

ESTUDIO SOBRE PROTECCIONES SOLARES EN ENVOLVENTES

Incidencia lumínica y radiación en el interior de los edificios



Trabajo fin de Grado

Autora: Raquel Jiménez Lupiáñez

Director: Jaime Navarro Casas

Grado en Fundamentos de la
Arquitectura. ETSAS.

[02-07-2015]



ÍNDICE.....	0
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Motivación.....	2
1.2 Relevancia y oportunidad.....	3
1.3 Objetivos generales y específicos.....	4
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
3. METODOLOGÍA.....	42
3.1 Obtención de información técnica.....	42
3.2 Campaña de mediciones.....	42
3.3 Simulación informática.....	44
3.4 Calibración del modelo virtual.....	45
3.5 Aplicación a un caso de estudio.....	45
3.5.1 Obtención de información del caso de estudio.....	47
3.5.2 Campaña de mediciones.....	50
3.5.3 Simulación informática.....	52
3.5.4 Calibración del modelo virtual.....	56
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
5. CONCLUSIONES.....	70
6. IDEAS PARA AMPLIAR EL TRABAJO DESARROLLADO.....	72
7. BIBLIOGRAFÍA.....	73
Artículos:.....	73
Libros:.....	74
Páginas Web:.....	74
ANEXO.....	75

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El panorama actual está demandando un cambio en la forma de hacer arquitectura; hoy en día buscamos la máxima eficiencia energética para los edificios, para ello llevamos a cabo distintos procedimientos; disminución de las necesidades de consumo de energías primarias, máxima optimización del rendimiento de los aparatos que instalamos en nuestros edificios, control de la instalación en función de las necesidades del usuario y del propio edificio.

¿Qué ha motivado esta búsqueda?

Desde el Consejo Europeo, y en nuestro caso a través de la Junta de Andalucía, nos llega la información de una nueva estrategia de crecimiento inteligente, sostenible e integrado; conocido como Objetivo 20-20-20, la Consejería de Empleo (AA.VV., 2012), expone las siguientes intenciones:

-Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% respecto de 1990 con el compromiso, bajo acuerdo internacional, de elevar el objetivo hasta el 30%.

-Alcanzar el 20% de fuentes renovables en el consumo energético de la UE en 2020 y un 10% en el sector del transporte.

-Aumentar la eficiencia energética con el fin de ahorrar un 20% del consumo energético de la UE respecto de las proyecciones para el año 2020.

Para lograr avances en los tres aspectos arriba mencionados, las prioridades que marca la Unión Europea son:

- Eficiencia energética
- Consolidación e integración del mercado europeo de la energía
- Desarrollo y promoción de tecnologías energéticas
- Facilitar el acceso a un suministro competitivo y seguro de energía
- Relaciones internacionales

En este caso la investigación se enfoca a la primera de las prioridades, la eficiencia energética; la cual lucha contra el cambio climático. Se afronta desde el estudio de protecciones pasivas para fachada, que tan necesarias son en climatologías con altos niveles de radiación solar, en los que se genera una alta demanda energética por el uso excesivo de las instalaciones de climatización; y que por otro lado, si están mal resueltas por exceso, pueden restar mucha iluminación

natural afectando en este caso a la demanda energética, por falta de iluminación natural, solventada con aumento de consumo eléctrico.

Este tema resulta de gran interés, puesto que tanto la climatización como la iluminación son determinantes en el porcentaje de consumo en los edificios terciarios. En las viviendas la climatización, de nuevo adquiere gran importancia. En concreto, la calefacción supone casi la mitad del consumo energético de una vivienda.

Se muestran a continuación unas gráficas del IDEA, (AA.VV., 2011) para hacer referencia a lo comentado anteriormente:

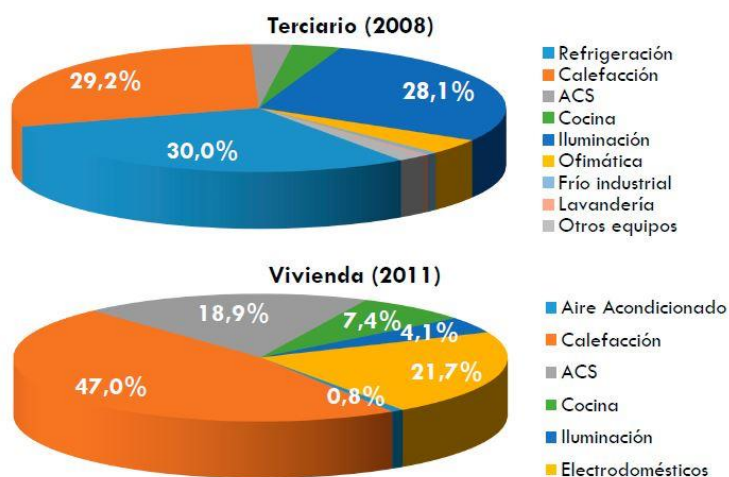


Figura 1: Diagramas de consumo energético en edificios terciarios, 2008; y en viviendas, 2011. (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015.)

1.2 Relevancia y oportunidad

Ante este panorama parece un buen momento para darle importancia a las acciones pasivas en los edificios, que nos ayudan a reducir la demanda, y a la bajada del consumo de energías primarias.

El estudio ve la oportunidad de profundizar en el análisis de las protecciones solares, como sistema de control solar, pero a la vez como elementos de composición de los alzados de los edificios. En un país como España en el que el nivel de soleamiento y la cantidad de horas solares son tan altos, parece que el conocimiento de estos sistemas puede resultar muy beneficioso.

El problema, como se desarrollará en el trabajo, es que existe aún un amplio desconocimiento del funcionamiento específico de estas protecciones, lo que da lugar en muchas ocasiones al uso de ellos, pero con resultados contraproducentes (aumentos de demanda de iluminación artificial, o de calefacción para las épocas frías); para intentar solventar esta tendencia, se realiza este trabajo de investigación, con la idea de que pueda servir de guía, o de base informativa sobre la correcta aplicación de los sistemas de protección solar, y sus repercusiones en el interior de los espacios.

1.3 Objetivos generales y específicos

Objetivo general:

- Estudio de protecciones solares, tipologías, características y repercusión en el interior de los edificios.

Objetivos específicos:

- Conocer del panorama actual, en cuanto a estudios sobre protecciones solares.
- Profundizar en el conocimiento de las pantallas y las mallas metálicas perforadas.
- Estudiar la repercusión de las protecciones solares en la configuración de la luz natural y la radiación en el interior de los edificios.
- Desarrollar un caso práctico, sobre un edificio existente con malla perforada, para analizar la iluminación natural y radiación en el interior del mismo.

2. ESTADO DEL ARTE

En la sociedad actual, la cuestión de la sostenibilidad del medio ambiente está adquiriendo mayor relevancia política y económica, como ya se ha insinuado. Según Jesús Blanco en (Blanco, 2014), se debe encontrar el equilibrio correcto para mantener niveles adecuados de desarrollo sin malgastar los recursos disponibles. La búsqueda de este equilibrio, combinado con una mayor demanda de energía, está marcando el comienzo de una nueva forma de desarrollo urbano.

En el campo de la construcción, se realizaron análisis desde las primeras etapas del diseño para determinar cómo los edificios dependen de su entorno y qué beneficios se pueden obtener de la adaptación de los estos al mismo. Hay muchos factores involucrados, tales como la luz solar (a través de la radiación de onda corta), el terreno, el cielo y el aire (a través de la radiación de onda larga) que actúan como fuentes de energía, que influyen en el diseño de edificios, por lo que los efectos de estos factores deben abordarse adecuadamente. Por tanto, es necesario desarrollar nuevas estrategias de diseño, introducir nuevos materiales y seleccionar ubicaciones y orientaciones adecuadas, con el objetivo de conseguir un uso más eficiente y racional de los recursos naturales.

Los estudios realizados por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) descomponen el consumo total de energía de los edificios en Europa por combustible y por categoría como se muestra en la Figura 2a. El escenario blue map, describe el papel de la energía en la transformación del sector de la construcción en el año 2050 en línea con el objetivo general de reducir la media anual de emisiones de CO₂ a la mitad de los niveles de 2007. Figura 2b muestra cómo ampliar las políticas energéticas residenciales afectará a algunos usos finales más que otros en porcentaje, para el período 2012-40 de acuerdo con el *Annual Energy Outlook* (AEO 2014).

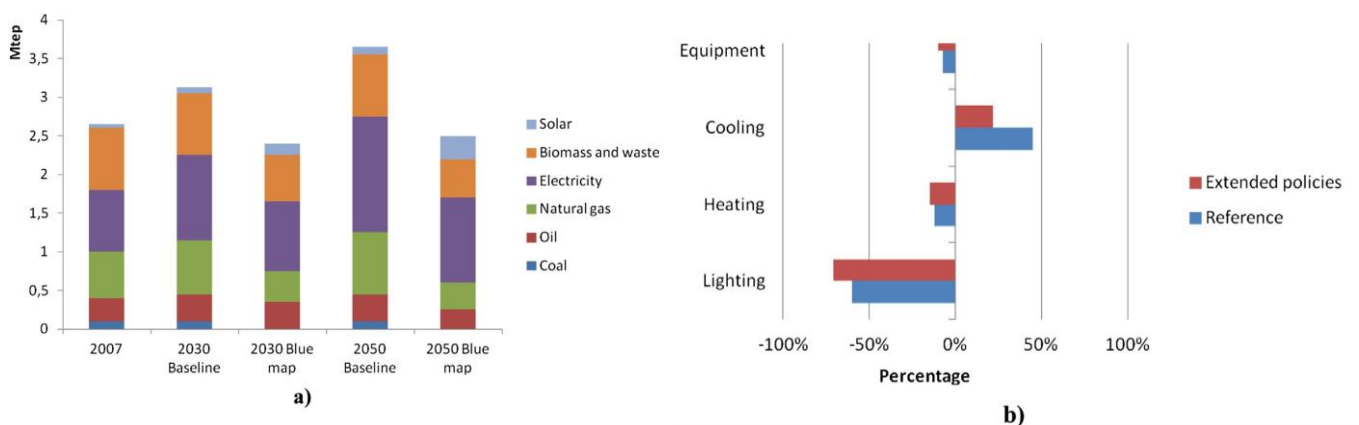


Figura 2: a) Consumo de edificios por tipo de energía y escenario; b) Cambio en el reparto del consumo de energía, por tipo y usuario. (Blanco, 2014).

Estos estudios llevaron a la Comunidad Económica Europea (CEE) a publicar la Directiva 2002/91/CEE del Consejo, buscando establecer directrices que promuevan la eficiencia energética en el diseño de edificios, teniendo en cuenta los factores climáticos generales y locales de cada región, los requisitos ambientales para la construcción de interiores, y la relación coste-rendimiento. Estas directrices incluyen regulaciones de configuración para el control del consumo de energía en el sector de la construcción y de la certificación de edificios individuales en función de su consumo de energía.

En España, la Directiva fue transpuesta en el Real Decreto 1.027 / 2007, que a su vez condujo a la elaboración de los Reglamentos de Instalaciones Térmicas en los Edificios como un instrumento regulador clave. También existen herramientas de tecnología de la información para la certificación de edificios usando un sistema de etiquetado energético que mide el consumo anual de energía y los gradúa de acuerdo a un estándar de eficiencia energética. Incluye calefacción, refrigeración, iluminación y todos los otros equipos electrónicos, como ordenadores y ascensores, entre otros.

Por otro lado es interesante resaltar el concepto de envolvente, ya que es sobre este, al que vamos a referirnos a lo largo de la investigación, Xavier Ferrés en (Ferrés, 2013) da una interesante definición de envolvente de un edificio, como el elemento que separa el interior del exterior y además actúa como interfaz entre el edificio y el medio urbano. Sus funciones más importantes son proteger de los agentes climáticos (frío, calor, lluvia y viento) definir el volumen y crear un ambiente acogedor. Como parte de esta envolvente, la fachada es tanto la cara pública de un edificio como un elemento del medio urbano.

Además el modernismo promovió que la apariencia externa de un edificio reflejase también la función del mismo. Esto, junto con la creciente autonomía de las fachadas, las estructuras de soporte (muro cortina) y las crecientes demandas de flexibilidad; condujo a una mayor atención a las superficies exteriores. El color y la textura de los materiales escogidos desempeñan un papel crucial en la apariencia visual del edificio.

Volviendo la mirada al pasado, Guillermo de la Paz Pérez expone en (Pérez, 2012), que en las primeras concepciones arquitectónicas no existía la preocupación por el aspecto climático, no se estudiaba la influencia del mismo a la hora de diseñar el edificio, de forma que simplemente se añadían soluciones parciales a los problemas, por ejemplo, mediante la colocación de un elemento extra, no pensado ni proyectado desde la idea y sin entender este aspecto como un condicionante más de proyecto.

Las propuestas que se realizan en la actualidad, muchas de ellas, se dejan guiar por modas sin tener en cuenta el emplazamiento, de forma que se ejecutan proyectos poco adaptados al entorno y sus condiciones, generando grandes superficies acristaladas donde no es conveniente o cerrando otras que deberían ser más permeables, generando así importantes incrementos en las demandas de los edificios y en el consumo de recursos.

La arquitectura de los 50-60 vivió una situación similar y supo reaccionar reinterpretando recursos para la arquitectura que supusieran una mejora en el aspecto climático; esta tendencia comenzaría a perderse en los años 70, debido a la garantía de energía barata que procuraba el petróleo proveniente de la URSS. Este aspecto, unido a la prefabricación, daba lugar a proyectos tipo que ayudaban a disminuir la demanda de viviendas que se vivía en aquel momento, pero que conllevó soluciones importadas de climas fríos a otros donde las condiciones eran radicalmente distintas. Además de la despreocupación existente en aquel momento por las condiciones ambientales.

Llegaron los 90, y a pesar de que la energía ya no era tan barata y había disminuido la prefabricación, la influencia de las tendencias arquitectónicas de los climas fríos siguió presente. Estas tendencias conllevaron el uso de cerramientos compuestos por superficies acristaladas, que en los climas cálidos, con un gran número de horas de radiación solar y altas temperaturas; suponen un factor de aumento del malestar térmico y lumínico, los deslumbramientos y el aumento de la demanda energética; y por tanto del consumo de energía. Las correcciones de estas circunstancias a posteriori con la colocación de elementos de protección solar por el interior ha llevado a la disminución de la calidad de la iluminación natural dentro de esos espacios, suponiendo de nuevo un aumento energético por la necesidad de electricidad para alcanzar los niveles de confort lumínico necesarios.

Cabe destacar la situación de las regiones tropicales y subtropicales en las que las estrategias pasivas de adaptación a las condiciones climáticas suponen un aspecto básico de la arquitectura. Destaca el control solar y el uso de acciones que garanticen una buena ventilación e iluminación natural.

En los climas cálidos la principal estrategia debe ser el uso de una protección solar que permita un control de la entrada de luz y calor en el interior del edificio y evite el gasto de energía necesario para contrarrestar el exceso de carga adquirido.

Según Jeong Tai Kim en (Kim, 2010) un dispositivo de protección solar es un elemento esencial para determinar el efecto de la componente reflejada del sol directo en el comportamiento de la iluminación natural en el espacio interior y del rendimiento térmico relacionado con la ganancia solar. Se pueden utilizar una gran variedad de dispositivos de control de la luz solar, que pueden ser eficaces para lograr luz natural donde se necesite y para eliminar las zonas con posibilidad de deslumbramiento. Una práctica muy común, es que las ventanas se protejan del sol directo mediante el uso de persianas venecianas que se manejan manualmente para proporcionar un efecto de sombreado completo, independientemente de la orientación de la fachada. La mayoría de la gente elegiría persianas venecianas debido a su bajo coste y conveniencia, así como por su rendimiento.

Profundizando en las venecianas, Athanassios Tzempelikos tiene un estudio, (Tzempelikos, 2008), en el que sostiene que son muy utilizadas debido a su capacidad para reflejar y transmitir la luz natural de manera eficiente al interior de los edificios, así como para garantizar la privacidad cuando es necesario. Son simplemente lamas horizontales equidistantes. Debido a la pequeña dimensión del dispositivo, su óptica y propiedades térmicas, son complejas y dependen de varios parámetros: las características de la persiana, el ángulo de inclinación y el ángulo de

incidencia solar. Por otro lado, el ángulo de rotación, la forma, el tamaño, la configuración y el color de los listones tienen un impacto en el deslumbramiento y en la visibilidad, pero también en la eficacia de la transmitancia, la reflectancia y la absorción de un sistema de persiana.

En los espacios de oficinas modernos con fachadas transparentes, la protección contra el deslumbramiento es fundamental. Al mismo tiempo, proporcionar vistas y luz natural también es importante. Las persianas venecianas pueden satisfacer ambas funciones, rotándose hacia ángulos apropiados a fin de evitar el deslumbramiento según el momento del día y la época del año, permitiendo a su vez la transmisión de la luz natural y vistas hacia el exterior.

Las persianas venecianas tienen la ventaja única de poder rotar, que permite proteger del deslumbramiento y disponer de luz natural simultáneamente. La cantidad de visibilidad al exterior depende del ángulo de rotación y de la geometría de la persiana, que también afecta a la transmitancia y la reflectancia del sistema de ventana-persiana.

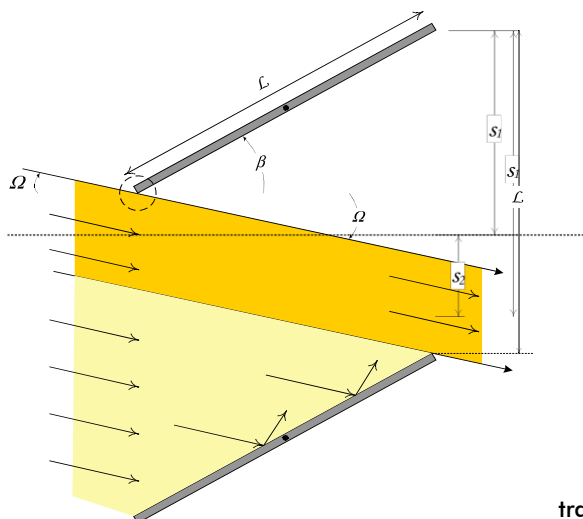


Figura 3: Transmisión directa e indirecta a través de una persiana veneciana plana. (Tzempelikos, 2008).

El estudio (Tzempelikos, 2008) de Athanassios Tzempelikos presenta un método analítico para el cálculo de la sombra proyectada y fracciones de visibilidad en ventanas equipadas con persianas venecianas de cualquier forma. Empezando por lamas planas, las fracciones de visibilidad se calculan para cualquier inclinación teniendo en cuenta el espesor de las lamas y el efecto de los bordes.

En las venecianas, los listones curvos están separados en dos categorías: listones de arco circular, que representan la mayoría de los productos disponibles hoy en día, y las curvas cóncavas. Después de definir los parámetros característicos necesarios de la geometría del listón, se calcularon las fracciones de visibilidad y sombra en función del ángulo de inclinación de la persiana.

Para listones de arco circular, el área de sombra y visibilidad es independiente de la curvatura de las lamas para ángulos de rotación mayores que la mitad del ángulo central. La mínima obstrucción es igual a la relación de la altura de la porción arqueada con la anchura del listón, cuando la persiana es horizontal. Cuando se

gira, la persiana funciona de manera similar a una de forma plana para pequeños ángulos centrales y el impacto de curvatura es evidente sólo para ángulos centrales mayores de 90°.

Para lamas curvas con dos partes cóncavas diferentes, se aplicó el mismo método, solo existen leves diferencias. El análisis mostró que las fracciones de visibilidad dependen del ángulo de inclinación, del ángulo característico de las dos partes y de la curvatura de la sección izquierda. También se desarrolló un procedimiento general para calcular las fracciones de visión proyectados para formas irregulares.

Por otro lado el documento estima el impacto de la forma de las lamas en la reflectancia. El análisis mostró que, aunque la reflectancia efectiva de la ventana (interior y exterior) puede aumentar significativamente cuando la persiana gira, especialmente con lamas curvas, el ángulo de inclinación tiene realmente un impacto pequeño en el componente inter-reflejada, alrededor del 3% para ángulos de inclinación iguales a 40°, por lo que la reflectancia de la persiana es un factor menos importante.

Entrando en otro apartado, vemos como hoy en día, las persianas manuales convencionales están siendo reemplazadas por persianas motorizadas incorporadas dentro de sistema de ventana de doble acristalamiento. La eficiencia funcional se ve mejorada respecto a la persiana veneciana; sin embargo, sigue bloqueando las vistas del exterior. Otro tipo de dispositivo de sombreado que puede trabajar con mayor eficiencia y controlar los efectos negativos de la luz solar directa, son los dispositivos de sombreado externos, que suelen reconocerse como la mejor solución.

El dispositivo de protección solar convencional puede ser clasificado en función de su ubicación, como interno o externo, Jeong Tai Kim afirma en (Kim, 2010), que independientemente de la configuración del dispositivo, las lamas horizontales y los voladizos son los controles más efectivos cuando el sol está alto. Algunos artículos han expresado su preferencia por los voladizos horizontales y por los aleros, ya que bloquearían por completo la luz directa del sol sin impedir las vistas durante todo el año. Para evitar que el dispositivo adquiera demasiado tamaño, los arquitectos deben perseverar en sus esfuerzos por crear configuraciones optimizadas en función de su aplicación.

En este punto es interesante hacer una breve reseña a la protección solar conocida como brise-soleil, concepto que inmediatamente nos genera la imagen mental de unas lamas de directriz horizontal, vertical o una confluencia de ambas en una retícula; y como no, nos acerca a la figura de Le Corbusier. ¿Pero, como surgió realmente esté concepto?

Según Ignacio Requema Ruiz en (Ruiz, 2011), a raíz de la crisis de los años 30, el modelo de arquitectura moderna basada en la tecnología se vio obligado a reinventarse, de manera que pudieran atenderse las demandas sociales adaptándose a las nuevas condiciones económicas. Fue precisamente Le Corbusier, exponente más visible del Movimiento Moderno, quien se dio cuenta de esta realidad y evolucionó de una concepción autónoma a una más sensible al entorno y a las energías presentes en él sin olvidar la forma. Así, abordó una investigación en tres

ámbitos: control de la radiación solar, control de ventilación y humedad, y construcción con materiales autóctonos.

De 1930 a 1945 se centró en la radiación solar, concibiendo dispositivos que rompieran (briser) la luz, aprovechándola de manera efectiva en la arquitectura. Creó así el brise-soleil, cuya génesis obedeció a cinco estadios (brisement).

1er brisement

Llevó a cabo el primer intento en un proyecto de viviendas sociales en Barcelona (1931) inspirándose en la aclimatación de las construcciones árabes de Andalucía afectadas por problemas de soleamiento excesivo. Diseñó entonces un mecanismo de lamas giratorias de sección cruciforme que, al abarcar toda la fachada de una tipología estrecha, no resultó satisfactorio, ya que, aunque para verano el sombreamiento previsto sería correcto, para invierno, la deficiencia de luz interior por la luz difusa y la incapacidad de calentar el interior, arruinaban su funcionalidad.

2ème brisement

Apoyándose en las geometrías escalonadas de sus contemporáneos Adolf Loos y Robert Mallet-Stevens, aplicó el modelo en un complejo en Argel (1933), que, al tener condiciones climáticas diferentes a las centroeuropeas, no resultó satisfactorio, ya que provocaba sombras deficientes e incontrolables tanto en verano como en invierno. Posteriormente, y siguiendo el mismo patrón pero en Austria y Francia (latitudes más apropiadas, 1934), consiguió un funcionamiento más óptimo.

3ème brisement

Una mejor comprensión de las trayectorias solares le llevó hacia otra respuesta para el mismo emplazamiento. Una celosía fija, superpuesta toscamente a la carpintería y compuesta por un entramado de celdillas, que rompía la radiación directa durante prácticamente todo el año. Este nuevo diseño se implantó en Brasil (1936), y siendo modificado por arquitectos autóctonos (proporción, mayor verticalidad e inclusión de lamas orientables por el usuario), se convirtió en el primer brise-soleil eficaz para gestionar las condiciones del clima tropical brasileño.

4ème brisement

La consolidación definitiva del brise-soleil lecorbusierano tuvo lugar en un proyecto en Argel (1938). Los elementos horizontales se alinearon con los niveles de forjado y los verticales se alternaban con los pórticos estructurales, estableciendo un diálogo formal. A fin de mantener su efectividad se incrementó la profundidad del entramado, respondiendo al ángulo de incidencia solar en verano y admitiendo la entrada de radiación en invierno. Posteriormente, con la ayuda del Atelier Batiseurs, y ajustando algunos parámetros, se instaló un brise-soleil en la fachada sureste de la Manufactura Duval, que generaba la sombra adecuada y garantizaba un nivel lumínico interior apropiado.

