

AHORRO ENERGÉTICO Y CONFORT LUMÍNICO: LA PROTECCIÓN SOLAR EN EL PARADIGMA DE LA ARQUITECTURA ACTUAL

Paula M. Esquivias Fernández

David Moreno Rangel

Manuel Fernández Expósito

Grupo TEP 130. Arquitectura, patrimonio y sostenibilidad: Acústica, óptica, iluminación y energía.

Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla

Universidad de Sevilla

Resumen

Aunque la cara más visible de la Directiva 2010/31/UE ha sido un recrudecimiento en las exigencias de aislamiento térmico de los edificios, plasmado en la modificación del Documento Básico HE, es a las estrategias que mejoren el comportamiento térmico de los edificios en verano a las que la directiva apremia para evitar el encarecimiento de la electricidad y la perturbación del balance energético de los estados miembros.

Sin lugar a dudas, los países con los climas más cálidos tenemos una gran tradición constructiva a la hora de evitar la excesiva radiación solar térmica en nuestros edificios, siendo un buen ejemplo de ello la estructura urbana de los centros históricos, la incorporación de los patios y el empleo de elementos de protección solar.

La internacionalización e importación de la arquitectura del norte de Europa, donde sus condiciones climáticas requieren grandes superficies acristaladas por motivos térmicos y lumínicos, promovió el empleo y desarrollo de elementos de protección móvil instalados en el interior del edificio. Sin embargo, con estos elementos, no se evita la entrada de la radiación solar en los espacios, fomentando el efecto invernadero, y a menudo se hace mal uso de ellos, siendo habitual tener estos dispositivos cerrados y la iluminación eléctrica encendida, elevando, por tanto el consumo energético de los edificios, por climatización y por iluminación.

Los elementos de protección solar exterior, bien diseñados, obstruyen la radiación solar en el periodo de tiempo que se requiera, mitigando, de este modo, el sobrecalentamiento de estos espacios así como la probabilidad de deslumbramiento por la presencia de luz directa que provoque un excesivo contraste. Los elementos más habituales para ello son los voladizos, las lamas, fijas o móviles, y los elementos textiles como los toldos.

Por otro lado, la evolución de la arquitectura nos proporciona diversos ejemplos de edificios emblemáticos envueltos en una segunda piel, generalmente creada por motivos estéticos, pero ¿no es esta piel sino un gran elemento de protección solar unitario y

homogéneo del edificio? ¿Cómo afecta su diseño, a primera instancia, de geometría arbitraria, a las condiciones térmicas y lumínicas de los espacios a los que sirve?

Abstract

Although the most visible aspect of Directive 2010/31/UE has been an upsurge in requirements for thermal insulation in buildings, reflected in the modification of the Basic Document HE, is to strategies which enhance the thermal performance of buildings in summer to which this directive promote to avoid an increasing of the costs of electricity as well as the disruption of energy balance of the member states.

Without doubt, countries with warmer climates have a large constructive tradition in avoiding excessive solar thermal radiation into our buildings, being good examples of this the urban structure of the historic city centres, the residential courtyards and the development of solar protection devices.

The internationalization and importation of architecture from the northern Europe, where local climatic conditions require large glazed surfaces due to thermal and lighting arguments, encouraged use and development of operable solar protection devices put in the inner side of the building. However, solar thermal radiation is not avoided to enter, having overheating as a result. Also, usually these devices are not well used and a common scenario is having the blinds closed and the electric light on, increasing, of course, the energy consumption in building, both for thermal and lighting conditioning.

The external solar protection devices, well-designed, block solar radiation during the time of the year required, mitigating, thus, overheating of these spaces, and the probability of glare due to the presence of direct sunlight producing excessive contrast. The most common types of solar protection are overhangs, louvers, fixed or mobile, and textile items like awnings.

Furthermore, the actual evolution of Architecture provides several examples of iconic buildings covered by a second skin, usually designed by aesthetic reasons, but, is not this skin but rather a large, unitary and homogeneous solar protection device for the whole building? How does the design, at first instance of arbitrary geometry, affect the thermal and luminous interior building environment?

Palabras clave: *protección solar; demanda energética, condiciones lumínicas*

Área temática: *Actuaciones sostenibles en la edificación.*

1. Introducción

La Directiva Europea de Eficiencia Energética en los edificios (Energy Performance Building Directive –EPBD) señala la importancia de la reducción del consumo energético de los edificios, dado que representa el 40% del consumo energético total en la Unión Europea (Unión Europea, 2010). Por ello, cada vez tiene una mayor relevancia un adecuado diseño arquitectónico que tenga en cuenta las peculiaridades climáticas de la localización en la que se ubica (Bellia, De Falco y Minichello, 2013). La directiva Europea

hace especial hincapié en darle prioridad a las estrategias pasivas de verano para reducir el consumo de los sistemas refrigeración.

Una de las principales fuentes de calor en el periodo estival se debe a la entrada en los espacios interiores de radiación solar directa (Aldawoud, 2013), que además es fuente de problemas visuales como el deslumbramiento. Los dispositivos de protección solar bloquean la radiación solar, de forma que previenen la aparición de condiciones de deslumbramiento y controlan las ganancias solares directas (Yao, 2014) (O'Brien, Kapsis y Athienitis, 2013) (Tzempelikos y Athienitis, 2007).

Sin embargo, al incorporar elementos de protección solar también se reduce la cantidad de luz que entra en los espacios, aumentando, por tanto, el consumo eléctrico en iluminación, y, de forma secundaria, aumentando la carga térmica debido a la misma. De hecho, en España, el consumo de iluminación artificial representa el 30% del consumo eléctrico total de los edificios de oficina (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007). Es decir, en los climas mediterráneos, donde se dispone de una gran cantidad de horas de sol, existe una alta disponibilidad de luz natural pero que no se utiliza en su totalidad (Lim, Ahmad y Ossena, 2012).

El descontrol de la iluminación natural en los procesos de diseño del edificio ocasiona tanto deslumbramiento como penumbra. Por un lado es habitual encontrarse con edificios que no controlan adecuadamente la entrada de radiación solar, con persianas y protectores solares echados para evitar el deslumbramiento y las luces encendidas pese a la disponibilidad de luz natural (Bodart y De Herde, 2002). Por otro también se observan edificios con una excesiva protección que dan lugar a una reducción de la iluminación natural tal, que obliga a utilizar de manera continuada la iluminación artificial.

Ello nos hace ver la necesidad de realizar un estudio sobre cómo afectan estos dispositivos de protección solar, no sólo a efectos térmicos, sino a las condiciones de iluminación natural resultantes.

Actualmente existen dispositivos de sombra de una gran variedad de tipos y formas, pudiendo localizarse en el exterior, el interior o en las capas intermedias de la envolvente de los edificios (Tzempelikos y Athienitis, 2007) (Lim, Ahmad y Ossena, 2012), pudiendo ser fijos o móviles.

