aporta información simultánea acerca del balance energético (energía generada-consumida), sino que además una información actualizada sobre el consumo de energía permite plantear mejores estrategias de ahorro y eficiencia energética, mediante la realimentación ofrecida a los usuarios acerca de las consecuencias que la conexión de los aparatos de la vivienda tiene sobre el consumo; el cuadro eléctrico de la vivienda nos da esta información.

En la tabla siguiente se muestran los sensores colocados según el uso del espacio de cada una de las viviendas:

CASA	Tipo de sensor y localización																			
	T1	HR 1	T2	HR 2	T3	HR 3	T4	HR 4	T5	HR 5	T6	HR 6	T7	HR 7	T8	HR 8	T9	HR 9	T10	V
1	STS	-	S	S	D1	D1	DPT S	-	P	P	-	-	S TC	-	-	-	-	-	-	S
2	C	-	S	S	D1T S	-	D2T S	-	DP	DP	D3T S	-	-	-	-	-	-	-	-	S
3	D1T S	-	D2	D2	D3T S	-	S	S	STS	-	STS	-	-	-	-	-	-	-	-	S
4	S	S	D1T S	-	D1T S	-	D2T S	-	D2	D2	D2T S	-	D2T S	-	-	-	-	-	-	S
5	CO	CO	COT S	-	CTS	-	STS	-	S	S	PTS	-	-	-	-	-	-	-	-	C
6	S	S	STS	-	DPT S	-	DP	DP	D1T S	-	D1T S	-	D1	-	D1	D1	D1T S	-	-	S
7	D1	-	D2	D2	D2T S	-	D3T S	-	STS	-	S	S	C	-	-	-	-	-	-	S
8	STS	-	S	S	CTS	-	D1T S	-	D2T S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S
9	STS	-	S	S	D1	-	D1	-	D2T S	-	D2	D2	-	-	-	-	-	-	-	S
10	S	S	STS	-	DTS	-	D2	D2	D3T S	-	D4T S	-	D4	D4	-	-	-	-	-	S
11	D1T S	-	D1	D1	D2	D2	D2	-	STS	-	S	S	DPT S	-	-	-	-	-	-	S
12	STS	-	S	S	PTS	-	D1T S	-	D1	D1	DP	DP	DPT S	-	-	-	-	-	-	S
13	STS	-	STS	-	S	S	DPT S	-	PTS	-	D1T S	-	D2	D2	D2T S	-	-	-	-	S
14	EST S	-	S	S	D1T S	-	D2	D2	D2T S	-	DPT S	-	-	-	-	-	-	-	-	D 1
15	STS	-	STS	-	S	S	DPT S	-	D1	D1	D1T S	-	D2T S	-	-	-	-	-	-	S
16																				
17	STS	-	STS	-	S	S	STS	-	D1	D1	D1T S	-	DP	DP	DPT S	-	-	-	-	S
18	-	-	DPT S	-	DP	DP	-	-	D1	D1	D1T S	-	D1T S	-	-	-	-	-	-	S
19	PTS	-	D1T S	-	D1	D1	DPT S	-	CTS	-	C	C	STS	-	STS	-	-	-	-	P
20	STS	-	C	C	CTS	-	D1T S	-	D1	D1	DPT S	-	DPT S	-	-	-	-	-	-	C
21	D1T S	-	D1	D1	D1T S	-	DPT S	-	DP	DP	DPT S	-	DPT S	-	STS	-	S	S	-	S
22	STS	-	S	S	SE	SE	DPT	-	DPT	-	D1	D1	D1T	-	-	-	-	-	-	S

						S		S				S								
23	STS	-	D1	D1	CO	CO	COT S	-	EST S	-	DPT S	-	DPT S	-	-	-	-	-	-	C O
24	TTS	-	S	S	CTS	-	D1	D1	D2T S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P
25	DPT S	-	DPT S		CTS	-	DP	DP	D1T S	-	P	P	COT S	-	CO	CO	S	-	S	S

Consumo eléctrico [CE]

Humedad relativa exterior [HRE]

Humedad relativa interior [HR]

Velocidad del aire interior [V]

Temperatura del aire interior [T]

Temperatura de superficie [TS]

Temperatura del aire exterior (a

1,6m de altura) [TE]

Temperatura en cámaras [TC]

Pasillo [P]

Salón [S]

Dormitorio [D]

Dormitorio Principal [DP]

Cocina [C]

Entrada [E]

Comedor [CO]

Estar [ES]

Salón exterior [SE]

Terraza [T]

Tabla 52 Tipo y localización de cada uno de los sensores por vivienda perteneciente al laboratorio bioclimático

5. Resultados de las mediciones

Los factores ambientales teóricos para que el ambiente interior sea confortable según diferentes fuentes, son los siguientes:

	Sedentario	Movimiento ligero	Verano	Invierno
Temperatura	17-27°C	14-25°C	23-25°C	21-23°C
Velocidad del aire	0,25m/s	0,35m/s	-	-
Humedad	30-70%	30-70%	45-60%	40-50%

Tabla 53 Rangos teóricos de confort (temperatura, humedad y velocidad del aire)

Según la tabla de Givoni, la temperatura de confort es entre 20-28°C, para una humedad relativa entre 20-75%. Según el análisis de los datos obtenidos entre 2010 hasta 2014:

- El Caminito (2), El Muro (2), el Bernegal (2) y las Bóvedas (3) son las casas mejor adaptadas al clima de la zona, con sólo dos/tres meses en los que se sale ligeramente de la gráfica de confort de Givoni.
- El Patio (12/3), La Duna (12/3), El Gavión (12/1), El Alisio (12), El Río (12), La Religa(12) y El Cangrejo (12) son la peor adaptadas a la zona, con doce meses en los que se sale ligeramente de la gráfica de confort; además Duna y El Patio están durante tres meses fuera por completo de la gráfica de confort. El Gavión un mes totalmente fuera de la gráfica.
- La Geria (6/4) y El Escudo (6/4) están seis meses ligeramente fuera de la gráfica, sin embargo cuatro de esos meses están totalmente fuera de la gráfica.
- Las casas peor adaptadas en cuanto al frío: El Cubo, Bernoulli, El Muro.
- Las casas peor adaptadas en cuanto al calor: La Geria, La Estrella, El Gavión, La Geoda, La Tea, El Pueblo, Noche Y Día, El Dispositivo, El Escudo, Duna.

Por orden de meses fuera del confort de mayor a menor, fuera del ámbito de confort, temperatura, año de las mediciones:

Vivienda	GRUPO 1							GRUPO 2							
	mes	22	24	8	6	13	21	25	3	15	14	23	10	18	5
fuera	12	12	12	12	12	12	12	9	9	8	8	7	7	7	6
temperatura	3	3	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	2	0	0
año	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+/-	+	+/-	+/-	+/-
	10	11	10	13	10	13	11	10	10	12	10	12	11	13	11

Vivienda	G 3		GRUPO 4						
	mes	20	1	9	12	4	11	2	7
fuera	6	6	5	5	4	3	2	2	2
temperatura	4	4	0	0	1	0	0	0	0
año	+	+	+	+/-	+/-	+/-	-	-	+
	10	10	10	10	13	10	11	10	10

Tabla 54 Agrupación de viviendas por meses fuera de la zona de confort según las tablas de Givoni

Grupo 1: El Patio, Duna, Gavión, El Alisio, El Río, La Religa, El Cangrejo.

Grupo 2: La Estrella, Noche Y Día, El Pueblo, La Arcilla, La Tea, El Bernegal, Bernoulli, La Vela.

Grupo 3: El Escudo, La Geria.

Grupo 4: La Geoda, Compacta, El Cubo, Las Bóvedas, El Caminito, El Muro, El Dispositivo.

Las del grupo 4 no las tenemos en cuenta, ya que su diseño se adapta bastante bien al clima, menos la Geoda que se llega a alcanzar temperaturas de 35°C en noviembre, para poder estudiarla más en detalle. Del grupo 2, Bernoulli y del Grupo 1 El Patio, no superan en la temperatura máxima de 28°C, así que también quedan fuera del siguiente análisis:

Vivienda		invierno		primavera		verano		otoño			I	D	T*	T**		
		E	F	M	A	M	J	J	A	S					O	N
Grupo 1	24	T	-	-	-	-	-	25.2	26.2	27.0	28.3	28.7	27.8	-	6	4
		HR						5	2	5	4	2	82			
								86	87	86	85	85				
	8	T	-	-	-	-	29.6	29.6	31.7	33.3	34.6	35	35.8	32	8	1
		HR					63	71	69	71	67	71	56	56		
	6	T	-	-	-	31	30.8	32.1	34.3	31.9	31.2	30.2	-	-	7	0
		HR				62	59	62	68	68	62	64				
	13	T	-	-	-	-	-	28.2	30.3	29.2	28.8	31.7	-	-	5	0
		HR						66	67	67	68	66				
	21	T	28.	28.8	29	30.7	30.1	32.2	28.6	28.4	28.4	29.1	26.6	26.6	12	0
	HR	78	5	.3	7	6	8	8	2	6	8	8	83			
		69	71	70	75	75	67	77	78	77	73	79				
25	T	31.	32.3	32	29.0	29.4	32.3	30.5	30.6	32.9	31.5	28.8	31.2	12	0	
	HR	35	5	.5	2	7	2	7	5	5	2	61	63			
		60	59	2	68	68	70	67	73	74	66					
				65												
3	T	-	-	-	28.2	29.3	29.5	30.9	31	29.9	29.2	28.8	-	8	0	
	HR				62	62	61	64	66	67	65	64				
15	T	-	-	-	-	-	28.8	30.9	29.8	29.3	30.8	-	-	5	0	
	HR						66	68	67	68	65					
Grupo 2	14	T	-	-	-	-	-	27.1	28	29.2	27.6	-	-	4	2	
		HR						7	84	9	7					
								85	83	83	83					
23	T	-	-	-	-	-	27.1	28.6	28.9	28.2	29.8	-	-	5	0	
	HR						2	67	6	6	6					
							68	69	70	65						

Grupo 3	10	T	-	-	-	-	28.6	28.8	28.4	31.7	33.5	30.7	28.2	-	7	3
		HR					7	60	5	5	5	3	62			
	18	T	-	-	-	-	-	-	27.1	28	29.2	27.6	-	-	4	0
		HR							7	84	9	7				
	17	T	-	-	-	-	-	28.4	28.3	30.2	30.4	29.8	-	-	5	0
		HR						63	7	70	9	7				
	20	T	-	-	-	-	-	29.0	30.8	31.7	30.8	30.6	28.5	-	6	4
		HR						7	9	6	9	60	53			
	1	T	-	-	-	-	-	29.0	30.8	31.7	30.8	30.6	-	-	5	4
		HR						7	9	6	9	60				
9	T	31.	30.1	-	-	-	-	-	-	-	-	34.0	35.1	33.25	5	0
	HR	28	64									7	7	66		
		62										64	64			

Leyenda: T*= Total $\geq 28^{\circ}\text{C}$ T**= Total de veces fuera de la zona de confort.

Tabla 55 Resumen de temperaturas y humedad relativa por grupo de viviendas obtenidos en las mediciones; estudio de sobrecalentamiento

En definitiva, la casa con una temperatura más alta durante más tiempo es El Gavión (vivienda 8), alcanzando 35.8°C con una humedad relativa de 56% en noviembre, la segunda vivienda La Geoda con una temperatura máxima de $35, 17^{\circ}\text{C}$, también en noviembre; las viviendas que durante más tiempo se recalientan son La Religa y El Cangrejo. En todos los modelos residenciales de la tabla anterior, en el mes de octubre se sobrepasa el ámbito de confort. En julio, agosto y septiembre se sobrepasa en todas menos en La Geoda.

- Selección 1: EL GAVIÓN Y LA GEODA, temperaturas más altas.
- Selección 2: LA RELIGA Y EL CANGREJO, todos los meses se sobrepasa la temperatura de confort.

Reordenando la tabla anterior, el grupo de viviendas con mayor sobrecalentamiento sería el 1 y el que menos el 4:

Vivienda	GRUPO 1				GRUPO 2			GRUPO 3					GRUPO 4			
	25	21	8	9	3	6	10	20	24	15	17	13	1	23	14	18
Meses fuera del área de confort	12	12	8	5	8	7	7	6	6	5	5	5	5	5	4	4
Temperatura $\geq 35^{\circ}\text{C}$	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura $\geq 32^{\circ}\text{C}$	2	2	2	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura $\geq 29^{\circ}\text{C}$	4	2	4	2	6	5	2	5	1	4	3	2	1	1	1	1

Tabla 56 Resumen meses según temperatura y grupo de viviendas

Grupo 1: El Cangrejo, La Religa, El Gavión y La Geoda.

Grupo 2: La Estrella, El Alisio y La Tea.

Grupo 3: El Escudo, La Duna, Noche Y Día, La Vela y El Río

Grupo 4: La Geria, La Arcilla, El Pueblo y El Bernegal.

A continuación se resumen los datos obtenidos en los meses más significativos en cuanto a sobrecalentamiento, de las viviendas pertenecientes al grupo 1.

Vivienda 25 El Cangrejo

La casa se sitúa en la vertiente sur- este de la urbanización bioclimática, a unos 14 metros sobre el nivel del mar. La vegetación alrededor de la vivienda se clasifica como matorral de costa con numerosa presencia de tabaibas (*Euphorbia balsamifera*). La pendiente del terreno cae muy levemente hacia el sur. La casa está concebida circunscrita en un semicírculo con una cubierta orientada a Sur- Oeste que se levanta a modo de caparazón, protegiendo la vivienda de los vientos persistentes procedentes del Noreste.

La edificación consta de un programa integrado formado por una cocina abierta hacia el salón amplio y diáfano que a su vez se encuentra orientado hacia el exterior mediante una cristalera al Oeste y practicable. Los dormitorios se sitúan en el ala norte, comunicados mediante un pasillo corredor junto a la cristalera posicionada al Sur. El dormitorio principal cuenta con aseo y vestidor. El baño completo principal de la casa se encuentra al final del pasillo en la parte oeste. La casa se completa con dos espacios técnicos donde se albergan los diferentes equipos necesarios. En cuanto al exterior la vivienda cuenta con un patio que proporciona luz natural continua a lo largo del día a toda la vivienda.

Dimensiones

Superficie lote: 520 m ²	Dormitorio simple 14.14 m ²
Superficie construida total: 125,8 m ²	Dormitorio simple 13.20 m ²
Superficie útil residencial: 109 m ²	Aseo 2.22 m ²
Salón 43 m ²	Baño 15.32 m ²
Cocina 7.36 m ²	Pasillo 4.89 m ²
Dormitorio matrimonial 16.34m ²	Terraza: 39,63 m ²

Envolvente

La fachada Sur acoge la instalación de tanto los paneles solares fotovoltaicos como los paneles solares térmicos para la instalación de ACS. Se compone por una estructura mixta de vigas de madera laminada y encolada, estructura galvanizada, aislamiento térmico, cerramiento de placas de fibrocemento y revestimiento de plaquetas de azulejo.

En la fachada Norte se integra la cubierta curva en forma de caparazón que posee la peculiaridad de absorber la energía del sol por tramos según sea la incidencia perpendicular de los rayos solares a lo largo del día. Se compone por una cubierta tipo sandwich autoprotégida no transitable con aislamiento térmico de 40 mm. sujeta a la estructura de madera principal mediante perfilaría de acero galvanizado.

Tanto la fachada Este como Oeste están compuestos por la solución anteriormente descrita de montantes de estructura galvanizada, paneles de fibrocemento y acabado en revestimiento de plaquetas de azulejos. El porcentaje de huecos es de cerca del 25% para la fachada Oeste y menos del 20% para la Este.

Sistemas activos

La instalación fotovoltaica consta de 38 paneles fotovoltaicos orientados al sureste y con una inclinación de unos 15 grados integrados en la estructura de la vivienda. Los paneles son del tipo multicristalino con una potencia pico de 40 Wp y con una potencia pico de 1,52 kWp de

potencia total del generador. Esta instalación dispone de un inversor para permitir la conexión a la red eléctrica.

La instalación para la producción de agua caliente se ha resuelto mediante la colocación de un sistema forzado integrado en el edificio que consta de dos captadores solares, con una inclinación de 45° y orientados al Sur. El depósito interacumulador de 200 l de capacidad es el necesario para el consumo previsto de la vivienda y un grupo de bombeo necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

Sistemas pasivos

Las ganancias directas en esta vivienda se realizan principalmente a través de sus dos grandes superficies acristaladas, una orientada a la vertiente Oeste (30m²), y la otra en la fachada orientada a Sur (26m²). La vivienda se abre estratégicamente hacia el Suroeste permitiendo así captar desde las primeras horas de sol hasta el ocaso. Estas fachadas se encuentran protegidas mediante dos sistemas pasivos: un alero que protege levemente las superficies acristaladas con un coeficiente de volado 0,18 veces la altura de la cristalera y unos parasoles que reducen en un 50% la incidencia solar directa sobre la fachada Oeste.

La ventilación de la vivienda se resuelve mediante la generación de ventilación cruzada, lo cual genera un movimiento de aire natural que provoca una inmediata reducción de la sensación térmica y a través de la integración de dos aireadores en ambas caras unos en la fachada Este y otro en la fachada Oeste que permiten la entrada de aire exterior previamente filtrado a la estancia principal y por conexión a todas las estancias.

Monitorización

La monitorización está formada por una red de 5 sensores de temperatura radiante, uno situado en el techo del espacio principal, el salón y tres sensores integrados de temperatura y humedad (salón, dormitorio y distribuidor). El anemómetro está colocado en el salón, el espacio más amplio de la vivienda. A continuación se muestran los resultados obtenidos de las mediciones en la casa 25 El Cangrejo en noviembre 2010:

	Sensor T1 Pared	Sensor T2 HR2	Sensor T3 Pared	Sensor T4	Sensor T5
Temperatura Máx.	32.8	35.2	35.1	33	30.9
Temperatura Mín.	28.5	25.8	25.7	24.9	25.4
Humedad relativa máx. [%]	-	76	-	-	-
Humedad relativa min. [%]	-	46	-	-	-
Uso	SALÓN	SALÓN	COCINA	DORM 2	DORM 1

Tabla 57 Esquema de datos obtenidos de la vivienda 25 El Cangrejo en el mes de mayores temperaturas

Los valores de esta tabla son los obtenidos en el mes de mayor sobrecalentamiento detectado. En general la vivienda se mantiene dentro de los rangos de confort habituales.

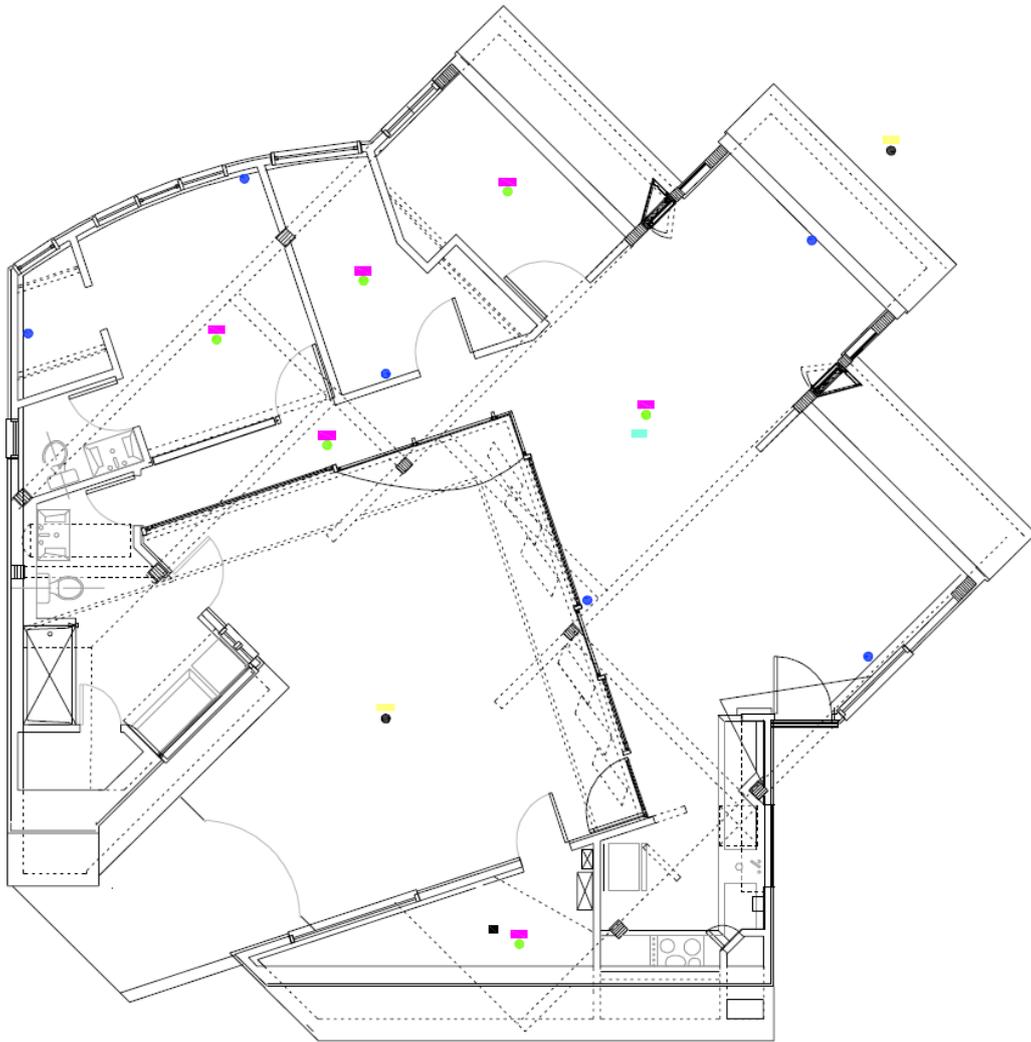


Figura 51 Situación en planta de los sensores de la vivienda 25 El Cangrejo

Vivienda 21 La Religa

Esta casa está asentada en una pequeña planicie en el corazón de la urbanización, a unos 16 metros sobre el nivel de mar. De igual manera que el resto de las casas el viento dominante incide sobre la fachada Este y se encuentra rodeada de característico matorral costero de la zona con especies como la tabaiba dulce del género *Euphorbia* o el salado, endemismo macaronésico (*Schizogyne serícea*) o la aulaga *Launaea arborescens*.