5ème brisement

El novedoso sistema solar se incluyó en los prototipos y obras de la Unité d'habitation (1945), actuando a modo de colchón lumínico, térmico y funcional, siendo definitivamente un elemento esencial de la arquitectura de Le Corbusier. Para el arquitecto la justificación del brise-soleil era que una forma solo era adecuada si se argumentaba desde el punto de vista técnico y artístico. Sin embargo, en la Unité d'habitation esa doble vía se encontró descompensada, ganando terreno la forma, y para aprovechar su funcionalidad, dispuso el brise-soleil proyectado al sur, en las fachadas este y oeste.



Figura 4: Unité d'habitation, Marsella, Le Corbusier. 1947-51. (Valcárcel, 2015)

El brise-soleil continuó siendo recurrente en las obras del arquitecto, que lo iba adaptando al emplazamiento, orientación y programa; manteniendo siempre la dualidad técnico-plástica inherente a su concepción.

De esta forma, Le Corbusier contribuyó en la observación, comprensión y transformación de un sistema constructivo popular al adaptarlo a la ciudad y cultura modernas. Así, la protección solar pasó a ser parte fundamental de la arquitectura, constituyendo una puesta en valor de los espacios intermedios, presentes en nuestra tradición constructiva y que son tan menospreciados en la actualidad desde ópticas mercantilistas e insostenibles.

Este elemento de sombreado como tal brise-soleil permite diferentes configuraciones, no todas tienen la misma repercusión en el interior de los edificios; el hecho de proporcionar buena luz natural en espacios arquitectónicos no es tarea fácil para los arquitectos. Una buena iluminación natural requiere que el nivel de iluminancia en los espacios se mantenga dentro del rango aceptable, para que no afecte negativamente a los ocupantes y contribuya positivamente a la productividad de los mismos.

Hussain H. Alzoubi expone en (Alzoubi, 2010), que existen muchas variables que afectan el nivel de iluminancia en los espacios. La principal tarea de los arquitectos es hacer frente a estas variables en favor de la calidad del espacio y los criterios de confort visual. Los estudios que han abordado estos temas se centraron en estas variables y en su efecto en la luz natural y la ganancia de calor solar. Pero existen nuevos enfoques, muy innovadores, en los se ha optado por estudios para mejorar el rendimiento de las fachadas de los edificios y obtener entornos productivos para los ocupantes. Varios investigadores trabajaron en la optimización de la iluminación natural, de hecho, surgieron estudios de iluminación natural acompañados de sistemas de sombreado con nuevas tecnologías que controlan la luz natural en los edificios; también existe interés en sistemas de persianas como protecciones solares eficaces, principalmente centrados en el efecto de las protecciones solares en la distribución de la luz y la calidad de la iluminación natural de los espacios.

El rendimiento óptico y térmico del acristalamiento también ha sido investigado e integrado con dispositivos de sombreado para mantener el buen nivel de iluminancia en los espacios en muchos estudios recientes. Estos estudios consideran la auto-respuesta de los parámetros de la fachada como una forma de bloquear la cantidad innecesaria de luz y calor del sol. Por ejemplo, el vidrio termo-trópico resultó ser una buena solución para auto-atenuar la luz natural excesiva en los espacios y para atenuar la ganancia de calor en verano. Por lo tanto, la evaluación del desempeño de la iluminación en espacios debe estar asociada al consumo de energía y la situación térmica de los espacios. Pero son aspectos que se alejan del estudio desarrollado en este trabajo.

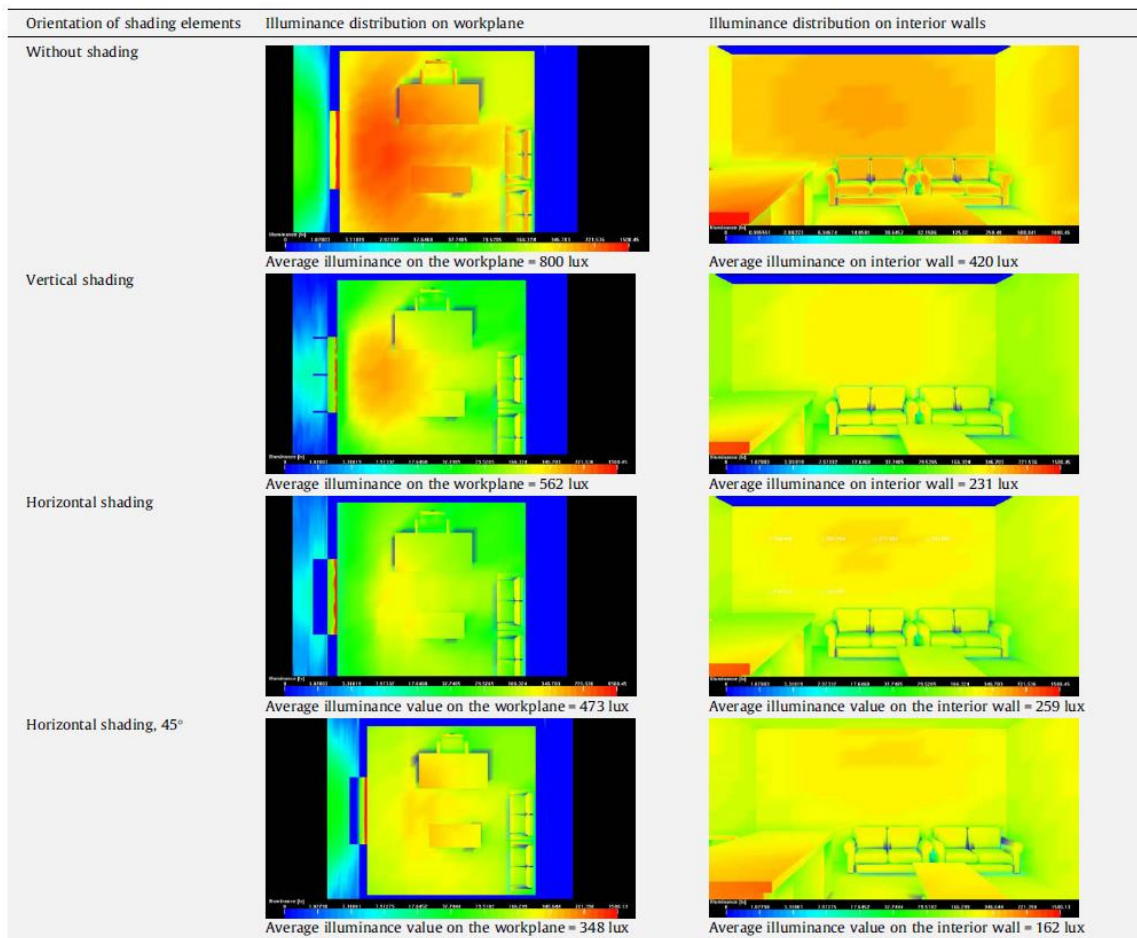
Sin embargo, el estudio (Alzoubi, 2010), que tiene como objetivo evaluar el desempeño de las diferentes posiciones de protecciones solares para encontrar la situación óptima en términos de buena iluminación natural siendo mínima la cantidad de ganancia de calor en los espacios, resulta de gran interés.

Los resultados de las simulaciones se centraron en la distribución de la iluminancia para un plano de trabajo horizontal y en la pared de enfrente de la ventana, como plano de trabajo vertical para algunas tareas visuales. Las comparaciones de los niveles de iluminancia se llevaron a cabo entre las diferentes posiciones de los dispositivos de sombreado. En general, las protecciones solares reducen los niveles de iluminancia de manera significativa; esto es muy beneficioso en la reducción de la carga de temperatura en verano. Los resultados mostraron que la distribución de la iluminancia, tanto en el plano de trabajo como en la pared opuesta sin protección, fue homogénea sobre las superficies. Por otro lado, la distribución de luminancia se ve muy afectada por el valor de reflectancia de la superficie y los muebles.

Se observó una gran correlación entre la posición del dispositivo de sombreado y la distribución de la luz en los espacios. Cada caso de posiciones de sombreado tiene su fórmula matemática para calcular el valor de iluminancia. El factor de regresión para estas ecuaciones varía desde 0,98 hasta 0,99.

El nivel medio más bajo se produjo en el caso de las protecciones solares horizontales a 45°. En comparación con las protecciones solares horizontales, las

verticales dieron lugar a un nivel de iluminancia superior sobre el plano de trabajo; el promedio es de 562 lux. Las protecciones solares horizontales sin ángulo de inclinación mantuvieron el nivel medio de iluminancia alrededor de 473 lux y 259 lux



en planos de trabajo horizontal y vertical, respectivamente.

Figura 5: A la izquierda aparece la distribución de iluminación en el plano de trabajo, y a la derecha sobre la pared del fondo. De arriba hacia abajo: Sin protección, con protección vertical, con protección horizontal, con protección horizontal a 45°. (Alzoubi, 2010).

La iluminancia media en la pared interior frente a la ventana, obtuvo el valor más alto sin protecciones solares. En comparación con las protecciones solares verticales, colocar dispositivos de sombreado horizontal en la ventana es mejor para aumentar los valores de iluminancia en la pared opuesta.

En este estudio de Hussain H. Alzoubi, la cantidad de flujo luminoso se calculó basándose en el área de la oficina suponiendo que cada punto de la misma esté iluminado por 500 lux durante el día. La luz artificial debería cubrir la falta de luz en el punto en el que el nivel se coloque por debajo de los estándares de la IESNA (*Illumination Engineering Society of North America*). El valor fijado, es de 500 lux para una oficina; por lo tanto, la diferencia entre los valores normales y los niveles de iluminancia reales se transformaron a energía excesiva o necesaria. Esto se decidió en base a si el nivel de iluminancia real estaba por encima o por debajo del límite de 500 lux.

El nivel de iluminancia en 1 metro de anchura del plano de trabajo, tiene casi el mismo valor para todos los puntos, los cuales tienen la misma distancia desde la ventana y a lo ancho del plano de trabajo. El nivel de iluminación por encima de la norma IESNA fue considerado como una cantidad excesiva de la luz y que contribuía negativamente a la carga de refrigeración en verano. Los niveles de iluminancia por debajo de la norma IESNA necesitan luz artificial para hacer cumplir los valores normales, por lo que aumenta el consumo de energía en las oficinas. En consecuencia, la diferencia entre el IESNA y el total de lumen en el área del plano de trabajo se consideró como consumos de energía, tanto para carga de refrigeración como para la luz artificial.

Después de dividir la cantidad excedente de luz por la eficacia de la luz natural, el resultado mostró que las ventanas sin dispositivos de sombreado sobrepasan los estándares de iluminación en 25 W/m² en el plano de trabajo. Sin embargo, la colocación de dispositivos de sombreado en ventanas en este estudio es buena cuando se utilizan elementos verticales. La demanda en esta situación es sólo del 10,2 W/m² en el área del plano de trabajo. Por otra parte, los dispositivos de sombreado horizontal necesitan 17,3 W/m² para cumplir con la IESNA. El peor de los casos de colocación de protecciones solares se produjo con las horizontales a 45°; la oficina necesita 46.7 W/m² para cumplir los estándares, en este tipo de dispositivos de sombreado, el nivel de iluminancia en toda la oficina estaba por debajo de los estándares IESNA. Esto significa que las rejillas obstruían la luz del día y hacían que la zona de oficinas tuviera que estar iluminada por luz artificial, lo cual acaba aumentando la energía necesaria para iluminar la oficina.

Hussain H. Alzoubi en (Alzoubi, 2010), concluye que existe una posición óptima en la que las protecciones solares pueden trabajar positivamente en términos de calidad de espacio arquitectónico. Las protecciones solares verticales pueden proporcionar simultáneamente buena iluminación natural y mínima ganancia de calor en los espacios. Para fachadas de orientación sur, se pueden utilizar persianas verticales, ya que son útiles en el ahorro de energía. La idea de la colocación de dispositivos de sombreado no debe conducir a un mayor consumo de energía en iluminación artificial. Por el contrario, las protecciones solares deben ayudar a crear lugares agradables con entornos óptimos en términos de iluminación y ganancia de calor.

Los dispositivos de sombreado vertical también pueden ser muy eficaces en cuanto a proporcionar buena visión de los exteriores desde el interior.

Llegados a este punto debemos conocer la diferencia entre la colocación del elemento de sombreado por el exterior o por el interior (tipo persiana). Ya que en este trabajo nos centramos en las protecciones externas, apoyado del estudio de Jeong Tai Kim, (Kim, 2010), que ha desarrollado un dispositivo experimental de sombreado externo, en busca de un mejor rendimiento del mismo, y la posibilidad de mejorar las vistas hacia el exterior desde el edificio.

Jeong Tai Kim llevó a cabo una serie de simulaciones y mediciones para verificar las diferentes ventajas en la iluminación y el consumo de energía del edificio, permitiendo una mayor apertura al aire libre, con la colocación de un elemento de control solar. El programa de análisis de luz natural, *Radiance* produjo

datos de iluminancia en función de los niveles de iluminación. El rendimiento del dispositivo experimental se tradujo a rendimiento energético utilizando un programa de simulación de energía en edificios, *Virtual Environment*.

Centrándonos en el rendimiento de iluminación; se estudió el rendimiento de un sistema de ventanas tipo con iluminación natural (orientación sur), la incorporación de una persiana horizontal convencional, un dispositivo de sombreado externo horizontal y un dispositivo de sombreado externo inclinado, al mediodía del 21 de marzo en Seúl, Corea.

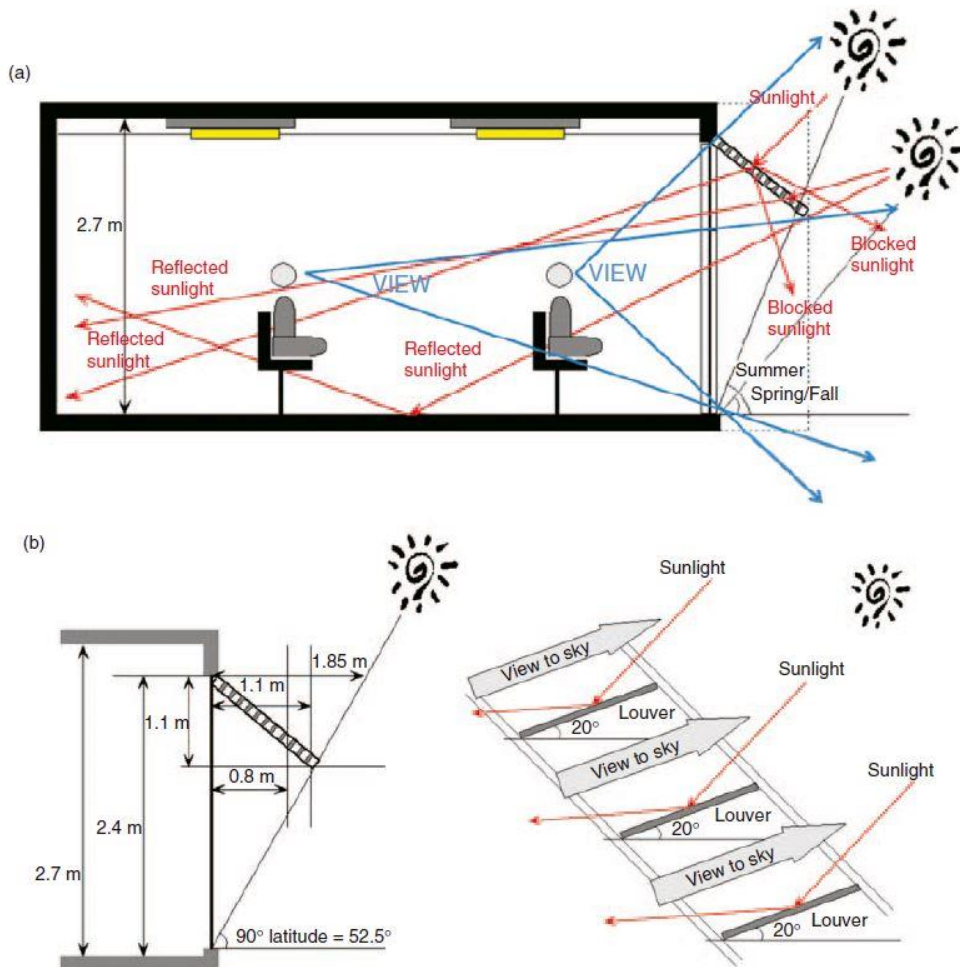


Figura 6: Diseño del sistema experimental de protección solar. (Kim, 2010).

El análisis paramétrico de la configuración del dispositivo de sombreado externo, en el estudio preliminar, mostró que una profundidad de 0,8 m era lo más apropiado en relación a la iluminación natural y efecto de sombreado, y que una pendiente de 20° constituía el mejor ángulo para la iluminación. El rendimiento fue analizado en base a la profundidad del espacio en la parte trasera, media y delantera de la vivienda. En el espacio frontal adyacente a la ventana, el dispositivo de sombreado externo en pendiente mostró el rendimiento más deseable en cuanto a iluminación. La iluminancia media era un 20% más que para una configuración convencional de persiana horizontal. Se encontró un rendimiento más significativo en el espacio trasero; la persiana horizontal proporciona 500 lux y el dispositivo de sombreado externo horizontal proporciona 600 lux, mientras que el dispositivo de

sombreado externo en pendiente de 20° produce 700 lux, que es una excelente iluminación del espacio trasero.

El rendimiento de la luz del día en verano está fuertemente relacionado con la cantidad de carga de enfriamiento del espacio y por lo tanto, el efecto de sombreado del dispositivo es más importante en verano, como se muestra en la Figura 7. El rendimiento de la luz natural es relativamente más bajo que en otras estaciones, debido a la mayor altitud del sol, que podría ser el 50% de la de primavera u otoño. Centrándose en la iluminación en la parte trasera del espacio, se demuestra que el rendimiento de la luz natural en el espacio trasero disminuye en un 40% cuando se adoptó la persiana horizontal convencional. Sin embargo, cuando se utilizó el dispositivo de sombreado externo, el nivel de iluminación natural se atenuó en un 30%. Por lo tanto, el dispositivo de sombreado externo producía un mejor rendimiento en verano que otros dispositivos.

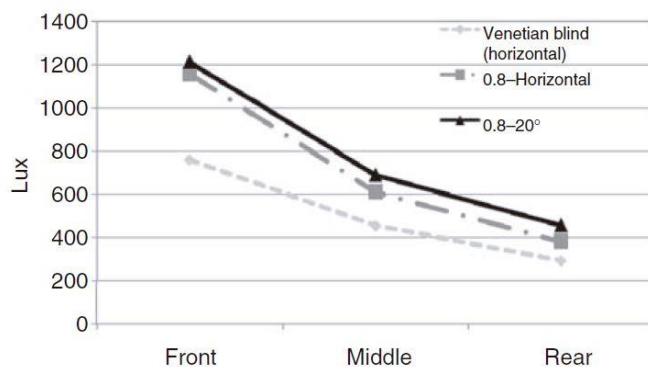


Figura 7: Iluminación natural con los diferentes sistemas (orientación sur al medio día). (Kim, 2010).

En invierno, se demostró que el dispositivo producía un mejor rendimiento en la iluminación en comparación con la persiana horizontal. En el caso de la persiana horizontal, el nivel de iluminación natural en el espacio medio se elevó debido a la posición más baja del sol. Al mediodía, la altura del sol en la península coreana es 30°, lo que significaba que la persiana horizontal no pudo desviar la penetración de la luz solar de manera eficaz. En el caso del dispositivo de sombreado externo, se demostró que el nivel de luz natural era mayor que la persiana horizontal, produciendo 1.000 lux para el espacio trasero. Esto contribuyó al ahorro de calefacción y energía de iluminación en invierno.

En general, cuando se aplica un dispositivo de sombreado; la demanda de refrigeración se atenúa mientras que la demanda de calefacción aumenta. El dispositivo de sombreado externo experimental proporciona una reducción del 20% de la carga de refrigeración y una reducción de la demanda de calefacción de un 12%; sin embargo, permite la penetración de más luz de la que permitiría la persiana horizontal, y podría proporcionar un mayor nivel de iluminancia durante la temporada de calefacción.

La persiana veneciana se puede utilizar con lamas inclinadas para obtener más luz natural, pero se obstruyen las vistas hacia el exterior. Cuando se inclina la lama 20° en una persiana veneciana, la cobertura vertical bloquearía un 30% de la vista a través de la ventana. En caso del dispositivo experimental, a pesar de que los listones

están inclinados 20° , la cobertura sólo bloquea el 15% de la vista a través de la ventana de vidrio, otra ventaja del modelo experimental.

Pasamos ahora a hablar de otro sistema de protección, las pantallas solares, Ahmed Sherif las define en (Sherif, 2012) como paneles perforados que se colocan frente a las ventanas, un tipo de sistema de sombreado que permite pasar la luz natural mientras se controla la cantidad que entra, y que ya han demostrado su funcionalidad en edificios tradicionales a lo largo de la historia. Este sistema surge de la necesidad de aprovechar la luz óptima del desierto para la iluminación de interiores solventando los problemas de incomodidad térmica y de deslumbramiento.

Estas pantallas se asemejan a una solución tradicional llamada "Mashrabiya" o "Rawshan" (figura 8), que estaban hechas de celosías de madera perforadas con distintas geometrías. Han sido utilizadas a lo largo de la historia para proteger aberturas de edificios de Oriente Medio, aportando la privacidad que requiere la cultura de las comunidades de la región. Normalmente colocadas por el exterior de las ventanas, aunque también pueden usarse como filtro entre espacios y para tamizar la luz de los patios; sin embargo, hay una enorme falta de comprensión de su modo exacto de funcionamiento. Por lo que los estudios que ayudan al conocimiento del efecto de la geometría de estas pantallas para el ahorro energético son muy beneficiosos, y pueden ayudar a mejorar el rendimiento de las mismas.

Publicaciones anteriores examinaron la potencialidad de reflejar la luz a través de las pantallas "Rawshan", concluyendo que para todas las posibles configuraciones celulares de la pantalla solar, el valor más alto de la contribución de la luz reflejada se experimentaba en la zona central del espacio estudiado. El factor de luz natural oscilaba entre un 10% y un 23% en el centro, mientras que era menor del 12% en los laterales. Además, la luz fue menor en el caso de formas redondeadas que en las otras formas probadas. La luz reflejada era mayor en la pantalla de gran diámetro, debido a la relación que existía de aberturas y partes sólidas en las pantallas.

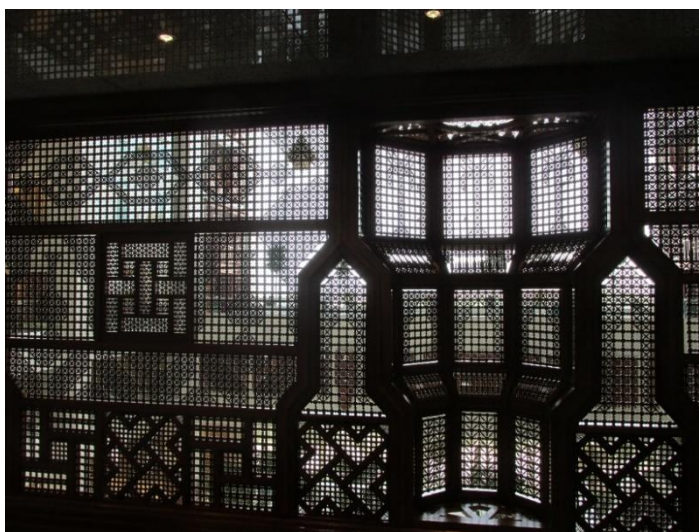


Figura 8: Arab Fund aka Arab Foundation aka Arab Organizations Headquarters building, diwaniya, mashrabiya. Vista desde el interior del mashrabiya. (Adventure, 2015)

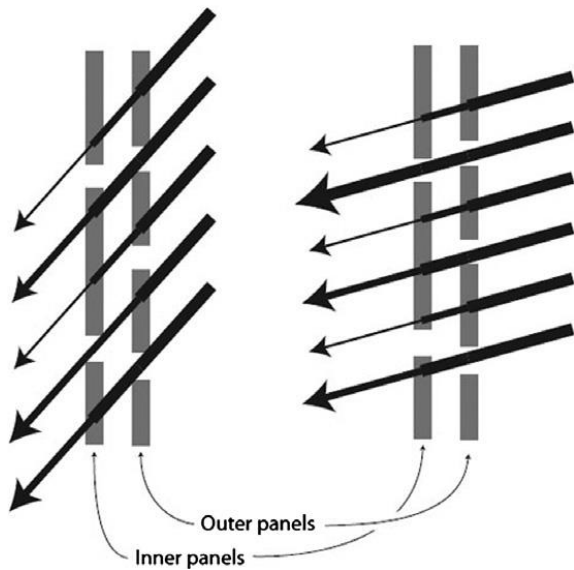


Figura 9: Aberturas en pantallas alineadas en diferentes momentos mientras el ángulo cambia a lo largo del día. (Sherif, 2012).