Los dispositivos móviles pueden ajustarse mejor a las cambiantes condiciones exteriores y son más efectivas a la hora de controlar la radiación difusa proveniente de la bóveda celeste, teniendo un mejor comportamiento energético que los elementos fijos (Jian, 2012). Sin embargo, comparados con los dispositivos fijos, los sistemas móviles dependen de cómo los utilizan los ocupantes del edificio (Van Den Wymelenberg, 2012) o del funcionamiento de los sistemas de control (Deuk-Woo, Meng y Cheol-Soo, 2012) (Ji-Hyun, Young-Joon, Myoung-Souk y Kwang-Woo, 2009).

El comportamiento de los usuarios introduce un alto grado de incertidumbre en la predicción del comportamiento energético de los edificios, a pesar de que es un aspecto estudiado desde 1970 (O'Brien, Kapsis y Athienitis, 2013) (Van Den Wymelenberg, 2012) (Reinhart, 2004). Los elementos de control, por su lado, suelen errar la posición óptima de estos dispositivos cuando las condiciones exteriores son variables en un corto periodo de tiempo (O'Brien, Kapsis y Athienitis, 2013).

Ello hace que las protecciones solares fijas se conviertan en una buena solución para reducir la entrada de radiación solar directa sin las incertidumbres provocadas por los

usuarios o los sistemas de control, en base a la geometría solar y las propiedades ópticas de los materiales (Datta, 2001), a la vez que permiten la admisión de altos niveles de iluminación difusa, con frecuencia a una mayor profundidad en el espacio (Claros y Soler, 2002), pudiendo reducir el incremento de las cargas térmicas durante el verano mientras controlan la intensa luz natural en dicho periodo, mejorando el confort visual y reduciendo el deslumbramiento (Van Den Wymelenberg, 2012) (Mandalaki, Zervas, Tsoutsos y Vazakas, 2012).

Pero todo no son aspectos positivos, también es cierto que sin un adecuado diseño pueden bloquear una significativa cantidad de radiación solar en invierno, cuando es deseable su entrada en los espacios para aumentar las cargas térmicas para reducir la demanda de calefacción (Jian, 2014). Además, como parte de la envolvente térmica, influyen considerablemente en un imagen y a veces bloquean parte de la visión del entorno (Aldawoud, 2013). Por eso es necesario un adecuado estudio y diseño de las mismas para minimizar sus posibles efectos negativos.

Cada fachada de un edificio requiere de un tratamiento diferente de protección ya que el sol incide con diferentes ángulos debido a la geometría solar (Al-Tamimi y Fadzil, 2011). Sabemos, por el uso aplicado de las cartas solares, que refuerzan el conocimiento heredado o las reglas de oro, que indican que la orientación Oeste es la que presenta mayores dificultades para ser protegida, seguida de la orientación Este, donde se recomienda utilizar lamas verticales; que la incorporación de lamas horizontales es la mejor estrategia a seguir en el caso de fachadas orientadas al Sur (Ali y Ahmed, 2012).

Los dispositivos más habituales de protección solar fija (voladizos, salientes, lamas y la combinación de estos elementos) se basan en el espesor o profundidad de los mismos para establecer un ángulo de obstrucción de la bóveda celeste, siendo el ángulo de visión del cielo su complementario. Este ángulo de visión también puede establecerse mediante la separación de los elementos para un espesor fijo, como es el caso de las lamas.

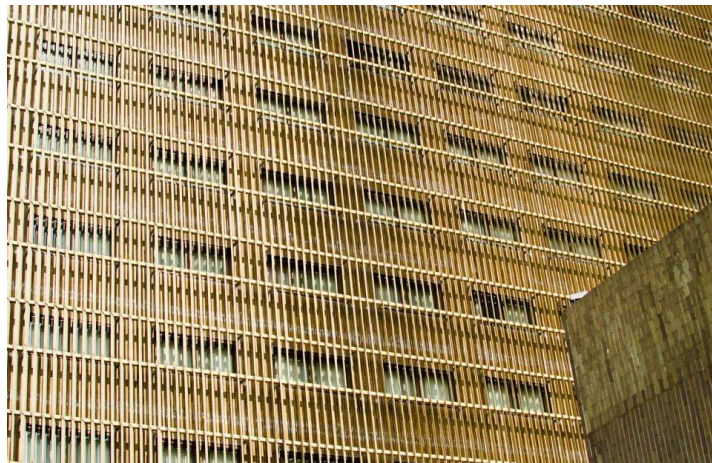


Figura 1: Protección solar en base a lamas como imagen unitaria del edificio

Sin embargo, en la arquitectura actual, cada vez nos encontramos con más ejemplos de edificios con una doble envolvente cuya piel exterior, en principio con una geometría arbitraria y sin apenas espesor, marca la imagen exterior y generalmente homogénea del mismo. Esta piel exterior modifica de forma considerable las condiciones lumínicas y térmicas interiores en base a la superficie de ventana que obstruye, es decir, reduciendo

el factor solar de los huecos, así como la superficie de ventana directamente expuesta a la luz solar directa, son lo que llamamos celosías.

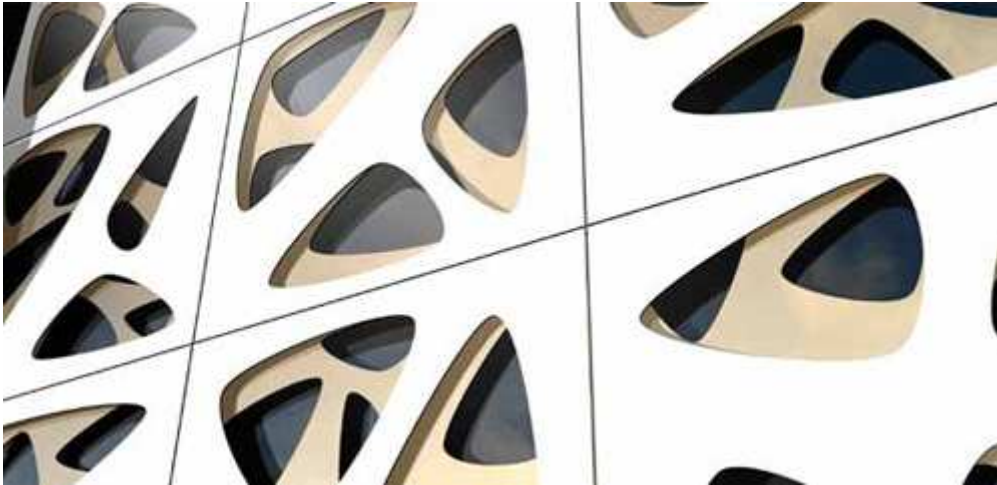


Figura 2: Doble piel como paradigma de la arquitectura actual

Hasta hace relativamente poco tiempo no era posible cuantificar el efecto de las protecciones solares sobre las condiciones de iluminación natural de los edificios, ya que sólo se disponía del Factor de Iluminación Natural como métrica de análisis. Como ya se sabe, por definición, el Factor de Iluminación Natural es la relación entre la iluminancia difusa horizontal exterior e interior, sin considerar la iluminancia directa (Reinhart, Mardaljevic y Rogers, 2006), es decir, la proveniente del Sol, por lo que sólo puede arrojar información sobre la efectividad de las protecciones solares a la hora de bloquear la radiación difusa proveniente de la bóveda celeste, no de la luz solar directa, que es el objetivo de estos dispositivos.