El volumen edificado que ocupa esta vivienda es en forma de C generando en su centro un patio, protegido por los muros. La cubierta es ligera metálica en curva con caída orientada hacia el Sur. Toda la fachada Sur de la vivienda queda protegida detrás de un muro pantalla curvado formado por paneles fotovoltaicos. Los muros verticales de paneles fotovoltaicos tienen un bajo rendimiento.

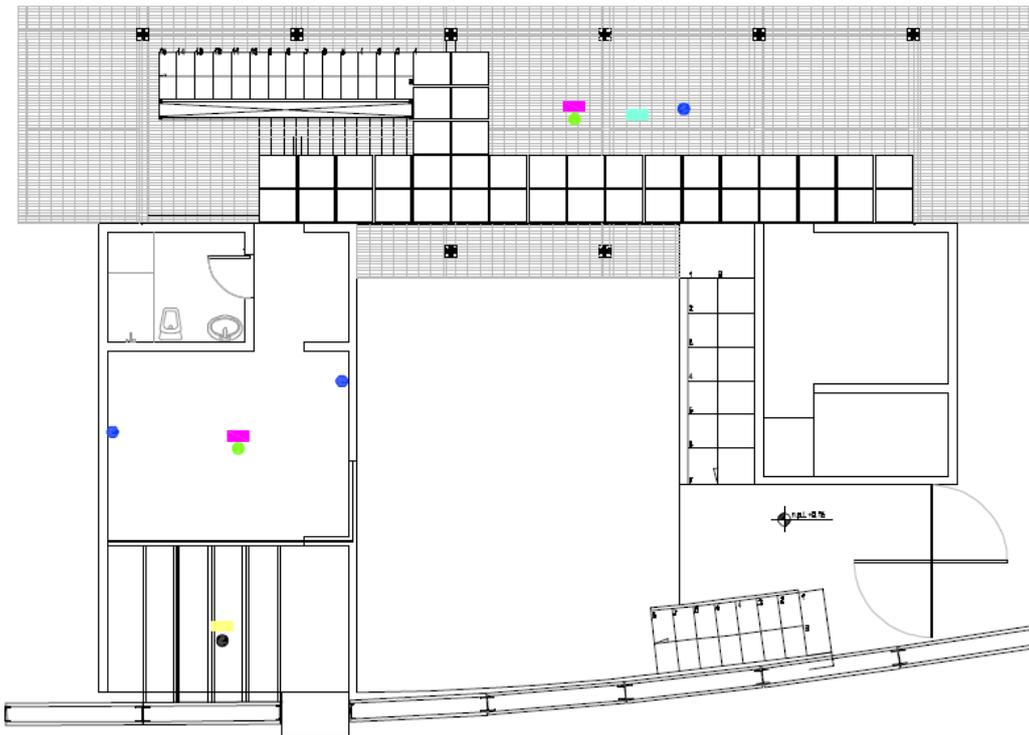


Figura 52 Localización de los sensores en planta alta de la vivienda 21 La Religa

La vivienda se compone de 3 volúmenes diferenciados bajo una cubierta ligera metálica organizados en torno a un patio central. En el ala oeste se dispone la zona de descanso con un dormitorio doble en la planta alta y dormitorios y servicios en la planta baja, en el ala contraria se dispone la zona de servicio en la planta alta y dispuesta en planta bajo un cuarto técnico ambos espacios superiores son comunicados mediante una estancia que funciona como zona de día. Bajo este se dispone un espejo de agua que permite la refrigeración del ambiente circundante.

Dimensiones

Superficie construida total: 257.00 m²

Superficie total útil: 194.00 m²

Estancia-comedor: 48.00 m²

Cocina: 9.00 m²

Despensa: 4.95 m²

Dormitorio 1: 14.20 m²

Dormitorio 2: 10.62 m²

Dormitorio 3: 14.50 m²

Baño 1: 5.00 m²

Baño 2: 4.45 m²

Cuarto de máquinas: 19.20 m²

Total: 130.00 m²

Terraza abierta: 12.30 m²

Circulaciones: 20.00 m²

Espejo de agua: 87.00 m²

Áreas de ropero: 8.65 m²

Total: 127.95 m²

La fachada Sur se constituye mediante un gran muro fotovoltaico vertical de 6 metros de altura por 18,5 metros con una ligera curvatura, sostenido mediante un entramado vertical y horizontal de perfiles de acero forrado mediante paneles de aluminio perforado a en la cara trasera y paneles fotovoltaicos sin marco en la cara frontal. El resto de fachadas a Sur y protegidas bajo este muro se conforman mediante muros de hormigón armado y fachadas

acristaladas. En el caso del salón la fachada acristalada representa un 80% de la superficie de exposición permitiendo la entrada de energía a través del acristalado tipo Planilux de 10mm engarzado en una carpintería de aluminio anodizado.

La orientación norte de la pieza central se define como una fachada acristalada mediante lunas tipo Planilux de 10 mm engarzada en una carpintería de aluminio anodizado anclada al entramado de acero que conforma la estructura con una superficie de acristalado próximo al 80%.

En cuanto a la vertiente Este se compone mediante una fachada mixta, para la pieza que conforma de la cocina, edificada en hormigón armado de 20 cm con una terminación superior en el encuentro con la cubierta ligera de chapa metálica en forma de lucernario con acristalado y carpintería de aluminio cuya superficie representa el 15% de superficie cristal tipo Planilux 10mm y una fachada acristalada 80% para la pieza del salón de las mismas características para la pieza que conforma el salón.

La fachada Oeste al igual que la Este se define como fachada mixta en hormigón armado de 20 cm y terminación en línea de lucernario de iguales características en el encuentro con la fachada en cuanto a la pieza de dormitorio y fachada acristalada 80% con carpintería de aluminio anclada al entramado metálico estructural en cuanto a la pieza de salón.

Sistemas activos

Esta instalación fotovoltaica es notoriamente diferente a las demás debido a que se conforma en vertical formando parte de una pantalla que envuelve a la vivienda por su fachada sur. El sistema fotovoltaico está formado por 90 paneles fotovoltaicos orientados al Sur y con una inclinación de 90 grados sobre la horizontal. Los paneles son del tipo policristalino con una potencia pico de 170 Wp y 15.3 kWp de potencia total del generador. Esta instalación dispone de un inversor para permitir la conexión a la red eléctrica.

En cuanto a la instalación para la producción de agua caliente se ha colocado un sistema forzado integrado sobre la cubierta curva de la vivienda, el cual que consta de un captador solar, con una inclinación de 15° y orientados al Sur. El depósito interacumulador de 200 litros de capacidad es el necesario para el consumo previsto de la vivienda y un grupo de bombeo necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

Sistemas pasivos

Las ganancias solares se realizan a través de la captación de energía calorífica procedente del sol y que penetra en la vivienda a través de las fachadas acristaladas. En este caso la vivienda posee una superficie captadora amplia y distribuida en sus diferentes vertientes. Al Sur 14,13m² de carpintería de aluminio acristalado lo que supone el 80% de la exposición de la fachada a esta orientación.

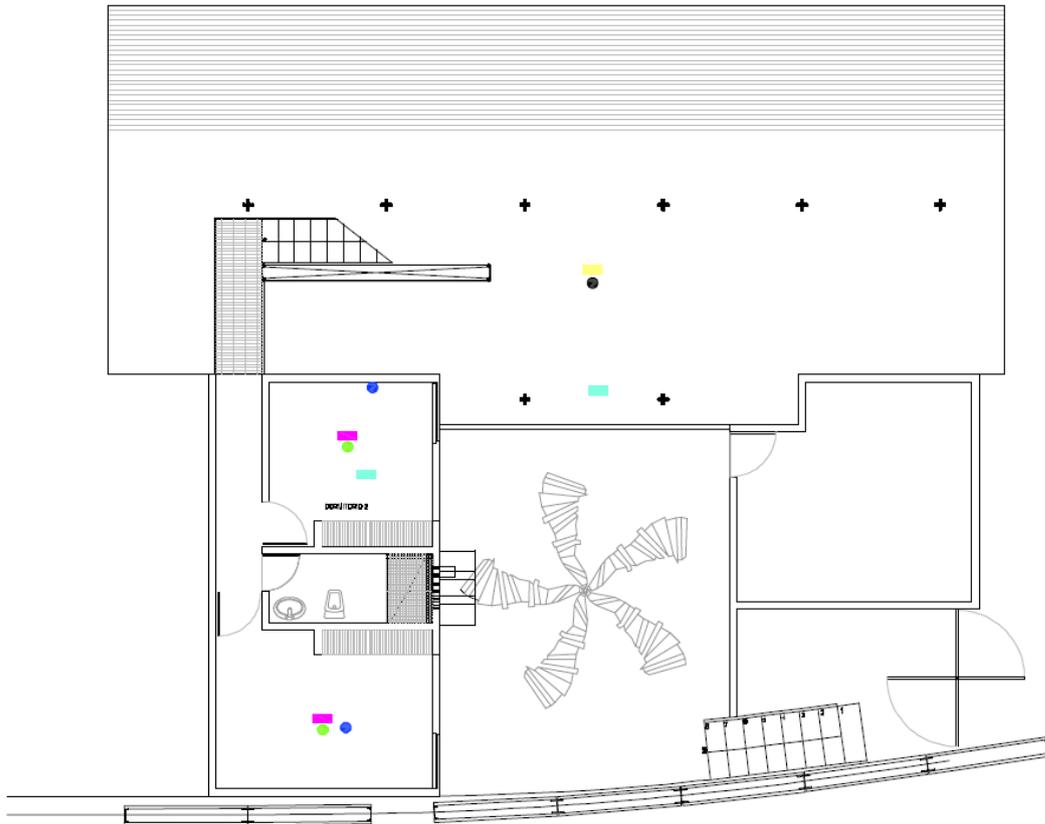


Figura 53 Localización de los sensores en planta baja de la vivienda 21 La Religa

Protección de la fachada Este y Oeste

Hacia las vertientes Este y Oeste la casa cuenta con una superficie expuesta acristalada de 6,5m² en cada una de las orientaciones además de la superficie de captación que aportan los lucernarios 15 m² para cada una de las piezas de dormitorio y cocina.

- Muros y cerramientos.
- Muros de hormigón armado.
- Cerramiento en aluminio y acristalado tipo Planilux 10mm.
- Cubierta ligera de paneles metálicos con alma de aislante.

Espejo de agua

El espejo de agua favorece la creación de microclimas y disminuye las variaciones diarias de temperatura. En este caso el agua encuentra en el aire el calor necesario para pasar del estado de líquido a vapor, la temperatura del aire se ve así reducida y la humedad relativa del aire aumenta. Para maximizar este efecto se ha dispuesto una superficie de unos 60 m² para el contacto aire-agua.

Ventilación

La ventilación se crea a partir de la interconexión de espacios con orientaciones opuestas. En el caso de la vivienda La Religa, la casa cuenta con huecos practicables en todas las orientaciones lo que permite generar y modular el efecto del viento. La superficie acristalada practicable permite contar con una capacidad de generar ventilación adecuada.

La edificación de las piezas en torno a un espacio central permite ventilar cada una de las estancias aprovechando el aire fresco que penetra en la vivienda atravesando el espejo de agua reduce su temperatura.

Monitorización

Sensor:	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9HR9
	Pared	HR2	Pared	Pared	HR5	Pared	Pared		
Temperatura Máx.	27.3	27.2	30.2	39	37.7	43.8	33	38.7	38.4
Temperatura Mín.	23.8	21.9	23	20.7	20.7	17	21.8	19.8	19.9
Humedad relativa máx. [%]	-	76.8	-	-	69.3	-	-	-	74.6
Humedad relativa min. [%]	-	60.9	-	-	36.2	-	-	-	39.2
Uso (PLANTA)	DORM1	DORM1	DORM1	DORM 2	DORM 2	DORM 2	DORM 2	SALÓN (ALTA)	SALÓN (ALTA)

Tabla 58 Esquema de datos obtenidos de la vivienda 21 La Religa en el mes de mayores temperaturas

El plan de monitorización consta de una red de sensores integrada por 3 sensores de temperatura radiante en pared que aportan información sobre la temperatura registrada en las vertientes Norte, Este y Oeste de la vivienda. Tres sensores de temperatura y humedad se encargan aportar datos del ambiente en el salón y dos de los dormitorios. En este caso se han dispuesto 2 anemómetros, uno en el salón y otro en el dormitorio principal.

Vivienda 8 El Gavión

Esta vivienda se sitúa al Este de la urbanización bioclimática sobre un terreno con una ligera pendiente hacia el sur. Los vientos de componente noreste soplan de manera constante (octubre mes de las calmas). La vivienda se organiza en base a una planta rectangular de aproximadamente 11x11 m² con una cubierta independiente metálica con forma de onda o perfil aerodinámico. En su parte Este se ha elevado un muro de mampostería seca que protege la vivienda de los fuertes vientos predominantes.

Distribución

Desde la entrada principal por el Sur se accede a un gran espacio de estar-cocina que abarca toda la orientación Sur. En la parte Norte se encuentran los tres dormitorios de los que dispone la casa y un baño junto a una pieza de instalaciones. El cambio de volumen entre el salón estar y los dormitorios ofrece una volumetría especial pasando de un gran espacio a otros más íntimos. La vivienda cuenta con gran variedad de espacios exteriores accesibles.

Dimensiones

Superficie de parcela: 314.16 m²

Superficie construida total: 309.6 m²

Superficie útil construida: 103.6 m²

Superficie de terrazas: 120 m²

Área de estar 37.8 m²

Cocina-comedor 14.10 m²

Acceso dormitorio 7.70 m²

Dormitorio 13.00 m²

Dormitorio 9.70 m²

Dormitorio 11.50 m²

Baño e instalaciones 9.8 m²

Terrazas oeste: 32 m²

Terrazas sur: 34 m²

Terrazas este: 24 m²

Terrazas norte: 30 m²

Envolvente

La fachada Sur se compone de unos paneles deslizantes que permiten la continuidad espacial interior exterior. La superficie acristalada es del 90%, sin embargo ésta está protegida de la irradiación solar mediante la cubierta. La cubierta se articula a través de una estructura independiente fundamentada en 4 estructuras metálicas con eje N-S y apoyada sobre los muros perimetrales y muros que dividen las distintas estancias. Sobre estas 4 vigas curvadas se apoya la cubierta metálica grecada que abarca toda la superficie construida. La cubierta tiene unas prolongaciones en forma de entablillados de madera a modo de protecciones solares para las distintas fachadas. Para nivelar la cubierta se ha añadido mortero nivelante y sobre este se ha dispuesto una capa impermeabilizante en forma de lámina asfáltica con terminación en arena.

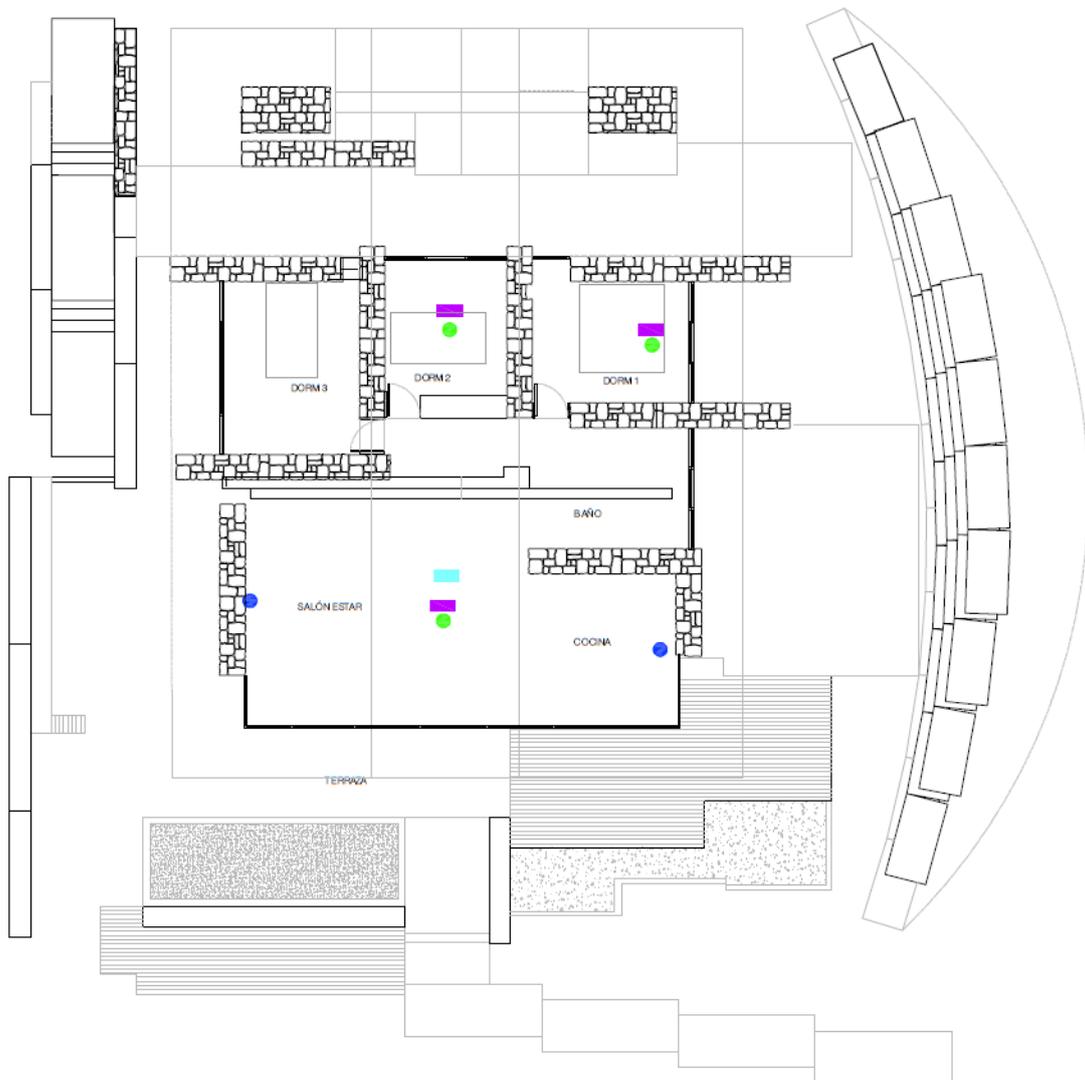


Figura 54 Localización de los sensores en planta baja de la vivienda 8 El Gavión

Sistemas activos

La instalación fotovoltaica consta de 32 paneles fotovoltaicos orientados al Sur y con una inclinación variable, adaptándose a la curvatura de la cubierta y de manera superpuesta. Los paneles son del tipo policristalino con una potencia pico de 170 Wp y 5,44 kWp de potencia total del generador. Esta instalación dispone de un inversor para permitir la conexión a la red eléctrica.

La instalación para la producción de agua caliente se ha resuelto mediante la colocación de un sistema forzado integrado en el edificio que consta de dos captadores solares, con una inclinación de 20º y orientados al Sur. El depósito interacumulador de 200 litros de capacidad es el necesario para el consumo previsto de la vivienda y un grupo de bombeo necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

Sistemas pasivos

Las ganancias directas en la vivienda son altas debido a la gran superficie acristalada casi la totalidad de la fachada Sur se encuentra acristalada. La protección solar de esta fachada se integra mediante una pérgola de madera con un coeficiente protección/fachada de 0,5. El cristal engarzado en la fachada ligera de bastidores de aluminio se corresponde a vidrio de 12mm de alta resistencia con un coeficiente $K = 5,5 \text{ W/ m}^2 \times K$. La superficie acristalada no solo se dispone en la fachada sur sino que es repartida por todas las orientaciones permitiendo un nivel de iluminación muy alto y aporte de energía a últimas horas del día o a primeras de la mañana. La superficie aproximada de lucernarios es de 6 m².

La ventilación de la vivienda se consigue mediante la interconexión activa de diferentes orientaciones de la casa permitiendo un paso así de aire desde la orientación más fresca hacia la más cálida. Esta corriente puede ser graduada en su intensidad mediante el porcentaje de apertura de las distintas fachadas o lucernarios acristalados.

Sobre los lucernarios en los alzados Este y Oeste se sitúa los ojos de buey parcialmente abiertos que contribuyen a la ventilación de todas las estancias según se encuentre la dirección del viento predominante.

Monitorización

La red de monitorización se compone de 3 sensores de temperatura en pared, uno en cada vertiente Este y Oeste, otro al centro de la vivienda y un cuarto en la cara Norte. De ellos se extraen valores sobre la variación de la temperatura a lo largo del ciclo diurno-nocturno y del periodo anual a través de las estaciones. La red se completa con 3 sensores de temperatura y humedad encargados de recoger las variaciones ambientales y un anemómetro que indicará los flujos de aire en el interior de la casa.