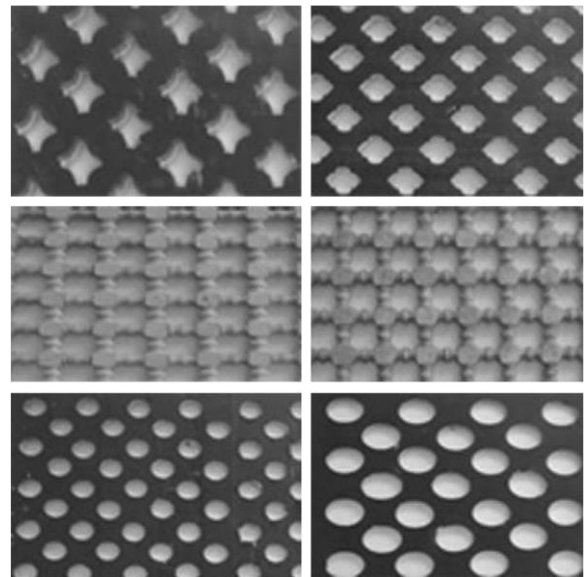


Figura 10: Pantallas solares Rawshan de diferentes formas. (Sherif, 2012)

Otras investigaciones exploraron el uso de algoritmos en la ayuda a la generación, el análisis y la fabricación de pantallas solares. Esto se hizo a través de la colocación de dos paneles alineados cortando la trayectoria del sol, cambiando el material de translúcido a opaco y jugando con la interacción de los sólidos y los huecos (Figura 9).

En los próximos estudios se trabaja sobre un modelo similar para todos los casos, el estudio de Hanan Sabry, (Sabry, 2014), considera un típico salón residencial localizado en el desierto. Se consideran unas dimensiones estándares que podrían simular cualquier salón de un residencial común. Se utiliza una reflectividad del suelo exterior del 20%.

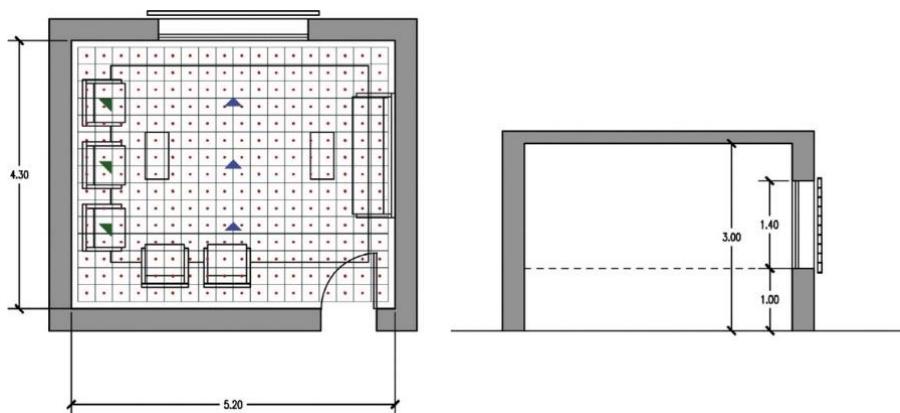


Figura 10: Parámetros arquitectónicos de la sala de estar estudiada. (Sabry, 2014).

Ahmed H Sherif resalta en (H. Sherif, 2012) que el diseño de un dispositivo de protección para iluminación natural eficaz, debe tener en cuenta muchos aspectos como: geográfica, ubicación, condiciones climáticas, orientación del edificio, confort visual, ganancia de calor, así como las necesidades socio-culturales o la privacidad.

Concretamente, Ahmed Sherif en (Sherif, 2012) informa sobre los resultados de una investigación que estudió la influencia del porcentaje de perforación de las pantallas solares en la actuación de la luz natural en un típico salón residencial de una localización desértica. El fin era identificar el porcentaje mínimo de perforación de la pantalla que proporcionara los niveles adecuados de para todo el año, de forma que sean capaces de conseguir una comodidad térmica y eviten deslumbramientos no deseados.

El trabajo de investigación se dividió en tres etapas, en la primera fase se analizaron los niveles de iluminación de luz natural en fechas y horas específicas, demostrando que las pantallas cumplen los requisitos de la mayoría de los casos. Los niveles de iluminación en el espacio residencial examinado fueron satisfactorios en el 83% de los casos en la zona cercana y el 53% en la zona de longitud media, mientras que en la zona lejana era positivo en el 40% de los casos. Con el fin de lograr mejores niveles de iluminación en las zonas media y lejana, se requerían porcentajes de perforación más altos, considerando una distribución de perforaciones no uniforme dentro de la propia pantalla. En cuanto a la influencia de la pantalla frente a la luz natural, se encontró que dependía en gran medida de la orientación de la ventana y el momento del día. En la orientación Sur y Este a las 9:00 y Oeste a las 15:00, los valores de iluminancia eran adecuados en la mayoría de los casos. Esto demostraba que en estas orientaciones, las pantallas podrían ser útiles en el suministro de suficiente luz natural y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de confort térmico, ya que la radiación solar puede ser controlada con porcentajes bajos de perforación. Sin embargo, en la orientación Norte, hubo una disminución significativa en la iluminancia debido a la utilización de estas pantallas. Esto podría atribuirse a la ausencia de la exposición solar directa sobre la pantalla, que hizo de la misma un dispositivo de regulación, en lugar de una herramienta para el control solar.

La segunda etapa se construyó sobre los resultados de la primera, y se dirigió al rendimiento durante todo el año mediante la simulación con *Dynamic Daylight Performance Metrics* (DDPMs). Se comprobó que el porcentaje anual de "luz natural disponible" estaba muy relacionado con el porcentaje de perforación de la pantalla. Al disminuir el porcentaje de perforación, el porcentaje de espacios con luz natural y espacios sobre iluminados disminuía también. Al mismo tiempo, las zonas parcialmente iluminadas aumentaron en porcentajes similares independientemente de la orientación. Como resultado de las etapas de investigación, se recomienda utilizar un mínimo de 80% de perforación en espacios similares al caso probado (espacio pequeño tipo salón residencial) en la orientación Sur.

En la tercera etapa, una investigación inicial sugiere que el uso de pantallas puede reducir significativamente la aparición de fenómenos de deslumbramiento. Además, se sugiere estudiar la eficiencia de pantallas solares con ratios de perforación no uniformes, estos podrían ser útiles en la mejora de los niveles de iluminación en las zonas medias y lejanas de los casos insatisfactorios.

En el estudio (A. Sherif, 2012), Ahmed Sherif se centra en el desarrollo de nuevos sistemas de pantallas solares que contribuyan al ahorro energético. El documento estudia el análisis de la perforación y relación de profundidad en las pantallas para conseguir las configuraciones más óptimas en una ventana para distintas orientaciones. Parece de gran interés en esta época estudiar la prevención del sobrecalentamiento, a través del control del rayo solar transmitido por la ventana. Por lo que el estudio se marca el objetivo de investigar la influencia de la profundidad y los porcentajes de perforación de las pantallas, de forma que se consiga un descenso de la energía necesaria para refrigeración, calefacción e iluminación. En este caso se opta por la utilización del software EnergyPlus.

Con el estudio, se observó que una ventana normal sin protección tenía su pico de consumo en estancias con orientación oeste, suponiendo casi un 45% de la utilización de energía de refrigeración de la vivienda. El norte es la orientación con menor consumo de refrigeración.

Tras este primer acercamiento se comentan los resultados para las distintas configuraciones de pantallas de protección en función de las orientaciones.

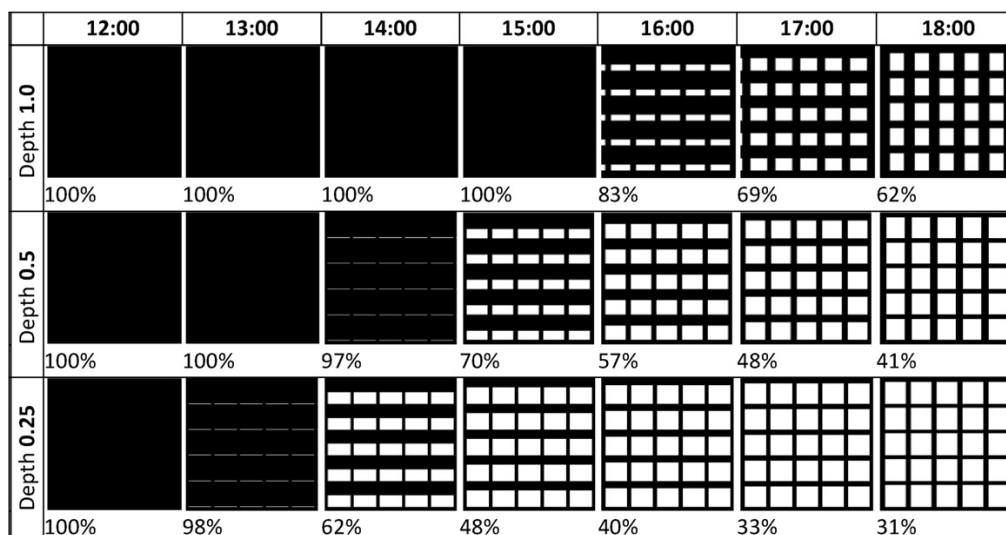


Figura 11: Ejemplo de las gráficas obtenidas del estudio que muestran el porcentaje de sombreado, en función de las distintas relaciones de profundidad. (A. Sherif, 2012)

En la figura 11, las celdas oscuras indican los valores de consumo energético más bajo.

Para el oeste, el consumo de energía más bajo fue localizado en las pantallas con un porcentaje de perforación del 80% y una relación de ancho-profundo de 1.00. Algo más de energía se precisa con configuraciones de PP 80-90% y RP 0.75-2.00.

Para la orientación sur, el mejor resultado se obtiene con pantallas de PP 90% y RP 1.00. Algo más de energía se precisa con configuraciones de PP 80% y RP 0.75-2.00.

Para la orientación este, el mejor resultado se obtiene con pantallas de PP 90% y RP 1.00. Algo más de energía se precisa con configuraciones de PP 80% y RP 1.25-1.05.

Por último para la orientación norte, el mejor resultado se obtiene con pantallas de PP 80% y RP 1.00. Una amplia gama preciso algo más de energía PP 60-98% y RP 0.25-1.25.

Profundizando en un caso concreto, se muestra un ejemplo con relación de profundidad constante de 1.00 en orientación oeste (figura 12), vemos como la energía de refrigeración disminuye de forma gradual para PP de 20-80%. Del mismo modo que le ocurre a la carga de soleamiento. Destacar que la carga de calefacción es insignificante y prácticamente constante. Mientras que la de iluminación disminuye constantemente conforme aumenta el PP.

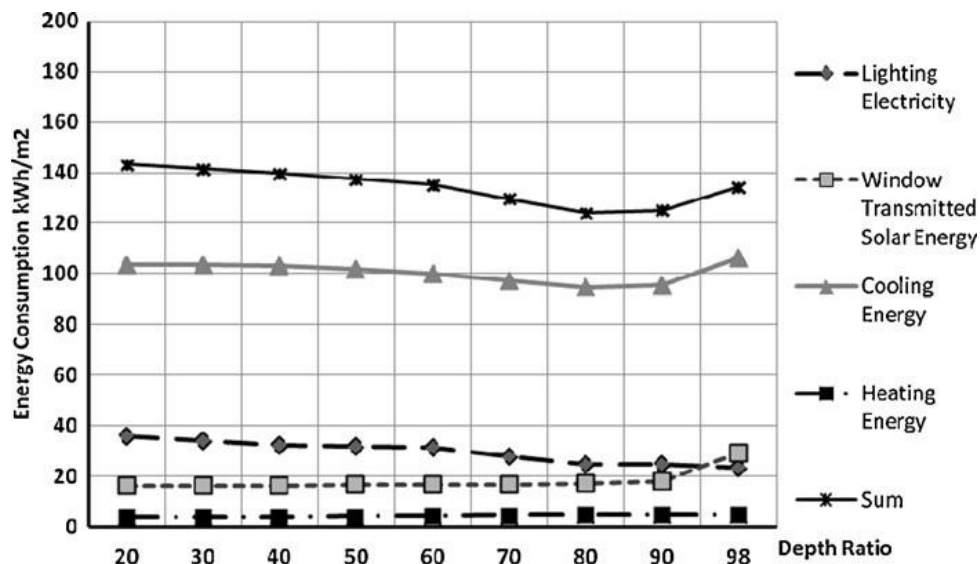


Figura 12: Gráfica para orientación oeste, con RP 1.00. De arriba hacia abajo se muestran valores de: Luz eléctrica, energía solar transmitida por la ventana, energía para refrigeración, energía para calefacción y radiación solar. (A. Sherif, 2012).

Como resumen se aportan unas gráficas que muestran cada una de las orientaciones, en función de una relación de profundidad concreta, para ver cómo afecta el porcentaje de perforación al ahorro energético, figura 13.

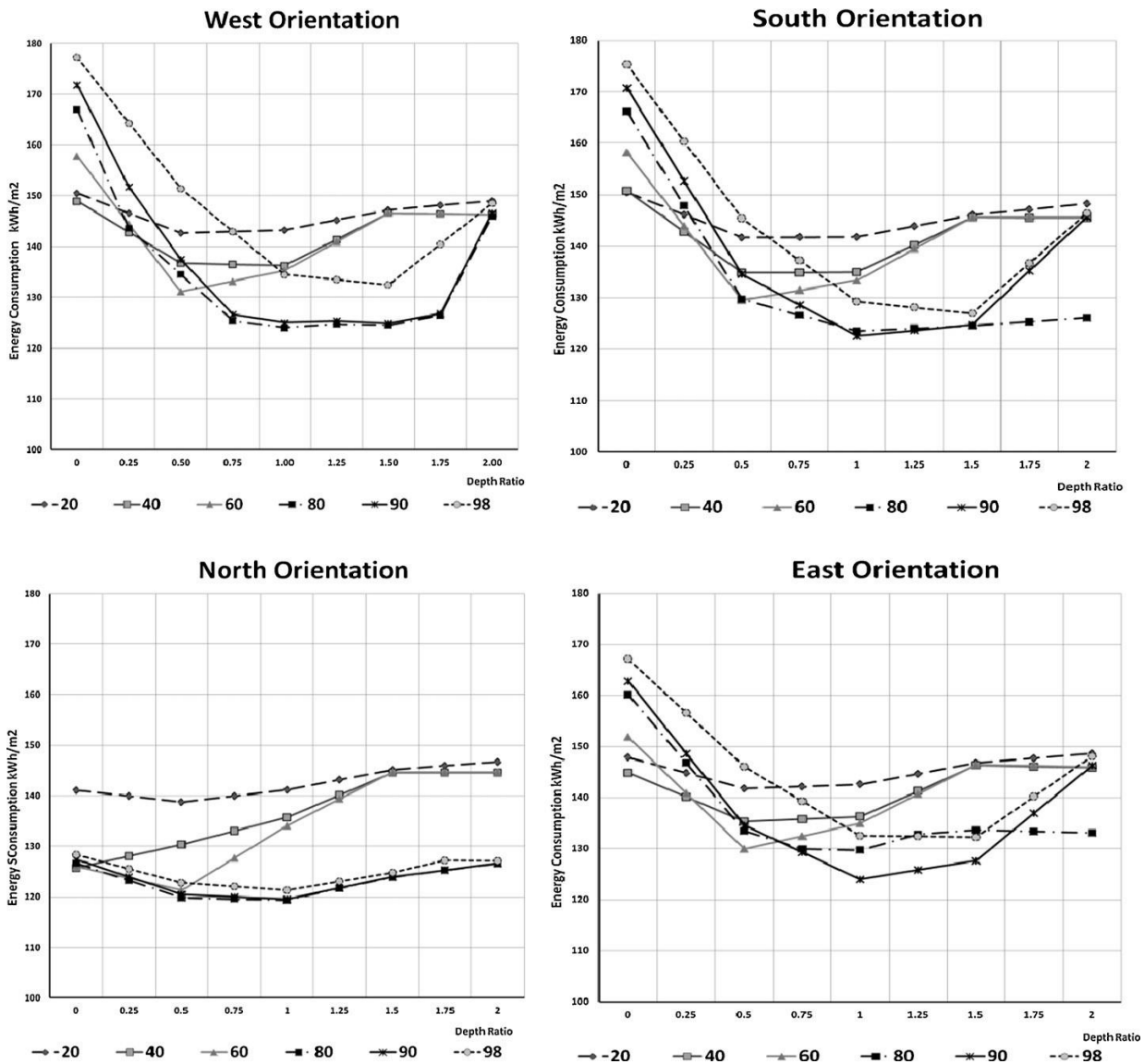


Figura 13: Consumo anual de energía según porcentajes de perforación y orientación. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: Oeste, Sur, Norte, Este. (A. Sherif, 2012).

Para oeste, sur y este, los mayores ahorros se dan para perforaciones entre 80-90% y relaciones de profundidad 0.5-1.5.

Por otro lado el PP de 60% muestra buenos resultados con pantallas finas RP 0.5, mientras que los PP 98% van mejor con pantallas profundas RP 1.5.

Con el uso de pantallas de protección solar, se consiguen ahorros de 30, 30, 26 y 7% respectivamente para las orientaciones O, S, E, N. En algunos casos el uso de pantallas al norte ha llegado a causar efecto negativo por excesivo sombreado.

Finalmente, se llega a la conclusión de que debido al cambio en el ángulo de incidencia de la radiación solar, las pantallas más profundas ofrecen más posibilidades de protección, ya que por las más delgadas pasa mayor radiación aun contando con el mismo porcentaje de perforación.

Hacer uso de este sistema sin un estudio adecuado puede llegar a causar incremento en el consumo de energía, por ejemplo de iluminación, si lo que hacemos es incrementar la sombra en una ventana disminuyendo la iluminación. Resaltar, que en un clima caliente como el del desierto, el uso de pantallas solares ayuda a reducir el consumo energético.

Continuando con el ahorro energético, Ahmed H. Sherif en (H. Sherif, 2012), sostiene que la utilización de la luz del día como un sustituto para la iluminación artificial es una de las formas más efectivas de implementar las energías renovables en los edificios.

Un buen diseño de la luz natural mejora la calidad de vida y de trabajo mediante la creación de un ambiente adecuadamente iluminado mientras conseguimos además un ahorro de energía. Esto es especialmente interesante en el caso del desierto, al igual que en la investigación anterior, un lugar que disfruta durante todo el año de una alta radiación solar, fomenta el uso de la luz natural. También debemos tener en cuenta que en estos climas, la penetración de luz del día puede llegar a ser excesiva en algunos espacios (alta ganancia solar y la luz con distribución no uniforme) que conduce a la aparición de fenómenos de deslumbramiento, por lo que se promueve el uso de estas pantallas solares estudiadas.

De todo el trabajo de investigación que existe sobre pantallas hay muy pocos que se preocupen por el rendimiento de la luz del día, por lo que el principal objetivo de Ahmed H. Sherif, es llegar a diseños de pantalla solares eficientes para adaptarse a las diferentes orientaciones.

Se estudió el impacto del cambio de ángulo de rotación axial en pantallas solares y la relación de apertura de la pantalla en relación con la entrada de iluminación natural. Del estudio, se seleccionaron los diseños que alcanzaron niveles interiores de luz natural adecuados (marcando un valor mínimo y máximo para las zonas más iluminadas y otros para las áreas parcialmente iluminadas), 50% o más de las áreas del espacio estudiado.

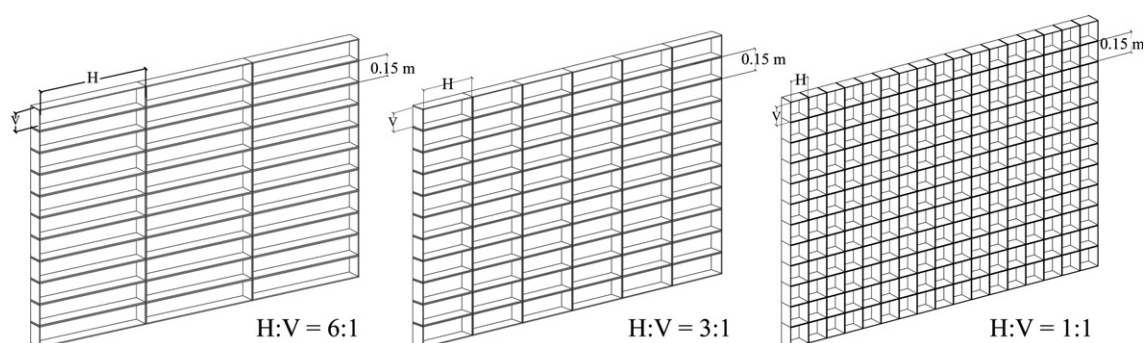


Figura 14: Ejemplo de relación de apertura en algunas de las pantallas solares estudiadas. (H. Sherif, 2012).

Los resultados obtenidos mostraron que en la orientación norte casi todas las opciones probadas daban buenos resultados, los mejores se producían con aperturas horizontales, en relación 12:1 (H:V); se alcanzaron rendimientos de hasta 92% del espacio con iluminación natural, solo un 1% presentaba áreas algo sobre iluminadas.

En orientaciones este se obtuvieron resultados aceptables en iluminación natural y los mejores resultados respecto a la transferencia de radiación solar, al utilizar también una relación 12:1 (H:V), También se obtuvieron valores adecuados al darle una rotación sobre el eje vertical de 30°.

Para la orientación sur, hay muchas opciones también, pero se recomienda la relación de apertura 3:1 (H:V), ya que consigue un ahorro de energía mediante la reducción de radiación solar adquirida del 60%, con un nivel aceptable de iluminación natural.

Para que los resultados de la investigación sean útiles y aplicable a un gran número de casos, el espacio de trabajo y los parámetros fueron cuidadosamente elegidos para reflejar las características más comunes de un espacio de sala de estar típico, comentadas anteriormente. Los espacios que tienen parámetros muy diferentes podrían producir diferentes resultados. Por ejemplo, si la reflectividad de las superficies internas se incrementase, la disponibilidad de distribución de luz natural en el espacio podría mejorar. Esto también se aplica, si la profundidad del espacio se redujese. Esta investigación demostró la utilidad del uso de pantallas solares en la mejora de la iluminación natural en los espacios residenciales. Solo la manipulación de dos de los parámetros de la pantalla solar, mejoran enormemente la distribución de la luz natural.

Un par de años después Hanan Sabry en (Sabry, 2014) realiza un nuevo estudio que viene a completar el anterior, cuyo objetivo es definir un diseño de pantalla que aúne el ahorro de consumo energético con el confort visual hacia el exterior a través de la celosía. El estudio está enfocado a la variación de las aperturas y la rotación axial de la pantalla, para una localización en zona residencial desértica con cielo despejado.

Los parámetros para realizar la prueba se basaron en otros estudios ya realizados y comprobados para poder centrarse en los nuevos. La relación de la profundidad de la perforación y los porcentajes de perforación, se basan en el estudio primero comentado, (A. Sherif, 2012); y el ángulo de rotación axial de la pantalla y su posición (horizontal o vertical) y la relación con la posición de sus aperturas, se obtiene del artículo (H. Sherif, 2012).

En este estudio, Hanan Sabry obtuvo tres modelos para cada orientación, que dieron lugar a cinco diseños de pantallas solares, con los que se hicieron las simulaciones; se buscaban las soluciones que afrontan a la vez la búsqueda de la buena iluminación interior, más la prevención del deslumbramiento, unido a la búsqueda del ahorro energético.

De los cinco casos estudiados, los mejores fueron:

-Las pantallas no rotadas y con relación de apertura horizontal ancha (18:1), dio buenos resultados al norte y sur, y en el este y oeste resultó no ser de las peores.

-Las pantallas giradas en el eje vertical y con pequeñas aperturas en relación (1:1), para el este y oeste y en norte también fueron buenas.

El estudio reafirma los anteriores sobre el beneficio de colocar pantallas solares en ambientes desérticos. Se obtuvieron resultados que proporcionaban un 66-97% de áreas con luz natural, y reducciones del consumo de energía de hasta un 25%. Se observó también que las soluciones combinadas, no tuvieron muy buenos resultados al mismo tiempo para iluminación natural y rendimiento térmico.