Las Métricas de Iluminación Natural basadas en las condiciones Climáticas, desarrolladas hace más o menos una década, nos permiten establecer la cantidad anual de luz natural para un determinado espacio utilizando cálculos horarios o sub-horarios de la iluminancia de cada punto del plano de trabajo, en base a los datos recogidos en el archivo climático de la localidad donde se ubica dicho espacio, es decir, considerando la incidencia de la luz directa y de la luz difusa (Reinhart y Wienold, 2011). Las pioneras y más utilizadas son la Autonomía de Luz Natural (Daylight Autonomy –DA) y la Iluminancia Útil de Luz Natural (Useful Daylight Illuminance –UDI).

Ambas métricas son herramientas que hacen posible procesar una gran cantidad de datos de iluminancia (siendo 4380 valores horarios si se consideran las horas diurnas anuales) para cada punto del plano de trabajo. Ambas métricas analizan estos datos mediante el establecimiento de un rango temporal de estudio y un adecuado nivel de iluminación para desarrollar las tareas visuales (Reinhart, Mardaljevic y Rogers, 2006) (Reinhart y Wienold, 2011).

La Autonomía de Luz Natural se define como el porcentaje de tiempo del rango considerado en el que se alcanza un valor mínimo de iluminación proporcionado exclusivamente por la luz natural. Es decir, muestra el número de horas potencial en el que no sería necesario el consumo energético de iluminación artificial. Por lo tanto, la Autonomía de Luz Natural puede entenderse como la inversa de la Demanda de Iluminación a lo largo de un periodo de tiempo.

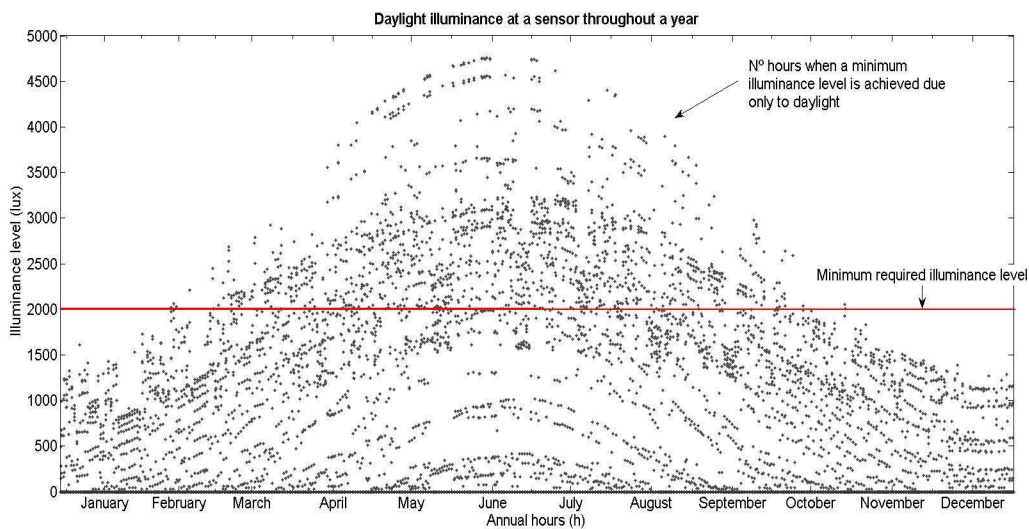


Figura 3: Definición de la Autonomía de Luz Natural de un punto (Esquivias)

El propósito de la Iluminancia Útil de Luz Natural es determinar cuándo los niveles de luz natural son útiles para el usuario. Actualmente se mide utilizando tres rangos de iluminancia para expresar el porcentaje de tiempo del rango considerado en que se obtienen iluminancias correspondientes a dichos rangos. Éstos son: menos de 100 lux, más de 2000 lux y entre 100 y 2000 lux, siendo éste el rango útil para el ocupante (Reinhart, Mardaljevic y Rogers, 2006). Por debajo de 100 lux siempre sería necesaria la utilización de luz eléctrica, y por encima de 2000 lux se tiene una alta probabilidad de aparición de condiciones de deslumbramiento por lo que el usuario procedería a reducir la luminancia proveniente de las ventanas.

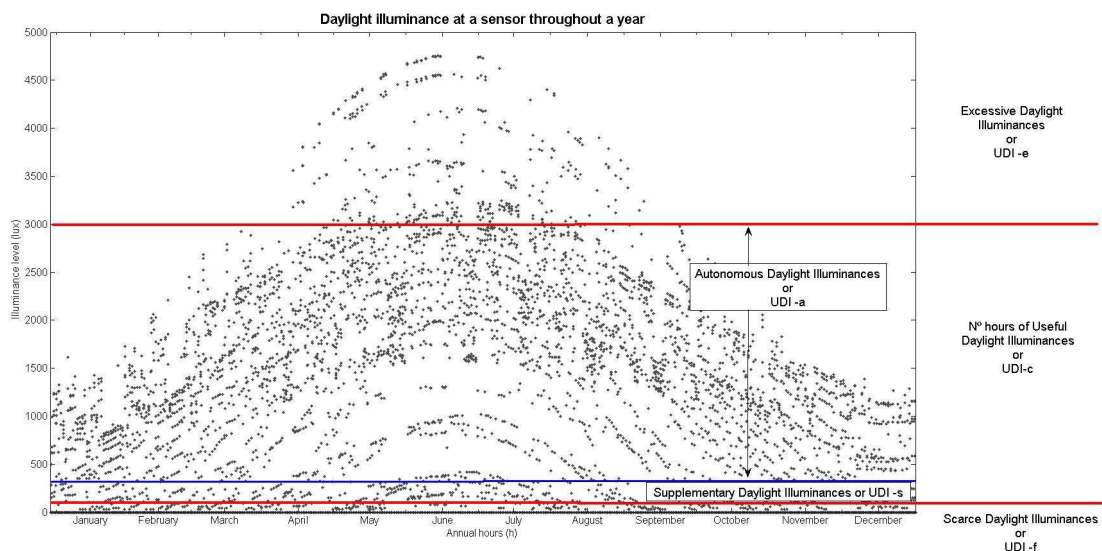


Figura 4: Definición de las Iluminancias Útiles de Luz Natural de un punto (Esquivias)

Este trabajo aborda, una vez que existen métricas adecuadas disponibles, el estudio del impacto de diferentes protecciones solares fijas en las condiciones de iluminación natural, para, de esta forma, proporcionar algunas guías y recomendaciones a los agentes involucrados en el diseño de nuevos edificios y en las rehabilitaciones energéticas de los edificios existentes. Se trata, por tanto, de aportar información para

que no se perjudique el confort visual de los usuarios, ni se aumente el consumo de iluminación artificial cuando se utilizan los dispositivos de protección solar fija para reducir la demanda de refrigeración.