Noviembre 2012	Sensor T1 Pared	Sensor T2 HR2	Sensor T3 Pared	Sensor T4	Sensor T5
Temperatura Máx.	32.8	35.2	35.1	33	30.9
Temperatura Mín.	28.5	25.8	25.7	24.9	25.4
Humedad relativa máx. [%]	-	76	-	-	-
Humedad relativa mín. [%]	-	46	-	-	-
Uso	SALÓN	SALÓN	COCINA	DORM 2	DORM 1

Tabla 59 Esquema de datos obtenidos de la vivienda 8 El Gavión en el mes de mayores temperaturas

Vivienda 9 La Geoda

La vivienda se sitúa en el extremo Sur de la parcela en donde están la urbanización, se encuentra situada a unos 14 metros sobre el nivel de mar, al margen del lecho de un barranco seco y un desnivel de parcela de 2 metros hacia el sur. Se trata de una de las viviendas con mayor proximidad al mar y con una vegetación circundante principalmente conformada por especies del género *Euphorbia* y otras especies adaptadas a las características de la zona climática.

La casa se encuentra dividida en dos partes mediante un muro de piedra volcánica que marca un eje (Este-Oeste) resultando en la casa dos zonas diferenciadas, el primero un espacio para el esparcimiento diurno, amplio, cómodo y abierto al entono conformado por el estar-comedor, cocina junto a una terraza tendadero y el acceso a la vivienda; en cuanto a la otra zona dedicada al descanso se trata de un espacio más tranquilo, fresco y protegido aquí se ubica un pasillo paralelo al eje marcado por el muro de piedra que da acceso a los dos baños completos, a las habitaciones simples junto con la principal y a un pequeño estudio.

Dimensiones

Superficie construida total: 150.50 m ²	Dormitorio principal 11.00 m ²
Superficie útil residencial: 118.57m ²	Dormitorio simple 9.68 m ²
Estar-comedor 42.9 m ²	Dormitorio simple 9.68m ²
Cocina 6.04 m ²	Estudio: 11.40 m ²
Vestíbulo 6.64 m ²	Baño 5.12 m ²
Solana 5.76 m ²	Baño 5.12 m ²
Escalera: 2.52 m ²	Pasillo 9.44 m ²
Distribuidor: 8.47 m ²	Terraza: 31.93 m ²

Envolvente

La fachada sur de la vivienda se compone de dos partes una carpintería de aluminio en plata, acristalada con vidrio doble climalit 6+12+6 y Planilux con Parsol sujeta a perfilera estructural de acero que representan 26,4 m² de superficie, la otra un muro orientado según el eje Este-

Oeste creado en mampostería a dos caras de piedra basáltica recibida con mortero que divide la vivienda en dos partes.

La fachada norte está formada por un muro de fábrica de bloque de hormigón con enfoscado hidrófugo y revestido con una membrana de nódulos de polietileno de alta densidad en su parte soterrada y una carpintería de madera con vidrio climalit 6+12+6 con una superficie de 2.75 m² junto al cerramiento de bloques de vidrio 5,6 m².

Las fachadas Este y Oeste se conforman en dos tramos el primero tanto este como oeste con un acabado de lamas de madera de Iroko sujetas a una estructura portante, tablero exterior Viroc 19mm impermeabilizado, aislamiento térmico corcho prensado 40mm + cámara de aire de 40mm y un acabado interior en madera DM 19 mm. El porcentaje de huecos se sitúa en el 10%.

El segundo tramo corresponde a la parte soterrada de la vivienda y está compuesta al igual que en su parte norte, un muro de fábrica de bloque de hormigón con enfoscado hidrófugo y revestido con una membrana de nódulos de polietileno, de alta densidad.

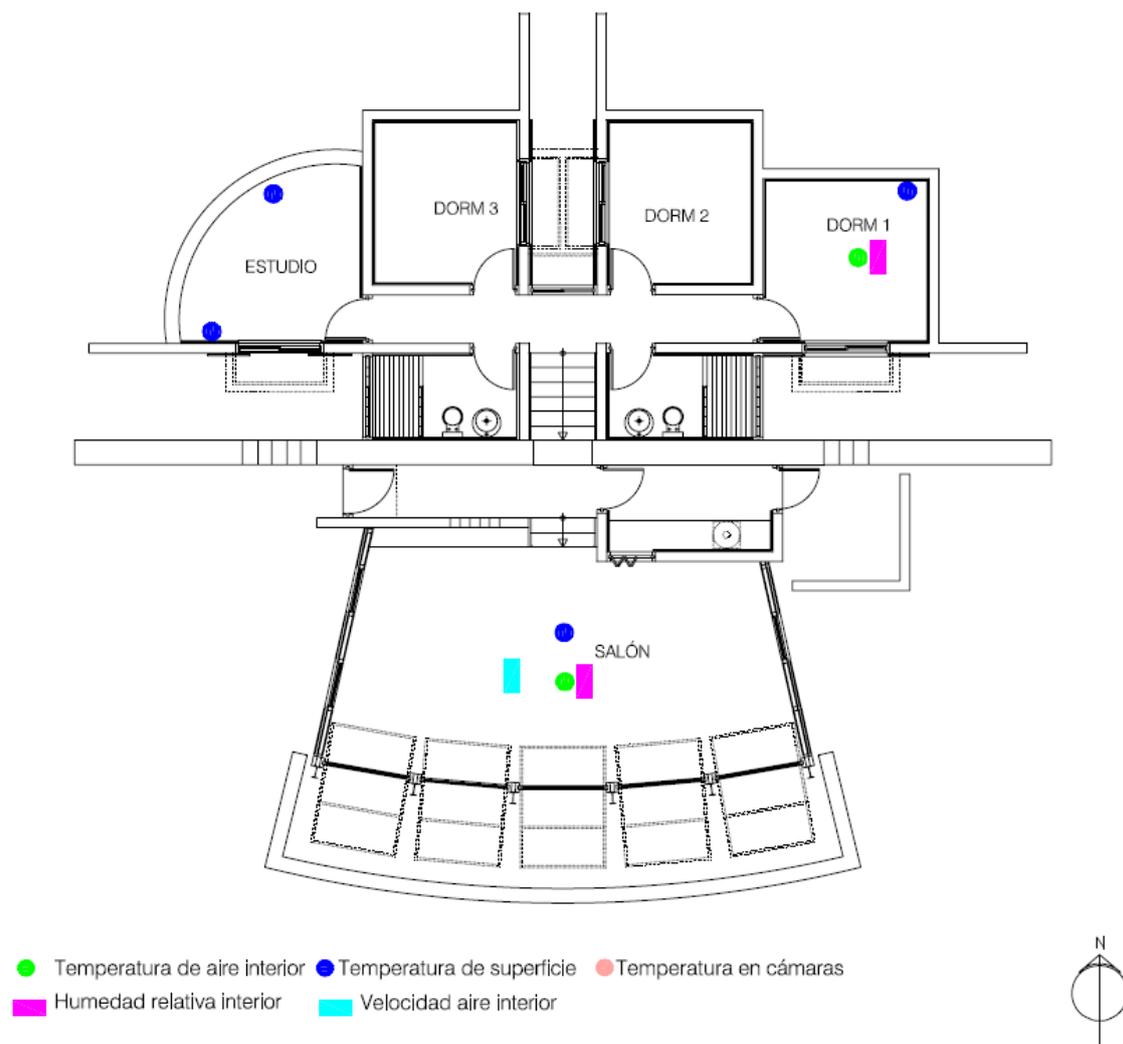


Figura 55 Localización de los sensores en planta baja de la vivienda 9 La Geoda

Sistemas activos

La instalación fotovoltaica consta de 12 paneles fotovoltaicos orientados al Sur y con una inclinación de 30 grados sobre estructura fija integrada en la cubierta de la vivienda. Los paneles son del tipo monocristalino con una potencia pico de 155 Wp y 1,86 kWp de potencia total del generador. Esta instalación dispone de un inversor para permitir la conexión a la red eléctrica.

La instalación solar térmica se ha resuelto mediante la colocación de un sistema forzado integrado en el edificio que consta de dos captadores solares, con una inclinación de 30° y orientados al Sur. El depósito interacumulador de 200 litros de capacidad es el necesario para el consumo previsto de la vivienda y un grupo de bombeo necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

Sistemas pasivos

Las ganancias solares en este caso se consolidan principalmente a través de la superficie acristalada orientada hacia el sur, una superficie de 24,6 m² que permiten el paso de la radiación a lo largo de todo el año. La construcción de la cubierta está diseñada para proteger la estancia principal de los intensos rayos solares del verano y permitir el paso a los rayos durante el período invernal cuando la altura solar es menor.

Todas estas ganancias en forma de calor y luz permiten que la vivienda de un nivel de iluminación adecuado. La cubierta se encuentra volada con respecto a la carpintería unos 2,2 m lo que permite a la fachada de 3,5m y desplazada 10° con respecto a la vertical captar con mayor eficiencia la radiación. La cubierta de igual manera se prolonga en sentido Este Oeste 1,5 m para proteger de las horas antes y después del medio día solar. Tanto las fachadas Este y Oeste se han diseñado con el objetivo de proteger el espacio de la incidencia solar por lo que el porcentaje de huecos se sitúa en un 10%.

Ventilación cruzada gracias a la doble orientación Norte Sur donde se ha definido un canal de paso entre el área de descanso y el área de estar permitiendo el flujo de aire a través de la casa tanto en sentido Norte Sur sobre todo en horas nocturnas como en sentido Sur Norte en horas diurnas ayudando del gradiente térmico existente entre las dos partes de la vivienda. Cada una de las habitaciones dispone de ventanas practicables que permiten la apertura para aumentar la ventilación en las estancias de descanso si es preciso.

Esta construcción dispone de una ventilación complementaria vertical que permite la evacuación del aire sobrecalentado de las habitaciones dedicadas al descanso, a través de chimeneas de ventilación ubicadas en cada una de las estancias.

La única estancia donde se supera la temperatura de confort según la gráfica de Givoni es el salón, con una temperatura máxima de 37,2°C.

Noviembre 2010	Sensor T1	T2 HR2	Sensor T3	Sensor T4	Sensor T5 Pared	T6 HR6
Temperatura Máx.	27.6	37.2	25.1	24.2	26.5	25.9
Temperatura Mín.	25.3	23.4	24.1	23.7	24.4	22.7
Humedad relativa máx. [%]	-	66.0	-	-	-	74.7

Humedad relativa min. [%]	-	31.2	-	-	-	58.2
Uso	SALÓN	SALÓN	ESTUDIO	ESTUDIO	DORM 1	DORM 1

Tabla 60 Esquema de datos obtenidos de la vivienda 9 La Geoda en el mes de mayores temperaturas

Temperaturas mínimas

A continuación se resume en la siguiente tabla las temperaturas mínimas en las viviendas por mes en 2014:

Vivienda		invierno		primavera			verano			otoño		Inv. D	Total $\leq 20^{\circ}\text{C}$	Total fuera del mes	
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O				N
Grupo 1	22	T	15.5	15	16.2	-	-	-	-	-	-	-	3	0	
		HR	49.8	58.2	46.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	6	T	17.6	17	17.2	-	-	-	-	-	-	18.4	16.1	5	0
		HR	54	39.8	45.6	-	-	-	-	-	-	43.5	39.8	-	-
	13	T	16.3	15	14	18.7	-	-	-	-	-	-	17.5	5	0
		HR	36.4	34.8	42.9	42.2	-	-	-	-	-	-	43.4	-	-
Grupo 2	21	T	16.7	16.5	17.6	19.3	19.1	-	-	-	-	-	19.2	6	0
		HR	47	49	44	48	49	-	-	-	-	-	68	-	-
	25	T	18.1	16.7	17.5	18.4	-	-	-	-	-	19.4	18.8	6	0
		HR	39	34	39	45	-	-	-	-	-	44	44	-	-
	23	T	19.3	17.9	18.5	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0
		HR	49	59	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grupo 3	18	T	19.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0
		HR	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	T	19	19.1	-	-	-	-	-	-	-	-	19.5	3	0
		HR	58	52	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-	-
	17	T	-	19	19.2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0
		HR	-	47	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grupo 4	12	T	19.9	19	19.3	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0
		HR	56	60	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	T	19	19.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0
		HR	63	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11	T	-	19.4	19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0
		HR	-	59	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grupo 5	2	T	-	19.3	19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0
		HR	-	52	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	T	-	18.8	19	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0
		HR	-	54	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

La vivienda que más se enfría en los periodos fríos es El Río, alcanzando los 14°C con una humedad relativa de 42,9 % en marzo, la segunda vivienda el patio con una mínima $15,0^{\circ}\text{C}$ en febrero; Las viviendas en la que durante más tiempo las temperaturas son mínimas son: La Religa y El Cangrejo.

En todas las casas de la tabla anterior, en el mes de febrero las temperaturas son inferiores al límite de confort menos en El Bernegal.

- SELECCIÓN 1: EL RÍO (13) y EL PATIO (22), temperaturas más bajas.
- SELECCIÓN 2: LA RELIGA (21) Y EL CANGREJO (25), durante 6 meses están fuera del ámbito de confort.

Reordenando la tabla anterior:

VIVIENDA	GRUPO 1					GRUPO 2			GRUPO 3					
	21	25	6	13	22	23	5	12	17	7	2	4	11	18
Meses fuera del área de confort	6	6	5	5	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1
Temperatura $\leq 19^{\circ}\text{C}$	4	5	4	2	1	3	3	3	2	2	2	2	2	1
Temperatura $\leq 16^{\circ}\text{C}$	2	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura $\leq 13^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Grupo 1: La Religa, El Cangrejo, El Alisio, El Río, El Patio.

Grupo 2: La Arcilla, Bernoulli, Compacta.

Grupo 3: La Vela, El Muro, El Caminito, El Cubo, Las Bóvedas, El Bernegal.

Relación de reformas o cambios con respecto al proyecto original

Los modelos residenciales planteados están en uso a la vez que sirven de laboratorio al aire libre, así que necesitan un mantenimiento adecuado. Según los datos obtenidos en las mediciones y en los cuestionarios, las viviendas han sufrido ciertas reformas o mejoras desde entonces:

- La Vela: carpintería con vidrio, pavimento de linóleo. Cierre de la ducha y barandilla.
- **La Religa: madera donde había tramex en el suelo, en la terraza salón.**
- La Geria: carpintería de madera sustituida por aluminio.
- El Caminito: pavimento y terraza exterior en lugar de jardín.
- La Estrella: ventilación, cuadro eléctrico al exterior
- El Cubo: colocar puerta en la escalera, paneles solares en 2010
- Bernoulli: metacrilato en las persianas en el pasillo que da a las habitaciones, para que no entrase agua lluvia.
- El Muro: voladizo en la terraza.
- La Geoda: hay que arreglar que hace mucho calor, no se ha hecho aún.
- **La Tea: las puertas del comedor eran de librillo y ahora son abatibles.**
- Compacta: corredera, se sustituyó por fijo + abatible.
- El Río, cortinas nuevas (frío en invierno). Taponar ventilación del dormitorio porque no estaba conectado al tubo de ventilación.
- El Pueblo, se tiene que buscar un sistema de apertura y cierre de los huecos de ventilación de los dormitorios, frío en invierno.
- Noche y Día, zonas de jardín más pequeñas, patio pavimento.
- El Escudo, impermeabilización cubierta.
- El Patio, salida dormitorios con ventanas en la parte superior para que no te dé el viento.
- Baño seco por uno normal. Chimenea de ventilación, metacrilato, rejilla para regular entrada salida de aire.
- El Cangrejo, cerrado unión de la carpintería vertical con la cubierta. Chapa cerrada.

6. Ocupación de las viviendas

En 2010 fue la inauguración de las viviendas bioclimáticas y ese año hubo ocupación mínima, sólo algún grupo de estudiantes y de arquitectos.

1. Viviendas ocupadas durante todo el año de las mediciones: El Cubo, Bernoulli, El Alisio.
2. Viviendas sin ocupación: La Geria, La Estrella, El Muro, El Gavión, La Geoda, Las Bóvedas, Compacta, El Río, Noche Y Día, El Dispositivo, El Escudo, El Patio, La Arcilla.
3. Viviendas ocupadas sólo unos meses: El Caminito, La Tea, El Pueblo, La Religa.

A continuación se resume en la tabla la ocupación de las viviendas en el año 2014:

viv	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Totales ocup	Resto vacío	% ocup
1	15	26	14	17	15	15	0	25	26	20	15	24	212	153	58
2	24	25	23	9	0	0	15	31	17	23	20	18	205	160	56
3	24	28	18	15	0	0	0	21	11	14	9	5	145	220	40
4	17	15	4	7	0	0	0	22	10	21	10	10	116	249	32
5	19	23	23	7	0	0	8	25	27	23	21	7	183	182	50
6	28	27	22	26	17	10	21	20	22	31	24	15	263	102	72
7	23	27	26	24	11	17	23	30	14	26	13	19	253	112	69
8	27	26	27	16	21	13	20	27	23	23	15	19	257	108	70
9	24	26	25	23	19	7	26	23	21	25	19	14	252	113	69
10	17	21	9	8	0	0	8	16	0	9	14	5	107	258	29
11	27	24	29	23	1	0	7	26	13	23	14	12	199	166	55
12	20	23	20	15	0	0	3	24	10	21	18	15	169	196	46
13	29	26	25	24	10	3	24	29	12	24	21	11	238	127	65
14	26	26	30	15	7	4	21	21	5	25	17	5	202	163	55
15	20	24	21	6	0	0	8	29	23	12	0	7	150	215	41
16															
17	6	0	0	0	2	1	20	21	18	19	15	5	107	258	29
18	23	28	17	7	7	0	13	17	24	21	2	15	174	191	48
19	25	24	28	25	18	15	12	25	27	23	26	26	274	91	75
20	19	26	26	20	10	0	4	19	25	23	10	15	197	168	54
21	13	19	11	7	0	0	4	14	5	9	11	5	98	267	27
22	20	23	13	12	0	0	11	23	2	23	8	9	144	221	39
23	28	25	20	17	16	7	23	20	22	31	12	9	230	135	63
24	29	25	27	28	5	7	18	28	17	18	11	14	227	138	62
25	16	27	30	11	0	0	3	25	11	19	7	11	160	205	44

Las viviendas con mayor ocupación, superando el 60% del tiempo en 2014 son: El Dispositivo, El Alisio, El Gavión, El Muro, La Geoda, El Río, Arcilla y Duna. Las viviendas con menor ocupación alrededor de un 30% del tiempo en 2014 son: la Religa, La Vela, La Tea y el Cubo. En el 2015 las viviendas han alcanzado una ocupación media del 70%.

7. Resultados de las encuestas

Los cuestionarios se facilitan a los clientes a la entrada de la vivienda, junto a la información general sobre la urbanización, sobre el laboratorio bioclimático y las formas de uso para un mayor confort en la vivienda elegida. Los resultados se obtienen del “Cuestionario de satisfacción” y el “cuestionario bioclimático”. De esta manera, se ayuda a los visitantes a tener mayor información sobre los términos y cuestiones bioclimáticas. Además de esto se organiza una visita semanal a las casas para explicar con mayor detalle a los interesados sobre aquéllos aspectos técnicos y experimentales que se han ido desarrollando en el laboratorio bioclimático.

Cuestionario de satisfacción

En el cuestionario de satisfacción que se entrega a la entrada de la vivienda se pregunta sobre los siguientes aspectos:

- a) Acceso
- b) Urbanización
- c) Tranquilidad
- d) Limpieza
- e) Atención personal
- f) Carpeta informativa
- g) Valoración global

La valoración de las viviendas bioclimáticas se establece entre 7 niveles de satisfacción:

3	2	1	0	1	2	3
Insoportable	Muy malo	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente

Tabla 61 Niveles de satisfacción entre los que los usuarios pueden elegir

Los aspectos anteriormente listados se valoran, a excepción de casos concretos en el rango positivo. Los comentarios más frecuentes son para pedir más información sobre las viviendas. Hasta el 22 de febrero de 2015 el porcentaje de satisfacción general es alto:

	Acceso	Urbanización	Tranquilidad	Limpieza	Atención	Carpeta	Global
Positivo	82%	89%	75%	90%	82%	82%	91%
Aceptable	11%	7%	11%	6%	8%	12%	3%
Negativo	6%	1%	12%	2%	5%	3%	1%
No contesta	1%	4%	2%	3%	5%	3%	5%

Tabla 62 Resultados obtenidos a partir de los cuestionarios de satisfacción hasta 22/02/2015

La tranquilidad de las viviendas se ve alterada por el ruido de los aerogeneradores del parque eólico cercano y las rutas de aviones del aeropuerto de sur de Tenerife Reina Sofía. Los ruidos en el interior de cada uno de los modelos residenciales han sido medidos y en ninguno de los casos alcanzan los dBA máximos establecidos por normativa.

Cuestionario bioclimático

La edad media de los encuestados está comprendida entre 25 y 65 años, siendo mayor el número entre 55-65 años. El grado de actividad predominante es sentado o en ligero

movimiento y las tardes como estancia predominante en las casas. La mayoría de los visitantes son de procedencia alemana. El número de noches varía entre 2 y 13 noches seguidas en la misma casa. Por orden de valoración, los usuarios consideran excelente el diseño de las viviendas, muy buena la calidad del aire, de la luz en el interior de las viviendas durante el día y la temperatura, buena la iluminación, aceptable el sonido, malo el ruido exterior, muy malo el control de la luz durante el día e insatisfactorio el viento de la zona.