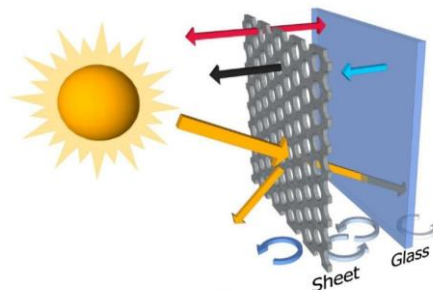
Después de todo el detalle reunido sobre pantallas perforadas, entramos en el sistema posiblemente más controvertido, o el que más dudas genera respecto a su eficacia; sin embargo, es el sistema que actualmente más se está implementando para los nuevos edificios, acabados de chapas perforadas con intención de actuar como elemento de control solar.

Podemos abordar este tema hablando de las fachadas de doble piel, que según Jesús M. Blanco en (Blanco, 2014), se hicieron populares a principios de la década de 1990, como una manera eficaz de satisfacer la necesidad de proveer con un mejor aislamiento térmico y una ventilación natural mejorada a los edificios de tipo muro-cortina. Las fachadas de chapa perforada son un ejemplo de nuevas soluciones de construcción para los edificios. Se utilizan materiales metálicos por su apariencia atractiva, pero también tienen fines funcionales que garantizan la durabilidad y la resistencia. Estos sin duda pueden ser factores decisivos para los residentes; las sensaciones visuales que ofrecen estas chapas desde el interior, son a veces consideradas el aspecto negativo en términos de funcionalidad. La figura 15a muestra un ejemplo de la aparición de este sistema de construcción, utilizado en una fachada particular, mientras que la figura 15b representa el comportamiento térmico de la fachada expuesta a la radiación solar, teniendo en cuenta diferentes flujos de calor, con el ambiente circundante y con la cámara previa al vidrio, incluyendo los términos de convección.

Hasta el momento no se han realizado demasiados estudios detallados sobre las fachadas de doble piel construidas con chapa perforada, pero se esperaba que se comportaran de una manera similar a algunos de los sistemas de protección tradicionales utilizados en los exteriores de los edificios.



a)



b)

Figura 15: a) apariencia desde el interior de un edificio con malla metálica perforada; b) comportamiento térmico básico. (Blanco, 2014).

Según Xavier Ferrés en (Ferrés, 2013), en las envolventes de edificios compuestas por varias capas, una superficie externa metálica, en forma de lámina o malla perforada, cumple una función no solo decorativa; colocada delante de paredes con grandes superficies acristaladas, puede desempeñar una función de parasol o elemento de control solar y visual.

La tecnología, la disponibilidad de materiales y técnicas constructivas de envolventes sobre ventanas complejas o muros cortina, avanza con rapidez y continuamente se abren nuevas posibilidades. Las expectativas de imagen visual de estas envolventes están creando nuevos desafíos. El metal laminado y perforado está desempeñando un papel importante en este campo.

Los edificios no residenciales, son los que más están adoptando este tipo de soluciones. Entre los efectos que "promocionan" los fabricantes de las láminas perforadas, para colocarlas sobre vidrios, está su impacto sobre la iluminación natural (el efecto de filtrado de la luz solar que proporcionan), promoviendo el confort visual, particularmente ayudando a evitar el deslumbramiento por la incidencia de la luz solar directa.

Actualmente se han desarrollado, nuevos componentes de fachada que intentan suministrar mejor iluminación, mientras que puedan proveer también suficiente protección solar y control de deslumbramiento. Debido a esto, en los últimos años, se realizan importantes esfuerzos a fin de entender el comportamiento de estos sistemas de fachadas con chapa perforada. Sin embargo el empleo de estos datos como apoyo a las decisiones de diseño, todavía no se están implementando. Es debido, a que los datos obtenidos son de elevada complejidad y no se ponen en relación directa con la iluminación del espacio interior, sino que suelen responder a flujos luminosos. Este artículo, (Xavier Ferrés, 2013), presenta distintos acercamientos al impacto de la radiación visible de la que dispondrán los ocupantes para desarrollar sus actividades.

Las chapas perforadas suelen aplicarse con porcentajes de perforación entre 30-50%. Los materiales más utilizados para la fabricación de las mismas son el acero inoxidable, aluminio, cobre, acero al carbono y acero galvanizado. Además, existe una opción casi ilimitada de patrones de perforación.

Destacar las características generales de las chapas perforadas: fácilmente maleables, pueden ser pintadas o pulidas, fáciles de instalar, alto nivel estético, gran variedad de diseños contemporáneos, resistencia a la abrasión, disponibles en diferentes espesores, amplia gama de tamaños y patrones, insonorización uniforme, durabilidad y alta resistencia, peso no muy elevado, fácil instalación, resistencia a la corrosión, bajo mantenimiento y longevidad

Para las chapas perforadas hay diferentes procesos de fabricación y una gran variedad de acabados. Dependiendo del uso previsto, las chapas perforadas se trabajan de una manera diferente. El corte se hace por medio del punzonamiento, cizallamiento o una cortadora láser. Después de este proceso, se ofrecen varios métodos de procesamiento, el cepillado, el desengrase y el pulido son tratamientos muy comunes. Remachar, atornillar, encolar y soldar son formas para unir las chapas perforadas.

Como sistema de protección solar tienen la desventaja, de que al ser generalmente fijas, no se pueden ajustar a los cambiantes ángulos de incidencia de los rayos solares.

Las morfologías y tecnologías de las envolventes arquitectónicas tienen un impacto directo en la luz natural disponible en los espacios interiores de los edificios a lo largo del período diurno. Sus influencias, son tanto ambientales, como de rendimiento visual, confort visual y además afectan también al consumo de energía eléctrica (iluminación artificial). La propagación del flujo de luz solar en los espacios interiores de un edificio debe ser evaluada, a través del conocimiento de las propiedades fotométricas bidireccionales de estos materiales de fachadas. Este tipo de análisis permitiría, ya en el nivel del proyecto, definir la combinación adecuada de los elementos de control solar, que serían apropiados a una situación de iluminación dada y buscarían conseguir el máximo confort visual para los usuarios.

Si se verifica desde el diseño y se respeta lo diseñado en la obra al ser ejecutado el proyecto, sería posible evitar el deslumbramiento y el sobrecalentamiento, o la falta de luz natural; de forma que los usuarios no deberán anular las ventanas y consecuentemente se disminuirá el uso de la luz artificial para cubrir las necesidades de iluminación diurna.

Los estudios demuestran que la incidencia de luz solar directa al atravesar las perforaciones y bloquearse en las partes opacas del patrón, se proyecta de forma difuminada y genera contrastes con manchas de sol sobre las superficies de trabajo, reproduciendo el patrón de diseño con contornos borrosos, lo que puede ser algo molesto para el usuario.

El trabajo de Jesús M. Blanco, (Blanco, 2014), presenta un modelo teórico que reproduce con precisión el comportamiento térmico de la chapa perforada y proporciona una descripción detallada de la forma en que fue validado por una experimentación de campo. Se monitorizaron chapas perforadas con diferentes tasas de perforaciones, colores y materiales para obtener las temperaturas de cada configuración. Finalmente, se estudiaron algunos parámetros adicionales, tales como el ancho de separación de la chapa y la ubicación en las diferentes zonas climáticas definidas para España, para la optimización de la sostenibilidad del diseño.

Se realizaron experimentos para diferentes configuraciones sobre un período de 24 h en verano y se presentó la información detallada sobre las temperaturas de estas chapas, de acuerdo con los diferentes parámetros (color, material, radio de perforación). El flujo de calor de la radiación solar intercambiado a través del recinto, entre la chapa, el vidrio y el interior del edificio, también fue modelado.

Con respecto a los materiales y colores, las chapas de acero galvanizado alcanzaron temperaturas entre 4°C y 5°C más altas que las chapas de aluminio anodizado y las chapas pintadas de negro actuaron con temperaturas de entre 6°C y 8°C más bajas que las chapas lacadas en blanco.

En cuanto a las tasas de perforación, existían notables oscilaciones de temperaturas en chapas perforadas, debido a su mayor inercia térmica, pero también debido a la penetración del viento a través de las perforaciones, influyendo

claramente en el proceso de transferencia de calor. Se observaron incrementos de hasta 20°C entre la temperatura interior y la de la superficie de las chapas, para las no perforadas, y de alrededor de 10°C para las chapas perforadas. En todos los casos, las temperaturas máximas de la superficie fueron superiores a 45 ° C para chapas no perforadas, y menores de 35°C para chapas perforadas.

Se observaron diferencias significativas en función del posicionamiento de los sensores de temperatura. Por lo tanto, se distinguió entre sensores abiertos y sensores instalado en carcasas protectoras. Existían diferencias de temperatura de hasta 4°C y 5°C en chapas no perforadas, mientras que el aumento no superó los 2°C en chapas perforadas. Se descubrió que esto era debido a la convección del viento, afectando la lectura de los sensores abiertos.

Siguiendo con la profundización en las mallas, Andrea G. Mainini en (Mainini, 2014) trata la transparencia de las mallas de metal y las chapas de metal perforado; que normalmente se evalúa por el factor de apertura, que es la relación entre las superficies transparentes y opacas. En el primer caso (mallas), la relación depende de la separación y la dimensión de los cables de metal, y en el segundo caso (chapas), depende de la separación y la dimensión media de los agujeros. El rendimiento del sombreado está relacionado con el ángulo de incidencia de la radiación solar en la superficie de la pantalla, afectando a su transmisión de la luz y la energía solar.

Para evaluar la efectividad de las pantallas metálicas como dispositivo de sombreado se necesitan definir adecuadamente las propiedades radiantes (reflectancia espectral de superficies y recubrimientos de metal), la forma y textura del cableado (para redes de malla metálica) o la forma y distribución de los agujeros (para chapas de metal perforadas y estampadas).

El estudio que se referencia, principalmente se refiere a tres categorías de pantallas metálicas: chapas perforadas, chapas estampadas y mallas de rejilla metálicas.

Las muestras seleccionadas presentan un factor similar de apertura, aproximadamente un 40%, pero diferente geometría, con el fin de evaluar la incidencia de la geometría de las pantallas en la luz visible y el ángulo solar.

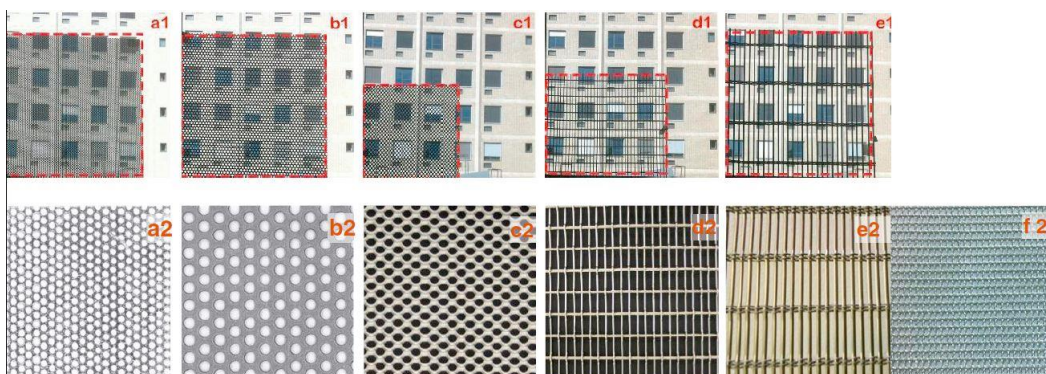


Figura 16: Muestras: a1) Aplicación del test a la muestra R2T3, b1) Aplicación del test a la muestra R4T6, c1) Aplicación del test a la muestra 06003, d1) Aplicación del test a la muestra 00003,

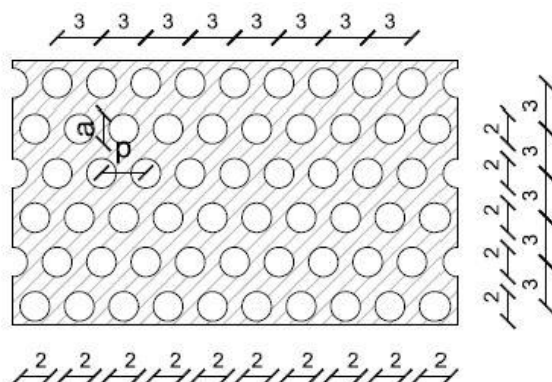
e1) Aplicación del test a la muestra A401, a2) Muestra R2T3, b2) Muestra R4T6, c2) Muestra 06003, d2) Muestra 00003, e2) Muestra A401, f2) Muestra 11016. (Mainini, 2014).

Las chapas perforadas seleccionadas tienen orificios circulares, dispuestos en filas escalonadas a 60° , con el mismo factor de apertura (40%), pero con diferentes diámetros y distancia entre los agujeros. La primera muestra (R2T3) tiene agujeros con un diámetro de 2 mm y una separación de 3 mm, mientras que la segunda muestra (R4T6) tiene agujeros con un diámetro de 4 mm y una separación de 6 mm. La superficie de ambas chapas es plana y todos los agujeros tienen el mismo espesor. La elección de las muestras depende de la posibilidad de evaluar la relación entre el diámetro de los orificios y el espesor de la lámina y cómo esta relación afecta a las reflexiones internas.

Por otro lado, la chapa de metal estampada seleccionada (06003) tiene agujeros dispuestos en filas escalonadas a 60° , con un factor de apertura similar al de las chapas metálicas perforadas (38%). Las diferencias con las chapas de metal perforadas tienen que ver con la geometría de los agujeros y con la superficie no plana de la chapa, debido a la textura 3D particular de la muestra.

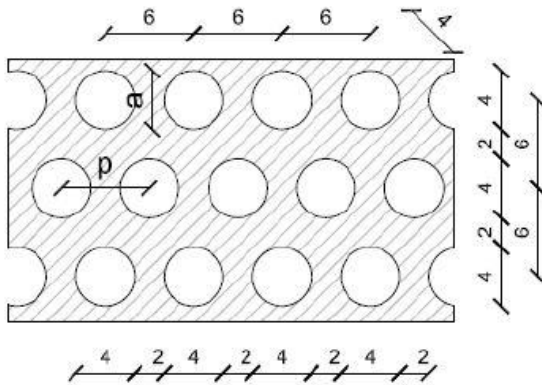
Las rejillas de malla metálicas seleccionadas son dos, ambas de acero inoxidable con un factor de apertura similar. La primera muestra, (00006) tiene un factor de apertura de 44% formado por cable longitudinal con un diámetro de 2 mm y una distancia entre cables de 15 mm; y un cable transversal con un diámetro de 1,5 mm y una separación de 9 mm; el espesor total es de 4,5mm. La segunda muestra (A401) es una tela de alambre con el factor de apertura de 46% compuesta por cable longitudinal de diámetro de 2 mm y separación de 74 mm, y el cordón transversal con diámetro de 3 mm y un distancia de 7 mm; el espesor total es de 6,5mm. Además se ha seleccionado una muestra adicional, la (11 016) que se caracteriza por una malla cuadrada (3x1,5 mm) con un porcentaje de 40% de área abierta.

Chapa perforada, R2T3.



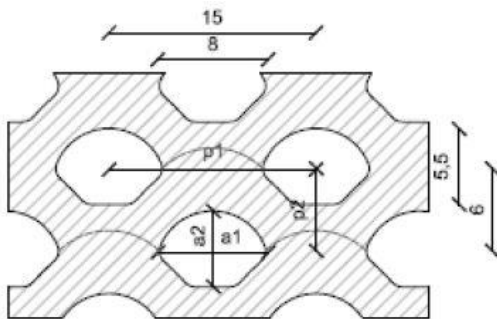
a [mm]	2
p [mm]	3
Openness factor [%]	40
Max. width [mm]	1300
Thickness [mm]	1
Material	Steel
Property	Round holes

Chapa perforada, R4T6.



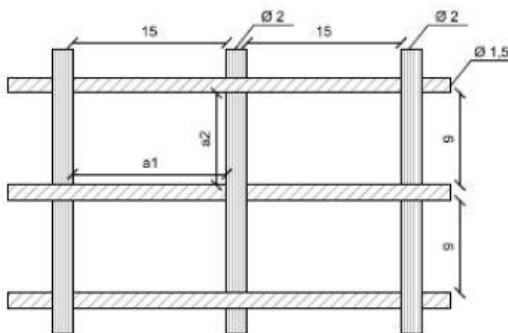
a [mm]	4
p [mm]	6
Openness factor [%]	40
Max. width [mm]	1500
Thickness [mm]	1
Material	Steel
Property	Round holes

Chapa perforada, estampada, 06003.



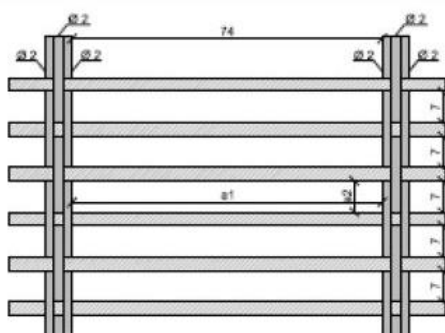
a1[mm]	8
a2[mm]	5,5
p1 [mm]	15
p2 [mm]	6
Openness factor [%]	38
Thickness [mm]	1,5
Material	Steel

Malla metálica, 00003.



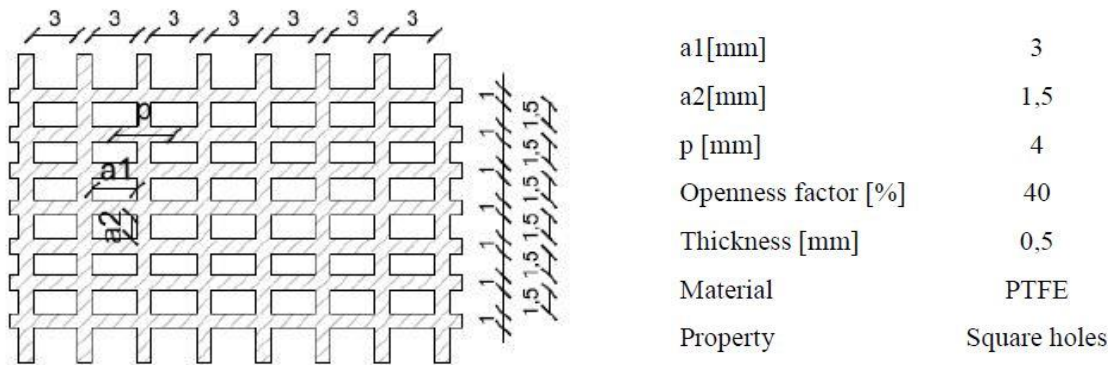
a1[mm]	15
a2[mm]	9
Openness factor [%]	44
Max. width [mm]	2000
Thickness [mm]	4,5
Material	Stainless steel
Property	Wire Ø 1,5; 2

Malla metálica, A401.



a1[mm]	74
a2[mm]	7
Openness factor [%]	46
Max. width [mm]	3000
Thickness [mm]	6,5
Material	Stainless steel
Property	Wire Ø 3; 2

Rejilla metálica, 11016.



Figuras 17-22: Modelos y características de las chapas, mallas y rejillas analizadas. (Mainini, 2014).

Tras el estudio, llegan a la conclusión de que el factor de apertura de las chapas perforadas y estampadas permite considerarlas como protecciones solares; sin embargo, el de la malla de rejilla metálica y la tela recubierta de metal no es un parámetro adecuado para definir las como sistemas de protección solar.

Los resultados de la luz angular y la medición de la transmisión solar se ven fuertemente afectados por la geometría y la relación entre la dimensión de apertura estándar y el espesor del panel. Se debe llevar a cabo una evaluación adicional, de acuerdo con la orientación y la posición del sol prevista, para determinar la posición (rotación en el plano de fachada si existe) del sistema de sombreado, maximizar la luz directa y reducir la transmitancia solar, considerando los requerimientos de luz natural.

Los resultados de la transmitancia solar para una rejilla o malla metálica genérica, si se estudia el sistema como un dispositivo de sombreado, no varían excesivamente en función de la orientación Este u Oeste. En cuanto a la orientación Sur, la transmitancia solar varía notablemente y alcanza el mínimo durante los meses de verano y el máximo durante los meses de invierno. La latitud también influye en los resultados para la orientación Sur. Los lugares sureños tienen una transmitancia solar menor que los del norte.

Para las mismas condiciones climáticas, se realiza una prueba con un vidrio de baja emisividad, el resultado revela que tiene cargas de enfriamiento más altas que las que tienen el vidrio transparente y el sistema de sombreado. La diferencia en las cargas de enfriamiento puede alcanzar hasta el 40%.

Además, la temperatura radiante media percibida en el caso de las mallas y rejillas, es de 3-4 ° C más alta que en el vidrio.

También se realizaron estudios paramétricos sobre la variación de las ganancias solares, para definir la dependencia de la reflectancia solar del recubrimiento del cableado metálico; los resultados muestran que durante los meses

de verano, la incidencia de la reflectancia solar es mayor que en los meses de invierno.

Con todo lo estudiado parece que queda clara la importancia de trabajar en este ámbito, y las líneas generales de conocimiento que se han desarrollado hasta el momento.

Después del repaso realizado sobre las distintas protecciones solares de forma genérica; y la profundización en el conocimiento del funcionamiento de las pantallas solares perforadas y las chapas y mallas perforadas, es necesario para poder realizar un estudio y un análisis propio en el trabajo, conocer los métodos de trabajo actuales, los programas, las herramientas y los condicionantes. Por este motivo se desarrolla a continuación una búsqueda sobre aspectos más técnicos para realizar mediciones y simulaciones virtuales.

Al introducirnos en el campo de la simulación es conveniente conocer algo sobre lo que se está hablando actualmente en este sentido; Carlos E. Ochoa sostiene en (Ochoa, 2012) que las simulaciones de iluminación para la construcción han avanzado rápidamente en las dos últimas décadas. En 1995, todavía había informes sobre deficiencias en la precisión, se calculaba con pocos parámetros, los tiempos de cálculo eran largos, los escenarios simples y existía una desconexión general en la simulación. Estos aspectos han sido abordados con formas más adecuadas de simulación de iluminación en los modelos actuales. Una excepción es la importación y exportación de los modelos, tema que debe tratarse en próximas investigaciones

Algunos aspectos sobre predicción de iluminación, aunque todavía es complejo, se han incorporado en algunos productos utilizados por un público más amplio de diseño, como en el programa 3D Studio. Esto proporciona una dirección interesante para integrar el modelado espacial y la simulación de iluminación. Resulta difícil simular aspectos reales con elementos sencillos para el usuario, por esto muchos de los parámetros se encuentran muy simplificados, por ejemplo los problemas que requieren enfoques dinámicos se resuelven a través de la división en pasos cortos y rápidos. Se ha visto a partir de la literatura que ha tratado el tema, que la exactitud entre lo medido y lo simulado es muy baja, se mantiene en torno al 20%. Adquirir mediciones fiables de reflectividad del entorno es muy complejo, así como reproducir las condiciones de cielo del entorno.

En todo este proceso de mejora, es muy importante la manera en como los usuarios introducen los datos, y esto a su vez es clave para el tipo de resultados que se obtienen. Para mejorar este aspecto serán necesarias funciones que contemplen la reflexión y la transmitancia.

Cabe destacar la importancia de la simulación de iluminación en las imágenes HDR (imágenes de alto rendimiento, render), aunque es un proceso muy complejo ya que conlleva la simulación de la iluminación del edificio completo. Pocos modelos de simulación de iluminación se pueden usar de forma fiable y como soporte del proceso de diseño en arquitectura, son necesarias más investigaciones para llegar a soluciones realmente fiables que integren en el proceso de construcción toda la simulación; y avanzar en estos aspectos requiere importantes inversiones de tiempo,

dinero y recursos humanos, el beneficio debe ser palpable, para no convertirse en iniciativas de investigación estancadas.

Se introducen a continuación, algunos criterios básicos para la realización de mediciones; según Andrea Pattini, en (Pattini, 2002), la Comisión Internacional de Iluminación, designó el año 1991, como el año internacional de la edición de la luz natural, estableciendo tres categorías de medición: la básica, la general y la de Investigación. En las dos primeras, las principales cantidades medidas son iluminancia y radiación, mientras que en la Investigación, se realiza una recolección continua de la distribución de luminancia de cielo, de iluminancia, radiación y otros datos meteorológicos.

Por otro lado cabe destacar los distintos tipos de cielo que se considera: cielo cubierto, cielo parcialmente despejado, y el cielo claro, aparecen distintas definiciones según CIBSE, Estandarización Británica, IESNA, o Estandarización Norteamericana. En cualquier caso, se muestra una definición para cada uno que, según Andrea Pattini valdría en todos los casos.

El cielo cubierto, un cielo de luminancias uniformemente distribuidas, o cielo informe, supone una capa de nubes blancas de espesor constante; por tanto su distribución de luminancias es constante.

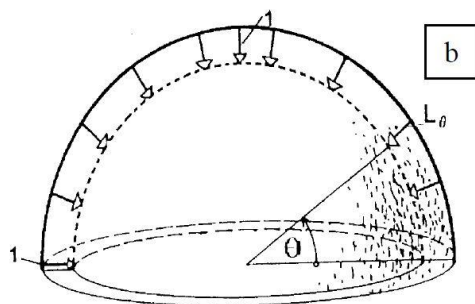


Figura 23: Distribución de luminancia de un cielo uniforme (Pattini, 2002).