2. Metodología

En una primera aproximación hacia el estudio del impacto de las protecciones solares mediante los indicadores de Autonomía de Luz Natural e Iluminancia Útil, se propone un sencillo modelo espacial en el que el hueco está orientado al Sur. Sobre dicho hueco se superpondrán diferentes dispositivos de protección.

La obtención de los indicadores de iluminación natural se obtienen mediante simulaciones informáticas utilizando el programa internacionalmente validado y basado en RADIANCE, DAYSIM (Reinhart, 2010). DAYSIM utiliza el método del Coeficiente de Luz Natural junto con el Modelo de Cielo Generalizado desarrollado por Pérez para calcular de forma eficiente las distribuciones de iluminancias para cada uno de los sensores definidos para el plano de trabajo considerando todas las condiciones de cielo que tienen lugar a lo largo del año. Mediante la definición de un horario anual y un nivel mínimo de iluminación en el plano de trabajo, DAYSIM calcula la Autonomía de Luz Natural y la Iluminancia Útil de Luz natural, entre otras métricas.

La obtención de estas métricas requiere que se defina un rango temporal sobre el que se calcula la iluminancia en cada punto de estudio dentro del espacio en cada etapa temporal (1 día, 1 hora, 1 segundo, etc.) considerando las condiciones de distribución de luminancias del cielo obtenidas a partir de los datos climáticos recogidos en los archivos climáticos estandarizados.

Además, para calcular la Autonomía de Luz Natural es necesario definir un nivel mínimo de iluminación que defina el límite inferior respecto a los requerimientos visuales asociados con la tarea visual a realizar en el espacio objeto de estudio. En el caso de las Iluminancias Útiles, los niveles de iluminación ya vienen determinados en la definición de la métrica.

Los resultados que se muestran en este trabajo corresponden al análisis de las iluminancias obtenidas a lo largo del año cada 5 segundos, en un horario constante entre las 8'00 h y las 17'00 h. Para el cálculo de la Autonomía de Luz Natural se ha considerado un nivel mínimo de iluminación de 500 lux. Este nivel de iluminación representa, por ejemplo, las tareas visuales más habituales correspondientes a los espacios de oficina.

Conforme a lo que establece la norma europea EN 12464-1 sobre los requisitos de iluminación de los espacios de trabajo en interior (Comité Europeo de Normalización, 2003), este nivel de iluminación para el desarrollo de la tarea visual es un nivel medio mantenido a lo largo del año. Esto significa, en términos de Autonomía de Luz Natural, que al menos el plano de trabajo debe tener una Autonomía del 50% durante el tiempo considerado. Por lo tanto, los resultados estadísticos vendrán expresados mediante la mediana de los valores, en vez de utilizar los valores medios.

2.1 Modelos de referencia

Para estudiar el efecto de las protecciones solares fijas se define un modelo de referencia de 3 m x 3 m x 3 m, localizado en Sevilla, cuyo archivo climático se ha descargado de la base de datos de archivos climáticos de EnergyPlus.

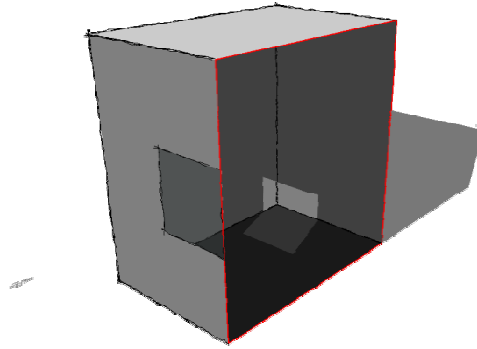


Figura 5: Definición geométrica del modelo de referencia

Cuenta con una sola ventana localizada en la fachada Sur de 0.95 m x 0.95 m, a una altura de 1 m del suelo, de alta transparencia visible (88.4%), dando una proporción relativa del 10% de la superficie del suelo y 10% de la superficie de fachada. El plano de trabajo se encuentra a 0.80 m del suelo, con sensores cada 0.10 m. La tabla 1 muestra las propiedades ópticas del modelo.

Tabla 1. Propiedades ópticas del modelo

Elemento	Coefficiente de reflexión (%)
Suelo	20
Techo	80
Paredes	50

2.2 Propuestas

En este trabajo se estudian seis tipos diferentes de dispositivos de protección fija aplicadas al hueco del modelo de referencia. Estas series corresponden con la incorporación de: voladizo, saliente lateral al este y al oeste, lamas horizontales y verticales, brise-soleil y celosía. Salvo la celosía, los dispositivos de protección se caracterizan mediante el ángulo de obstrucción solar que provocan, variando desde 0º, es decir, el modelo de referencia sin ningún tipo de protección solar, a 60º de obstrucción solar.

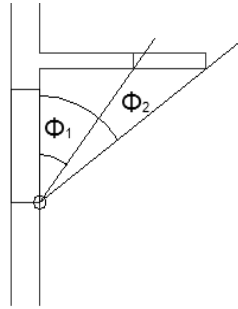


Figura 6: Definición del ángulo de obstrucción en voladizos

Todos estos elementos se disponen de forma perpendicular a la fachada, siendo la profundidad de los mismos los que definan el ángulo de obstrucción. En el caso de las lamas horizontales y verticales y de la combinación de éstos, el brise-soleil, esta obstrucción solar se expresa mediante la distancia entre los mismos, para una profundidad determinada.