Sobre la valoración de los parámetros bioclimáticos totales hasta 22/02/2015:

[Leyenda: **x** porcentaje más alto de respuestas ⊕ segundo valor más alto ° tercer valor más alto]

	Insoporable	Muy malo	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
	3	2	1	0	1	2	3
Temperatura				°	x	⊕	
Luz					°	x	⊕
Sonido				x	⊕	°	
Calidad del aire					°	x	⊕
Velocidad del aire					⊕	x	°
Diseño general de la vivienda					°	⊕	x
Control de temperatura				°	⊕	x	
Control de la luz en el día					°	x	⊕
Control de la luz en la noche					⊕	x	°
Control del ruido				°	x	⊕	
Control del aire					x	⊕	°
Temperatura de día					⊕	x	°
Temperatura de noche				°	⊕	x	
Iluminación					x	⊕	°
Sonido				x	⊕	°	

Viento				⊕	x	°	
--------	--	--	--	---	---	---	--

VALORACIÓN GLOBAL				⊕	x	°	
-------------------	--	--	--	---	---	---	--

Tabla 63 Resultados obtenidos de los cuestionarios bioclimáticos en el laboratorio bioclimático hasta 25/02/2015

El cuestionario bioclimático se incluye en los anexos. En él se pregunta a los usuarios sobre los motivos de su elección. La mayoría de los descontentos respecto a los ruidos responde que el problema está en la estanqueidad de las carpinterías. La mayoría de los descontentos respecto a la luz natural, perciben expresan la percepción de penumbra.

La comprobación de los resultados negativos se analizan uno a uno, lo cual es posible gracias al bajo número de ellos. La peor evaluación de la luz natural en el interior de las casas es la siguiente:

Vivienda	Pernoc- taciones	Estancia	Parámetros	Valoración
2.El Caminito	6	22-29/12/2014	Control de la luz durante el día	Insoportable
10.Las Bóvedas	7	28-04/04/2015	Control de la luz durante el día	Insoportable
15. Noche y Día	6	12-18/02/2015	Iluminación urbanización	Insoportable
			Penumbra en el interior de la casa	Insoportable

Tabla 64 Resultados negativos en la valoración de la luz natural en las viviendas y su control

El nivel de iluminación se comprobó en las viviendas (10) Las Bóvedas y (15) Noche y Día con luxómetro en puntos localizados en una retícula de 50cm x 50 cm. La vivienda 2 fue estudiada desde el punto de vista de las luminancias con una cámara normal sacando una secuencia de 5 fotografías a lo largo de un día cada 3 horas. Las posibilidades de control de los usuarios se comprobaron en la vivienda 2 y 10.

Los resultados de las mediciones se la luz se analizan en el siguiente capítulo.

8. Comparación de resultados

Los resultados de las mediciones y los obtenidos a partir de los cuestionarios, se evalúan según lo siguiente:

1. Grado de desviación de los modelos bioclimáticos teóricos y los resultados obtenidos en las mediciones. El laboratorio bioclimático se compone de 24 modelos residenciales en los que se desarrollan conjuntos de sistemas pasivos de la edificación para controlar los parámetros ambientales interiores. Con el estudio de estos modelos residenciales

obtenemos “conjuntos de sistemas pasivos” que funcionan mejor o peor de lo esperado. Se hace la comparación también de los diferentes patrones de diseño bioclimático para climas cálidos entre sí.

2. Grado de desviación de los valores teóricos de confort y los obtenidos a partir de los cuestionarios. Tres meses es la estancia más larga que ha tenido lugar en las viviendas. La posibilidad de conocer la valoración de diferentes usuarios, de diferentes edades, nacionalidades, nivel de actividad, etc, nos permite saber con mayor exactitud si los valores teóricos concuerdan con los obtenidos en las casas.
3. Influencia del usuario en los patrones de diseño bioclimático. Los periodos en los que las casas no están ocupadas se siguen registrando valores de todos los parámetros que definen el ambiente interior de cada una de las viviendas. De esta manera conocemos un poco mejor las preferencias y capacidad de control de los usuarios de los sistemas que permiten adaptar el ambiente al confort a la comodidad de diferentes usuarios con diferentes patrones de comportamiento. Las viviendas son utilizadas fundamentalmente como unidades residenciales extra hoteleras. Grupos de investigadores se quedan durante breves periodos (1 mes en agosto todos los años), así que también tenemos datos de lo que sería una vida normal, 5+2, aunque en menor grado que el uso turístico.
4. Detección de los factores que afectan al consumo energético en unidades alojativas turísticas, bajo condiciones reales de uso, con el objetivo fundamental de realizar un estudio comparativo entre las unidades que permita desarrollar unas guías de diseño y pautas de integración de sistemas activos y pasivos a partir de datos reales de eficiencia en arquitectura bioclimática. Además de esto se realiza el estudio técnico económico para determinar el ahorro real de energía final, realizando un seguimiento del consumo de los distintos aparatos, sistemas y procesos implementados. Hay ciertos factores que influyen en estos modelos residenciales, debido a su condición turística que en cierto modo contradicen las medidas bioclimáticas. En estas casas se busca un equilibrio sostenible entre economía, ahorro energético y comodidad.

A continuación se comparan los datos obtenidos en las mediciones y la valoración subjetiva de los usuarios relativos a los periodos de las mediciones:

Temperatura y humedad

Las valoraciones positivas obtenidas como excelentes en los cuestionarios son en los siguientes modelos residenciales (3, excelente):

- | | | |
|--|--|----------------------------------|
| – 2. El Caminito (01-08/02/2015) | – 18. Bernegal (29/11-06/12/2014) | – 20. Escudo (22/11-05/12/2014) |
| – 9. La Geoda(06-08/12/2014),(03-06/02/2015) | – 19. El Dispositivo (31/12/2014-07.01/2015) | – 21. La Vela (12-16/11/2014) |
| – 11. Las Bóvedas (17-24/01/2015) | | – 23. La Arcilla (14-17/02/2015) |
| – 12. Compacta () | | |

La vivienda 2. El Caminito (2meses), 7. El Muro (2meses), 18.El Bernegal (2meses) y 11. Las Bóvedas (3 meses) son las casas mejor adaptadas al clima de la zona, con sólo dos/tres meses en los que se sale ligeramente de la gráfica de confort de Givoni según los resultados de las mediciones.

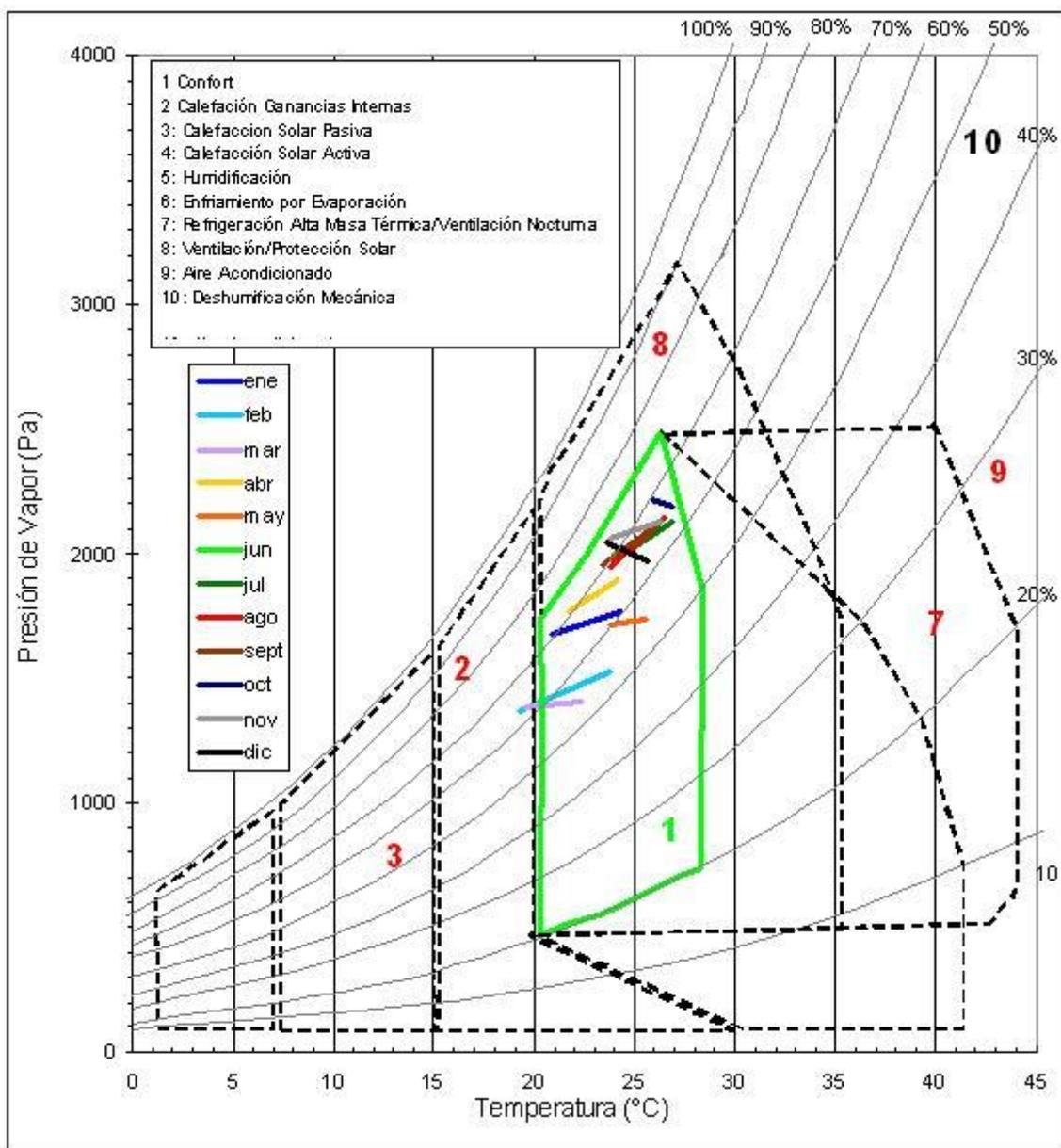


Tabla 65 Registro de datos de la vivienda 2 El Caminito y comparación con la tabla de confort de Givoni. Fuente : ITER

En ningún caso se ha valorado la temperatura de las casas como “insostenible”. La valoración negativa obtenida (-1,-2) se localizan en las siguientes viviendas y el motivo es bajas temperaturas en invierno. Estas viviendas poseen desde entonces equipos auxiliares portátiles de calefacción como apoyo a los sistemas pasivos en situaciones extremas:

- 2. El Caminito (-2, muy malo)
- 5. Bernoulli (-2, muy malo)
- 7. El Muro (-1, malo)

- 10. La Tea (-1, malo)
- 15. Noche y Día (-1, malo)
- 22. El Patio (-1, malo)

Según los datos registrados en las mediciones, los valores de temperatura para los periodos de estancia en los que hubo una valoración negativa fueron los siguientes:

Vivienda	Fechas de la estancia	Valoración subjetiva	Mediciones de temperatura	Nº de meses lig. fuera confort (Givoni)
2 Caminito	12-20 diciembre 2014	-2	18,3-19,3°C	2
5 Bernoulli	22-27 enero 2015	-2	19,0-19,6°C	7
7 El Muro	05-09 febrero 2015	-1	18,8-19,0°C	2
10 La Tea	22-26 enero 2015	-1	18,9-19,4°C	7
15 N & D	12-18 febrero 2015	-1	17,8-18,3°C	9
22 El Patio	28.12-07 enero 2015	-1	15,5-16,2°C	12

Tabla 66 Comparativa de datos de las mediciones y valoraciones subjetivas de los cuestionarios

Todas las viviendas de las que se obtiene una valoración negativa estuvieron fuera de la zona de confort de la tabla de Givoni (20-28° C, +%humedad), especialmente la vivienda El Patio (22) registrando unas temperaturas de 15,5° C en el mes de enero.

Las casas peor adaptadas en cuanto al frío según los resultados de las mediciones de todas las casas son: El Cubo (4), Bernoulli (5), El Muro (7). Sin embargo, la casa El Cubo (4) no ha sido valorada negativamente en cuanto a la temperatura interior de la casa.

Aunque hay que resaltar que la vivienda (7) El Muro llega a un valor de temperatura mínimo de 1,2°C por debajo de la zona de confort y por ello ha sido valorada negativamente. Es una de las casas con mayor ocupación y por lo tanto con mayores posibilidades de obtener una valoración negativa. El porcentaje de satisfacción de esta casa sigue siendo alto en términos generales.

Ninguna de las valoraciones sobre altas temperaturas de las casas llega a pasar la barrera hacia valores negativos, por debajo de la valoración “aceptable (0)”.

Capítulo 11. Mediciones de la luz solar

BLOQUE 2	CAPÍTULO 10 LABORATORIO A ESCALA REAL CAPÍTULO 11 MEDICIONES DE LA LUZ SOLAR	Introducción Cálculo de la eficacia luminosa Mediciones de luminancias Variación natural de la luz
----------	---	---

Introducción

La cantidad de luz procedente del sol podría considerarse como la primera variable cualitativa de la luz natural a contemplar en el estudio de la calidad del ambiente luminoso. Por medio de la Torre Meteorológica de ITER obtenemos datos de la radiación diaria donde se sitúa el laboratorio bioclimático. Para poder calcular la eficacia luminosa real de esta zona se ha medido también el nivel de luz en el mismo punto, registrado cada minuto desde julio de 2015. Los valores de eficacia luminosa teóricos han sido resumidos en el capítulo 9.5 comparándolos con otros lugares. Los valores que resultan de las medidas realizadas durante los meses de julio, agosto y septiembre son ligeramente más altos de lo esperado.

El estudio de la luz solar que se refleja en este capítulo está referido a las viviendas que aparecen en la tabla 63 del capítulo anterior, valoradas negativamente por algún usuario, con respecto a la luz natural en el interior de los espacios y su control.

En el capítulo anterior, hicimos un resumen de los demás parámetros que definen el ambiente interior en condiciones reales de 24 modelos residenciales que conforman el laboratorio bioclimático situado en Granadilla de Abona, Tenerife.

En este capítulo se presentan únicamente las mediciones de las viviendas 10. La Tea, que ha registrado unos valores muy altos de aporte térmico en periodos de calentamiento en el salón y ha sido reformada para rectificar este problema, la vivienda 2 El Caminito, en el que se ha señalado negativamente la capacidad que el usuario tiene en el control de la luz solar en el interior de la vivienda y la vivienda 3 La Estrella, que se encuentra semienterrada.

1. Cálculo de la eficacia luminosa

En este apartado se presentan los resultados de las medidas de la eficacia luminosa de la radiación solar global, efectuadas en Granadilla de Abona, durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2015. Las medidas se comparan con las registradas en otros lugares donde se han realizado estudios sistemáticos. En futuros estudios, cuando la cantidad de datos

registrados sea mayor, se estudiará la variación de la eficacia con la altura solar para cielo promedio, semicubierto y cielo despejado. En este capítulo se compara la eficacia luminosa teórica (capítulo 9.5) con los datos obtenidos en Granadilla de Abona, al sur de Tenerife.

Según ciertos autores, los métodos que predicen la iluminancia a partir de los datos de radiación solar, dado el valor de la eficacia luminosa, son probablemente los más versátiles de aplicar ya que son sensibles a variaciones en el clima y la latitud. Se basan en medidas de la irradiancia solar que se realizan habitualmente en la red meteorológica nacional de muchos países.⁸¹

Para obtener de manera experimental valores de eficacia luminosa de la radiación solar global en Canarias (coordenadas UTM x: 351180, 54 y: 3105916, 74 z: 34, coordenadas en grados Lat: 28°42'15"N Lon: 16°30'51" O, Altitud: 34m.s.n.m) se tomaron medidas simultáneas de iluminancia global e irradiancia global. Las mediciones se realizaron en la torre meteorológica de la planta fotovoltaica cercana a Montaña Pelada. El periodo de toma de datos que se estudia aquí es de tres meses: julio, agosto y septiembre de 2015. Se tomaron medidas durante todo el día cada minuto. El luxómetro registra datos por encima de cero desde las 08:00 hasta las 21:00, hora local. Las mediciones se hicieron sobre plano horizontal. Junto a las medidas se registraron también las condiciones de cielo: despejado, semicubierto y cubierto.

Los instrumentos de medición fueron adaptados por los técnicos especializados en electrónica de ITER. Para medir la iluminancia se utilizó un luxómetro digital HT307, dotado de un sensor de fotosodio. La presencia de una salida CC analógica proporciona a través de un data logger externo, la posibilidad de obtener los datos que el instrumento va leyendo.



Imagen 29 Fotografías de la adaptación, registro de datos a través del software HOBOWare del luxómetro HT307

Para las medidas de irradiancia se utiliza un piranómetro modelo CMP6 de Kipp and Zonen. Junto al piranómetro se encuentra un anemómetro veleta WIND SENTRY modelo 03002 de R.M Young Company, termohigrómetro modelo STH-5031 de Geónica con cazoleta protectora, sensor de temperatura tipo LM35 de National Semiconductor, sensor combinado modelo ST poly de ITER para la estimación de la suciedad y data logger modelo Meteo2-1 de ITER.

⁸¹ Oteiza P.; Soler A.; Yáñez G.: Eficacia luminosa de la radiación solar global para superficie horizontal en Madrid. España.129-29Fecha de recepción 3-IV-92, Informes de la Construcción, Vol. 44 nº419, p.53,1992, Consejo Superior de Investigaciones Científicas,<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

Los valores promedio para **julio, agosto y septiembre** son respectivamente de **112.02, 116.77, 106.13** lmW^{-1} . Se consideran los valores para una altura solar mayor de 10° . Los valores obtenidos antes de las 8:00 y después de las 20:00 se desprecian ya que son valores muy bajos de radiación frente a un flujo luminoso entre 2.000 y 8.000 lx, y por lo tanto desvirtúan las gráficas con valores de eficacia por encima de 1000 lmW^{-1} . La eficacia luminosa alcanza sus valores promedio máximos para cielo promedio según la siguiente tabla:

Mes	Altura solar	Hora local	eficacia
Julio	75-79°	15:00-16:00	120-122 lmW^{-1}
Agosto	62-68°	15:00-16:00	125-132 lmW^{-1}
Septiembre	62° (20-45°)	12:00 (16:00-17:00)	123 lmW^{-1} (122 lmW^{-1})

Tabla 67 Valores promedio máximos de eficacia luminosa para Tenerife obtenidos en julio, agosto y septiembre 2015

El valor más alto de flujo luminoso que se registra para cielo despejado por mes es 121.490 lx a las 14:00:01 horas el 29 de julio, 136.264 lx a las 13:00:01 horas el 26 de agosto y **138.156 lx** a las 13:00:01 horas el 4 de septiembre de 2015⁸². En cuanto a la eficacia máxima alcanzada en julio es 196 lmW^{-1} , agosto 270 lmW^{-1} y septiembre 204 lmW^{-1} . El valor máximo de radiación solar global registrado es $1.170 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a las 14:00:02 horas el 8 de septiembre de 2015 para cielo semicubierto.

A continuación se muestra la relación de la eficacia luminosa con la altura solar, considerando las medidas obtenidas para "cielo promedio". Cuando los datos obtenidos de cielo cubierto sean de mayor número, se debería hacer el mismo análisis de medidas separadamente, según el tipo de cielo. Por ahora los casos de cielo cubierto y semicubierto son pocos:

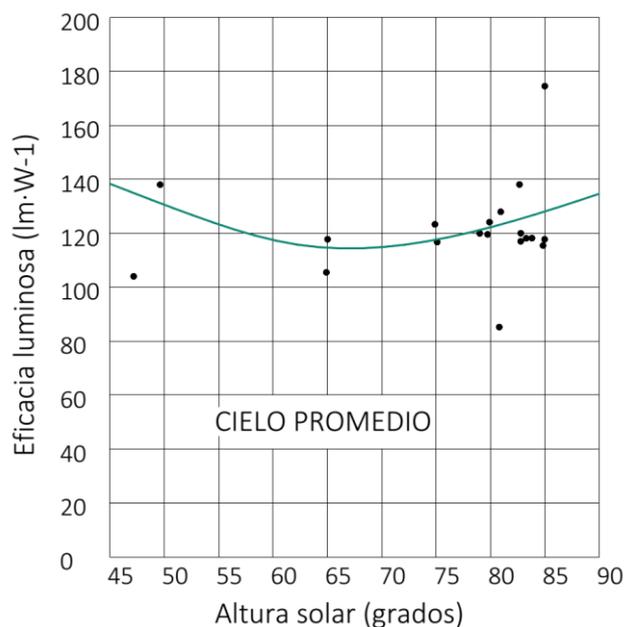


Figura 56 Medidas de eficacia luminosa (K_p) de la radiación global en condiciones de cielo promedio en función de la altura solar, Granadilla de Abona

⁸² Hora local.

Se observa que al disminuir la nubosidad los valores decrecen, igual que en otros lugares.

Los valores de la eficacia luminosa de la radiación global con cielo cubierto, semicubierto y despejado están dentro de los valores señalados por Littlefair para diversas localidades.⁸³

2. Mediciones de luminancias en el espacio interior

Para las mediciones en el interior de las casas se ha utilizado una cámara Nikon 5300 que permite automatizar el disparo de una serie de fotos (Automatic Exposure Bracketing) entre 3 y 7 fotos seguidas sobre la misma escena con valores diferentes de EV, en nuestro caso -2,0 y +2,0. Una vez sacadas las fotos hay que descargarlas en el ordenador y con un programa capaz de fusionar las imágenes en una, obtener las tres fotos en una HDR (High Dynamic Range, Alto Rango Dinámico).