El cielo parcialmente despejado, es más difícil de predecir, por la gran variabilidad que presenta; por lo que no existe un modelo específico simple.

El cielo claro implica una bóveda celeste donde el sol no está obstruido por las nubes. Su relación de luminancias es de 1 en el horizonte a 0.5 en cenit.

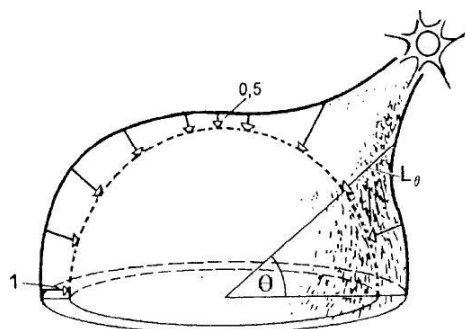


Figura 24: Distribución de luminancia de un cielo claro (Pattini, 2002).

Se definen a continuación los términos claves para entender los aspectos que se están trabajando, basados en la Guía Técnica del (Comité Español de la Iluminación e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2005) y en la tesis Andrea Pattini, (Pattini, 2002).

Se entiende por radiación solar, la radiación electromagnética procedente del sol; mientras que, por radiación solar directa entendemos la parte de radiación solar extraterrestre que alcanza la superficie de la tierra en forma de haz colimado, después de la atenuación selectiva por la atmósfera.

La radiación difusa del cielo, es la parte de la radiación solar que alcanza la superficie de la tierra como resultado de ser difractada por las moléculas de aire, partículas de aerosoles, de nubes u otras partículas.

Como combinación de la radiación solar directa y la difusa del cielo, se obtiene la radiación solar global.

La luz solar por otro lado, es la parte visible de la radiación solar directa.

La luz del cielo es la parte visible de la radiación difusa del cielo.

Y la luz natural o luz día, es la parte visible de la radiación solar global. La luz natural difusa, es aquella que tiene aproximadamente la misma intensidad en todas direcciones, proveniente de la bóveda celeste sin considerar el sol.

Se llama luz solar directa a la porción de luz natural que incide en un lugar específico, proveniente directamente desde el sol. Mientras que por luz solar indirecta se entiende como, la que llega a un espacio determinado por reflexión generalmente en muros, suelos o cubiertas.

La luminancia es la relación entre, un flujo luminoso transmitido por un haz elemental que pasa por un punto dado y se propaga en un ángulo sólido que contiene a la dirección dada, y el área de una sección de ese haz que contiene el punto dado, "luz procedente de los objetos".

Y la iluminancia, contiene el flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto, por el área de ese elemento.

Una vez aclarados los conceptos, buscamos referencias sobre cómo realizar la medición, el protocolo de Morad R. Atif, (Atif, 1997), establece algunos aspectos básicos, en este caso se resumen aquellos que pueden tener mayor interés en este estudio:

- Presentación de la medición:

Debe incluir una semana de medición en el espacio seleccionado, en horizontal. Debe realizarse cercano al 21 de Junio, 21 de Diciembre y 21 de Septiembre o Marzo. Con seguridad la medición tiene que realizarse al menos en las estaciones de verano e invierno; además de un día adicional con cielo nublado. La medición en vertical se realizará para espacios en edificios del tipo

museo, clases, salas de proyección...La medición se realizará con la luz apagada; además deberá medirse de noche con la luz encendida.

A lo largo de una semana se tomarán datos de iluminación horizontal en el exterior.

Un mes de monitorización sobre el consumo eléctrico en el interior del espacio, para verano y para invierno

- Selección de los puntos de medición (oficina privada o similar):

Con una ventana lateral, no debe haber más de dos puntos de medición por zona de iluminación natural, (suelen existir 3; la cercana a la ventana, la intermedia y la lejana) Al menos uno de los puntos debe realizarse a la altura del plano de trabajo, sobre 75cm. Los puntos cercanos a los laterales, deben separarse al menos 1 metros de las paredes, y medirse a la altura del plano de trabajo.

- Medición de iluminación:

Las medidas de iluminación del espacio seleccionado, deben realizarse durante periodos de 3 a 7 días consecutivos, sobre las fechas antes comentadas. Las mediciones se tomarán cada dos horas; empezando a las 8:00, hasta las 18:00, más una a las 20:00; o empezando a las 9:00, hasta las 15:00, más una a las 19:00. Las condiciones de cielo deben quedar referenciadas. Y en todos los casos debe medirse iluminación global interior y exterior. Al tratarse de una medición real en la que las condiciones son dinámicas, y más en el caso de la existencia de ocupantes que puedan distorsionar la medición, se recomienda que las mediciones duren aproximadamente 4 minutos.

Una vez empezamos a introducir el conocimiento para el desarrollo de un modelo virtual, debemos saber que al hacer comparaciones entre los medidos reales, y los obtenidos de las simulaciones; existen diferencias, que deben asumirse y calibrarse en el modelo, debidas a distintos tipos de errores. Existe un texto de Anothai Thanachareonkit, (Thanachareonkit, 2010), donde se habla de sistemas de ventanas compuestas, cuyos resultados sobre los errores o diferencias entre los modelos virtuales y los reales, este artículo expone que los sistemas de ventanas compuestas (CFS) son sistemas de iluminación natural avanzados que están hoy en día disponibles para la arquitectura, a pesar de que algunos de ellos están todavía en la etapa de desarrollo. Los CFS tienen diferentes objetivos: redirigir la luz natural hacia una habitación a fin de optimizar el ambiente luminoso, fomentar el flujo de luz natural en el plano de trabajo y mejorar el confort visual reduciendo los riesgos de deslumbramiento. Por tanto, es necesario que los investigadores y los arquitectos tengan herramientas de diseño precisas para poder evaluar adecuadamente la actuación de los CFS con luz natural.

En estos casos, los modelos físicos y virtuales son extremadamente útiles, y más concretamente cuando se usan CFS. Los modelos juegan un papel importante en la toma de decisiones a lo largo de las diferentes etapas del desarrollo del proyecto, desde el diseño esquemático hasta la presentación del proyecto

arquitectónico. Tanto los modelos físicos (más primarios) como los virtuales, suponen un apoyo importante en la evaluación de la actuación de los CFS con luz natural.

Sin embargo, algunos estudios recientes han mostrado que existe una tendencia de sobreestimación de los modelos virtuales, frente a los reales. El objetivo del estudio de Anothai Thanachareonkit, es hacer una lista y analizar cómo los modelos físicos y virtuales ofrecen una evaluación de la actuación con luz natural, distinta a las de los edificios reales teniendo en cuenta los CFS. Para ello, se determinaron y compararon cuidadosamente tanto el factor de luz natural (para cielo nublado) como el ratio de iluminancia (para cielo despejado/intermedio), evaluados en el edificio real y en los modelos correspondientes.

Para lograr que los modelos reprodujeran de manera precisa el entorno de iluminación correspondiente se identificaron las principales causas de los errores en la evaluación del rendimiento de la iluminación natural y su impacto en la exactitud cuantificada del modelo.

De forma resumida se muestran las conclusiones obtenidas que más pueden afectar a la hora de la comparativa entre modelos físicos, virtuales y edificios reales.

(PDF, factor de luz parcial, permite una mejor simulación del cielo artificial).

(CIE, Commission Internationale de l'Eclairage, 2003)

-Caso 1: Modelo físico a escala, con cielo real.

Diferencia: modelado.

Fuentes de errores: Propiedades geométricas, propiedades fotométricas, sensores fotométricos, escala del sistema.

-Caso 2: Modelo físico a escala, con cielo simulado, cielo estándar CIE

Diferencia: modelado, valores de luminancia del cielo, simulación de luz natural.

Fuentes de errores: Propiedades geométricas, propiedades fotométricas, sensores fotométricos, escala del sistema, distribución de luminancia del cielo, definición del cielo.

-Caso 3: Modelo físico a escala, con cielo simulado, cielo método PDF.

Diferencia: modelado, valores de luminancia del cielo, simulación de luz natural.

Fuentes de errores: Propiedades geométricas, propiedades fotométricas, sensores fotométricos, escala del sistema, distribución de luminancia del cielo, definición del cielo.

-Caso 4: Modelo virtual, con cielo estándar (simulación GenSky).

Diferencia: modelado, valores de luminancia del cielo, simulación de luz natural.

Fuentes de errores: Propiedades geométricas, propiedades fotométricas, propiedades del sistema, distribución de luminancia del cielo, tipo de cielo.

-Caso 5: Modelo virtual, con cielo simulado, cielo método PDF.

Diferencia: modelado, valores de luminancia del cielo, simulación de luz natural.

Fuentes de errores: Propiedades geométricas, propiedades fotométricas, propiedades del sistema, distribución de luminancia del cielo, definición del cielo.

Además de eso, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad de algunas de las principales fuentes de error con el fin proporcionar directrices a los diseñadores.

El análisis realizado permite esbozar algunas sugerencias y pautas para seguir a la hora de diseñar. Además ha sido completado con los observado en el estudio de Diego I. Ibarra, (Ibarra, 2009).

-Detalles en el modelado:

Además de la escala, en los modelos, ya sean físicos o virtuales, hay detalles importantes de reproducir, aunque sean de pequeña escala, normalmente estos últimos suelen obviarse debido a la limitación de tiempo y la dificultad de modelado que tiene, sin embargo pueden llevar a importantes errores. Por este motivo se recomienda implementar con los marcos en las ventanas o los parteluces. Son elementos que pueden redirigir la luz o producir sombras. Realizar los muros con sus espesores reales es un factor también condicionante, no dejarlos como planos. Y por supuesto, la incorporación de los elementos del entorno

- Materiales del modelo:

La selección incorrecta de materiales puede llevar a importantes errores en los modelos físicos. Las propiedades fotométricas superficiales de los materiales son de gran importancia, es importante asegurar la reflectancia precisa de las superficies, especialmente en los espacios interiores donde la luz debe reflejarse. Con cielo nublado los resultados aún empeoran, ya que la componente de radiación directa es más débil. Los materiales deben introducirse siempre conocido el valor más cercano a la realidad (Radiance, te permite de forma sencilla introducir el valor de reflectancia del material). Los errores causados por reflectancia son especialmente frecuentes, en el fondo de la sala en los modelos virtuales.

- Materiales del acristalamiento:

Al ser el medio por el cuál entra la luz en el edificio, las ventanas juegan un papel muy importante. No solo deben ser exactos los detalles y las dimensiones, sino

el material de acristalamiento, especialmente en un modelo físico que es construido. Si la ventana tiene una transmitancia inadecuada, se generan importantes errores en el modelo. Es importante para los dobles y triples acristalamientos a escala, buscar la forma de representar ese espesor que el vidrio termina adquiriendo. En los virtuales estos detalles son más fáciles de simular, pero no deben ser olvidados.

- Simulación de la luz natural:

Las condiciones de cielo real, son la opción más recomendable, factible para los modelos físicos, no en los virtuales; pero, hay que recordar que las condiciones del cielo real son dinámicas, por lo que requieren un mayor número de mediciones. Para evitar las dificultades dinámicas del cielo natural, es posible simular uno artificial, aunque los errores vendrán como consecuencia de las subdivisiones (necesarias para definir el elemento, a más subdivisiones mejor definición, mayores tiempos de cálculo), nunca alcanzan la definición del cielo real, y dan una distribución de luminancia continua. En los modelos virtuales, para la simulación de la luz del día se usa la norma CIE, en general los programas actuales utilizan simuladores para luz natural, que son bastante fiables.

Pasamos al apartado de programas para las simulaciones. El artículo de Christoph F. Reinhart, (Reinhart, 2001), discute la fiabilidad para la simulación de luz dinámica natural, del método presentado por Reinhart y Herkel; si este, es capaz de modelar la dinámica en pequeños pasos de la distribución de la luz interior a gran escala en una oficina, basada en radiación directa e indirecta.

El método se conoce como DAYSIM. DAYSIM es una herramienta de simulación de luz de día basada en Radiance, que utiliza los coeficientes de luz natural de acuerdo al modelo de cielo iluminado de Tregenza y de Perez. Radiance es un trazador de rayos, que utiliza un cielo nublado estándar, y realiza una simulación de forma estática. Este programa ha sido desarrollado por Greg Ward, en Laboratorio Nacional Lawrence Berkely. Aunque ha sido desarrollado originalmente para condiciones sencillas de cielo, existen varios intentos para predecir iluminancias interiores en múltiples condiciones de cielo. Se ha demostrado que DAYSIM, supera a otros métodos de simulación en tiempos y precisiones; por eso este estudio se centra en contrastar la validez de los resultados con respecto a la realidad, teniendo de base la geometría del edificio estudiado, las propiedades de los materiales de las distintas superficies y la radiación directa y difusa.

Anteriormente se había presentado una validación de RADIANCE-based para simulaciones de iluminación interior, en el que utilizó datos reales de cielos para describir la distribución de la luminancia del hemisferio celeste incluyendo el sol. La simulación muestran lo bien que el algoritmo de trazado de rayos Radiance puede modelar iluminancias interiores en condiciones de cielo perfectamente controladas.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por ámbitos:

- Modos de asignación:

Cuando el punto de interés está relacionado con la iluminación solar directa, produce simulaciones fiables de la dinámica de cortos periodos de tiempo, de

iluminancias interiores bajo condiciones de cielo arbitrarias. El test de sombra sólo se debe utilizar cuando se investiga la aparición de deslumbramiento debido a la luz solar directa.

- **Precisión en iluminancias interiores:**

Se ha encontrado que la precisión depende muy ligeramente de la configuración de la persiana o de la condición de cielo.

- **Detalles del entorno:**

La calidad de los resultados de la simulación de luz depende de manera decisiva de si los detalles del paisaje circundante se modelan adecuadamente. La necesidad de modelar cuidadosamente el paisaje circundante se da igualmente para las simulaciones de luz dinámicas y estáticas.

- **Modelo de cielo:**

Un análisis muestra que los errores de simulación son causados a partes aproximadamente iguales por los errores del modelo de cielo y el efecto combinado del método de coeficiente de luz del día, el algoritmo de trazado de rayos y el modelo de CAD.

- **Autonomía de la luz del día e iluminación artificial**

Los resultados del estudio sugieren que la autonomía anual luz del día, se puede predecir con relativa precisión a partir de unos pocos puntos. La demanda de iluminación artificial se puede predecir con una precisión similar bajo las mismas hipótesis.

Todos estos puntos mencionados sugieren que los métodos dinámicos, de simulación de luz natural basados en Radiance, que utilizan el concepto de coeficientes de luz son capaces de modelar de forma eficiente y con precisión los elementos de iluminación natural complicados. Los esfuerzos de planificación extra por el arquitecto o ingeniero para ejecutar una simulación de la luz del día dinámica, en lugar de llevar a cabo un cálculo simple del factor de luz natural, son limitados una vez que se tiene introducido el modelo en el programa. El esfuerzo adicional se compensa con información adicional sobre la situación de iluminación en el interior del futuro edificio, como la predicción de la autonomía de luz del día y la detección de deslumbramiento directo y las variaciones de iluminancia inquietantes.

Para aprovechar al máximo el poder de este tipo de herramientas de simulación en el proceso de diseño, es imprescindible contar con los datos de entrada de irradiación directa y difusa a corto plazo.

Estos aspectos, tanto los teóricos de evolución de las protecciones solares y sus configuraciones, como los más técnicos de mediciones y simulaciones recopilados, permitirán el desarrollo del caso de estudio que se propone en el siguiente apartado.

3. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar siguiendo lo expuesto en el estado del arte será la siguiente:

3.1 Obtención de información técnica

La información necesaria para desarrollar el caso de estudio incluye: la planimetría necesaria para poder levantar el modelo y realizar los planos para las mediciones, así como poder entender el funcionamiento del edificio, esta deberá estar en formato *.dxf* para insertarlo en el programa de trabajo Ecotec; por otro lado, son necesarios los aspectos constructivos y de acabado para poder realizar una simulación lo más cercana posible a la realidad; y finalmente, los datos climáticos serán necesarios para la simulación informática, en formato *.wea*, esta información se conseguirá a través de la web de *EnergyPlus Energy Simulation Software*, (VV.AA., 2015).

3.2 Campaña de mediciones

En este apartado se muestran los aspectos a medir in situ en la visita, para ver cómo afectan los elementos estudiados, en el interior de los edificios.

Como se comentó en el estado del arte, existen tres categorías de medición según Andrea Pattini en (Pattini, 2002), debe decidirse para cada caso, cuál es la categoría necesaria, en función de los requerimientos del estudio o investigación. Y así saber cuáles son los aspectos a medir, siempre para estos estudios tendrán que medirse seguro iluminación y radiación, en cualquiera de las categorías.

Tener en cuenta a la hora de medir, la climatología, el tipo de cielo con el que se debe medir, cuyas características también quedaron reflejadas en puntos anteriores, según especifica Andrea Pattini.

Entramos a definir los instrumentos a utilizar para medir, variarán en función de los parámetros medidos, en cualquier caso para todas las categorías de medición será necesario tomar datos de radiación e iluminación; estos son los dos aparatos que se desarrollan a continuación:

- Por un lado tenemos la toma de datos de radiación: se realizará con el radiómetro "Mac Solar", o similar, este es el medidor de radiación solar SLM 018 c-2. Según PCE Instrumentes en (AA.VV, 2015), la medición de la intensidad de la luz se realiza con células solares de silicio monocristalinas que además reciben el abastecimiento de energía del aparato. El procesador integrado en el radiómetro solar realiza una corrección automática que hace que se mantenga la precisión básica después de la calibración de cada aparato en el simulador solar. En todos los modos de medición se representan en el aparato las magnitudes de medición a elegir entre P_{tot} (en W/m^2), P_n , U_n , I_n (en %) o T (en $^{\circ}C$).



Figura 25: Visión frontal y trasera del radiómetro. (AA.VV, 2015).

- Por otro lado, la toma de datos de iluminancia, se realiza con un luxómetro tipo PCE-174. Según PCE Instruments, en (AA.VV, 2015), es un medidor de precisión para medir lux, cumple todas las normativas españolas e internacionales para este tipo de luxómetros. Importante a destacar los rangos: 400.0 /4000 lux, 40.00 / 400.0 Klux.

Estos rangos mencionados serán los utilizados para la medición, ya que existen grandes diferencias entre las medidas en exterior, para las que se suele trabajar en Klux, y las medidas en interiores que permiten un rango menor, y se realizarán en lux.



Figura 26: Visión frontal del luxómetro. (AA.VV, 2015).

Los puntos de medida que se deben realizar son los recomendados por el protocolo de medición de Morad R. Atif ,(Atif, 1997), que ya se comentó en el estado del arte. En resumen se destaca la separación a todas las paredes de 1 m, y el establecimiento de una malla, con distancias aproximadas de un metro también entre puntos de medida; la altura de medida recomendada es la del plano de trabajo, entre 75-80cm; existirán al menos dos puntos de medición en cada una de las franjas de la estancia (franja cercana a la ventana, intermedia y lejana). En el caso de no poder desarrollar un estudio completo tal como marca el protocolo, deberán exponerse las diferencias y los motivos.

3.3 Simulación informática

Para la simulación informática, nos basamos en lo estudiado en el estado del arte, conociendo las validaciones realizadas de Christoph F. Reinhart en (Reinhart, 2001), y los errores más frecuentes a la hora de realizar el modelo, de Anothai Thanachareonkit en (Anothai Thanachareonkit, 2010) y de Diego I. Ibarra en (Ibarra, 2009); lo más recomendable es: realizar el modelado en Ecotec, rodado en el motor de cálculo DAYSIM, el cual apoya las simulaciones que realiza en Radiance.

De forma que Ecotec nos permite realizar el modelo en 3D, en el que se deben incluir, las estancias que van a ser estudiadas, rodeadas al menos del plano de fachada que las una; con el pavimento del entorno y los edificios y elementos que configuren ese entorno, y que puedan generas sombras y reflejos.

Además Ecotec, también nos proporcionada análisis de soleamiento, con el uso de la proyección estereográfica.

Sobre Ecotec, Paula Esquivias Fernández en su tesis en desarrollo (Fernández, 2015), expone que se trata de un programa que sirve de interfaz gráfica, y además para completar con datos sobre incidencia de luz natural en los espacios. Se organiza por páginas, paneles, menús de comandos y ventanas de diálogo. Importante destacar que para la creación de un modelo, además de la generación del modelo geométrico, es preciso definir algunos datos de entrada, referidos a la localización, propiedades de los materiales, condiciones operacionales de sus zonas térmicas, además de los detalles de visualización del modelo o los parámetros de cálculo, en función de los tipos de análisis.

Una vez el modelo definido, se exporta al motor de cálculo Daysim, este programa te permite obtener datos de iluminancias por tiempo y datos de radiación del mismo modo. Daysim, requiere la introducción de un archivo climático y un modelo tridimensional sobre el que realizar los cálculos. El archivo climático debe ser con formato Daysim, cuya extensión es .wea, o un archivo de EnergyPlus, con extensión .epw, y convertirlo a .wea con el propio programa. El modelo 3D puede realizarse a través de Ecotec, o con programas como *3d Studio*, con extensión *.3ds; o archivos de Radiance con extensión *.rif.

Pasos a seguir en Ecotec:

1º: Introducción de los datos climáticos, configuración de los mismos.

2º: Introducción de los materiales. A la hora de introducir el modelo en Ecotec se han de asimilar los materiales reales, por parámetros lo máximo posible a la realidad, en función de su transmitancia, admisión, absorción solar, transparencia, color y especularidad.

3º: Introducción del plano guía como formato .dxf

4º: Levantamiento del modelo, con ayuda del resto de planimetría.

5º: Aplicación de los materiales en el modelo, a las distintas superficies.

6º: Creación de las mallas para realizar los cálculos en los interiores de las estancias, se definirán con las filas y columnas coincidentes con las realizadas en la medición, separadas 1m de la pared y a 0.80m del suelo

7º: Una vez con el modelo levantado, los materiales definidos y aplicados, y creadas las mallas, se pasa a exportar a Daysim para realizar el cálculo. Lo primero que se debe hacer es configurar en Ecotec las preferencias generales, para que la biblioteca general de materiales por defecto sea la de Daysim; y el directorio de exportación de materiales esté en la carpeta de materiales dentro de Daysim en el ordenador.

8º: Con todo esto, desde Ecotec solo queda ir a la pestaña de exportación y seleccionar el botón de exportación, nos permite guardar en la ruta que especifiquemos (la ruta debe dejarse donde la establece en la carpeta de Daysim, no poner ningún espacio en los nombres de la ruta).

9º: En el proceso de exportación es preciso vincular de nuevo el archivo climático a Daysim, además la reflectancia del entorno que aparece por defecto en 0.2, puede ser modificada en función de los criterios del estudio. El cálculo de datos se fija para el período de tiempo que convenga en el trabajo de investigación.

10º: Después de esta configuración realizaremos tantos cálculos como en la medición real, para poder comparar los resultados. Debe de marcarse la escena de complejidad 1 ó 2, en función de si se quieren un cálculo más o menos fino.

Finalmente con todos los pasos necesarios, tanto en Ecotec (modelado); como en Daysim (cálculo), solo resta darle al botón de calcular y esperar los resultados, los cuáles se obtienen en un documento de texto como valores temporales (según el período de tiempo establecido en las configuraciones), de los distintos valores calculados. Estos datos deben filtrarse y procesarse, para obtener conclusiones y poder analizarlos.

3.4 Calibración del modelo virtual

El proceso de cálculo y exportación a Daysim, se realiza en varias etapas. Lo primero es calibrar el modelo, es necesario conocer el error que existe entre la realidad y la simulación.

Para realizar la calibración es necesario hacer la simulación con diferentes parámetros. Estos parámetros pueden variar sobre todo de los aspectos que sean más difíciles de simular, o de los que se tenga más incertidumbre.

Se realizará un cálculo para el espacio más representativo del elemento a calibrar, con cada uno de los parámetros posibles; al obtener los resultados, se compararán los simulados con los obtenidos por medición real in situ, y se seleccionará la configuración de material más cercana a los resultados reales.

Se puede establecer en porcentaje cual es la variación existente entre realidad y modelo virtual, y ya con la configuración definitiva, realizar el resto de cálculos.

3.5 Aplicación a un caso de estudio

Tras la investigación realizada y el creciente interés por la utilización de mallas como acabado exterior y sistema de protección solar, se opta por la búsqueda de un edificio que aplique este tipo de solución, para realizar el estudio de la malla metálica y aplicar la metodología explicada.