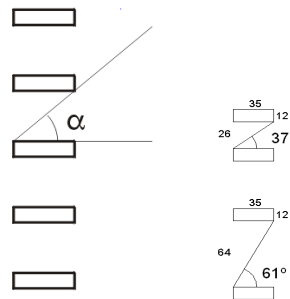
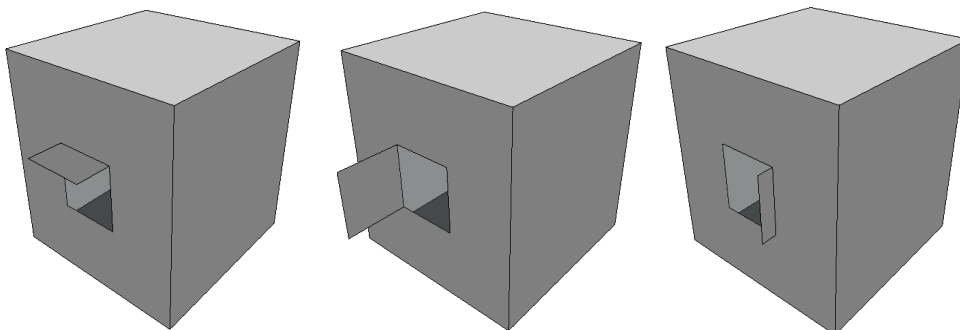


Figura 7: Modificación del ángulo de obstrucción en las lamas a partir de una profundidad constante de las mismas

El parámetro de variación de la serie de celosía, para una forma definida de formación de hueco, es la superficie total de perforación de la celosía. En esta serie se contemplan cuatro superficies de perforación diferentes: 75%, 50%, 25% y 12'5%.



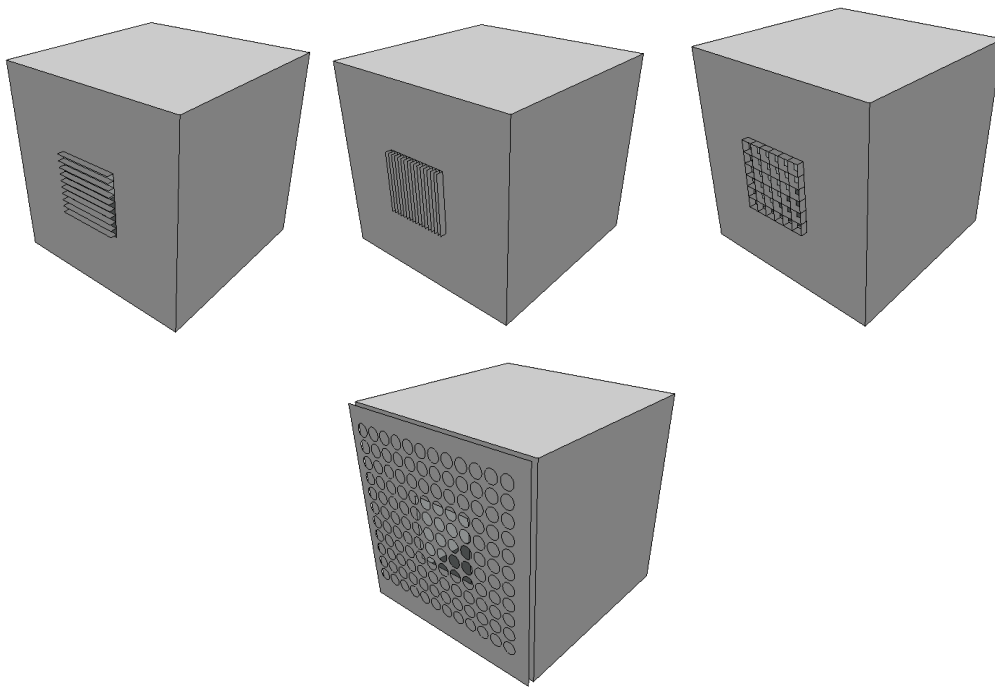


Figura 8: Modelos de cálculo correspondientes a los diferentes dispositivos de protección

3. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la simulación de los diferentes modelos de cálculo en términos de Autonomía de Luz Natural y de Iluminancia Útil de Luz Natural. Como punto de partida se muestra la distribución de estos valores en el modelo original, cuyos valores estadísticos se ofrecen en la tabla 2.

Tabla 2. Valores estadísticos de los resultados del modelo original

Métrica	Valor medio	Mediana de valores
Autonomía	45.55%	43.00%
UDI<100	17.48%	17.00%
100<UDI<2000	72.49%	76.00%
UDI>2000	10.02%	6.00%

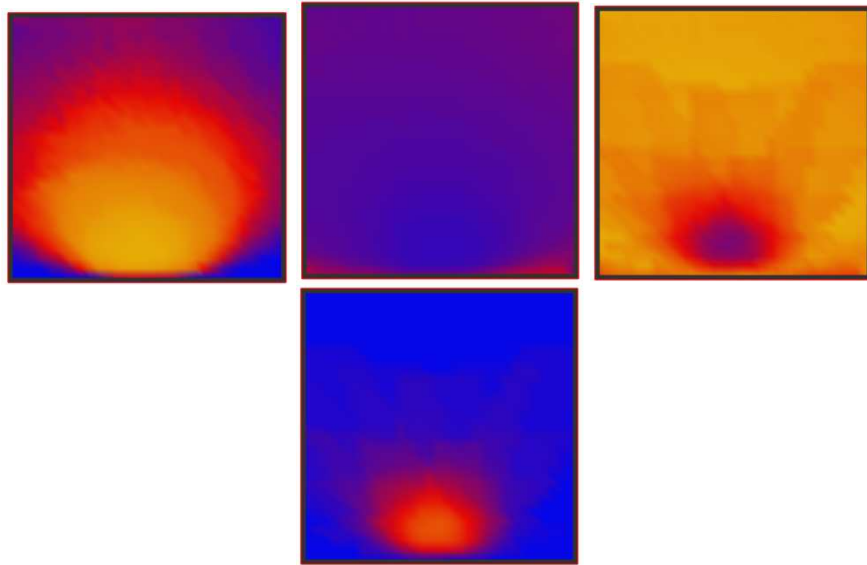


Figura 9: Distribución de valores de Autonomía de Luz Natural, UDI<100, 100<UDI<2000 y UDI>2000. Escala uniforme 0-100%

La evolución de la mediana de los valores obtenidos para la Autonomía de Luz Natural para los diferentes casos de protección solar no superficial, es decir, salvo los resultados de las celosías, se muestra a continuación en la figura 10.