El programa elegido para la investigación es WebHDR desarrollado por Alex Jacobs, para hacer más accesible a científicos y aficionados el uso y creación de imágenes HDR. Junto a la imagen HDR generada, obtenemos una imagen de *falsos colores*, que refleja calres en cd/m^2 , según la escala que seleccionemos y un histograma de la curva de colores, referida a los colores Rojo, Verde y Azul. También obtenemos un mapa dinámico en el que pasando el ratón por encima nos da el valor cd/m^2 de cada punto.

Las zonas menos luminosas de las imágenes quedan coloreadas en tonos morados y azulados ($\sim 200 \text{ cd/m}^2$). Las zonas donde hay más luz quedan coloreadas de rojo incluso amarillo ($\sim 3000 \text{ cd/m}^2$).

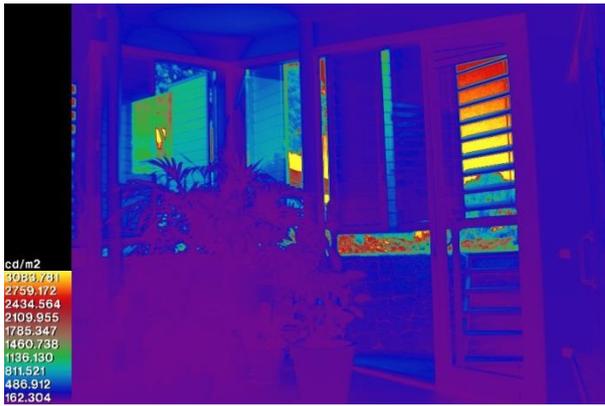
El primer análisis que se hace es comparar las imágenes coloreadas con los valores que esperábamos de las fachadas según el programa de diseño SOLEA-2 para cada orientación según cielo cubierto o despejado.

El segundo análisis que se hace es sobre diferentes posiciones de los sistemas de control solar, implementados en la vivienda 10. La Tea a lo largo de todo un día con cielo semicubierto hasta las 12:00, a partir de esa hora totalmente despejado.

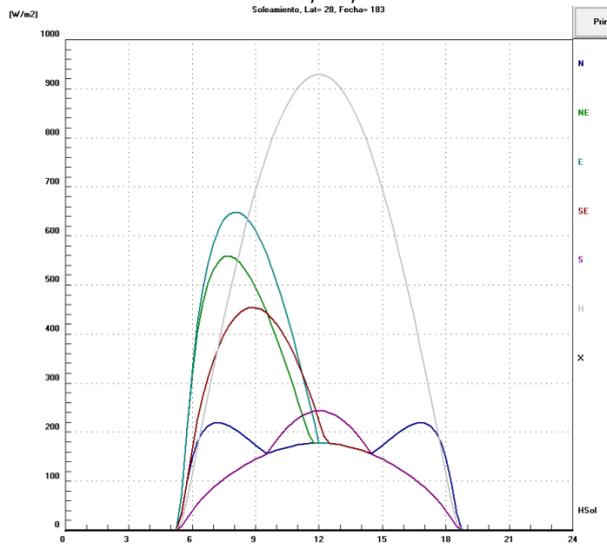
El tercer análisis sobre la variación diaria de las manchas solares en el interior de la vivienda 2. El Caminito, también fotografiadas a lo largo de un día completo (04:00:00-23:00:00, hora local) cada 3 horas.

El programa WebHDR tiene una limitación en cuanto a extremos de posición muy oscuros o muy claros. Lo mismo ocurre con la cámara Nikon 5300. Con otras cámaras como por ejemplo Canon Powershot SX500 IS se han podido fotografiar situaciones más oscuras, sin embargo el Bracketing no se puede automatizar.

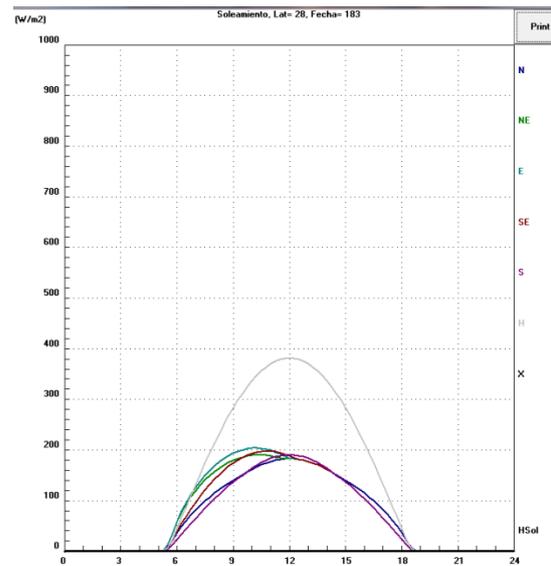
⁸³ LITTLEFAIR, P. :Measurements of the luminous efficacy of daylight. *Lighting Research and Technology*. Vol.20 , N. °4,177-188 ,1988.



Fachada sur 17:00:00 02/07/2015



SOLEA-2 DÍA DESPEJADO (90%)
Orientación SUR 02/07/2015
Irradiación 100 W/m^2 a las 17:00
Luz difusa (15%) 1.725 lx
Luz directa (85%) 9.775 lx



SOLEA-2 DÍA CUBIERTO (10%)
Orientación SUR 02/07/2015
Irradiación 60 W/m^2 a las 17:00
Luz difusa (15%) 1.035 lx
Luz directa (85%) 5.865 lx

Figura 57 Arriba: Imagen coloreada obtenida de WebHDR, HDR; abajo: gráficos de SOLEA-2 para orientación sur en el Laboratorio bioclimático, vivienda 3 La Estrella

Análisis 1 Reflejos de luz

Se realizaron 5 series de imágenes, obtenidas cada una a partir del Bracketing de 5 imágenes en horas diferentes del día (8:00:00, 11:00:00, 14:00:00, 17:00:00 y 20:00:00, el 2 de Julio de 2015). Las fotografías fueron tomadas en la vivienda 3. La Estrella, en Granadilla de Abona en el sur de Tenerife, Islas Canarias, a intervalos de tiempo continuos con trípode y escena fija. Todas las escenas fueron realizadas con luz natural.

Los resultados obtenidos oscilan entre valores mínimos en torno a las 200 cd/m^2 y máximos en torno a las 3000 cd/m^2 observados en los ventanales. Los valores más altos registrados son los obtenidos en la cuarta serie a las 17:00 llegando a $3083,781 \text{ cd/m}^2$. Los valores mínimos son los registrados a las 8:00 de la mañana, es decir en la primera serie en el interior de la vivienda, con un valor de $105,005 \text{ cd/m}^2$.

Las zonas que reflejan valores más altos son externas, mientras que las zonas más oscuras son las que rodean los huecos de fachada, las plantas y las carpinterías. A las 06:00 de la mañana el

sol ya ha alcanzado una altura solar de 60° y se mantiene por encima de este valor hasta las 18:00 (capítulo 9.3). Es decir, la orientación sur permanece a lo largo de todo el día en tonos violeta, morado o azulados en el interior, con un alto contraste con la ventana y lo que ocurre en el exterior del espacio.

En el caso estudiado (Vivienda 3 La Estrella), la vivienda se encuentra semienterrada, por lo tanto la reflexión de la luz exterior en el terreno se sitúa al menos 1 metro por encima del suelo de la vivienda. Son especialmente interesantes los reflejos de luz en las superficies en el interior de la vivienda.



En la foto podemos observar el interior de la vivienda (salón) después de las 20:00 horas. Se aprecia cómo el terreno devuelve la luz en el exterior, y el reflejo de las ventanas en la mesa de cristal que hay en el centro del espacio. Gracias a los reflejos, el espacio se percibe mucho más iluminado.

Imagen 30 Fotografía tomada después de las 20:00 horas en el salón de la vivienda 3 La Estrella

En los gráficos generados con SOLEA-2, podemos observar la variación de la irradiación recibida para la misma hora (17:00 del día 02/07/2015) para cielo cubierto y cielo despejado. Las orientaciones Este, Noreste y Sureste muestran una gráfica completamente diferente en ambos casos. En días despejados como el de las fotografías, la luz directa puede alcanzar valores en torno a los 10.000lx.

Análisis 2 Sistemas de control solar

El esquema de mediciones y posición de los sistemas de control solar es el siguiente:

1. Todos los sistemas de control solar abiertos
2. Primer sistema cerrado (Bandalux bajado)
3. Bandalux + lamas cerradas
4. Bandalux, las lamas cerradas y las persianas interiores cerradas.
5. Bandalux ,las lamas abiertas y las persianas interiores cerradas.
6. Bandalux abierto, las lamas abiertas y las persianas cerradas.
7. Bandalux abierto, las lamas cerradas y las persianas cerradas.
8. Bandalux abierto, las lamas cerradas y las persianas abiertas.
9. Todos los sistemas de control solar abiertos

Las fotografías son tomadas desde las 06:00 hasta 21:00 del día 19 de Agosto de 2015, cada hora, en la vivienda 10. La Tea para orientación Suroeste. Es decir se tomaron por cada cambio de posición 5 imágenes en Bracketing automático con una cámara Nikon 5300, un total de 45 imágenes por hora, 630 imágenes con luz natural. Después de las 21:00 horas una serie con luz

artificial, a las 6:00 una serie con luz artificial en el interior de la vivienda, a las 7:00 una serie con luz artificial en el exterior de la vivienda, las luces de la terraza.

Los resultados obtenidos oscilan entre los siguientes valores según:

- Exterior. Suelo de la terraza y muro exterior de cerramiento y cielo (2.806 cd/m^2 , 12:00-16:00 cd/m^2 , 8:00, posición abierta de todos los sistemas).
- Interior. Suelo del salón, manchas en los sistemas de control solar (2.871 cd/m^2 , 18:00 Bandalux y lamas cerradas, 17 cd/m^2 , 20:00 horas, Bandalux, las lamas cerradas y las persianas interiores cerradas).



Imagen 31 Sistema de control solar abiertos y cerrados en la vivienda 10 La Tea, imágenes coloreadas WebHDR, izquierda: imagen tomada a las 17:00 sistemas de control solar abiertos, derecha: imagen tomada a las 14:00, sistemas de control solar abiertos.

De nuevo con los sistemas de control solar abiertos, los valores más altos se sitúan en el exterior, variando la posición de la mancha de mayores luminancias desde el suelo de la terraza, el muro de cerramiento y el trozo de cielo que se ve desde el interior del salón. A las 18:00 horas la mancha solar entra en la vivienda, llegando hasta la mitad del espacio fotografiado. A las 14:00 de la tarde, las luminancias exteriores son tan altas que se reflejan en el techo en el interior. A las 20:00 los valores más altos se sitúan únicamente en la porción de cielo que es visible desde el interior, con tanta intensidad que se refleja en la superficie del mobiliario (2.799 cd/m^2).

En todo momento se trata de captar el ambiente luminoso en toda su complejidad, estudiando la variación natural de la luz a lo largo del día. Por lo tanto, para las medidas se ha optado por no cerrar la fachada opuesta a la que se ha fotografiado. En las siguientes imágenes podemos apreciar la variación de forma y tamaño de las manchas solares en los sistemas de control solar:



Imagen 32 Manchas solares en los sistemas de control solar de la vivienda 10 La Tea, imágenes coloreadas WebHDR, izquierda: imagen tomada a las 16:00 sistemas de control solar cerrados, centro: 16:00 lamas exteriores abiertas todos los demás cerrados; derecha: imagen tomada a las 13:00, persianas interiores cerradas los demás sistemas abiertos.

A partir de las 12:00 comienzan a ser más intensas las manchas solares en el mobiliario procedentes de la fachada enfrentada, cuando los sistemas de control solar están cerrados.

Variación diaria de los valores más altos registrados (cielo, suelo y muro, cielo y suelo):



Imagen 33 Distribución de manchas solares en el exterior de la vivienda 10 La Tea, imágenes coloreadas WebHDR, izquierda: imagen tomada a las 8:00 sistemas de control solar abiertos, centro: 14:00 sistemas de control solar abiertos; derecha: imagen tomada a las 18:00 sistemas de control solar abiertos

Análisis 3 Manchas solares

En la vivienda 2 El Caminito, segundo premio en el concurso de viviendas bioclimáticas, se realizaron 5 series de imágenes, obtenidas cada una a partir del *Bracketing* de 5 imágenes a intervalos continuos con trípode y escena fija, cada tres horas a lo largo del día 2 de Julio de 2015 (07:00:00, 10:00:00, 13:00:00, 16:00:00, 19:00:00). Las tomas realizadas antes de las 7:00 de la mañana fueron realizadas con luz artificial, pero no son objeto de estudio en este documento.

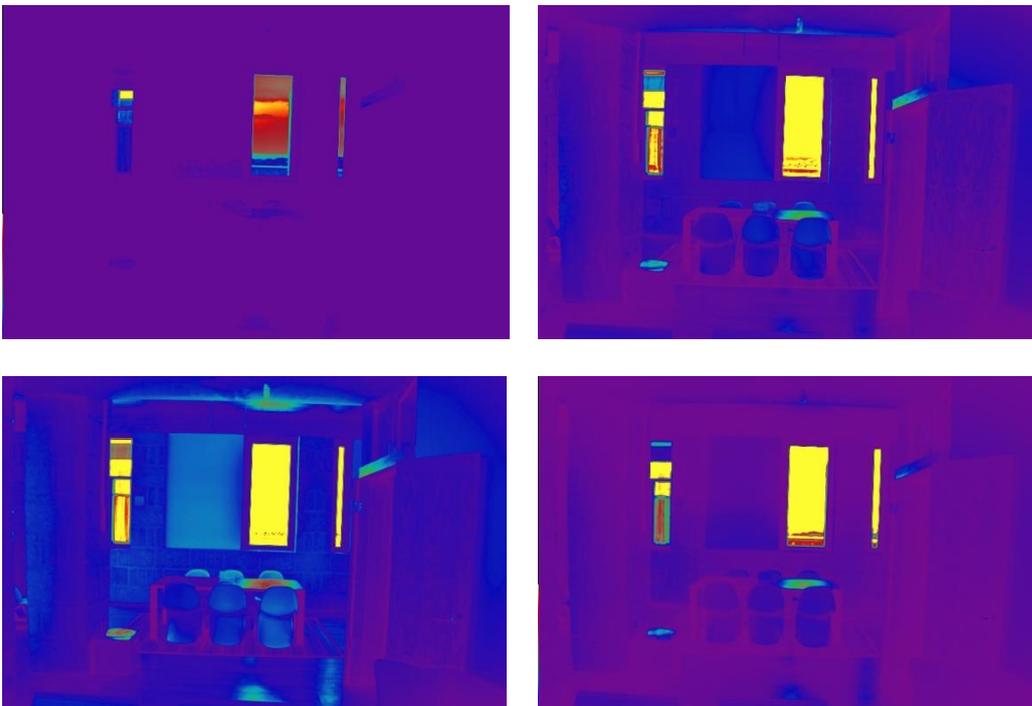


Imagen 34 Distribución de luminancias en el exterior de la vivienda 2 El Caminito, imágenes coloreadas WebHDR, izquierda arriba: imagen tomada a las 7:00; derecha arriba: imagen tomada a las 10:00; izquierda abajo: 13:00; derecha abajo: imagen tomada a las 16:00. En todos los casos los sistemas de control solar están abiertos

Los resultados obtenidos oscilan entre valores mínimos en torno a las 200cd/m^2 y máximos en torno a las 800cd/m^2 observados en los ventanales. Los valores más altos registrados son los obtenidos en la segunda serie a las 10:00 llegando a $974,122\text{cd/m}^2$. Los valores mínimos son los

registrados a las 7:00 de la mañana, es decir en la primera serie en el interior de la vivienda, con un valor de $4,252 \text{ cd/m}^2$.

Las zonas que reflejan valores más altos son externas, mientras que las zonas más oscuras son las que rodean los huecos de fachada, las plantas y las carpinterías.

Las manchas que reflejan mayores valores se sitúan en el mobiliario, en la carpintería de la puerta de entrada de la cocina y en el techo de la vivienda. Por lo demás la vivienda muestra unas luminancias de valores muy bajos. Sin embargo la percepción de claridad de la vivienda es alta. El Caminito tiene en la zona central unos lucernarios abatibles que permiten extraer todo el aire caliente que se pueda haber acumulado. A su vez entra la luz natural generando una mancha de luz solar lineal que aparece por la tarde y dura menos de una hora.



Imagen 35 Mancha solar en la vivienda 2 El Caminito

Capítulo 12. Mejoras en el ambiente luminoso

BLOQUE 2	CAPÍTULO 11 MEDICIONES DE LA LUZ SOLAR CAPÍTULO 12 VALORACIÓN DEL AMBIENTE LUMINOSO	Introducción Tabla de comprobación Proyectores de Bartenbach Maquetas y estudio in situ Complejidad espacial
----------	--	--

Introducción

En los capítulos anteriores se han estudiado primero las herramientas de diseño de luz natural en la arquitectura, las variables a tener en cuenta a la hora de valorar un sistema de control solar, incluida la valoración de los usuarios respecto a los sistemas y el ambiente logrado, las variables que se podrían considerar a la hora de estudiar o proyectar un ambiente lumínico, creando un software de diseño desde un punto de vista holístico. Luego se ha preguntado acerca de esas variables a personas no especializadas en iluminación natural, tratando de establecer el grado de desviación de la matriz base en la que se asigna un grado de aceptación a cada una de las variables planteadas según el uso predominante al que se destina el espacio.

Posteriormente, se ha analizado un grupo de viviendas bioclimáticas monitorizadas, en las que además de la luz se analizan los demás parámetros que definen el ambiente interior, en este caso de espacios turísticos en Canarias.

Por último, se plantea en este capítulo la posibilidad de mejorar el ambiente luminoso de determinadas viviendas escogidas, para utilizar la tabla de comprobación que se presenta a continuación y se plantean posibles modificaciones o mejoras del ambiente interior a partir de los criterios establecidos en capítulos anteriores. Este capítulo por lo tanto es se convierte en el producto de los anteriores, la puesta en práctica en un laboratorio a escala real. No se plantea como un final, si no como las posibilidades que el futuro nos brinda.

1. Tabla de comprobación

La tabla de comprobación se genera a partir de la matriz base que relaciona las 194 variables estudiadas en el capítulo 3 según los niveles de aceptación establecidos a partir de las encuestas (5 niveles) en el capítulo 5 por actividad clasificada (29 usos predominantes).

Esta tabla de comprobación debe entenderse como una herramienta informática más a la hora de tomar decisiones respecto a la luz y su control, especialmente dirigido para espacios situados en climas soleados. Está basada en el estudio de referencias técnicas y artísticas, destacadas por

su gran valor en cuanto a la luz que se representa y valora en ellas (comentarios y descripciones).

Utilizamos el programa de diseño Alux creado para esta investigación, para seleccionar primero la actividad clasificada y luego las variables que queremos incluir o somos capaces de percibir en el espacio a comprobar, y nos dará como resultado el grado de aceptación medio que tendrá este espacio para el desarrollo de una tarea concreta.

Si el nivel de aceptación es negativo, el programa nos plantea la posibilidad de ampliar las variables elegidas, es decir sumar los efectos de la luz que no contiene el espacio, para poder alcanzar un nivel de aceptación positivo.

Valoración de las variables

Para poder desarrollar la tabla de comprobación se ha establecido un código numérico a través del cual debemos seleccionar un número de variables mínimo. Por debajo de esos valores mínimos, los niveles de aceptación podrían ser negativos. A continuación se describe el código numérico escogido:

- Las variables escogidas por los usuarios como “imprescindibles” tienen un valor más alto que las demás, con 500 puntos que sumar. Un total de 86 variables han sido escogidas como imprescindibles para diferentes usos.
- Las variables escogidas por los usuarios como “muy importantes” tienen un valor más alto que las demás, con 500 que sumar. Un total de 60 variables, entre ellas 19 son relativas a la luz solar.
- Las variables escogidas por los usuarios como “deseado” tienen un valor de 3.
- Las variables escogidas por los usuarios como “posibles” tienen un valor de 5.
- Las variables escogidas por los usuarios como “no deseado” tienen un valor negativo de -100.
- Las variables escogidas por los usuarios como “prohibido” tienen un valor negativo de -500.

Por actividad clasificada los valores mínimos, si consideramos únicamente las variables consideradas como imprescindibles para un espacio, que obtendríamos serían los siguientes (capítulo 3.5 actividades clasificadas):

Actividad	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2
Óptimo	16618	7270	11234	19602	23903	9145	20044	16575	15371	13498
Correcto	16000	6500	10500	19000	23000	8500	19500	16000	15000	13000
Mínimo	8000	3250	5250	9500	11500	4250	9750	8000	7500	6500
Actividad	4.3	5.1	5.2	5.3	5.4	6.1	6.2	6.3	7.1	7.2
Óptimo	7227	11737	14210	16559	13131	4696	4757	11140	11201	7255
Correcto	6500	11000	13500	16000	12500	4000	4000	10500	10500	6500
Mínimo	3250	5500	6750	8000	6250	2000	2000	5250	5250	3250
Actividad	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	9.1	9.2	9.3	10.1	-
Óptimo	6284	12681	14095	13092	12246	17420	17420	17415	17430	-

Correcto	5500	12000	13500	12500	11500	17000	17000	17000	17000	-
Mínimo	2750	6000	6750	6250	5750	8500	8500	8500	8500	-

Tabla 68 Código numérico por actividad clasificada según el niveles de aceptación positivos

Se establece como óptimo el valor que resulta de incluir todas las variables evaluadas como positivas por los usuarios⁸⁴. Se establece como correcto cuando seleccionamos todas las variables que los usuarios han considerado como imprescindibles a la hora de diseñar un espacio para una actividad diferenciada. Se establece como mínimo la mitad de las variables consideradas como imprescindibles. Se realiza el mismo cálculo para cada uno de los niveles de aceptación positivos y cada grado de importancia asignado por variable y actividad clasificada. De esta manera el software creado calcula automáticamente los valores mínimos para que el grado de aceptación total sea positivo.