Aparecen dos edificios de reciente construcción en Sevilla a los que se puede llegar a tener acceso, y que cumplen los requisitos; ambos proyectos del estudio

Alminar de Sevilla, se estableció contacto con el arquitecto Rafael Aguilar, quien facilitó todos los datos necesario técnicos y colaboró para poder realizar las visitas pertinentes a los edificios.

Por un lado el edificio de la Policía Local de Sevilla, ubicado en la Ronda del Tamarguillo, que fue inaugurado en 2011, consta de dos grandes superficies acristaladas en las fachadas este y sur, muros cortina desde planta baja hasta planta tercera. Toda esta superficie se ve protegida por una malla con la tipología que aparece en la figura 29.

Al realizar la visita al edificio en Febrero, una mañana, las condiciones térmicas en el interior de las oficinas ubicadas en esta esquina del mismo, son muy desfavorables, y los usuarios tienen quejas por ello, incluso en la época de invierno por la mañana, estas estancias demandan refrigeración, lo que eleva el consumo del edificio. Todo lo contrario a lo que se promueve en este trabajo y lo que se busca a la hora de colocar una protección solar, pero como se ha visto anteriormente, un mal diseño, o el confiar una función de protección a un material que no tiene las características para ello, puede dar lugar a estas situaciones. Finalmente, tras la visita se desecha el caso por diferentes complicaciones a la hora de obtener la información constructiva y demás detalles; problemas de confidencialidad y seguridad, por el uso del edificio.



Figura 27: Vista exterior Jefatura de la Policía Local de Sevilla. Fuente: El Correo de Andalucía, 05-03-2015.

Al hablar con el arquitecto sobre la situación, se comenta la posibilidad de continuar el estudio, aplicado a otro edificio en el que ha dispuesto la misma malla, empleada con la misma función de protección solar

Se encuentra colocada en el **Hospital Fátima** (figura 28), situado en la Avenida de la Palmera, 2, también en Sevilla. En este caso, y sin problema, se obtiene toda la información planimétrica y fotográfica, así como el acceso al edificio para poder realizar las mediciones que requiere el estudio. Por lo tanto finalmente este es el caso que va a tratarse como práctica.



Figura 28: Alzado sur, Hospital Fátima, Sevilla. Fuente: Estudio de Arquitectura Alminar.

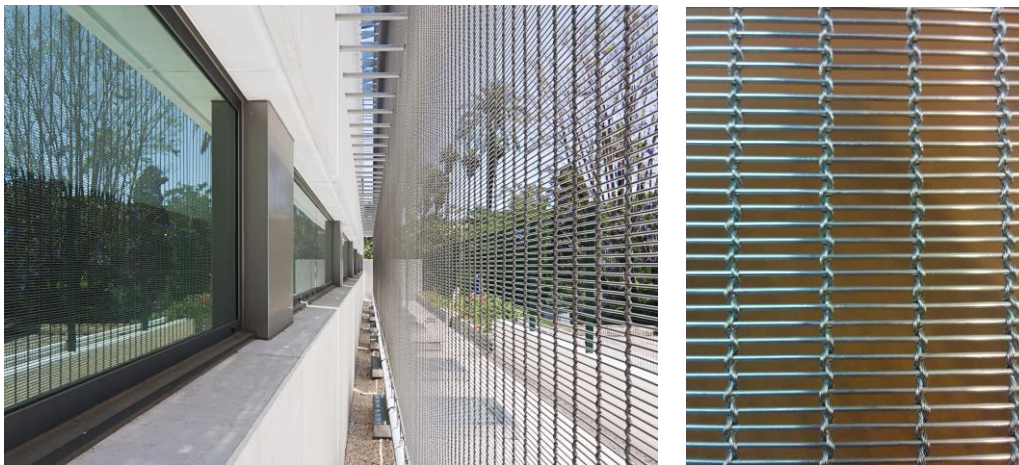


Figura 29: Malla de acero inoxidable colocada en el proyecto. Fuente: Estudio de Arquitectura Alminar.

3.5.1 Obtención de información del caso de estudio

Una vez decidido el caso de estudio como representativo del uso de una malla metálica, con alto porcentaje de perforación, como elemento de protección solar para la fachada sur; se pasó a la obtención de los datos técnicos que permiten el desarrollo del estudio. Estos datos son proporcionados por el Estudio Alminar, que además facilita el contacto con los fabricantes de la malla, los cuáles aportan todos los datos geométricos de la misma. Alguna información se completa consultando la web.

Los aspectos constructivos que nos interesan:

- Malla metálica: Malla de de Finsa Arquiectura, S.L., tipo Tigris. Ejecutada en acero inoxidable AISI 316L. Superficie abierta (transparencia) 62.1%. Diámetros de hilos: cable 3x2mm, varilla 3mm. Paso entre cables de 80mm, paso entre tramas de 10mm. Espesor total 6.2mm. Peso 6 KG/m²
- Fachada: Espesor final 35 cm. Acabado interior, doble placa de yeso acabada pintada en crema, muy claro. Acabado exterior con panel de GRG blanco.

- Particiones interiores: Espesor final 15 cm. Acabado a ambos lados de placa de yeso con acabado en vinilo crema claro.
- Vidrios: Espesor final 26mm, compuesto por luna interior templado de 10mm, cámara de 6mm y vidrio laminar stadip 5+5. Carpintería de haya vaporizada.
- Carpinterías: Aluminio Technal anodizado inoxidable.
- Suelo *: Mármol serpegeante italiano de 40x60 cm y 2cm de espesor. Color crema vetado. Coeficiente de absorción,(% en peso) 0.32, (% en volumen) 0.73
- Techos: Falso techo continuo de placas de yeso prefabricado, acabado con pintura blanca.
- Puertas: Hoja modelo Sandwich, maciza de poliestireno, acabada en estratificado de alta presión de 3mm. Color madera clara.
- Espesor total desde falso techo hasta solería terminada de planta superior, 83 cm.
- Lamas horizontales: lamas metálicas de acero inoxidable.

*La información sobre el coeficiente de absorción se recoge en la ficha técnica obtenida de (AA.VV, 2015).

A continuación se presenta la planimetría acotada con la que desarrollará el modelo.

Alzado Suroeste:

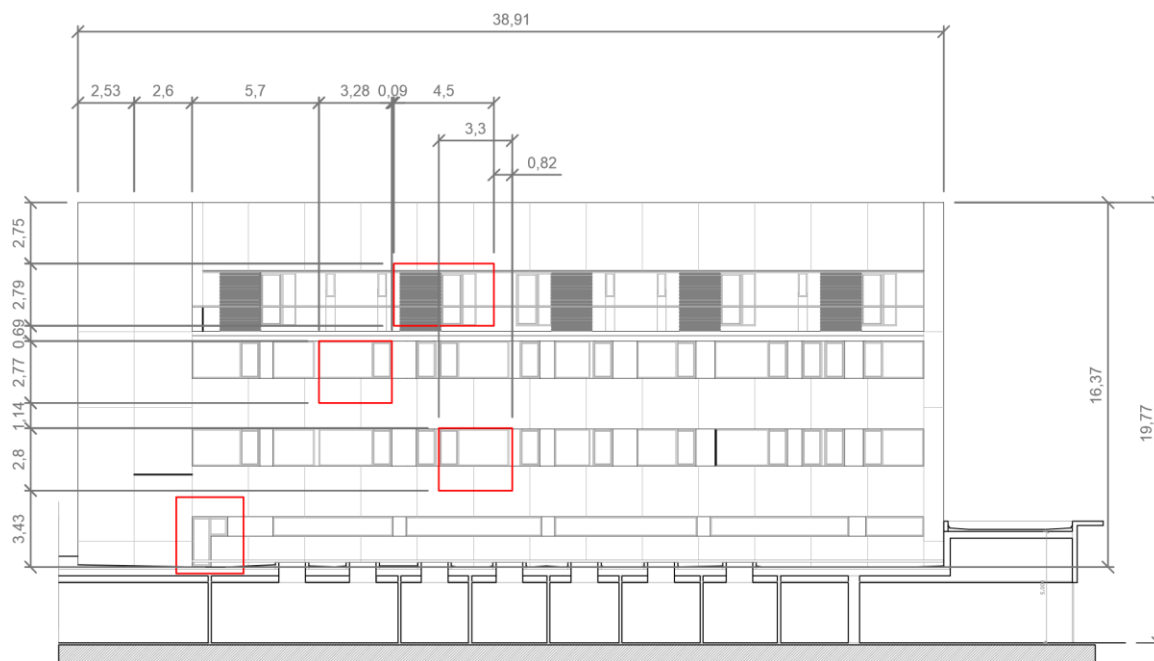


Figura 30: Alzado acotado

3.5.2 Campaña de mediciones

En este apartado se muestran los aspectos a medir in situ en la visita, para ver cómo afectan la malla y el vidrio colocado, en el interior de las habitaciones.

De las tres categorías de medición en este caso para el trabajo que se está llevando a cabo, se opta por la básica; por esto, se medirá iluminancia y radiación.

Además a la hora de realizar las mediciones, se opta por realizarlas en un día de cielo claro, ya que es el más representativo dentro de una campaña completa de medición. En la figura 33 se muestra una imagen del día de la medición (17-06-2015), se aprecia ese cielo claro.



Figura 33: Foto tomada in situ, el día de la medición (17-06-15) a las 14:15.

Todo el proceso de medición expuesto en el estado de la cuestión y en la metodología, no puede llevarse a cabo por la brevedad temporal para el desarrollo del trabajo, por lo que se realiza una sola visita, la cual se programa para que al menos coincida con una de las fechas en las que deben llevarse a cabo las mediciones, Junio, cerca del 21 y en un día claro.

Una vez con los datos previos y el conocimiento de los instrumentos; se realiza la visita el día 17 de Junio de 2015. Las medidas se toman en los puntos marcados en el plano a continuación, a las distancias marcadas y a la altura establecida de 80cm desde el suelo. Ambos medidores (luxómetro y radiómetro) se colocan paralelos y orientados hacia arriba, (midiendo en Z positivo), garantizando que no hay obstáculos entre las ventanas y los medidores, para que los datos no queden desvirtuados.

Se ha decidido medir en 4 zonas distintas, una de ellas para poder obtener datos concretos de la malla, y las otras 3 en habitaciones, una por cada planta por tratarse de los espacios más representativos de este edificio de carácter hospitalario (se intenta dentro de la disponibilidad del edificio medir en habitaciones de la misma vertical):

- Planta primera: Medición exterior fuera de la malla, medición exterior dentro de la malla, medición interior con malla y vidrio.
- Planta segunda: Medición interior en habitación 111, según malla estipulada.
- Planta tercera: Medición interior en habitación 215, según malla estipulada.
- Planta cuarta: Medición interior en habitación 316, según malla estipulada, y por exterior e interior del vidrio.

*plano en la siguiente página.

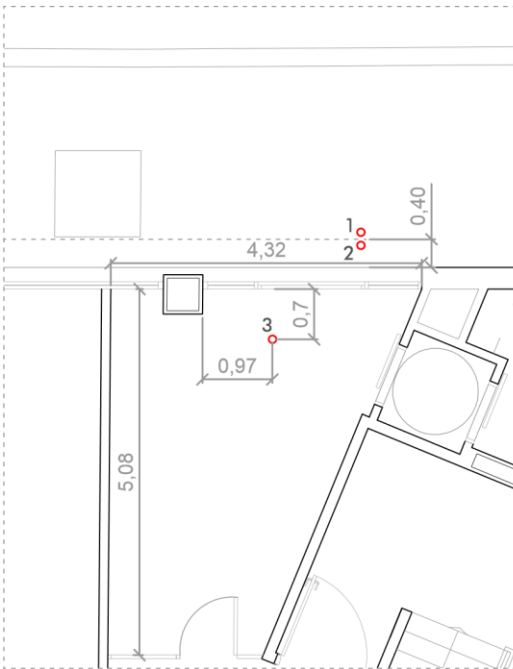
Alzado suroeste. Resaltadas zonas de toma de datos.



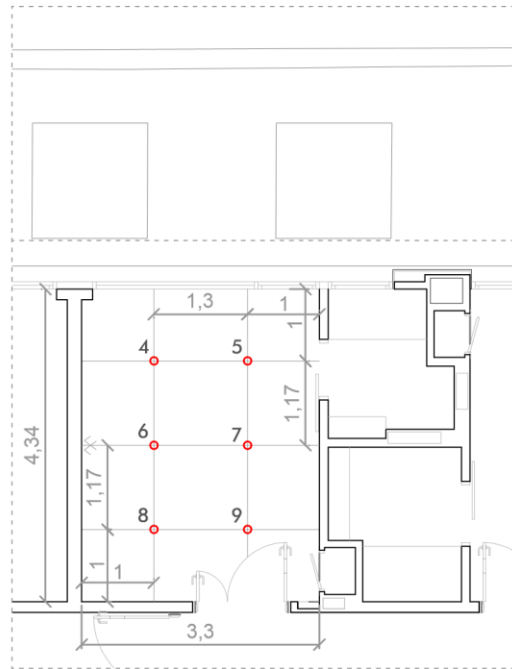
Escala alzado: 1/300
Escala plantas: 1/100

Acotado en metros.
Datos mediciones:
- Todas las mediciones se realizan a 0.80m de altura.

Planta primera. Sala de espera.



Planta segunda. Habitación 111.

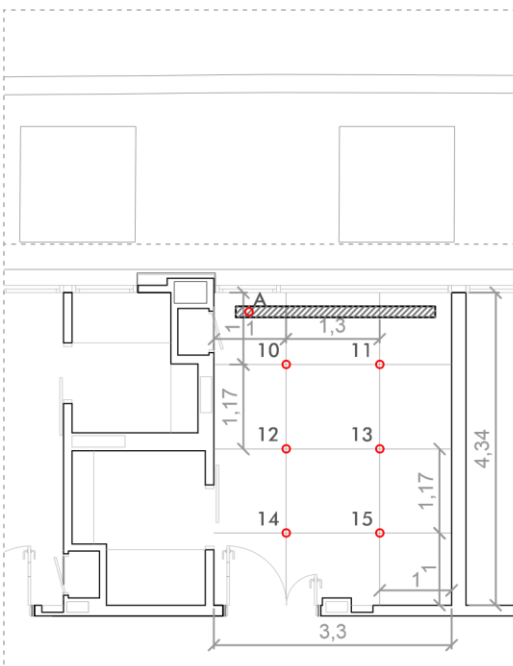


Hora:13:10
P1 : 993 W/m2
123 K lux
P2 : 68 W/m2
7,3 K lux
P3 : 8 W/m2
700 lux

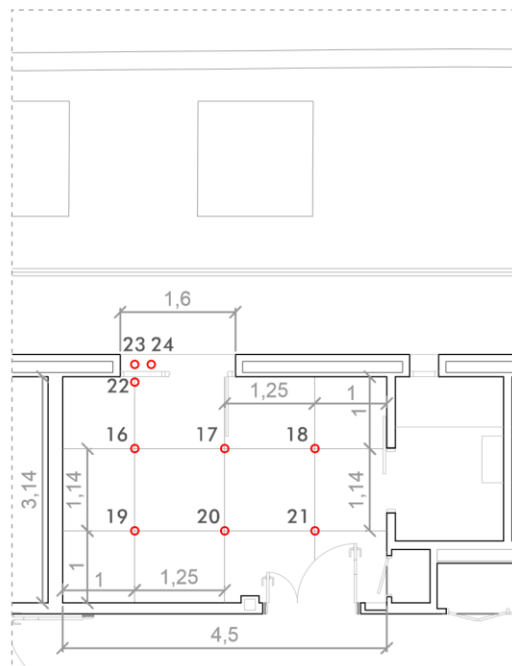
Hora:14:00-05
P4 : 6 W/m2
725 lux
P5 : 6 W/m2
710 lux
P6 : 3 W/m2
365 lux
P7 : 3 W/m2
333 lux
P8 : 3 W/m2
265 lux
P9 : 3 W/m2
230 lux

Hora:13:35-40
P10 : 6 W/m2 **Mancha solar**
865 lux **A: 87 W/m2**
P11 : 8 W/m2 15 K lux
1015 lux

Planta tercera. Habitación 215.



Planta cuarta. Habitación 316.



P12 : 5 W/m2 510 lux
P13 : 5 W/m2 540 lux
P14 : 3 W/m2 334 lux
P15 : 3 W/m2 445 lux
Hora:14:00-05
P16 : 3 W/m2 P22:9 W/m2 1260 lux
410 lux **Sombra**
P17 : 5 W/m2 P23:33 W/m2 6 K lux
415 lux **Sol**
P18 : 2 W/m2 P24:954W/m2 145 K lux
160 lux
P19 : 3 W/m2 280 lux
P20 : 3 W/m2 280 lux
P21 : 2 W/m2 150 lux

3.5.3 Simulación informática

Siguiendo la metodología expuesta, utilizamos Ecotec para realizar el modelo en 3D, en el que se incluyen: las tres habitaciones en las que se realizan las mediciones, la fachada sur completa con la malla, los edificios del entorno cercano y la protección solar horizontal adicional que aparece en planta cuarta (figura 35).

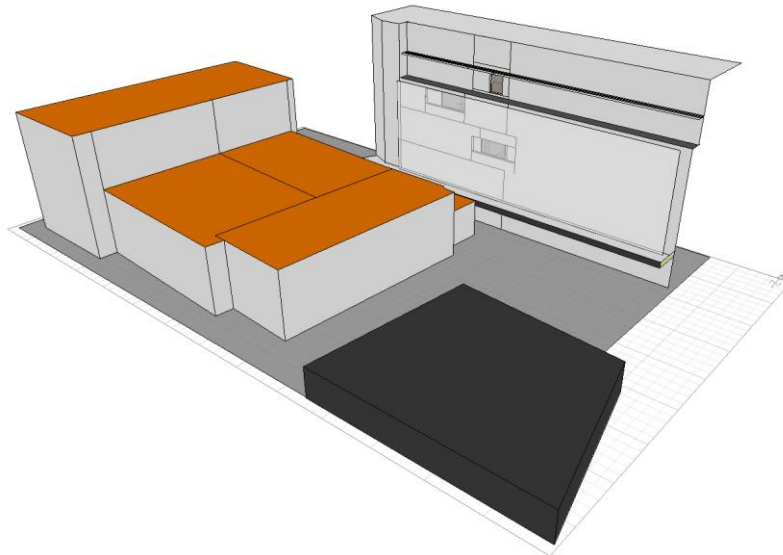


Figura 34: Vista del modelo extraída desde Ecotec.

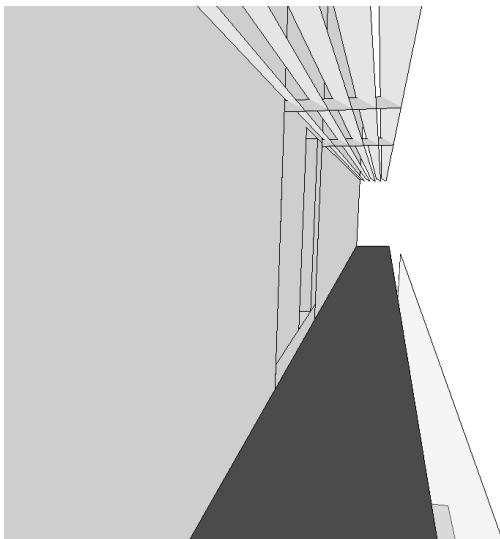


Figura 35: Detalle lamas inclinadas 30° en planta cuarta. Obtenida de Ecotec.

Además Ecotec, también nos proporciona análisis de soleamiento, con el uso de la proyección estereográfica, y lo rodaremos en Daysim para calcular, con el apoyo de Radiance.

Pasos a seguir en Ecotec:

1º: Introducción de los datos climáticos, configuración de los mismos. Se trabaja con el archivo climático de Sevilla.

2º: Introducción de los materiales. A la hora de introducir el modelo en Ecotec se han asimilado los materiales reales en el programa con las siguientes características:

	Techo	Puertas	Suelo	Grava	Suelo terraza
U-Valor (W/m2K)	5,16	3,31	2,56	2,56	2,56
Admisión (W/m2K)	4,96	0,87	4,2	4,2	4,2
Absorción solar (0-1)	0,248	0,406	0,47	0,25	0,73
Transparencia (0-1)	0	0	0	0	0
Color (reflect.) Inter. y Exter.	R:0,835	R:0,66	R:0,58	R:0,824	R:0,294
Especularidad	0	0	0	0	0

	Lama	Paredes	S. Entorno	Hierba	Tejas
U-Valor (W/m2K)	5,55	1,72	2,56	2,56	3,1
Admisión (W/m2K)	5,55	4,22	4,2	4,2	3,1
Absorción solar (0-1)	0,19	0,27	0,47	0,82	0,576
Transparencia (0-1)	0	0	0	0	0
Color (reflect.) Inter. y Exter.	R:0,898	R:0,808	R:0,588	R:0,200	R:0,471
Especularidad	0	0	0	0	0

Tabla1: Configuración de materiales para Ecotec.

El material techo, aplicado a los techos interiores de las habitaciones.

El material puerta, aplicado a la puerta de acceso a las habitaciones y a las interiores de acceso a los baños.

El material suelo, aplicado a los suelos interiores de las habitaciones.

El material grava, aplicado al plano de suelo exterior del que nace la malla.

El material suelo terraza, aplicado al plano de suelo exterior de la terraza de la cuarta planta.

El material lama, aplicado a las lamas sobre la terraza de la planta cuarta.

El material paredes, aplicado a paramentos verticales interiores y exteriores, de fachada y de entorno.

El material S. Entorno, aplicado al suelo del entorno.

El material Hierba, aplicado a los elementos del entorno que están cubiertos por vegetación.

El material teja, aplicado a las cubiertas del entorno.

	Vidrio
U-Valor (W/m2K)	1,50
Admisión (W/m2K)	60,00
Coef. Ganancia solar (0-1)	0,39
Transparencia (0-1)	0,27
índice de refracción vidrio	1,74
Color (reflect.) Inter. y Exter.	R:0,502
Especularidad	0

Tabla 2: Configuración de vidrio para Ecotec.

El material vidrio, aplicado a los vidrios de las habitaciones.

	Malla medición	Malla comercial	Malla lama	Malla texto
U-Valor (W/m2K)	5,55	5,55	5,55	5,55
Admisión (W/m2K)	5,55	5,55	5,55	5,55
Absorción solar (0-1)	0,19	0,19	0,19	0,19
Transparencia (0-1)	0,068	0,621	0	0,46
Color (reflect.) Inter. y Exter.	R:0,898	R:0,898	R:0,898	R:0,898
Especularidad	0	0	0	0

Tabla 3: Configuraciones de la malla para Ecotec.

El material malla, tiene distintas configuraciones, ya que será necesario realizar distintos cálculos para poder calibrar el modelo, como se especificará en el siguiente apartado.

3º: Introducción del plano guía como formato .dxf (figuras 31 y 32).

4º: Levantamiento del modelo, con ayuda del resto de planimetría (figuras 28 y 30).

5º: Aplicación de los materiales en el modelo, a las distintas superficies, según lo establecido anteriormente en el paso 2.

6º: Creación de las mallas para realizar los cálculos en los interiores de las habitaciones, las definimos con las filas y columnas coincidentes con las realizadas en la medición, separadas 1m de la pared y a 0.80m del suelo

7º: Configuramos en Ecotec las preferencias generales, para que la biblioteca general de materiales por defecto sea la de Daysim; y el directorio de exportación de materiales, sea en la carpeta de materiales dentro de Daysim en el ordenador.

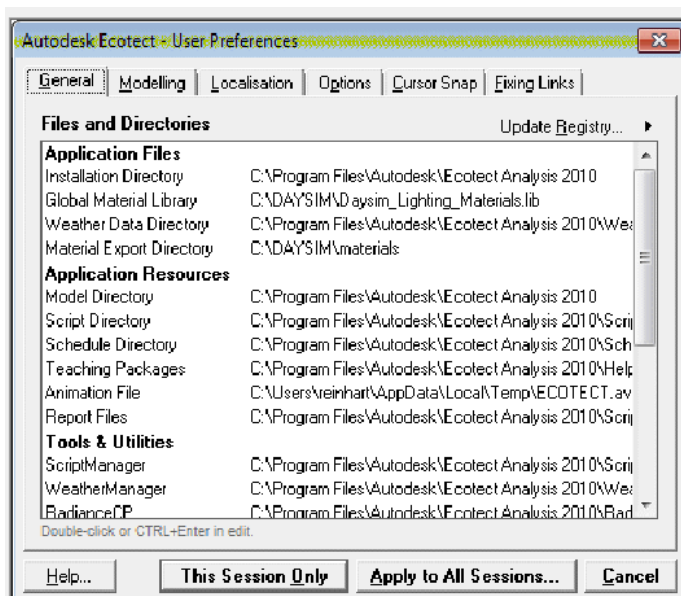


Figura 36: Actualización de la librería de materiales y el directorio de Daysim

8º: Procedemos a la exportación con la configuración mostrada en la figura 37.