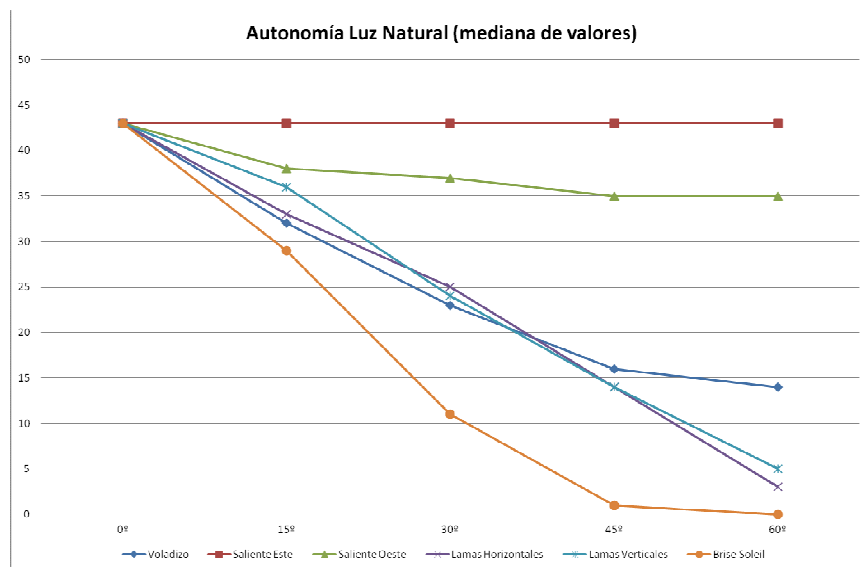


Figura 10: Distribución de la mediana de valores de Autonomía de Luz Natural

Se observa cómo el saliente Este apenas influye en la Autonomía de Luz Natural mientras que el saliente Oeste proporciona una pequeña reducción de la mediana de los valores con pocas variaciones en función del ángulo de obstrucción.

Las lamas verticales, horizontales y el voladizo presentan una evolución decreciente, prácticamente lineal en función del ángulo de obstrucción, obteniendo valores de la Autonomía de Luz Natural similares, salvo para el ángulo de obstrucción de 30°, para el que el voladizo produce una menor reducción de la Autonomía que la presencia de las lamas. A la vista de estos resultados, la incorporación de lamas verticales es más efectiva

que la incorporación de salientes, aunque el ángulo de visión de la bóveda celeste sea el mismo.

El brise-soleil, como combinación de los elementos verticales y horizontales provoca mayores reducciones en los valores, llegando a anularlo para altos grados de obstrucción. Como es obvio, valores bajos de Autonomía de Iluminación Natural implica aumentar necesariamente las horas de utilización de iluminación artificial y, en consecuencia el consumo energético. Por lo tanto, la incorporación de un brise-soleil sin considerar su impacto lumínico, puede repercutir negativamente en el consumo energético, especialmente si los huecos que cubre corresponden a espacios de ocupación permanente.

Podemos concluir de este cálculo inicial que las lamas verticales se presentan como las más efectivas y el brise soleil como el sistema que mayor variabilidad lumínica genera.

Para mostrar los valores de UDI de las diferentes protecciones solares, salvo las celosías, como son complementarios, se muestran como valores acumulados en columna en la figura 11.

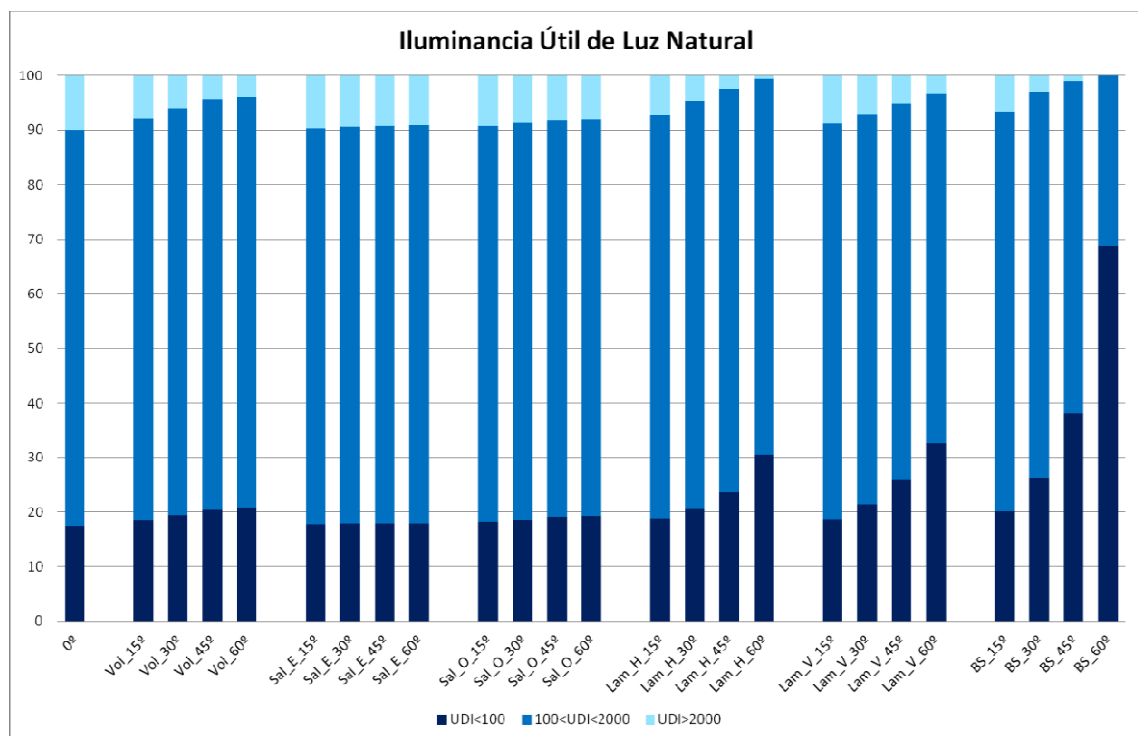


Figura 11: Iluminancia útil de luz natural para los casos estudiados

Respecto a la Iluminancia Útil ($100 < UDI < 2000$), los resultados obtenidos para los diferentes casos estudiados de saliente Este y saliente Oeste son muy similares, reforzando su relevancia simbólica en las condiciones de iluminación del espacio estudiado.

Tal como se veía anteriormente, los voladizos, las lamas y los brise-soleil presentan el mismo comportamiento, siendo más acusado la reducción del porcentaje de la superficie en rango útil con las lamas horizontales y los brise-soleil, especialmente para los casos de mayor obstrucción de la bóveda celeste.

Para disminuir el consumo energético por iluminación natural es importante minimizar el rango de $UDI < 100$. Aunque en la mayoría de casos el valor está por debajo del 20%, hay configuraciones claramente desfavorables como es el caso del brise soleil (con 30° se obtiene un $UDI < 100$ de 73%). Además, se puede concluir cómo el ángulo de obstrucción influye claramente en dicho valor, consiguiendo valores de $UDI < 100$ muy similares para ángulos de visión entre 90° y 60° en casi todos los casos.

Por otro lado también es muy importante controlar el rango de $UDI > 2000$ ya que puede producir disconfort visual y deslumbramiento. Aunque el porcentaje de horas no es excesivamente elevado en ningún caso (6% máximo), el mejor comportamiento al respecto en la serie lo obtienen las lamas y el brise soleil, aunque ésta última es consecuencia de una deficiente iluminación en general.