Objetivos de la valoración en espacios lumínicos

El principal objetivo de esta tabla de comprobación es poder tener una herramienta sencilla para evaluar un ambiente lumínico sin tener grandes conocimientos sobre la luz y el espacio, y sin necesitar sumar años en la experiencia personal para poder aprender a *ver* la luz y sus efectos. Es únicamente una herramienta de apoyo, que nos puede indicar que es lo que necesitaríamos modificar o incluir en un espacio concreto.

2. Proyector de luz natural

Cuando el resultado obtenido a partir de la tabla de comprobación sea una aceptación de los usuarios por debajo de lo posible, podemos optar por modificaciones sencillas. En muchos casos, esta baja aceptación es debida a una carencia de efectos positivos, es decir al empobrecimiento del ambiente luminoso. No se sufren molestias, ni deslumbramientos ni ninguna variable relativa a la capacidad visual es especialmente mala, pero el ambiente no refleja la complejidad adecuada para el uso específico.

Los proyectores de luz natural reflejan y amplían la luz recibida directamente desde el sol para proyectarla hacia el interior de cualquier edificio. Estos dispositivos de control solar se utilizan para mejorar el ambiente luminoso en caso de que la aceptación de los usuarios sea deficiente.

3. Maquetas y estudio in situ

Como experiencia práctica, se propone un ejercicio sencillo. En la vivienda 10 La Tea, se ha detectado la riqueza de manchas en los paramentos verticales, incluidos en los sistemas de

⁸⁴ La suma de variables positivas puede dar lugar a una situación compleja contradictoria. Es decir, la suma puede dar un resultado no deseado. En posteriores investigaciones se debería considerar la combinación de variables y su nivel de aceptación real.

control solar. Una serie de maquetas de estudio de la luz solar en modelos bioclimáticos que sirven de laboratorio a escala real, son la base para plantear cualquier nueva investigación.

Además de la posibilidad de estudiar las condiciones lumínicas reales, se deben contrastar los resultados en laboratorio. En una investigación completa se debe contemplar las posibilidades de los materiales y sus propiedades ópticas (capítulo 2) e incluirlas en los nuevos proyectores de la luz (bloque 3.3 Limitaciones e investigaciones futuras).

4. Complejidad espacial espacios por ambiente luminoso

Hasta ahora hemos valorado las variables por actividad clasificada según la clasificación establecida en el Código Técnico de la Edificación. Se han considerado las variables como la suma de cualidades que conforman el ambiente interior. Es decir, se ha desgranado cada referencia, cada situación para estudiarla en detalle acerca de la luz y sus cualidades. Sin embargo, hay que volver a recomponer el espacio en su complejidad real.

Si tenemos en cuenta el ambiente luminoso en sí, es decir suponiendo que el uso de este espacio no es prioritario ante las demás variables, o suponiendo que sabemos el tipo de espacio según el volumen o las condiciones ambientales del entorno y no la actividad que se va a desarrollar en su interior, entonces podríamos establecer una clasificación en tres tipos de espacios:

1. Espacios tipo 1: espacios en los que la luz es estática, con un cierto protagonismo del acento de luz y la mancha solar.
2. Espacios tipo 2: espacios en los que predomina la luz dinámica, el color, la multiplicidad de situaciones superpuestas y la luz narrativa.
3. Espacios tipo 3: espacios en los que predomina la quietud, la luz difusa, el concepto de eternidad transmitido a través de la serenidad del ambiente luminoso.

En este capítulo se establecen tres tipos de espacios o ambientes luminosos a partir de la selección e interrelación de las variables (194). No conforman una tipología espacial que deba limitar o encorsetar la capacidad creativa. Esta tipificación es el inicio de futuras investigaciones basadas en el estudio de parámetros de la luz natural en ambientes complejos en los que se utilicen sistemas de control solar en su función activa. Cualquier investigación en este sentido se alejaría al máximo de proveer a los espacios únicamente de una cantidad de luz mínima.

5. Instantes de luz

“Pretender fotografiar la luz para captar el instante luminoso de un espacio es tratar de reflejar la esencia de este espacio.” Elías Torres Tur, Luz cenital, luz celestial.

‘Cuántas veces, en el transcurso de mi vida, la realidad me había decepcionado porque cuando la percibía mi imaginación, que era mi única facultad para gozar de la belleza, no podía aplicarse a ella, en virtud de la ley inevitable que dispone que sólo se pueda imaginar lo que

está ausente. Y he aquí que el efecto de esta rígida ley quedaba neutralizado, suspendido, por un recurso maravilloso de la naturaleza, que hizo reflejar una sensación- el ruido del tenedor y del martillo, un mismo título de libro, etc- a la vez en el pasado, permitiendo que mi imaginación la disfrutara, y en el presente, donde la alteración efectiva de mis sentidos por el ruido, el contacto de la servilleta, etc. Añadió a los sueños de la imaginación aquello de que carecen normalmente: la idea de la existencia; y, gracias a este subterfugio, permitió a mi ser obtener, aislar, inmovilizar el instante de un relámpago aquello que no apresa jamás: un poco de tiempo en estado puro. [TR 178-179]’ Marcel Proust, De la imaginación y el del deseo, ob. Cit., pág. 38.

‘[...] vemos claramente que la naturaleza de las condiciones es de importancia secundaria, en comparación de la naturaleza del organismo, para determinar cada forma particular de variedad, quizá de importancia no mayor que la que tiene la naturaleza de la chispa con que se enciende una masa de materia combustible en determinar la naturaleza de las llamas.’ Charles Darwin, El origen de las especies por medio de la selección natural, p. 17

“He visto cosas que vosotros no creeríais. Naves de ataque en llamas más allá de Orión. He visto rayos-C brillar en la oscuridad cerca de la puerta de Tamhäuser. Todos esos momentos se perderán en el tiempo, como lágrimas en la lluvia.” Transformaciones superaceleradas, Blade Runner.

“Ver es en cierto modo un acto que ha de aprenderse...He dedicado muchas noches a practicar, y sería extraño no adquirir destreza mediante la práctica constante.” William Herschell,1782

Destellos. Formación de un concepto

Fugacidad, intensidad y molestia.

Violenta reflexión del sol sobre la grava de los jardines.

El destello es intensidad de luz que vence a la luz del día, máxima intensidad en un instante de iluminación en nuestra mente, luz que destaca en la claridad. El destello tiene primero el sol como fuente de energía inagotable, pero también el fuego – velas, antorchas- capturado por el hombre como dominio de la naturaleza y de las fuerzas sobrenaturales. También es el claro en el bosque, máxima luz solar que conquista el vacío de sombras vegetales y nos guía desde la oscuridad. El destello es reflejo dorado de luz rodeado de oscuridad en un espacio celestial. Es reflejo en el agua en un mundo que aparece del revés, máxima intensidad en el espejismo y la deformación de nuestra propia realidad. La luz es materia y energía en uno, la esencia del espacio arquitectónico y la clave en nuestro modo de habitar, un instante de mayor intensidad que aparece, permanece y se desvanece en un breve espacio de tiempo.

Hay edificios que definen un momento, generan un estado de ánimo o han utilizado por primera vez una tecnología. Deben ser considerados, no sólo porque sean fascinantes, sino por la influencia que han ejercido. Hay espacios definidos a partir de una luz singular.



ESCENARIO TURÍSTICO

“En el mundo en el que nos movemos, el turismo es una de las mejores maneras que el capitalismo ha encontrado para conectar nuestros deseos al consumo. El mundo turístico parece querer llegar a ese límite, no saber exactamente donde está el límite de lo real y la ficción. A que vivamos perpetuamente en una ilusión de un autre monde[...] “

Imagen 36 Ubay Murillo, 2010 Entrevista en Berlín

Hay actividades singulares que requieren espacios singulares. Desde una discoteca, un salón recreativo, un espacio de videoconferencias, un burdel y un circo. Hay espacios que contienen estilos de vida singulares, huellas en el tiempo. Existe una relación muy estrecha entre la fotografía y la arquitectura, la arquitectura publicitaria y la arquitectura de moda. Una arquitectura del espectáculo del culto al cuerpo, la identidad como artificio... espejos y camerinos.

A menudo, en la publicidad de cosméticos de las revistas aparecían espejos; por ejemplo, un innovador anuncio de Skin Deep Milky Cleanser, de Elizabeth Arden, mostraba la cara de una mujer reflejada cabeza bajo en un espejo, como si estuviera mirándose en un lago. En 1937, Arden encargó un mural titulado Concurso de belleza, donde bellezas de todas las épocas, desde Cleopatra a la mujer moderna, contemplaban su imagen en un espejo. De igual modo la arquitectura se ha vuelto la arquitectura de la apariencia, del espectáculo, debe ser ya no bella, sino atractiva, publicitaria, tiene que estar de moda.

Son numerosos los objetos personales de oro y otros metales nobles procedentes de las excavaciones arqueológicas. Objetos pulidos, brillantes asociados muchas veces al aseo y decoro personal. La ornamentación de paredes, las joyas doradas dotadas de poder mágico, todo ello está relacionado con el poder, el cuidado y la protección. Los orígenes del arte dorado se remontan a los sumerios y egipcios de hace más de 3500 años, quienes descubrieron que el oro se podía transformar en finísimas láminas que se podían aplicar en diferentes superficies.

Hay objetos singulares que se presentan protagonistas en el contexto que los rodea. Hay reflejos nos permiten la visión del espacio que tenemos detrás (Barragán) o que reflejan la imagen de los más pequeños en el borde de una mesa (Aldo van Eyck).



Imagen 37 Izquierda: Aguamanil encontrada en la tumba de Hetep-Heres, Juego de jofaina de metal plateado francés Circa 1880 /90. Derecha: Casa de Luis Barragán, esferas reflectantes

Pulir, pulir (piedra), lacar (madera), barnizar (madera), acristalar, esmaltar, dorar, alisar, tallar, encerar... hay tratamientos superficiales que muestran un comportamiento de la luz que perdura a lo largo del tiempo (Mesopotamia, ladrillos esmaltados)⁸⁵.

‘Rebajar, afinar, pulir. Este tratamiento consiste en desbastar el pavimento mediante la utilización de material abrasivo de diferentes granos, hasta obtener la textura idónea para realizar el siguiente tratamiento, es decir, cristalizado o abrillantado.’

‘El cristalizado se consigue al llevarse a cabo una reacción química. La alta calidad de los productos especiales que utilizamos y el contacto con la lana de acero acoplada a las máquinas rotativas provocan, por fricción, una solidificación del producto químico dentro de cada poro del propio pavimento, quedando estos totalmente tapados y aportando una capa superficial más dura y brillante.’



Imagen 38 Reflejos metálicos. Herzog & De Meuron.

1. Aparición de una nueva cualidad

Cuando nos referimos al destello arquitectónico como la ‘aparición de una nueva cualidad’, la intención de que aparezca esa cualidad puede ser nula. Surge espontáneamente sin que hubiese anteriormente el menor indicio de su aparición. Por ejemplo: dos sistemas arquitectónicos independientes se enlazan intencionadamente, y de ese acercamiento surge una nueva cualidad del sistema como conjunto totalmente inesperada. La nueva cualidad es espontánea, pero el acercamiento es intencional. Hay veces donde también el acercamiento es casual, pero en la repetición intencional de esa cualidad surgida de la nada es donde comienza el destello arquitectónico.

⁸⁵ 2040 a C. Sumerios. LADRILLOS ESMALTADOS

Empleo en palacios señoriales y centros religiosos: no hay madera en Mesopotamia. Los esmaltes aplicados se componen de silicatos alcalinos y cal, confiriéndoles color azul mediante adición de óxido de cobre. Para que fluyan bien y se adhieran con fuerza a la base, es necesario que el material de que están hechos los ladrillos contenga ácido silícico.

La apropiación astuta de un instante óptimo da lugar a un nuevo lenguaje arquitectónico, para ello hay que tener la capacidad de percibir ese instante y las herramientas apropiadas para poder repetirlo intencionadamente [4120]⁸⁶.



Imagen 39 Izquierda: Electricidad. Derecha: Paulinho Moska, reflejos

2. Huellas en el tiempo

El destello puede aparecer en nuestro campo de visión como reflexión de la luz sobre una superficie, dependiendo de si es un poco más lisa o rugosa dependerá la intensidad de su reflejo. La luz en ese caso no viene directamente desde la fuente de luz que lo emite, sino del objeto sobre el que se refleja. En *Luces de Bohemia* el reflejo en el callejón del Gato es el reflejo de los que caminan por delante de los espejos, y su reflejo está incompleto o deformado, surge en ese instante el esperpento reflejo de unos personajes que representan una sociedad en un momento determinado; un lugar y un tiempo determinados como resultados de una visión personal.

Los espejos cóncavos como fuente de cualquier deformación son objeto de investigación en “Fuera de juego”, se trata la deformación de la realidad como resultado intelectual de una visión interior, de lo que de momento se trata aquí es de plantear el destello arquitectónico como el reflejo intenso y espontáneo de un lugar y tiempo determinados dentro de un contexto mucho más amplio.

3. Inspiración creativa

En la mitología griega aparece descrito el trueno de Zeus, el relámpago, como un regalo que los Cíclopes le entregan a éste tras haberlos liberado de Cronos, la fulguración de Zeus. Es el fuego de Zeus robado por Prometeo para dárselo a los hombres. La osadía de Prometeo se asocia a la de los hombres al hacer o poseer cosas divinas. Los románticos vieron en Prometeo un prototipo del dáimôn o genio natural. El hombre al igual que Prometeo domina el fuego para calentarse y tener luz sin pedir permiso a los dioses y de esta forma le dan la vuelta al mundo, se colocan encima de la luz y dominan su propio destino. Se asocia al instante de lucidez, un instante de iluminación en el que se crea una nueva conexión neuronal o una nueva idea de algo que hasta ahora no se te había ocurrido. A una escala menor es una inspiración creativa

⁸⁶ J.Seymour Bruner, *De la Percepción al Lenguaje*.

que da satisfacción, en ese instante nos sale una exclamación que denota sorpresa y aprobación: “¡AJÁ! o también ¡EUREKA!

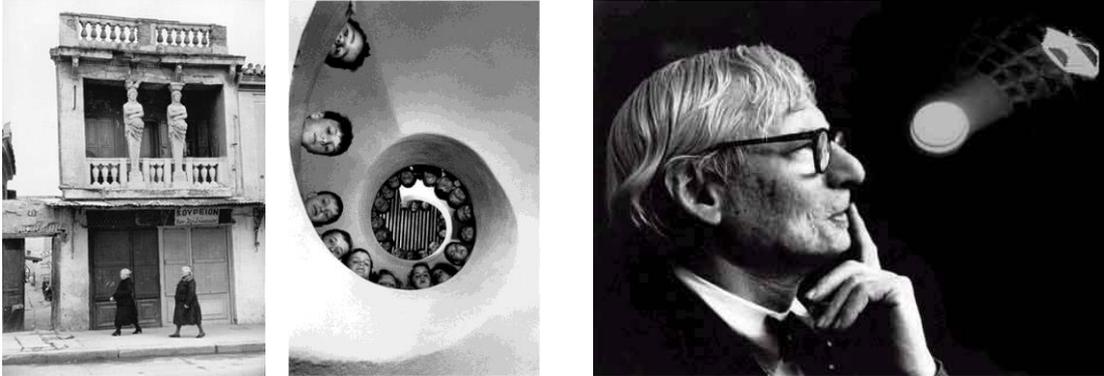


Imagen 40 Instantes de lucidez

La historia dice que Arquímedes pronunció “EUREKA!” tras descubrir que el volumen de cualquier cuerpo podía ser calculado midiendo el volumen de agua desplazada cuando el cuerpo es sumergido en agua, conocido como el Principio de Arquímedes. Este descubrimiento supuestamente lo hizo mientras se encontraba en la bañera, tras lo que salió de las calles de Siracusa desnudo gritando ¡Eureka! Eureka es la primera persona del singular del pretérito perfecto de indicativo del verbo eurisko (en griego εὕρισκω), que significa “encontrar”. Significa por tanto lo he encontrado. La palabra Eureka se usa hoy en día como celebración de un descubrimiento, un hallazgo o consecución. También se dice que lo exclamó cuando descubrió un método para determinar la pureza del oro.

Lo que nos interesa de este ejemplo es el hallazgo casual, repentino que habitualmente surge tras una larga búsqueda.

4. Acento de intención

El destello arquitectónico es también acento de intención en la arquitectura. Si se logra la materialización de un chispazo intencional cuyo ingrediente fundamental sea la intensidad luz en un tiempo determinado, estaremos ante algo así como un destello de destello, un destello arquitectónico basado en la exaltación de la luz como fenómeno temporal esencial en la arquitectura que nos deja en estado perplejo, es decir, fuera de juego.

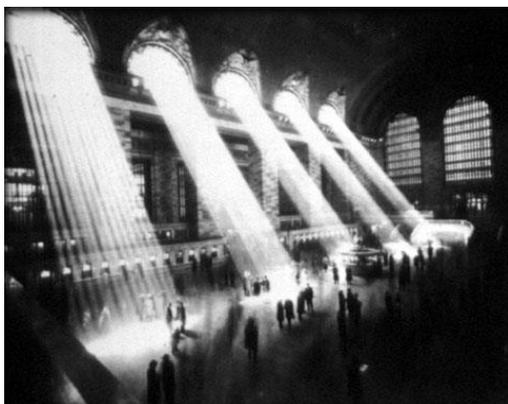


Imagen 41 Izquierda: Fotografía anónima. Estación Central NY. Derecha: Cementerio de Igualada, Enric Miralles.

Los impresionistas ya propusieron en su momento liberarse del encadenamiento de la forma y retratar no la cosa en sí, sino el efecto que ella producía (Mallarmé), en este caso la ceguera, la perplejidad.

5. Anagrama de luz

Tres círculos de luz brillante forman el anagrama que la aparición luminosa tiene por cabeza; leída de dentro hacia fuera dice:

I / N / R / I // + ADAM + TE + DAGERAM // AMRTET + ALGAR + ALGASTNA ++

No sabemos aún si esto tiene algún significado. Volviendo con la descripción de la aparición luminosa: ésta señala a su vez con la mano derecha más claramente y la izquierda entre la oscuridad, una triple elipse atravesada por sus propios rayos de luz, unos hilos de luz muy finos que transmiten delicadeza más que una fuerza de luz cegadora. Los objetos que se encuentran cerca de la aparición siguen en la oscuridad y la cara del estudioso está iluminada de manera que la puede observar directamente sin ninguna dificultad. De hecho, los objetos más iluminados son precisamente los que se encuentran más cerca del espectador, están retratados de una manera muy sintética, como si al estar iluminados perdiesen volumen, se hiciesen planos y sus formas se simplificasen. En la estampa el retratado observa con cierta resignación el anagrama de luz que se encuentra por encima de él y ésta le devuelve la mirada en un proceso de elucidación recíproca.



Imagen 42 Rembrandt van Rijn Un erudito en su estudio o El doctor Fausto, Ca. 1652, aguafuerte, punta seca y buril, 20,3x15,8 cm, Madrid Biblioteca Nacional

El personaje no parece sorprendido por esa nueva aparición, más bien parece que lleva un buen rato observándola, simplemente tratando de entender lo que ésta le va señalando, como algo completamente normal. Mantiene los puños sobre la mesa, a los lados del documento que tiene encima de la mesa, mientras la luz le aclara algo puntual y así él no necesita variar su posición, sólo levantar la cabeza y girarla un poco para las aclaraciones. El anagrama de luz aparece (o lleva ya un rato) delante de la ventana, borrando las líneas de división del vidrio que hay detrás. Se adivina detrás de la ventana una sombra que espía lo que ocurre en el interior de la habitación, y algunos de los finos trazos de luz proveniente de la aparición se doblan por la luz natural de detrás de la ventana. Da la impresión de que la luz quiere acercarse al estudioso para señalarle en el interior de las elipses los secretos de su propia imagen que nosotros no logramos ver.

Las interpretaciones de esta estampa, conocida habitualmente por El doctor Fausto, pueden ser infinitas. Un personaje que se empeña en la búsqueda agónica y comprometida de la perfección, nunca lograda, que le procurará castigo. Sin embargo, lo que aquí nos interesa es, primero, el destello de luz sobre una zona iluminada; la aparición lumínica de mayor intensidad sobre una luz ambiental natural, en este caso la luz natural entra a través de la ventana. Una intensidad mayor de luz sobre la claridad. Y, segundo, en la estampa la representación gráfica de la luz se materializa y forma parte de la realidad llegando a mantener una relación directa con quien la percibe; el anagrama de luz como forma lumínica real capaz de ser percibida y capaz de iluminar.



Imagen 43 Izquierda. Imagen cercana del cuadro de Rembrandt Un Erudito en su estudio. Derecha. Picasso escribiendo con luz

La aparición luminosa es primordial en la estampa, pero es el erudito rodeado de objetos que delatan su predisposición a percibir esa clarividencia, el que denota cierto grado de apetencia latente.

6. Espejos

Platón: *El espejo no solamente tiene como función reflejar una imagen: el alma convirtiéndose en un espejo perfecto, participa de la imagen, y por esta participación sufre una transformación.*

Al otro lado del espejo, Konrad Lorenz.