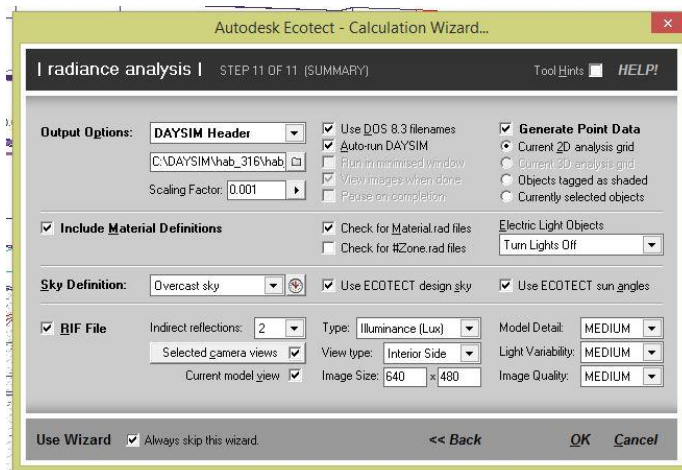


Figura 37: Pantalla de exportación a Daysim.

9º: Una vez en Daysim, vinculamos de nuevo el archivo climático, en este caso como se ha configurado el entorno con materiales, dejamos el valor de reflectancia del suelo por defecto en 0.2. Por otro lado fijamos un período de medición cada 30 minutos, para obtener las horas cercanas a las que se midió in situ, tal como se muestra en la figura 38.



Figura 38: Pantalla de configuración de Daysim.

10º: Después de esta configuración realizaremos dos cálculos para cada rejilla, es decir en cada habitación, tal y como se hizo en la tarea de campo; uno de iluminación (lux) y otro de radiación (W/m²). El cálculo se realiza con la escena de complejidad 2 (figura 39), para que los resultados sean un poco más finos.

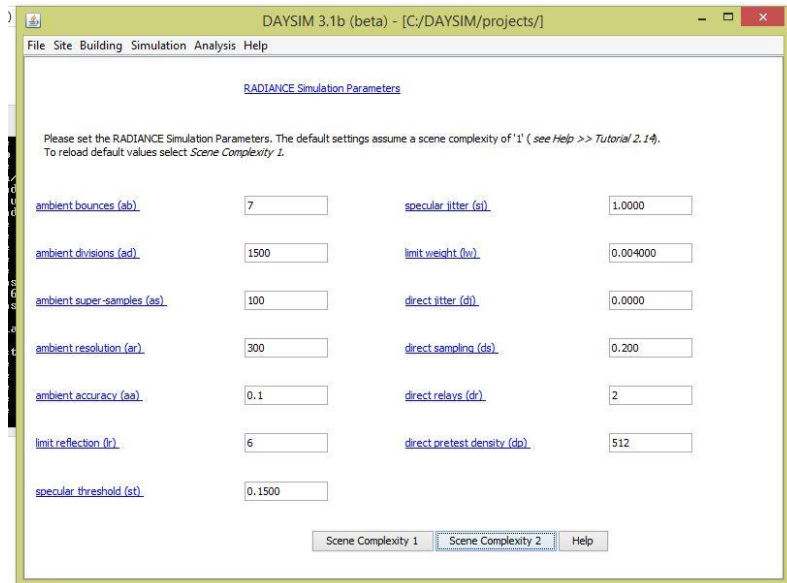


Figura 39: Datos de la escena de complejidad 2.

Después de todos los pasos necesarios, tanto en Ecotec (modelado); como en Daysim (cálculo), solo resta darle al botón de calcular y esperar los datos, los cuáles se obtienen en un documento de texto como valores temporales (cada 30min), tanto de iluminación (lux) como de radiación (W/m²). Estos datos deben filtrarse y procesarse, para obtener conclusiones y poder analizarlos.

3.5.4 Calibración del modelo virtual

Para realizar la calibración, se lleva a cabo el cálculo en la habitación 111, que es la que se encuentra más centrada y afectada al 100% por la malla. Este cálculo se realiza de 4 formas distintas, en las que lo que varía es la configuración de la malla; puesto que es el material más difícil de simular, y el más importante para el estudio. De modo que los datos usados son los expuestos en las tablas 1 y 2, más los de la tabla 3 que son los que se varían en cada una de los 4 cálculos.

Cuando se obtiene la información del cálculo en cada uno de los modelos, debe buscarse el día y la hora en que se realizó la medición para realizar la comparativa.

El primer cálculo, se realiza con los datos de la malla según la medición realizada in situ; de la que se obtuvo un valor medido fuera de la malla de 993 W/m², y por el interior de la malla de 68 W/m², si calculamos la relación entre ambos datos:

$$- (68/993)*100= 0.6 \%$$

Obtenemos que el momento de la medición la malla trabajaba como si tuviese un porcentaje de perforación del 6%. Este es el dato con el que se calcula.

En la tabla 4 vemos como en comparación con los datos medidos in situ, la diferencia es muy grande, no puede usarse una medición puntual como guía para determinar el parámetro de apertura de la malla.

El segundo cálculo, se realiza con los datos comerciales, facilitados por el fabricante, el cual refleja un porcentaje de perforación del 62.1%.

Este cálculo da valores más aproximados, pero el error sigue siendo demasiado grande, queda claro que el porcentaje de perforación real solo se vería reflejado si el sol incidiese perpendicularmente a la malla, al tener distintas inclinaciones y ángulos, la repercusión de la malla varía. Resultados en la tabla 4.

El tercer cálculo, se realiza asimilando la malla a unas lamas. Según las dimensiones facilitadas por el fabricante, se obtiene el ángulo que relaciona el diámetro de las varillas, con la separación vertical entre ellas, y se escala para que tenga una dimensión asequible para el modelo.

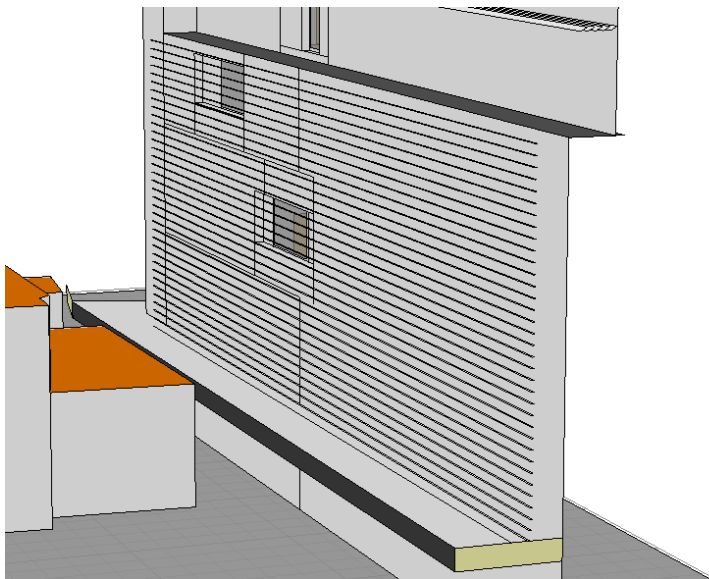


Figura 40: Modelo de Ecotec con la malla simulada como lamas.

La varilla tiene un diámetro de 3mm, y existe una separación entre ellas de 74mm; se obtiene un ángulo de $11,45^\circ$. Manteniendo esta relación se escala el modelo; se colocan lamas de anchura 6cm, cada 29.6 cm.

De nuevo los resultados obtenidos no son válidos, la diferencia es aún mayor en esta asimilación, en parte puede deberse a la falta de elementos verticales, que aumentarían el porcentaje opaco en la fachada. Puede concluirse, que la asimilación de este tipo de mallas a lamas no resulta posible. Resultados en la tabla 4.

El cuarto cálculo, se realiza calibrando la malla según el documento de Andrea G. Mainini, (Mainini, 2014), que como ya se explicó en la literatura, hacía un estudio sobre esta malla, una con las mismas dimensiones; pero sin embargo, establecía un porcentaje de perforación del 46%.

Al trabajar con este dato, al fin los valores son mucho más cercanos a lo medido in situ, en ocasiones coincidentes; por lo tanto, esta configuración de malla es la que finalmente se tomará para la realización del resto de cálculos. Resultados en la tabla 4

Hab. 111 (17-06-15, 14:00-05)		P 1,1	P 1,2	P 2,1	P 2,2	P 3,1	P 3,2
Datos in situ	lux	265	230	365	333	725	710
	W/m2	3	3	3	3	6	6
Parámetros medición	lux	8	8	10	10	16	16
	W/m2	0	0	0	0	0	0
Comercial	lux	636	625	917	922	1498	1514
	W/m2	6	5	8	8	13	13
Lama	lux	171	1252	1850	1828	3006	3040
	W/m2	11	11	16	16	27	27
Texto	lux	381	373	573	565	942	950
	W/m2	3	3	5	5	8	8

Tabla 4: Datos de iluminación y radiación de cada uno de los puntos estudiados para la habitación 111. De arriba hacia abajo: medidos in situ, calculados con el programa con los datos de la malla obtenidos de la medición, calculados con el programa con los datos de la malla según casa comercial, calculados con el programa con los datos de la malla según asimilación a lamas, calculados con el programa con los datos de la malla según estudio (Andrea G. Mainini, 2014).

Con esta configuración definitiva, es con la que continuamos todos los cálculos, se realizarán las simulaciones anuales, conociendo el error que existe.

El máximo error se produce en el punto 3,2 en la medida de iluminación, con un error del 33.8%. Mientras que el mínimo error llega a ser del 0% para las medidas de radiación en los puntos 1,1 y 1,2

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Datos climáticos:

En primer lugar se muestran los **datos climáticos** obtenidos de Ecotec.

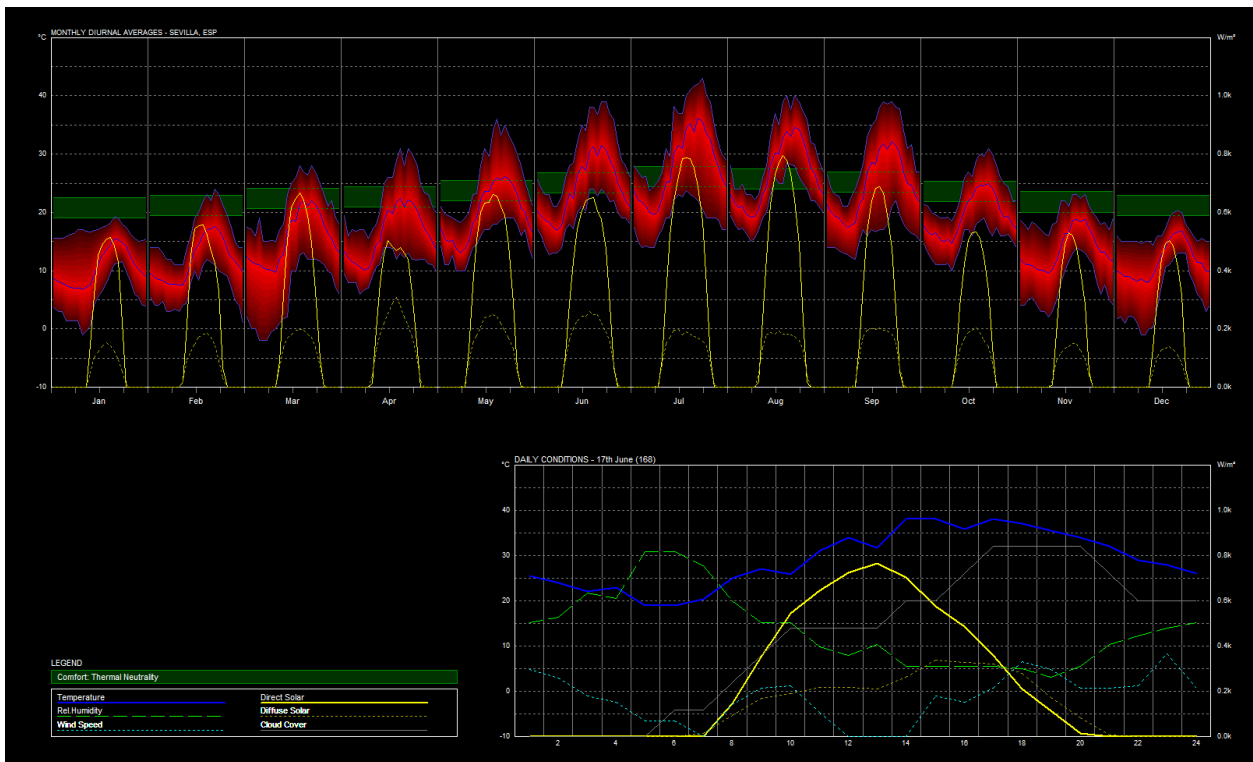


Figura 41: Arriba aparecen las medias diurnas mensuales, y abajo los datos concretos del día de la medición, 17-06-15; que coinciden de forma muy cercana a los medidos in situ. En azul la temperatura, en verde discontinua la humedad relativa, en azul punteada la velocidad del viento, en amarilla la radiación directa, en amarilla punteada la radiación difusa, en gris la cobertura por nubes.

Se debe resaltar que los datos resultan bastantes fiables, ya que la suma de la radiación difusa y la directa, que equivale a la total, fue la que se midió, a las horas de la medición están muy cercanas a los valores de la gráfica. Del mismo modo, la temperatura fue casi coincidente; sin embargo, la cobertura por nubes el día de la medición era nula.

- Cartas estereográficas:

, Han sido calculadas para las tres habitaciones, el punto de referencia se ha colocado en la posición aproximada del cabecero de la cama, para ver cómo afecta el soleamiento directo a este punto clave de las estancias. Los pacientes que ocupan las habitaciones permanecen en esa localización largos períodos de tiempo y es interesante conocer cómo están de soleados.

De arriba hacia abajo se mostraran las tres habitaciones.

Habitación 316, planta cuarta, no hay malla, existe una celosía horizontal con lamas rotadas 30° sobre la línea de dinteles, de forma continua en todo el alzado, figura 42.



Figura 42: Vista desde la terraza de las habitaciones de la planta cuarta.

Carta estereográfica: Muestra como la zona estudiada del cabecero de la cama, solo recibe radiación directa en los meses de Diciembre y Enero por la tarde. Este es un buen resultado, ya que en Sevilla la radiación es bastante elevada a lo largo del año, y esta interesa que sea una zona cómoda.

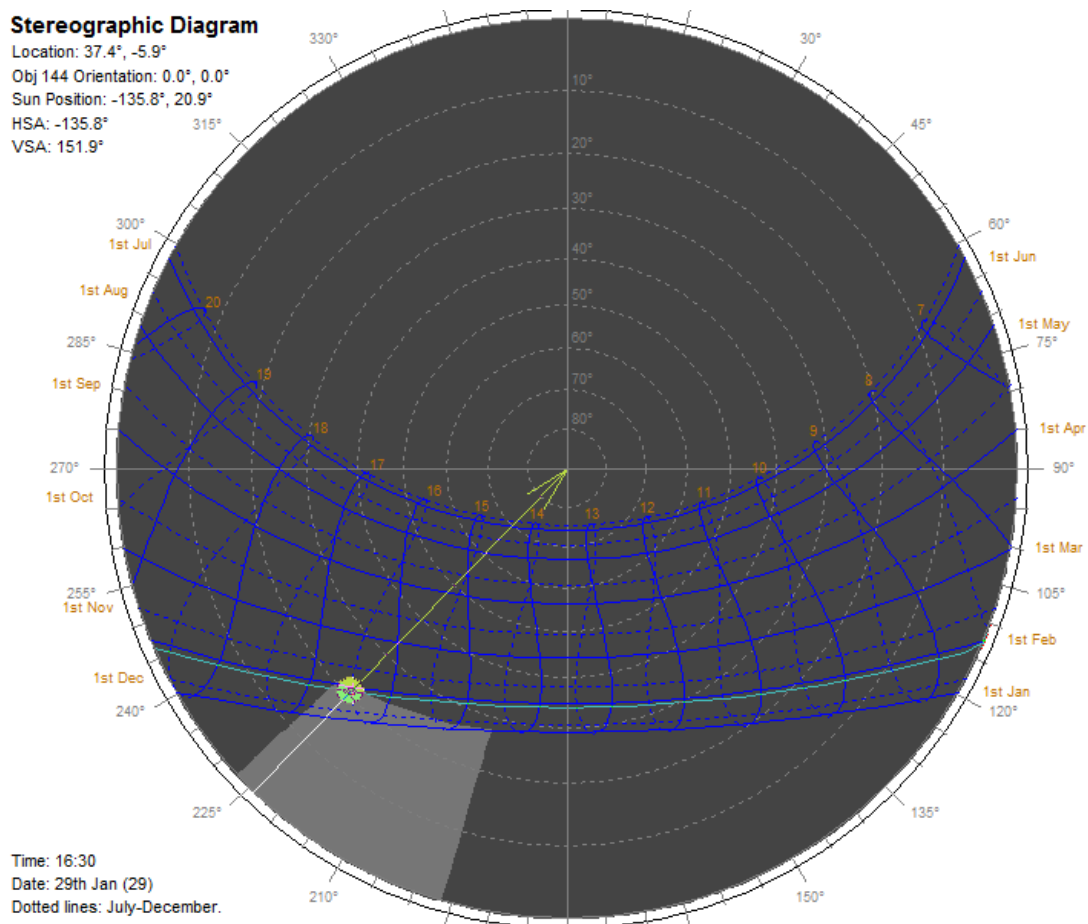


Figura 43: Carta estereográfica habitación 316. Punto de estudio, cabecero de la cama.

Habitación 215, planta tercera, hay malla, termina justo por encima de esta planta.

Carta estereográfica: Los resultados son muy similares, el rango se amplía en horario y se desplaza a la mañana, pero solo de los meses más fríos.

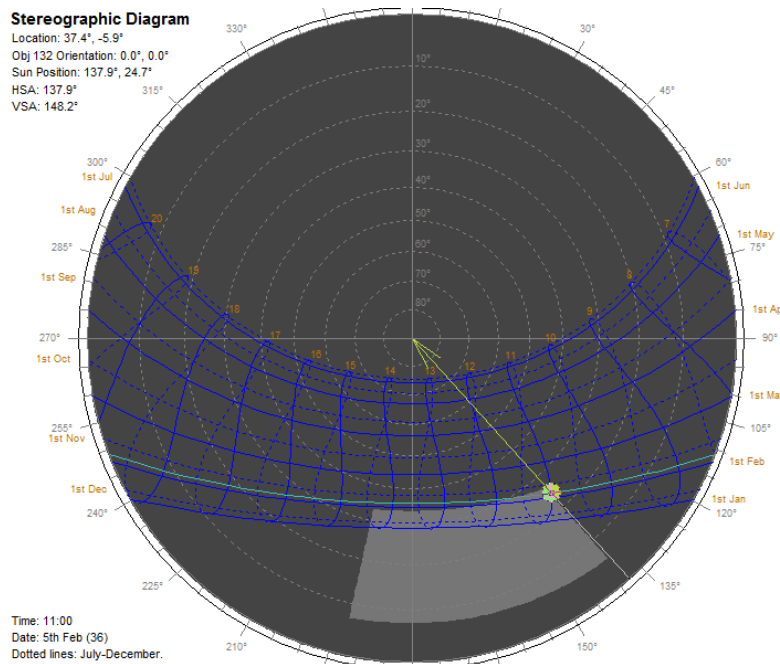


Figura 44: Carta estereográfica habitación 215. Punto de estudio, cabecero de la cama.

Habitación 111, planta primera, centrada en el alzado, completamente rodeada de malla.

Carta estereográfica: Los resultados de nuevo muy similares.

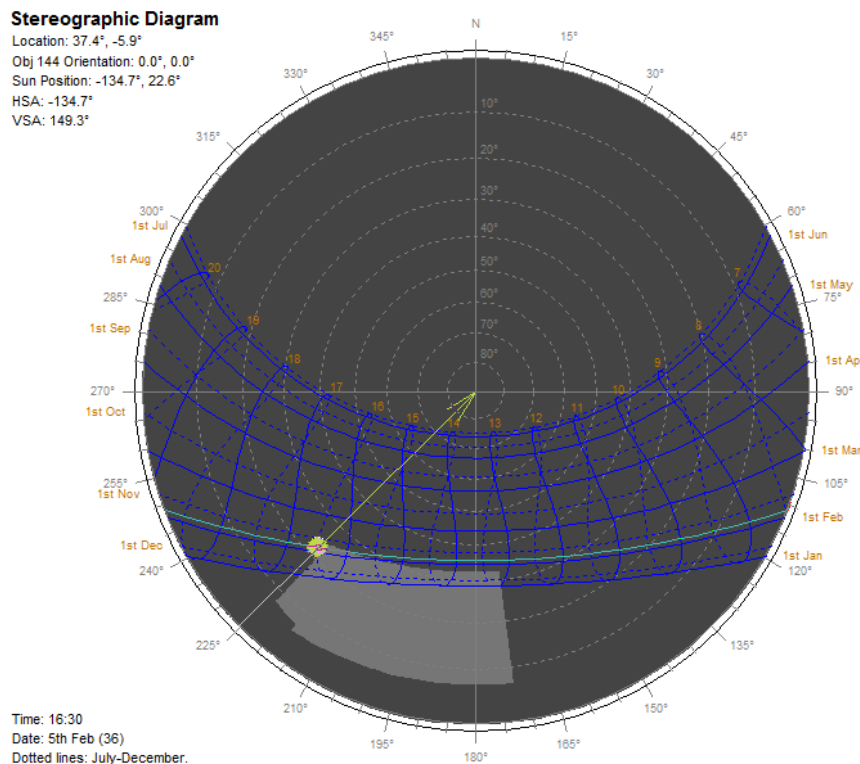
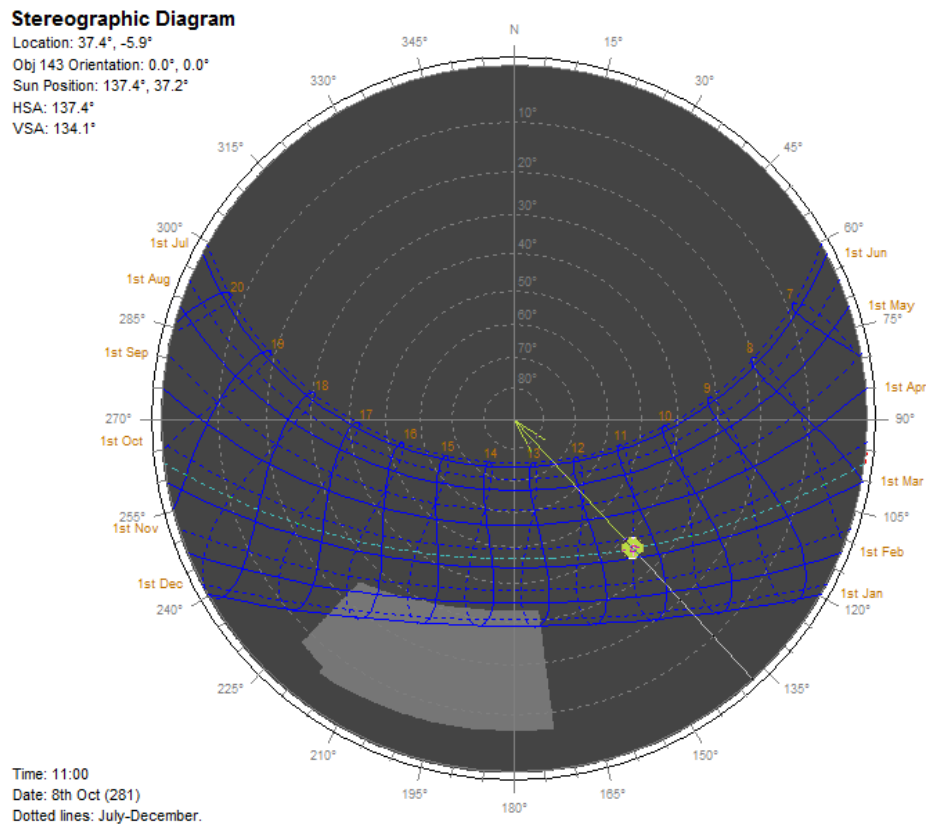


Figura 45: Carta estereográfica habitación 111. Punto de estudio, cabecero de la cama.

Para el caso de las 111, la más afectada por la malla, hacemos la hipótesis de quitar la malla, para ver como este punto se vería afectado, y obtenemos una nueva carta estereográfica.



Ambas cartas son iguales, la malla no está afectando a la mancha solar, no está variando la dirección del rayo solar ni cortándolo; se comprobará después, si a pesar de no variar el soleamiento interior, está disminuyendo los niveles de radiación e iluminación internos.