Las celosías, tal como se ha comentado anteriormente, basa su efectividad en la superficie que se interpone entre la radiación solar y el elemento semitransparente. Los resultados de los indicadores estudiados se muestran en la figura 8 en función de la superficie de obstrucción que proporciona la celosía.

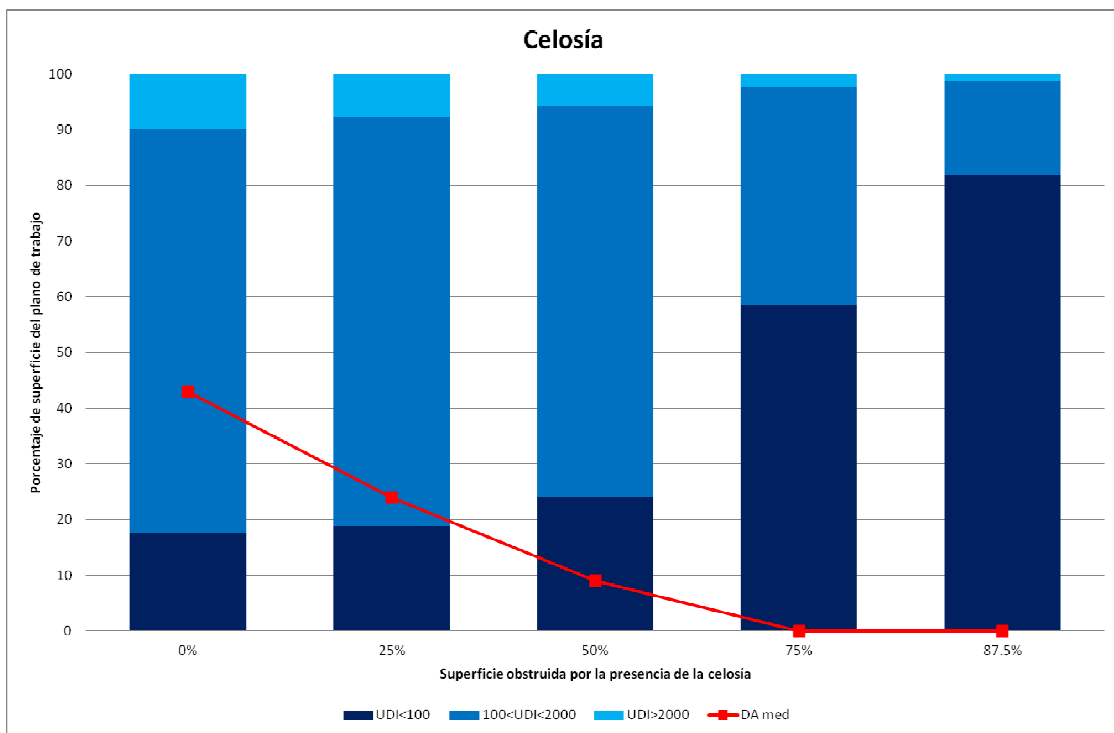


Figura 12: Resultados para la celosía, en función de la superficie de apertura de la misma

Se puede observar cómo la celosía, en general, proporciona unos resultados muy parecidos a los obtenidos al brise-soleil: una drástica reducción de la Autonomía de Luz Natural, hasta llegar casi a eliminar cualquier posibilidad de no tener que utilizar la luz eléctrica. Estos valores también se muestran en los diferentes rangos de iluminancia útil, donde se muestra que la celosía es la que presenta peores resultados con una iluminancia útil del 37% para una obstrucción del 75% de la superficie y de 5% para una obstrucción del 87.5%. Además, una celosía excesivamente tupida provoca que se obtenga una gran superficie del plano útil por debajo de 100 lux durante todo el año.

4. Conclusiones

La Directiva Europea sobre Eficiencia Energética de los edificios no sólo hace énfasis en la influencia de las condiciones climáticas locales para establecer estrategias de reducción de la demanda energética sino que además, debido al creciente consumo en refrigeración, señala como prioritarias las estrategias encaminadas a la reducción de la demanda energética de verano.

En este sentido, las protecciones solares son elementos que reducen la insolación de los espacios, bloqueando la entrada de una fuente de calor de alta intensidad: la radiación solar. Además, la incorporación de las protecciones solares puede realizarse durante su vida útil, por lo que se convierte en una estrategia a considerar no sólo durante las fases de diseño de los nuevos edificios, sino también en la rehabilitación energética de los edificios existentes.

Sin embargo no podemos olvidar que la radiación solar es también fuente de iluminación, por lo que es necesario un adecuado diseño y estudio de las protecciones solares para que no afecten negativamente a las condiciones de iluminación natural, desembocando en un aumento del consumo de iluminación artificial.

Hasta hace relativamente poco tiempo, las cartas solares eran las herramientas más utilizadas para proporcionarnos información sobre la efectividad de las protecciones solares, ya que la métrica DF, al no considerar la iluminancia directa y al utilizar generalmente una distribución de luminancias de la bóveda celeste cilíndrica para su cálculo, sólo ofrece información sobre la pérdida de iluminancia difusa, o de pérdida de visión de cielo, debido a la presencia de protecciones solares.

Las cartas solares, además, son herramientas básicas para realizar el adecuado diseño de las mismas en base a la geometría solar, que refuerzan el conocimiento heredado o las reglas de oro que indican que la orientación Oeste es la que presenta mayores dificultades para ser protegida, seguida de la orientación Este, donde se recomienda utilizar lamas verticales; que la incorporación de lamas horizontales es la mejor estrategia a seguir en el caso de fachadas orientadas al Sur. Sin embargo, las cartas solares dependen del punto de estudio y no proporcionan información sobre la intensidad de la radiación solar, térmica o lumínica, que incide sobre dicho punto.

Actualmente contamos con nuevas herramientas que nos permiten cuantificar el efecto de la incorporación de protecciones solares sobre los niveles de iluminación que se obtienen en cada punto del espacio considerado y para cada periodo de tiempo, atendiendo a las singularidades climáticas de la localidad donde se ubica el edificio de estudio.

Después de la aparición, hace una década, de las métricas de iluminación natural basadas en las condiciones climáticas locales, este trabajo se encamina hacia la difusión y expansión de las mismas, para ayudar en el cambio de la metodología y herramientas de cálculo que requieren las exigencias ambientales actuales.

Se ha realizado el análisis de los niveles de iluminación obtenidos en los modelos en términos de Autonomía de Luz Natural y la terna de valores de Iluminancia Útil de Luz Natural. Debe señalarse que los resultados obtenidos se refieren a las condiciones exteriores de Sevilla, por lo que las soluciones óptimas de otras localizaciones pueden variar, especialmente si se comparan con climas más fríos donde no se requiere de una

excesiva protección solar para captar la radiación solar principalmente en el periodo invernal (Bellia, De Falco y Minichiello, 2013).