'Hay identidad en la diferencia'

'Los antiguos construyeron Valdrada a orillas de un lago con casas todas de galerías una sobre otra y calles altas que asoman al agua los parapetos de balaustres. Así el viajero ve al llegar dos ciudades, una directa sobre el lago y una de reflejo invertida. No existe o sucede algo en una Valdrada que la otra Valdrada no repita, porque la ciudad fue construida de manera que cada uno de sus puntos se reflejara en su espejo, y la Valdrada del agua, abajo, contiene no sólo todas las canaladuras y relieves de las fachadas que se elevan sobre el lago, sino también el interior de las habitaciones con sus cielos rasos y sus pavimentos, las perspectivas de sus corredores, los espejos de sus armarios.

Los habitantes de Valdrada saben que todos sus actos son a la vez ese acto y su imagen especular que posee la especial dignidad de las imágenes, y esta conciencia les veda abandonarse por un solo instante al azar y al olvido. Cuando los amantes mudan de posición los cuerpos desnudos piel contra piel buscando como ponerse para sacar más placer el uno del otro, cuando los asesinos empujan el cuchillo en las venas negras del cuello y cuanta más sangre coagulada sale a borbotones más hundén el filo que resbala entre los tendones, incluso entonces no es tanto el acoplarse o matarse lo que importa como el acoplarse o matarse de las imágenes límpidas y frías en el espejo. El espejo ya acrecienta el valor de las cosas, ya lo niega. No todo lo que parece valer fuera del espejo resiste cuando se refleja. Las dos ciudades gemelas no son iguales, porque nada de lo que existe o sucede en Valdrada es simétrico: a cada rostro y gesto responden desde el espejo un rostro o gesto invertidos punto por punto. Las dos Valdradas viven una para la otra, mirándose a los ojos de continuo, pero no se aman.'

[CALVINO, ITALO: Las Ciudades y los Ojos, 1]

'Es el humor de quien la mira el que da a la ciudad de Zembrude su forma, Si pasas silbando, con la nariz levantada detrás del silbido, la conocerás de abajo para arriba: antepechos, cortinas que se agitan, surtidores. Si caminas con el mentón sobre el pecho, con las uñas clavadas en las palmas, tus miradas se enredarán al ras del suelo en el agua de la calzada, las alcantarillas, las espinas de pescado, los papeles sucios. No puedo decir que un aspecto de la ciudad sea más verdadero que el otro, pero de la Zembrude de arriba oyes hablar sobre todo a quien la recuerda hundido en la Zembrude de abajo, recorriendo todos los días los mismos tramos de calle y encontrando por la mañana el malhumor del día anterior incrustado al pie de las paredes. Para todos, tarde o temprano, llega el día en que bajamos la mirada a lo largo de los caños de las canaletas y no conseguimos despegarlos más del pavimento. El caso inverso no está excluido, pero es más raro: por eso seguimos dando vueltas por las calles de Zembrude con los ojos que ahora cavan debajo de los sótanos, de los cimientos, de los pozos.' [CALVINO, ITALO: Las Ciudades y los Ojos,2]

'Vadeado el río, traspuesto el paso, el hombre encuentra enfrente, de pronto, la ciudad de Moriana, con sus puertas de alabastro transparentes a la luz del sol, sus columnas de coral que sostienen los frontones con incrustaciones de piedra serpentina, sus villas todas de vidrio como acuarios donde nadan las sombras de las bailarinas de escamas plateadas bajo las arañas de luces en forma de medusa. Si no es su primer viaje, el hombre sabe ya que las ciudades como ésta tienen un reverso: basta recorrer un semicírculo y será visible la faz oculta de Moriana, una extensión de metal oxidado, tela de costal, ejes erizados de clavos, caños negros de hollín,

montones de latas, muros ciegos con inscripciones desteñidas, asientos de sillas desfondadas, cuerdas buenas sólo para colgarse de una viga podrida. De parte a parte parece que la ciudad continuara en perspectiva multiplicando su repertorio de imágenes: en cambio no tiene espesor, consiste sólo en un anverso y un reverso, como una hoja de papel, con una figura de este lado y otra del otro, que no pueden despegarse ni mirarse,' [CALVINO, ITALO: Las Ciudades y los Ojos, 5]

Una superficie lisa y bien pulida produce una reflexión regular: la luz que incide en una dirección determinada, es reflejada en otra dirección determinada. En este caso lo que se pone de manifiesto con la reflexión no es la superficie reflectora, sino los objetos cuyas imágenes se ven reflejadas. De hecho, un reflector perfectamente liso y limpio es invisible, sólo nos permite ver la imagen reflejada. Este tipo se denomina reflexión especular, y sigue un par de leyes muy simples: la primera es que el rayo incidente y el reflejado se encuentran siempre sobre el mismo plano. La segunda que el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales, Como resultado de estas leyes, tenemos que un espejo plano produce imágenes fieles de los objetos llamadas imágenes virtuales: no los deforma ni cambia su tamaño pero los invierte (nada tan complicado como descifrar un texto a través de su imagen reflejada).

Venecia, la ciudad reflejada. Apariencia. Reflejo. Espejismo. El instante banal, superficialidad.

'Lejos de tener lo que podríamos denominar centros fijos y duraderos de un tipo de geometría formulada, el minimalismo produce la paradoja de una forma cambiante y por ende sin centro...Como consecuencia de este ataque demostrable contra la idea de que las obras alcanzan su significado en la superficie del objeto cuando se convierten en manifestaciones o expresiones de un centro oculto, se interpretó que el minimalismo albergaba el significado del objeto. De ahí su interés por los materiales reflectantes y en explorar el juego de la luz natural.'

Rosalind Krauss

'Pisistrato y Telémaco, entre tanto./ En el palacio son introducidos./ Deslumbrados los ojos les parecen'

'A la vista tal: cual brillo! cual riqueza!/ Es el templo del sol, ó de Febea/ La sagrada mansión, que del hermano/ Al rayo resplandece. A tal encanto/ Les arranca, por fin, otro cuidado: / Un baño les aguarda: las esclavas. / Jóvenes y lozanas, en sus miembros/ Perfumes vierten, y en tejidos finos/ De hermosa lana luego les envuelven,/ Y los visten con túnicas soberbias,/ Otra doncella un jarro de oro puro/ Presenta y en sus manos va vertiendo/ El agua cristalina que recoge/ Una cubeta de bruñida plata,/ [...]' [Homero, La Odisea]

'Ulises al palacio se dirige; / Antes que á pisar llegue sus umbrales/ Pensativo y atónito se para:/Todo á sus ojos presentar parece/ Del Dios del día la mansión radiante/ O del astro nocturno los esmaltes,/ Desde el portal á la interior estancia/ Dos paredes de cobre se levantan/ Que base son de una cornisa de oro./ Son también oro las enormes puertas/ Que vedan el ingreso, y oro puro/ La aldaba que cerrar y abrir permite,/ Véase un lintel de plata sostenido/ Por columnas que el mismo metal forma/ Y que un umbral de terso cobre apoya./ Dos perros de oro y plata, que animara / [...]' [Homero. La Odisea. Canto Séptimo entrada de Ulises en el palacio de Alcínó]

‘Los héroes clásicos han ido a pasearse en el callejón del Gato. Los héroes clásicos reflejados en espejos cóncavos dan el Esperpento. Las imágenes más bellas, en un espejo cóncavo, son absurdas.’ [(ESCXII), Ramón M^a, del Valle-Inclán, Luces de Bohemia]

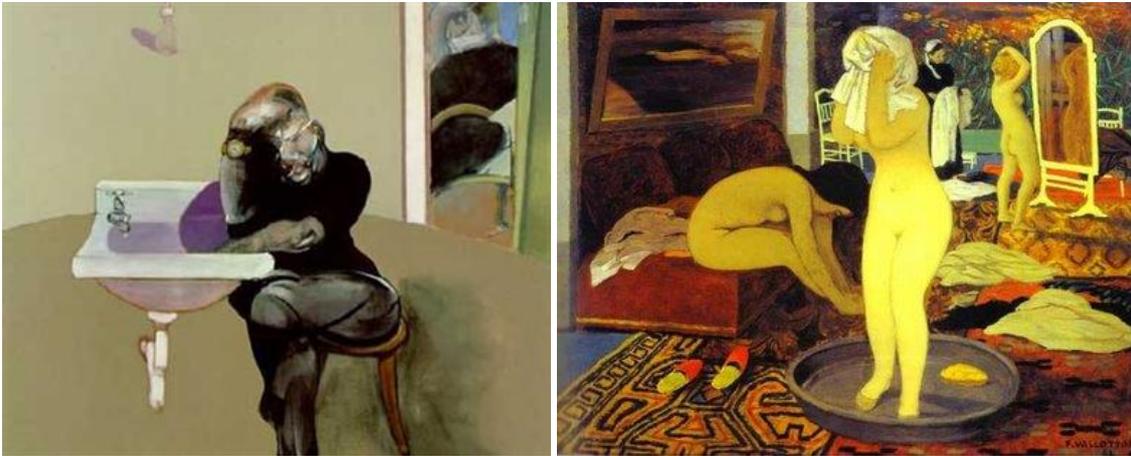


Imagen 44 Izquierda: Francis Bacon. Derecha Félix Vallotton. Femmes à leur toilette 1897

Espacio infinito, imágenes virtuales, espacio inverso, espacios dedicados a la apariencia, representación colectiva deformación.

En un mismo plano sucede lo imposible, cúmulo de fragmentos inconexos (J. Tati, Mi tío) descritos por Ábalos.

7. Luz en movimiento

‘Das Licht zeigt an der Form mehr seinen statischen, in der Farbe mehr seinen dynamischen Aspekt’ [Hans Sedmayr, Das Licht in seinen künstlerischen Manifestationen, p.17]

‘[...] Jean Nouvel tiende a jugar con cambios notables de escala dentro de sus edificios de una manera parecida. Recurriendo al lenguaje cinematográfico, Nouvel describe esta característica de su obra como la creación de efectos especiales y óptimos basados en el corte. Así yuxtapone espacios de escalas radicalmente diferentes cuyo punto de transición se convierte en un momento llamativo en el que se crea un cambio de escala y escenografía semejante a lo que ocurre en una película. Sin embargo, el interés de Nouvel por el uso del corte no se restringe a la creación de efectos ópticos aislados, sino también radica en torno al uso de estos efectos en secuencia. Como resultado, una serie de puntos de conexión arquitectónicos organizados en secuencias deliberadas convierte la experiencia del edificio en una serie de cambios de escala y escenografía que se experimentan sucesivamente. Todo este proceso enfatiza la cualidad temporal de una arquitectura concebida desde el punto de vista de un usuario en movimiento.

[CAIRN, Graham: El arquitecto detrás de la cámara. La visión espacial del cine, Abada editores, 2007 Madrid, ISBN 978-84-96258-90-7, p. 17]

Se denomina hábito a todo comportamiento o modo especial de proceder o conducirse adquirido por repetición de actos iguales o semejante, u originado por tendencias instintivas.

La repetición de una acción crea en nosotros la disposición o facilidad para la realización posterior de dicha acción. Aunque también la filosofía aristotélica aceptaba la existencia de hábitos referidos a las facultades cognoscitivas y que le permiten al sujeto la adquisición de conocimientos, el concepto aristotélico de hábito se aplica fundamentalmente al mundo moral: los hábitos (las virtudes eran los buenos hábitos y los vicios los malos hábitos). Sin embargo, en la filosofía humana el papel de los hábitos es inverso pues no se relaciona tanto con la moralidad como con el conocimiento. Al igual que el pensamiento aristotélico, los hábitos a los que se refiere David Hume no son hábitos del cuerpo sino de la mente, y se producen por la repetición de un acto, repetición que produce una disposición para renovar el mismo acto. Pero Hume sitúa su función explicativa en el tema del conocimiento: sirve para explicar, por ejemplo, nuestras creencias en la existencia de relaciones causales, o nuestra creencia en la existencia del mundo exterior.

Todas las personas tienen arraigados una serie de hábitos que tienen notable influencia en sus vidas, hasta el punto de determinar los éxitos y fracasos en diversas actividades.

La variación natural de la luz, espacios de transición. Espacios definidos a partir de la sucesión lineal de instantes, fotograma a fotograma. Espacio construido a partir de un cúmulo de fragmentos inconexos, recupera el sentido a partir de la estela que su movimiento ha dejado dibujada en el tiempo. Se enfatiza la celeridad de los acontecimientos.

Hábitos de consumo: 'En correspondencia, la "sublevación de los esclavos", que amenaza con destronar el autodomínio y el carácter normativo del individuo fuerte, no es la rebelión de las masas, sino de las cosas. Así como, por un lado, nos hemos convertido en los esclavos del proceso de producción, por otro lado, hemos pasado a ser los esclavos de los productos, esto es, aquello que la naturaleza nos proporciona desde el exterior, merced a la técnica, por medio de las costumbres, las distracciones y las necesidades de carácter externo, acaba dominando sobre la autarquía del ser humano, sobre el carácter centrípeto espiritual de la vida.' [G. Simmel, *Filosofía del dinero*, p.610/611]

Alineación en el consumo masivo: la técnica y la multitud de mercancías se impone sobre la conciencia clara e inteligente del individuo. Simmel diagnostica que se pierde la espiritualidad y concentración del individuo sobre sí mismo, dando lugar a un «sentimiento ahogado de tensión y de nostalgia desorientada», una «intranquilidad interior», como si todo el sentido de la vida humana residiera en una lejanía tan remota que no pudiéramos localizarlo. Esta intranquilidad interior- expresión y manifestación moderna- empuja a los individuos de una experiencia a otra, rompe su unidad interna y provoca su fragmentación: «La ausencia de algo definitivo en el centro de la vida empuja a buscar satisfacción momentánea en excitaciones, sensaciones y actividades continuamente nuevas, lo que nos induce a una falta de quietud y de tranquilidad que se puede manifestar como tumulto de la gran ciudad, como la manía de los viajes, como la lucha despiadada contra la competencia, como la falta específica de fidelidad moderna en las esferas del gusto, los estilos, los estados de espíritu y las relaciones.»

Lewis Mumford: "La máquina clave de la edad moderna fue el reloj, no la máquina de vapor"
Tiempo objetivo: tiempo de la máquina.... los seres humanos podían superar los límites superiores impuestos por los ritmos de la naturaleza y convertir progresivamente el espacio y el tiempo en un factor productivo para el progreso material.

‘La idea de organizar el tiempo en unidades estandarizadas como horas, minutos y segundos le habría parecido extraña, incluso macabra a, al siervo campesino de los tiempos medievales. Entonces el día se dividía en tres grandes secciones: amanecer, mediodía y puesta de sol. Según Lawrence Wright, más allá de éstos, los únicos recordatorios eras “la campana de siembra y cosecha que los llamaba al trabajo, la campana del sermón y el toque de queda” [Wright, Lawrence, Clockwork Man,p62.]

‘Tanto en el despacho como en la tienda, la nueva burguesía redujo la vida a una rutina escrupulosa e interrumpida: tanto tiempo para los negocios, tanto tiempo para comer, tanto para el placer: todo cuidadosamente medido [...] Pagos a tiempo, contratos por tiempo; trabajo por tiempo; comidas cortas de tiempo; a partir de este momento nada se libró del sello del calendario o del reloj’ *Godoy, Jack, Time: social Organization, International Encyclopedia of the Social Sciences

‘Los ignorantes suponen que infinitos sorteos requieren un tiempo infinito; en realidad basta que el tiempo sea infinitamente subdivisible, como lo enseña la famosa parábola del Certamen de la Tortuga.’ [Guilles Deleuze, Lógica del sentido,p.92/ J.L. Borges, ficciones]

‘Igual que las figuras humanas sufren deformaciones en la historia de la pintura, casi igual desplazamiento sufren las habitaciones y las ventanas, los planos de fachada y las luces que por ellas entran. A veces los espacios dejan distorsionar por todo lo que nos rodea, entendiendo que estamos hablando no sólo del contexto material, sino también de aquellas líneas trazadas en los dibujos de viajes, vuelven a aparecer, de las palabras y los nidos que se estrellan contra las cosas, de la memoria, de los instrumentos. una arquitectura que mira, sobre todo, a la naturaleza y a los hombres, en un mundo en el que la porosidad en la percepción, educada por la cultura pop, ha ganado terreno. La arquitectura se deja empujar por los movimientos de la tierra, se pliega a las corrientes de agua, tuerce su cabeza como la gira un león sentado, se deja arañar la piel con el viento, levanta la mano para protegerse del sol; es un ademán geológico, que trasciende la atención del lugar como terreno particular y lo considera un fragmento del vivir, indeciso sobre su próximo movimiento.’ [Mansilla, Viaje al interior del tiempo,p.183]

‘Un montón de libros, desordenados contra las estanterías, se empujan entre sí: han sido colocados unos contra otros, a tuestas, y de repente convierten los pensamientos en algo inevitablemente material, recordándonos la importancia de trabar las ideas y las cosas. Y ese forcejeo que queda retratado en una instantánea, nos habla de otro instante distinto al que vemos...creo que eso es lo interesante: aquello que ven nuestros ojos es distinto a lo que ve nuestro corazón, y en esa transformación, en ese desplazamiento, es donde reside el interés y la humanidad de la mirada.

De este modo, entran en el objetivo siempre varios espacios, y así como necesitamos dos ojos para apreciar las distancias, aquí aparecen dos espacios que nos hacen presente en el tiempo. El tiempo se revela porque es lo que hay entre los espacios. Un tiempo a veces lento, a veces instantáneo, como en esas fotografías en las que las líneas distantes se hacen una o coinciden las aristas [...] [MANSILLA, Luis Moreno: El espacio es el tiempo, epílogo revista de fotografía]

‘5.[...] Todo ente real se halla en devenir, tiene su aparición y su desaparición; las estructuras dinámicas primarias, desde el átomo hasta las nieblas espirales, son estructuras de procesos al

igual que las estructuras de articulaciones y de formas (Gestalt). Esto vale en mayor grado aún para las estructuras orgánicas, así como para la conciencia en cuanto totalidad anímica y para las ordenaciones de la comunidad humana .

6. En estas estructuras rige una especie de conservación distinta a la propia de la sustancialidad, a saber, la conservación por medio del equilibrio interno, la regulación, la reproducción autónoma y hasta la transformación espontánea. Cabría designarla como "consistencia", por oposición a la "subsistencia". Si bien su resultado no es una perduración eterna, es lo suficientemente prolongado como para conferir a las estructuras la función de soporte de los estados variables (accidentes).’ [Nicolai Hartman, *Alte und Neue Ontologie*]

«En Cajamarca, enero es tiempo de tejer.

En febrero aparecen las flores delicadas y las fajas

Coloridas. Los ríos suenan, hay carnaval.

En marzo ocurre la parición de las vacas y las papas.

En abril, tiempo de silencio, crecen los granos del maíz.

En mayo se cosecha.

En los secos días de junio, se prepara la tierra nueva.

Hay fiesta en julio, y hay bodas, y los abrojos del Diablo asoman en los surcos.

Agosto, cielo rojo, es tiempo de vientos y de pestes.

En luna madura, no en luna verde, se siembra en septiembre.

Octubre suplica a Dios que suelte las lluvias.

En noviembre, mandan los muertos.

En diciembre la vida celebra. » [GALEANO, Eduardo, *Las Palabras Andantes*, siglo XXI editores,

Madrid 1995, ISBN: 84-323-0814-5,p.32]

‘A veces las marcas tienen un significado, si alguien las sabe interpretar, las entiende. Pero muy a menudo tienes que pararte como desconocido, aceptar la marca porque está ahí, porque te la has encontrado, como cuando encuentras algunas inscripciones en una roca. Me interesa ese trabajo de ir aceptando los resultados que van apareciendo. [...] Un proyecto consiste en saber atar múltiples líneas, múltiples ramificaciones que se abren en distintas direcciones. Mi modo de trabajar está muy ligado a la idea de curiosear o de distraerse. Una vez fijado el problema, el siguiente paso es casi olvidarse de la finalidad de lo que estabas haciendo, casi como para distraerte [...]’ [Enric Miralles, *Cementerio de Igualada*]

Narraciones arquitectónicas

‘Dentro de la concepción del espacio como objetivo primordial de la arquitectura, una de las aspiraciones principales de la modernidad es la sustitución del espacio estático por un espacio dinámico, en el cual se introduce la cuarta dimensión: el tiempo, entendido entonces como una variable fundamental para su total disfrute y comprensión, trasladando así a la arquitectura teorías filosóficas y científicas de los comienzos del siglo XX. La incorporación de la dimensión temporal en la arquitectura fue propuesta por las vanguardias plásticas y por Le Corbusier en el desarrollo de sus ideas acerca del paseo arquitectónico. Villanueva incorporó esta dimensión moderna en sus espacios de la CUC, los cuales no pueden ser entendidos ni disfrutados plenamente si no es en movimiento. El paseo a través de sus jardines, sus corredores, los múltiples espacios que se relacionan, las rampas y las escaleras que cruzan espacios de variadas

alturas, a lo largo de los cuales van surgiendo formas y obras de arte que se pueden observar desde distintos puntos de vista y que se iluminan de diferentes maneras durante el transcurso del día, constituye una experiencia arquitectónica de un dinamismo alcanzado pocas veces en la arquitectura moderna.

Los cambios introducidos en la imagen que uno tenía del mundo físico habían modificado totalmente nuestro concepto de la estructura espacial, pero fue en realidad especialmente la revolución cubista quien enseñó a los arquitectos el nuevo camino donde uno llega a concebir un espacio en cuatro dimensiones y donde el tiempo justamente las representa. Los arquitectos entonces sustituyeron a un espacio eminentemente estático, por otro esencialmente dinámico. El espacio se conoce porque algo se mueve: el objeto o el espectador y la marcha hacen aparecer bajo nuestra visual la diversidad de los acontecimientos. Se logra hacer desaparecer el sentido de la fachada y el espectador se ve obligado a moverse en torno de la arquitectura para comprenderla, sentirla y saborearla: un nuevo espacio había nacido, no únicamente físico sino abarcando todas las posibilidades humanas.' [Carlos Raúl Villanueva: "Tendencias actuales de la arquitectura", (1963). Escritos. (1980) Caracas: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCV. p.47-48].

'No obstante, toda representación conduce a la narración, aunque sea embrionaria, por el peso del sistema social al que pertenece lo representado, y por su ostentación. Para advertirlo, basta mirar los primeros retratos fotográficos que se convierten de modo instantáneo en pequeños relatos. [AUMONT, JACQUES; BERGALA, ALAIN; MARIE, MICHEL y VERNET, MARC, Estética del cine. Espacio fílmico, montaje, narración, lenguaje, Ed. Paidós Ibérica, Barcelona, 1996, p. 90]

'[...] aunque por un lado, los postmodernos echaron abajo las barreras ideológicas de la modernidad liberando a sus prisioneros, también es cierto que los dejaron sin ningún lugar adonde ir. Nos convertimos en nómadas existenciales en un mundo sin fronteras, plagado de aspiraciones difusas, en busca de algo en lo que creer y comprometernos. A pesar de que, por un lado, el espíritu humano ha quedado libre de las viejas categorías del pensamiento, cada uno de nosotros tiene ahora la obligación de buscar su propio camino en un mundo caótico y fragmentado que resulta más peligroso que el mundo perfectamente integrado que hemos dejado atrás.' [Jeremy Rifkin, El sueño europeo,p.35]

Ubay Murillo espacios turísticos, espacio fragmentado. Instantes aislados.

Oscilaciones del tiempo en el espacio. Implicación dinámica del cuerpo, variación de la percepción, registro de movimientos.

"Sin el papel constitutivo de la cultura somos monstruosidades imposibles" Clifford Geertz

Encadenamiento de momentos de luces en relieve, siguiendo secuencias, y no una composición de volúmenes.

8. Alta intensidad

'En la parte inferior del escalón, hacia la derecha, vi una pequeña escalera tornasolada, de casi intolerable fulgor. Al principio la creí giratoria; luego comprendí que ese movimiento era una

ilusión producida por los vertiginosos espectáculos que encerraba. El diámetro del Aleph sería de dos o tres centímetros, pero el espacio cósmico estaba ahí, sin disminución de tamaño. Cada cosa (la luna del espejo, digamos) eran infinitas cosas, porque yo claramente la veía desde todos los puntos del universo [...], y sentí vértigo y lloré, porque mis ojos habían visto ese objeto secreto y conjetural, cuyo nombre usurpan los hombres, pero que ningún hombre ha mirado: el inconcebible universo.' [Jorge Luis Borges, El Aleph]

Serenidad, carencia total de protagonismo, de brillos, el tiempo se detiene.

Espacios sin sentido.

6. Variables relativas

En el apartado anterior, se han propuesto 3 ejemplos de espacios entendidos, como un espacio estático con un punto central de atención (Instantes de luz), fragmentos unidos por el tiempo (Movimiento de la luz) y por último, espacio en los que la alta intensidad es protagonista.

Cada uno de ellos tiene asociada una serie de cualidades, que no he tratado de acotar. En la tabla siguiente se muestran las posibles variables del listado de 194, seis grupos, asociadas a cada uno de ellos. El siguiente paso sería estudiar combinaciones y nuevas posibilidades para descubrir nuevas situaciones:

Espacio tipo	Variables asociadas
Instantes de luz	1,3,13,33,34,36,37,40,42,58,75,76,99,113,131,135, 151,157,160,161,162,172,182, 184
Movimiento de la luz	18,27,41,54,57,71,77,79, 80, 82,83,91,95,96,115,116,123, 126,136,143,144,152,153,155,159,163,181,184
Alta Intensidad	22,26,48,51,52,85,88,100,118,121,130,138,154,180,187

Tabla 69 Listado de variables asociadas a 3 espacios tipo

BLOQUE 3 CONCLUSIONES

1. Conclusiones parciales

En el desarrollo del trabajo de investigación que ha dado lugar a la presente tesis se han alcanzado los objetivos inicialmente planteados en cuanto a:

HIPÓTESIS 1 El tratamiento de la luz natural en el interior de los espacios influye directamente en nuestra calidad de vida. En 80% de la percepción de nuestro entorno procede de la visión, así que sin luz, nos perdemos una buena parte de lo que nos rodea. Desde el punto de vista del confort visual la luz es necesaria no sólo para ver, sino también para interactuar con las demás personas que conviven con nosotros. Influye positiva o negativamente en todo nuestro organismo, en nuestra capacidad intelectual, en nuestra activación psicológica y en nuestra salud general. En esta investigación se ha hecho un estudio sobre la influencia de la luz desde un punto de vista holístico. No ha sido posible añadir cuestiones relativas a la salud y la capacidad intelectual.

HIPÓTESIS 2 Estudiar las formas de representación de la luz y compararlas con situaciones reales nos da una idea de cómo la entendemos y qué esperamos de ella (Capítulo 3-13).

HIPÓTESIS 3 Comprobación del grado de aceptación de las manchas solares a partir de cuestionarios. Los resultados (capítulo 7.6) muestran que más del 80% de las personas elegidas para la muestra prefiere las manchas solares en el espacio interior. Al igual que la mayoría de las personas prefiere un nivel de iluminación mayor al mínimo necesario establecido por normativa para evitar la fatiga visual, la mayoría prefiere ver los rayos de sol y los contrastes derivados de la luz natural en su totalidad (capítulo 2).

HIPÓTESIS 4 Estudios en el Laboratorio bioclimático en 24 modelos residenciales bioclimáticos monitorizados muestran los resultados sobre los parámetros ambientales interiores. Las viviendas cuya fachada orientada a Suroeste tiene una proporción de huecos mayor que 60% tienen sobrecalentamiento y pueden provocar deslumbramientos a los usuarios. Según los cuestionarios estudiados, ninguno de los usuarios percibe los deslumbramientos.

HIPÓTESIS 5 Más de 1000 referencias técnicas y artísticas han sido estudiadas para poder ampliar nuestra concepción del ambiente luminoso (capítulo 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8).

HIPÓTESIS 6 En la vivienda 15 Noche y Día, un número bajo de usuarios valora negativamente (penumbra) la iluminación natural de la vivienda. Es posible que el alto contraste de los lucernarios nos dé la sensación de poca luz donde no hay lucernarios. Según las mediciones la luz supera en todos los puntos de la casa, para días de cielo cubierto, los 300 luxes entre las 8:00 y las 18:00, incluso en invierno. Es posible que en lugar de deslumbramiento, se produzca esa sensación de falta de luz. Por lo tanto, la luz natural se compone de luz directa e indirecta, por lo tanto cualquier método de simulación, medición y/ o control de la luz natural debe tener en cuenta ambas componentes para evitar el sobrecalentamiento de espacios y deslumbramientos a los usuarios. Muchos de los métodos de cálculo actuales sólo tienen en

cuenta la componente indirecta (capítulo 1). Una simplificación excesiva de los parámetros lumínicos implica la necesidad de mayores niveles de luz. La consideración de la luz como un fenómeno estático lleva a una excesiva homogeneidad de la luz.

HIPÓTESIS 7 No todos los espacios tienen las mismas exigencias de luz. Hay espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico, que se quiere transmitir con la iluminación, son preponderantes. Las encuestas realizadas a la muestra elegida, demuestran que la mayoría considera otras variables como imprescindibles a la hora de diseñar un espacio según su uso (capítulo 5).

HIPÓTESIS 8 La luz dinámica nos activa, la necesitamos. Es una fuente de información y de referencia temporal. Esta hipótesis no ha sido demostrada en esta investigación, sin embargo se han aportado las referencias bibliográficas de los estudios que sí lo han tenido en cuenta.

En resumen, sobre las hipótesis planteadas, se han podido demostrar las siguientes:

HIPÓTESIS 1	↔	No
HIPÓTESIS 2	↔	Sí
HIPÓTESIS 3	↔	Sí
HIPÓTESIS 4	↔	Sí
HIPÓTESIS 5	↔	Sí
HIPÓTESIS 6	↔	Sí
HIPÓTESIS 7	↔	Sí
HIPÓTESIS 8	↔	No

Tabla 70 Resumen de hipótesis con resultados concluyentes

Resumen por capítulos

La presente investigación está estructurada en cuatro bloques. El primero en el que se presentan los motivos y cuestiones generales, se define la problemática y los alcances y límites de la tesis. El segundo desarrolla el planteamiento teórico de la investigación. El tercero lleva a cabo la experimentación sobre los aspectos desarrollados en el marco teórico. El último bloque contiene las conclusiones parciales y finales. En cuanto su contenido por capítulos:

BLOQUE TEÓRICO

- Capítulo 1 Estudio sobre las herramientas de diseño y cálculo de la iluminación natural. El factor de luz solar (FLS/SLQ) como herramienta de cálculo sencilla para sistemas de control solar activos en climas soleados. Posibilidades futuras de los cuestionarios on-line.
- Capítulo 2 Comparación en espacios de oficinas de 6 sistemas de control solar en su función activa. Valoración de los usuarios del ambiente luminoso creado por cada sistema. Listado de parámetros detallado a tener en cuenta en los sistemas de control solar.
- Capítulo 3 Nueva caracterización de la luz a partir del estudio comparativo de referencias técnicas y artísticas. Desarrollo de 194 variables relativas a los efectos de la luz

- en el ambiente interior. Consideraciones sobre interdependencia, grado de aceptación, actividad clasificada
- Capítulo 4 Mapas visuales interactivos. Justificación de su uso, aportaciones en cuanto al valor añadido de las imágenes, proceso creativo y valoración de lo irracional. Juego gráfico de variables lumínicas. Creación de espacios a partir de variables complejas. Creación de Alux, programa de diseño de iluminación natural.
- Capítulo 5 Aceptación de los usuarios. Selección de variables según 7 grupos y encuestas sobre el grado de aceptación de cada una de ellas para un uso determinado. La mayoría de las variables son consideradas como muy importantes en el diseño de la luz en el interior de cualquier espacio.
- Capítulo 6 La luz solar. Configuración geométrica, espacial y temporal.
- Capítulo 7 La luz solar desde el observador. Encuestas sobre la aceptación por parte de una muestra de 274 personas de más de 5 nacionalidades diferentes sobre su aceptación de las manchas solares en el interior de edificios.
- Capítulo 8 Caracterización a partir de las nuevas variables relacionadas con la luz solar. De las 194 variables estudiadas, 21 son relativas especialmente a la luz solar.

BLOQUE EXPERIMENTAL

- Capítulo 9 Condiciones particulares de climas soleados. El sol alcanza una altura de 80 grados en menos de dos horas en las Islas Canarias. Esto influye directamente en el diseño de la arquitectura y el cálculo de la iluminación natural.
- Capítulo 10 Laboratorio a escala real. Monitorización de 24 modelos bioclimáticos y comparativa con los resultados obtenidos en los cuestionarios. Base para el análisis de la luz en la arquitectura en climas soleados. Sobrecalentamiento y deslumbramientos.
- Capítulo 11 Mediciones de la luz natural en el laboratorio bioclimático. Mediciones de luminancias, niveles generales de luz y eficacia luminosa. Estudio de manchas solares. Estudio de la aceptación de los usuarios.
- Capítulo 12 Mejoras en ambientes luminosos concretos. Uso del programa de diseño Alux y su tabla de comprobación de ambientes luminosos complejos.

2. Conclusiones finales

En consonancia con la arquitectura, el diseño de la luz implica una sensibilidad acorde al uso previsto de cada proyecto. Uno de los temas claves a la hora de definir el ambiente interior es la planificación óptima de la iluminación natural, proporcionando soluciones sostenibles con un alto confort visual teniendo en cuenta los últimos hallazgos de la psicología de la percepción.

Las cualidades de la luz que no determinan la visibilidad de las tareas a ejecutar o que no afectan a la agudeza visual, la sensibilidad de contraste, la capacidad de discriminar diferencias de luminancia y color, la eficiencia de acomodación o de enfoque sobre las tareas en diferentes campos de visión, el confort visual o cualquier criterio de calidad y diseño que no tenga que ver con el rendimiento visual, han quedado derivadas hoy en día a un segundo plano.

Estas otras cualidades no definidas, se recalcan desesperadamente en revistas y artículos de arquitectura, más relacionados con la poética de la imagen que con un análisis científico y riguroso sobre el espacio y la luz natural. Las cualidades logradas por una arquitectura sensible, se publican como algo extraordinario logrado sólo por algunos arquitectos que han tenido la habilidad innata o simplemente el interés y la posibilidad de dedicar cierto tiempo a un material de lujo, superfluo e innecesario (capítulo 3) .

Además de esto, ya ha pasado el tiempo suficiente para darnos cuenta de que las teorías de la luz natural y su valoración basada en una serie de variables cuantificables no siempre coinciden con el grado real de comodidad de los usuarios y su valoración subjetiva (capítulo 2).

El primer objetivo de esta investigación era identificar, registrar y comparar entre sí el mayor número de referencias técnicas y artísticas en las que se incluyeran todas esas otras variables relativas al diseño de la luz y el espacio.

El segundo objetivo, aportar una herramienta sencilla de trabajo que contuviese ese amplio abanico de cualidades lumínicas no contempladas en los métodos de cálculo y diseño de la luz actuales.

El tercer objetivo, analizar en condiciones reales de uso la iluminación natural de 24 modelos bioclimáticos.

Logrados estos objetivos, obtenemos como resultado de la investigación, la base de una concepción más detallada de cualquier ambiente luminoso sin renunciar a la comprensión global de la realidad nos rodea. El resultado es la recuperación por un instante de nuestra visión holística de la luz y el espacio.

3. Limitaciones y futuras investigaciones

La presente investigación se ha centrado en la luz solar en la arquitectura, especialmente en climas soleados. Sin embargo, durante la investigación surge un tema aún más amplio e interesante, la recopilación de *otras cualidades* descritas en referencias técnicas y artísticas de la luz y el espacio. Surge del estudio de las manchas solares, pero el descubrimiento de estas nuevas miradas, provoca un cambio en el transcurso de la investigación. Este quiebro de contenidos y fines se percibe a lo largo de todo el documento; es un aspecto negativo que dificulta el entendimiento de ésta.

Tras haber finalizado la investigación queda aún mucho por hacer. El primer paso es reflexionar sobre las limitaciones de este documento. A continuación se enumeran brevemente los aspectos que han quedado incompletos o que no se han resuelto como se esperaba:

- No proponer unas variables definitivas, es decir las variables planteadas siguen conservando cierto grado de subjetividad. Se ha optado por la consolidación de variables, el glosario de términos, el estudio de perfiles de dependencia y las encuestas sobre el grado de aceptación. En esta investigación se ha tratado de dar una visión global de la suma de variables y su complejidad cuando se *superponen* en el espacio. Cada uno de los términos lumínicos por separado, debería llevar mucho más tiempo de investigación. Esto podría llevarse a cabo en futuras investigaciones, sin perder nunca la visión global aportada aquí.
- No tener una estructura clara de contenidos. Eliminar los contenidos secundarios para hacer más visibles los aspectos más importantes de la tesis hubiera sido una buena opción. Sin embargo, en esta tesis se defiende precisamente que esos vestigios arquitectónicos no son superfluos. Los aspectos secundarios de esta investigación pueden ser la base para una visión mucho más intensa.
- Las variables aportadas forman un listado cerrado. Debería quedar más claro que este listado es abierto y sobretodo que se debe seguir ampliando, sumando experiencias.
- Falta información más detallada sobre muchas de las referencias incluidas en este estudio. Han sido incluidas debido a su gran valor en cuanto al diseño de la luz o porque son muy capaces de mostrar un efecto de la luz concreto, sin embargo la información recopilada de cada una de ellas, a veces es muy pobre.

En esta investigación se hace un análisis de referencias, los conceptos aportados y cómo se ha visto o reflejado una obra lo largo del tiempo. Otra posible investigación sería la comprobación de cada una de las referencias. Es decir, qué se dice de una situación luminosa, qué esperamos, cómo se transmite, pero también si coincide con la obra en el lugar.

Para esta investigación se han comprobado con luxómetro en mano ciertos espacios, principalmente museísticos, religiosos y residenciales.

Tras el final de la investigación surgen dos nuevos conceptos; espero que sean muchos más:

- 195. Luz revelada: *Imaginemos que el espacio no se presenta claro y luminoso, sino denso de penumbra. Distingamos en él luz natural y luz revelada. Se disuelve en la penumbra. Luz que penetra en las sombras.*
- 196. Luz inmortal. Aquélla que se acopla perfectamente al espacio y el tiempo, entrelazando las formas, acariciando las superficies a modo “Der Kuss” de Gustav Klimt. Luz que permanece en el tiempo a pesar de las variaciones, reformas y cambios de uso posibles de un espacio.

Sobre los sistemas micro-estructurales de control lumínico

El éxito de los sistemas micro-estructurales de control lumínico, para mejorar el bienestar de los usuarios en el interior de los edificios y reducir el consumo energético, ya ha sido sobradamente demostrado. Se trata de sistemas avanzados que reflejan la luz solar para dirigirla en el interior de los edificios hasta lugares previamente sombríos, sin producir deslumbramientos ni sobrecalentamiento. Basados en estas soluciones de reflexión de la luz natural, se han fabricado hasta ahora sistemas modulares de polimetilmetacrilato (PMMA) que, colocados en la parte

superior de ventanas, han reducido significativamente el consumo de luz artificial durante el día en edificios de oficinas (capítulo 2).

Los prototipos implementados hasta ahora han sido monitorizados e investigados a través de programas de cálculo Ray Tracing, optimizando la forma y geometría de las muestras, que podrían ser fabricadas en serie. Se han desarrollado principios de diseño de integración de estos paneles en fachadas, en sistemas de sombreado y sistemas de control de la luz natural.

Por otro lado, son numerosos los estudios científicos de las diferentes configuraciones biológicas que permiten optimizar el proceso de recolección de la luz solar. Las formas en espiral observadas en plantas como el girasol, alcachofa o coliflores, presentan características comunes que pueden ser descritas por la sucesión numérica de Fibonacci. Este patrón, según Pennybacker y Newell, está relacionado con la cantidad de auxina producida por la flor y han sugerido que este patrón puede tener un carácter más universal de lo que se pensaba.

Como futura investigación se propone mejorar significativamente las propiedades ópticas nano-estructurales de las tecnologías avanzadas de control lumínico definidas hasta ahora, a través del estudio de su configuración geométrica para lograr una distribución más homogénea y mayor intensidad de la luz reflejada.

Para un local típico la distribución de la luz influye directamente en el gasto energético del edificio y el bienestar general de sus usuarios. El ahorro energético podría suponer un 45% en refrigeración, reduciendo las ganancias térmicas de la luz artificial.

Para investigaciones futuras, se propone investigar sobre las posibilidades de estos materiales y configuración geométrica en el diseño de proyectores de luz natural (capítulo 12).

Las tareas a ejecutar podrían seguir el siguiente esquema:

ACTIVIDAD 1 Mejora de tecnologías avanzadas de control lumínico

1. Determinar a través del estudio geométrico, una mejora significativa en las propiedades ópticas micro-estructurales de los sistemas avanzados de control solar lumínico adaptándolos a climas cálidos.
2. Establecer a través del análisis de materiales, una reducción significativa del impacto ambiental. Hasta ahora, el material elegido para fabricar las muestras es polidimetilsiloxano (PDMS) por sus cualidades ópticas y simplicidad técnica. Estudio Experimental.
3. Fabricar las muestras y medir en laboratorio las propiedades ópticas de las muestras mejoradas. Evaluar los modelos experimentales y su capacidad de optimización.

ACTIVIDAD 2 Cálculo del ahorro energético del modelo experimental

1. Modelado de las configuraciones geométricas con la aplicación 3DS MAX.
 2. Renderizado correspondiente a simulaciones de circunstancias diferentes debidas a su uso, ocupación y condiciones meteorológicas a lo largo de la vida de la unidad alojativa.
-

3. Cálculo lumínico y de ahorro energético potencial debido a la implementación de las tecnologías avanzadas desarrolladas.

ACTIVIDAD 3 Evaluación de la aceptación de los usuarios

1. Comparar los resultados de las valoraciones subjetivas obtenidas en los cuestionarios sobre la aceptación de los sistemas, en comparación con los datos obtenidos en las mediciones lumínicas del estudio experimental.

2. Entrecruzar los datos obtenidos de laboratorio con los obtenidos a partir del modelo real.

ACTIVIDAD 4 Protocolo y procedimiento de fabricación en serie

1. Extrapolar los resultados obtenidos de la simulación a nivel edificatorio para ampliar sus resultados en ahorro energético a escala urbana.

2. Diseñar un protocolo de fabricación en serie de las tecnologías desarrolladas. Establecer las pautas a seguir para optimizar el proceso industrial en su totalidad

Sobre el programa de diseño Alux

El programa de diseño de la iluminación natural Alux es tan sólo la materialización de una idea fundamental; reflexionar sobre muchas referencias a la vez, para poder llegar a conclusiones de proyecto teniendo una visión más amplia y sobretodo gráfica.

El programa de diseño planteado es una versión muy joven que debería mejorarse para que sirviera como una herramienta cada vez más compleja, intuitiva de fácil uso.

Como investigación de futuro se plantea la mejora de Alux v01.