En este estudio no se han tenido en cuenta la componente térmica, factor fundamental para conseguir estrategias de ahorro energético integral del edificio. Sin embargo, sí que puede deducirse de los resultados que un mal diseño en los elementos de protección solar, o en la piel del edificio, puede producir un gran discomfort visual tanto por exceso (deslumbramiento) como por defecto (penumbra). Ello hace entrever la necesidad de introducir el diseño paramétrico de la protección en el proceso de diseño, pues cualquier acción reduccionista del problema termina por producir importantes efectos negativos sobre el confort ambiental (térmico, lumínico y energético).

Se ha comprobado cómo los elementos de protección móviles dependen del buen saber de los usuarios que los manipulan, o de sistemas de control que suelen no ser muy fiables con condiciones exteriores cambiantes. Se demuestra que el óptimo se encuentra en diseñar sistemas fijos de protección solar que no sólo tengan en cuenta la iluminación natural, sino también la radiación solar. Sabido que el hueco es uno de los elementos más influyentes en el confort visual, térmico y acústico del edificio, la utilización de estas protecciones fijas es una buena estrategia para el ahorro energético.

El estudio se ha centrado en voladizos, salientes laterales, lamas verticales y horizontales, brise soleil y celosías. Podemos concluir que para la orientación, situación y clima estudiado la mejor solución al sur son las lamas horizontales, el brise soleil y las celosías, teniendo especialmente las dos últimos riesgo de que un mal diseño produzca deficiencias en la iluminación natural, pero consiguiendo con un buen cálculo obtener muchas horas de uso con niveles de iluminación natural óptimos para el trabajo. El voladizo es una buena alternativa junto con las lamas verticales (éstas últimas con algo menos de rango útil), mientras los salientes a ambos lados del hueco son una mala opción.

Evidentemente para obtener una visión más global de las implicaciones de la incorporación de cualquier dispositivo de protección solar es necesario completar esta información con la componente térmica de la radiación solar, aspecto con una mayor trayectoria de estudio, y que se abordará en un futuro próximo. Este trabajo, sin embargo, se encamina a dar información sobre las condiciones de iluminación natural, aspecto generalmente secundario, no sólo en el ámbito energético sino en el diseño mismo de los edificios, y que sin embargo, tanto cualifica e imprime calidad ambiental a los espacios.

Los resultados muestran cómo las diferentes configuraciones afectan a las condiciones de iluminación natural, modificando la dependencia en el consumo eléctrico de iluminación artificial y creando zonas con distintos rangos más o menos mantenidos de iluminación.

A la vista de los resultados obtenidos, frente a los requerimientos puramente estéticos de la creación de una piel más o menos uniforme o la cuestión del factor solar modificado de los huecos, es necesaria la realización de un diseño adecuado de estos dispositivos para obtener un equilibrio entre las diferentes facetas de la edificación que se ven afectadas, de forma que se optimice el comportamiento de los elementos de protección solar, sin causar perjuicios en el ambiente interior.

5. Referencias

- **Aldawoud, A. (2013).** Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing system in hot, dry climate. *Energy and Buildings* (59), 104-110.
- **Ali, A. A., y Ahmed, T. M. (2012).** Evaluating the impact of shading devices on the indoor thermal comfort of residential buildings in Egypt. *SimBuild 2012*, (págs. 603-612). Madison (Wisconsin).
- **Al-Tamimi, N. A., y Fadzil, S. F. (2011).** The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics. *Procedia Engineering* (21), 273-282.
- **Bellia, L., De Falco, F., y Minichiello, F. (2013).** Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. *Applied Thermal Engineering* (54), 190-201.
- **Bodart, M., y De Herde, A. (2002).** Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. *Energy and Buildings* (34), 421-429.
- **Claros, S. T., y Soler, A. (2002).** Indoor daylight influence of light-shelf and model reflectance on light-shelf performance in Madrid for hours with unit sunshine fraction. *Building and Environment* (37), 587-598.
- **Comité Europeo de Normalización. (2003).** European Standard EN 12464-1: Lighting of Workplaces: Indoor workplaces. Brussels: CEN.
- **Datta, G. (2001).** Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS Simulation. *Renewable Energy* (23), 497-507.
- **Deuk-Woo, K., Meng, P., y Cheol-Soo, P. (2012).** Comparative control strategies of exterior and interior blind systems. *Lighting Research and Technology*, 44, 291-308.
- **Jian, Y. (2012).** An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements. *Building and Environment*, 71, 24-32.
- **Ji-Hyun, K., Young-Joon, P., Myoung-Souk, Y., y Kwang-Woo, K. (2009).** An experimental study on the environmental performance of the automated blind in summer. *Building and Environment*, 44, 1517-1527.
- **Lim, Y.-W., Ahmad, M. H., y Ossena, D. R. (2012).** Internal Shading for efficient Tropical Daylighting in Malaysian Contemporary High-Rise Open Plan Office. *Indoor Built Environment*, 0, 1-20.
- **Mandalaki, M., Zervas, K., Tsoutsos, T., y Vazakas, A. (2012).** Assessment of fixed shading devices with integrated PV for efficient energy use. *Solar Energy* (86), 2561-2575.
- **Mayhoub, M., & Carter, D. (2011).** The costs and benefits of using daylight guidance to light office buildings. *Building and Environment*, 46, 698-710.
- **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2007).** Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.

- **O'Brien, W., Kapsis, K., y Athienitis, A. (2013).** Manually-operated window shade patterns in office buildings: A critical review. *Building and Environment* (60), 319-338.
- **Reinhart, C. F., y Wienold, J. (2011).** The daylighting dashboard – A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and Environment* , 46 (2), 386-396.
- **Reinhart, C. (2004).** Lightswitch-2002: A model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy* , 71 (1), 15-28.
- **Reinhart, C. (2010).** Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design. Obtenido de <http://daysim.com/pub/Daysim3.0.Tutorial.pdf>.
- **Reinhart, C., Mardaljevic, J., y Rogers, Z. (2006).** Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos* , 3 (1), 1-25.
- **Tzempelikos, A., y Athienitis, A. (2007).** The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy* , 91, 369-382.
- **Unión Europea. (2010).** Directive 2010/31/EU on Energy Performance of Buildings. Council of European Union. Brusels: Oficial Journal of the European Union.
- **Van Den Wymelenberg, K. (2012).** Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and Buildings* , 51, 165-176.
- **Yao, J. (2014).** An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements. *Building and Environment* (71), 24-32.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Paula Esquivias Fernández
Teléfono: +34 636 50 99 13
E-mail: pesquivias2@us.es