- Soleamiento en el interior (manchas solares):

Centrándonos en las habitaciones con malla (111 y 215), puesto que la de la cuarta planta como ya se ha comentado cuenta con otro sistema de lamas distinto.

Vemos el soleamiento de las estancias, estudiado como marcan los protocolos, para los meses de Junio. Diciembre y Marzo/Septiembre (en este caso se opta por Septiembre), y para las horas solares 9:00, 12:00 y 13:00, que pasado a hora local coincide con las 10:30, 13:30 y 16:30.

Al ver el resultado del apartado anterior, se han comprobado las fechas y horas estudiadas en este, con y sin malla, y se reafirma lo anteriormente dicho, ya que las manchas son iguales en ambos modelo. Los resultados expuestos a continuación representa por tanto ambas situaciones aunque se obtienen del modelo con malla.

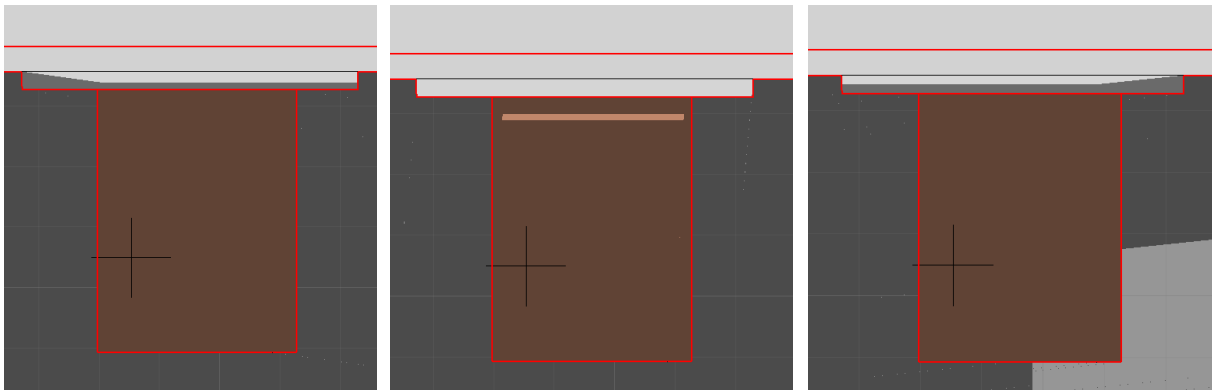
Habitación 111:**- Junio:**

Figura 46: Soleamiento en Junio. De izquierda a derecha: 10:30, 13:30 y 16:30, hora local. La cruz marca la posición aproximada del cabecero de la cama.

En la figura 46 se aprecia como la mancha solar solo se produce en el centro del día y de forma muy puntual, algo aceptable, puesto que mayores manchas solares en el interior de la habitación para esta época del año podrían ser muy molestas.

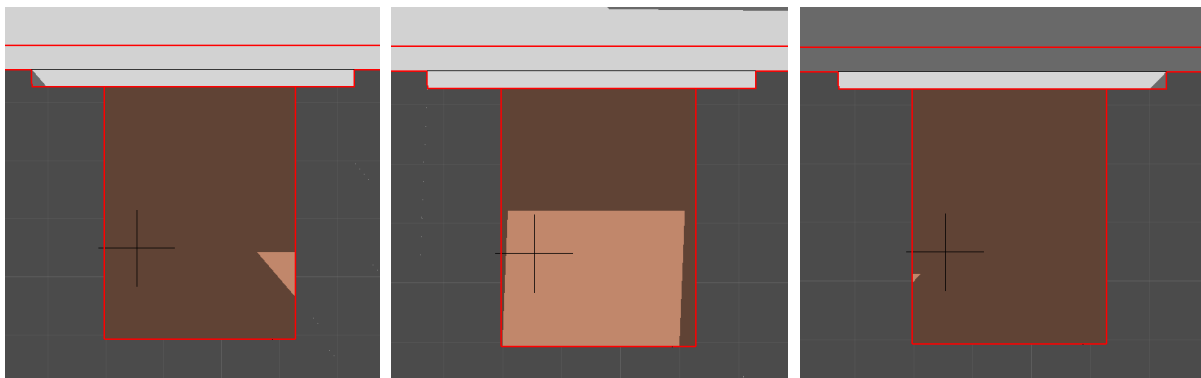
- Diciembre:

Figura 47: Soleamiento en Diciembre. De izquierda a derecha: 10:30, 13:30 y 16:30, hora local. La cruz marca la posición aproximada del cabecero de la cama.

En la figura 47 se aprecia como la mancha solar, tal como enseñaba la carta estereográfica, alcanza el cabecero de la cama, debido a que la posición del sol es más baja, lo que aumenta la penetración en la estancia, al tratarse de los meses más fríos puede ser hasta positivo.

- **Marzo:**

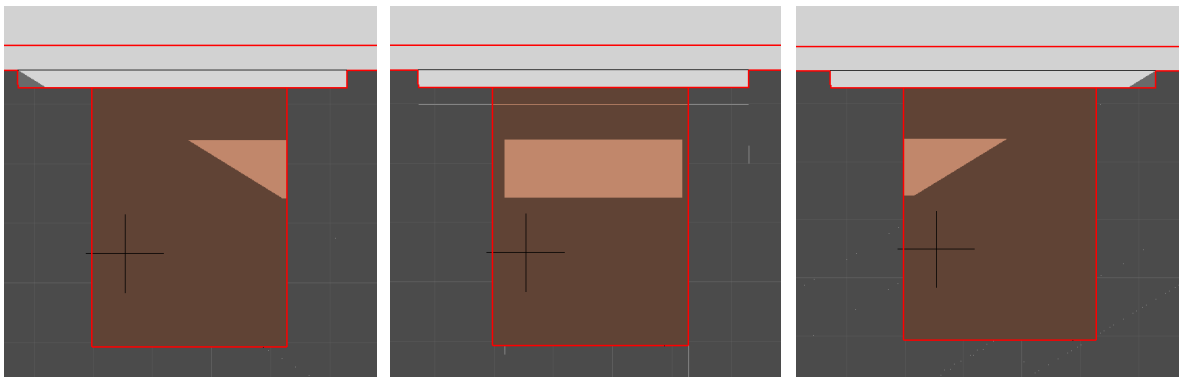


Figura 48: Soleamiento en Marzo. De izquierda a derecha: 10:30, 13:30 y 16:30, hora local. La cruz marca la posición aproximada del cabecero de la cama.

En la figura 48 se aprecia como la mancha solar ya no alcanza la zona media de la habitación, en las etapas intermedias del año la penetración existe pero no resultará molesta para el paciente, y el aumento de temperatura que pueda suponer, aún en esta época no debe ser molesto.

Habitación 215:

- **Junio:**

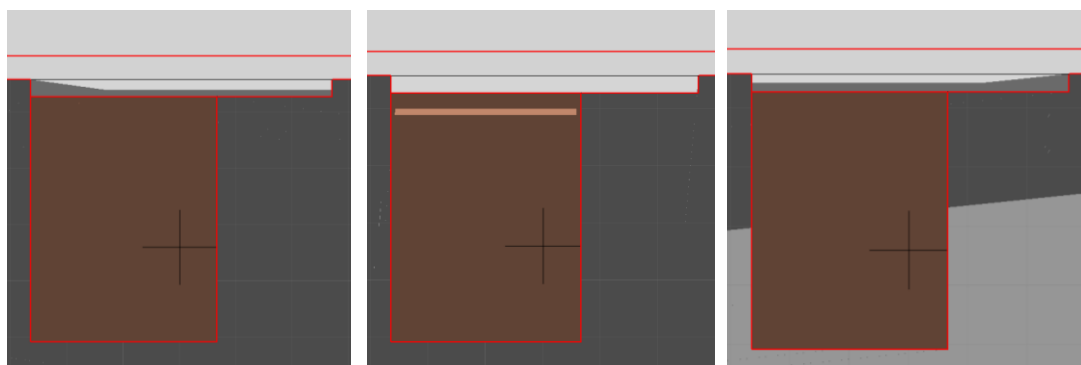


Figura 49: Soleamiento en Junio. De izquierda a derecha: 10:30, 13:30 y 16:30, hora local. La cruz marca la posición aproximada del cabecero de la cama.

En la figura 49, la situación se repite con respecto a la habitación 111.

- **Diciembre:**

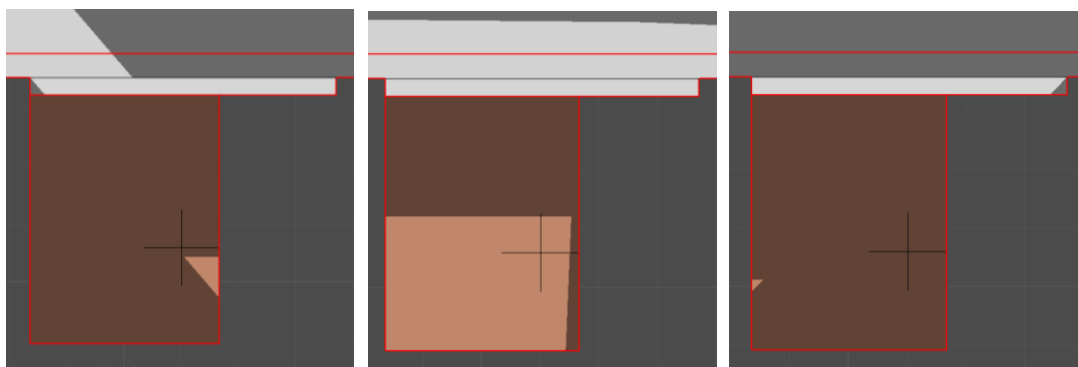


Figura 50: Soleamiento en Diciembre. De izquierda a derecha: 10:30, 13:30 y 16:30, hora local. La cruz marca la posición aproximada del cabecero de la cama.

En la figura 50, la situación se repite con respecto a la habitación 111.

- **Marzo:**

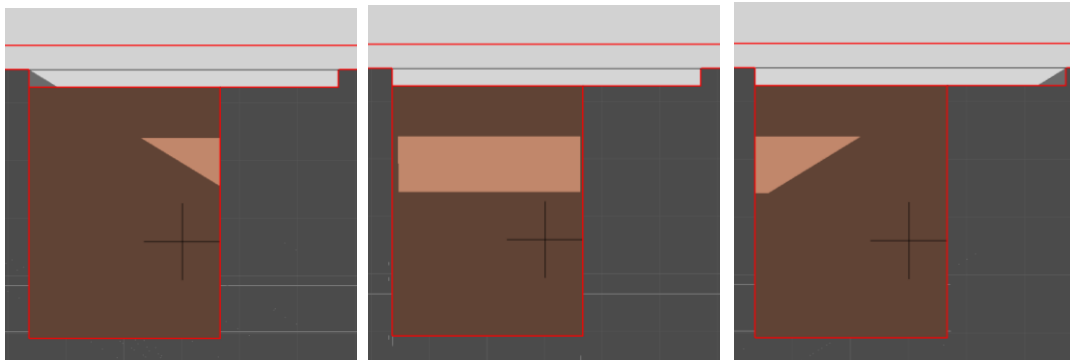


Figura 51: Soleamiento en Marzo. De izquierda a derecha: 10:30, 13:30 y 16:30, hora local. La cruz marca la posición aproximada del cabecero de la cama.

En la figura 51, la situación se repite con respecto a la habitación 111.

La habitación 316 también fue estudiada, pero los resultados son similares, y como la malla no afecta en este caso, no va a desarrollarse.

- **Repercusión anual:**

Una vez extrapolados los datos a lo largo del año, se introducen en una hoja de cálculo y se filtran, realizando las medianas por meses de los valores, tanto de iluminación como de radiación, y se realizan unas gráficas en las que veremos la evolución anual de cada uno de los seis puntos estudiados para las dos habitaciones con malla 111 y 215, y haremos una comparativa en la 111 (la más centrada dentro del alzado, rodeada de malla) de la situación si no se hubiese colocado la malla.

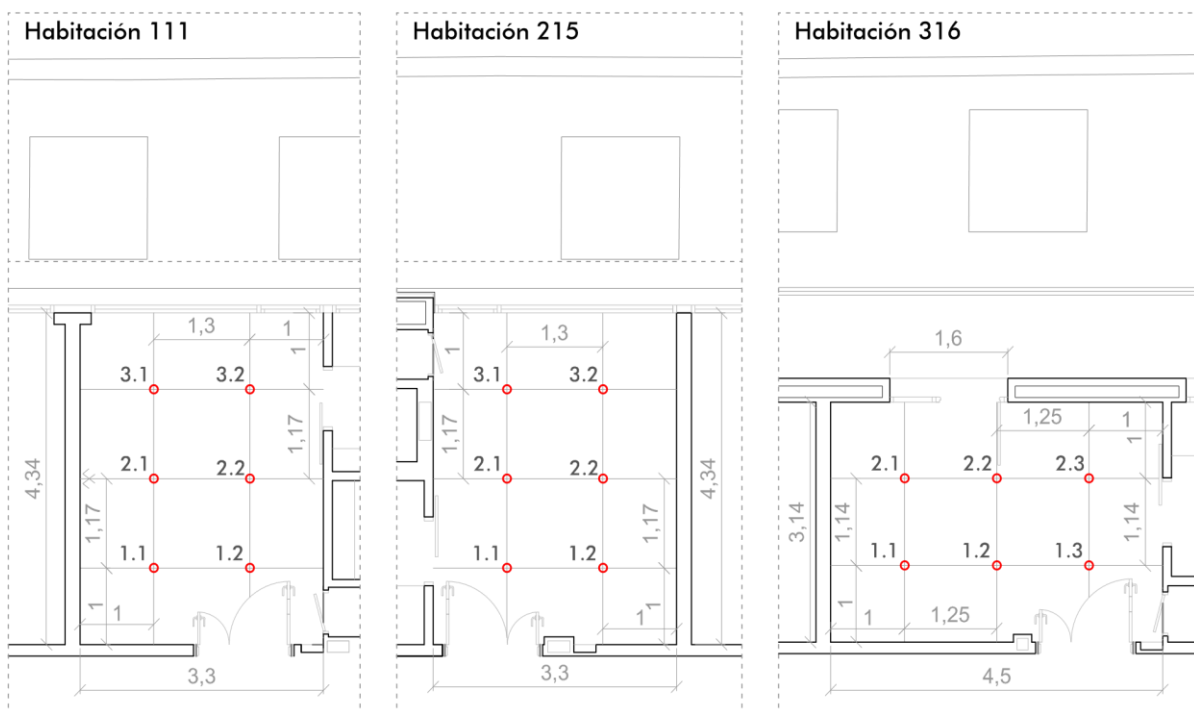
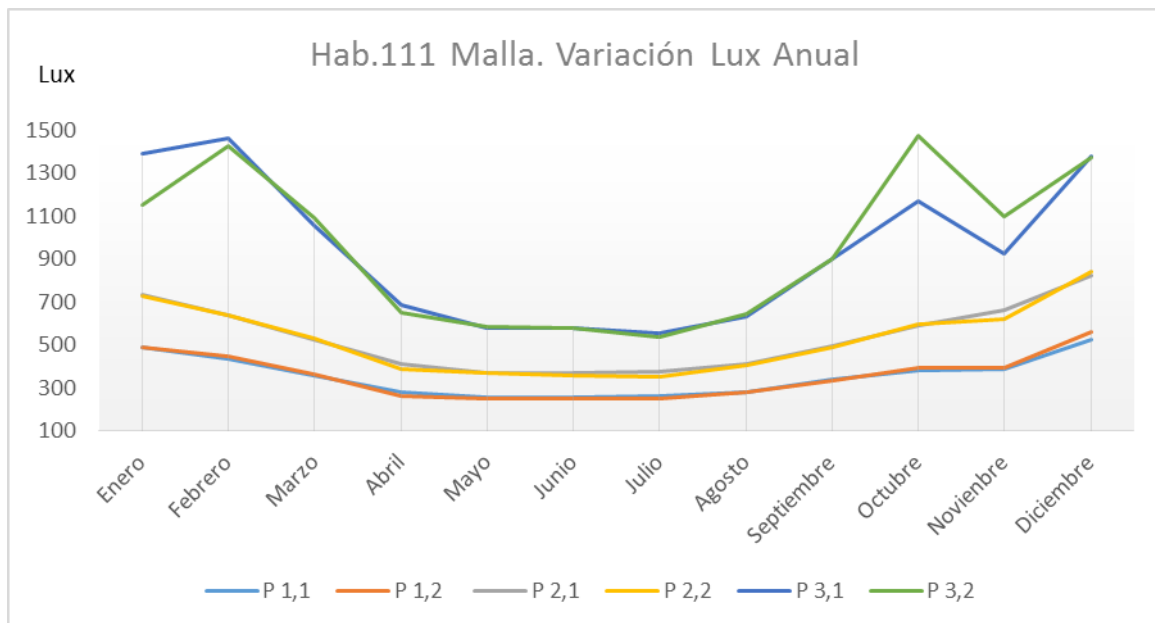


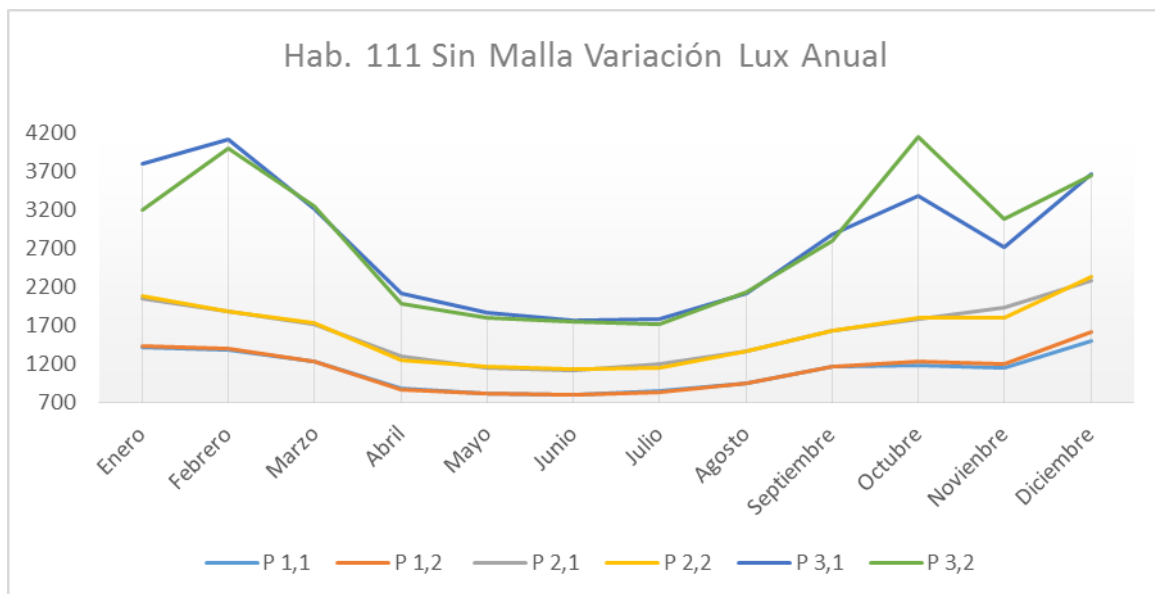
Figura 52: Puntos de medición por habitaciones.

- **Habitación 111, con malla.**



Gráfica 1: Evolución anual de iluminación (lux), en la habitación 111 con malla.

- **Habitación 111, sin malla.**

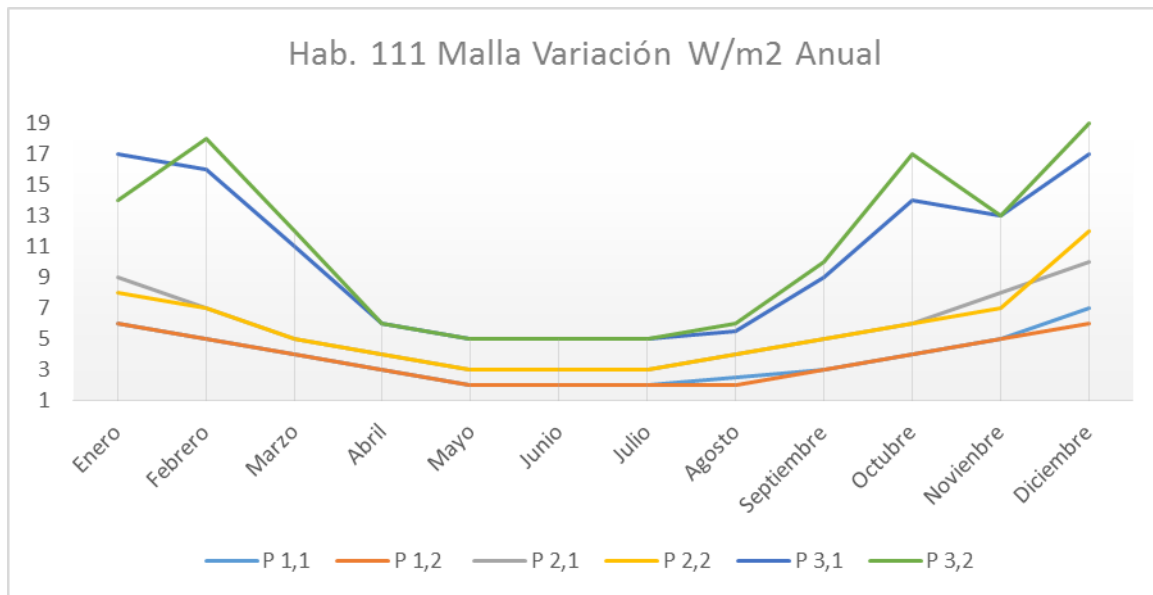


Gráfica 2: Evolución anual de iluminación (lux), en la habitación 111 sin malla.

Como vemos en las gráficas el rango sin malla, para los valores de iluminación se amplía considerablemente. Mientras que con malla el rango va de un mínimo rondando los 300lux a un máximo sobre 1500lux; sin malla esto se amplía del mínimo sobre los 700lux al máximo de 4200lux.

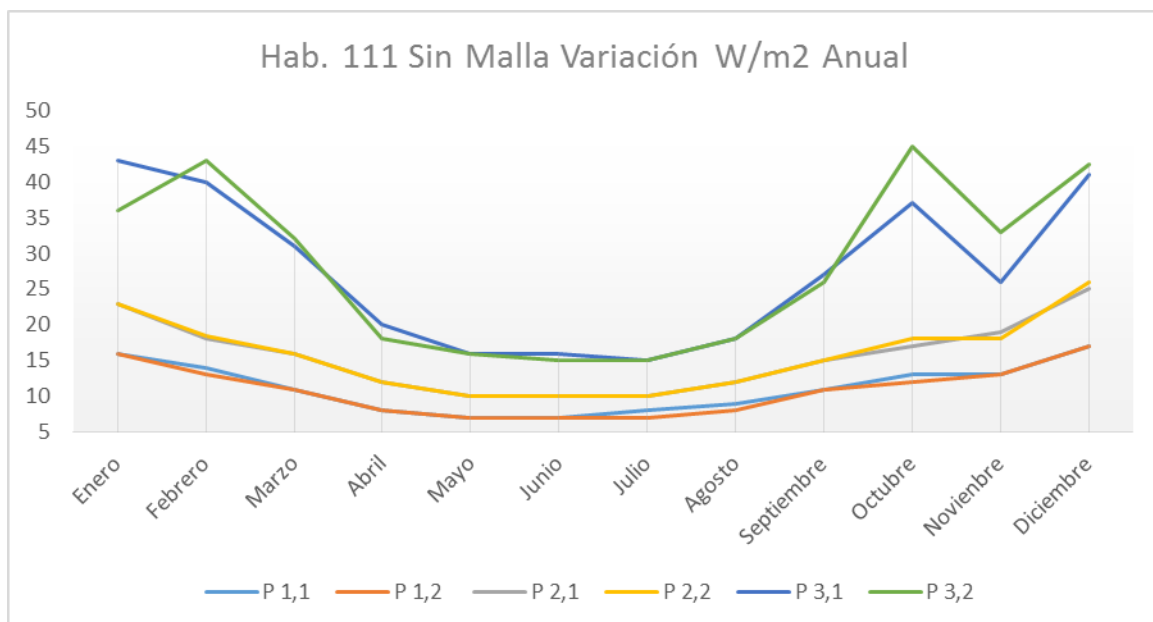
Por lo tanto en iluminación: los mínimos se reducen en un 57% aprox.; y los máximo en un 64% aprox, cuando se utiliza la mala.

- **Habitación 111, con malla.**



Gráfica 3: Evolución anual de radiación (W/m2), en la habitación 111 con malla.

- **Habitación 111, sin malla.**



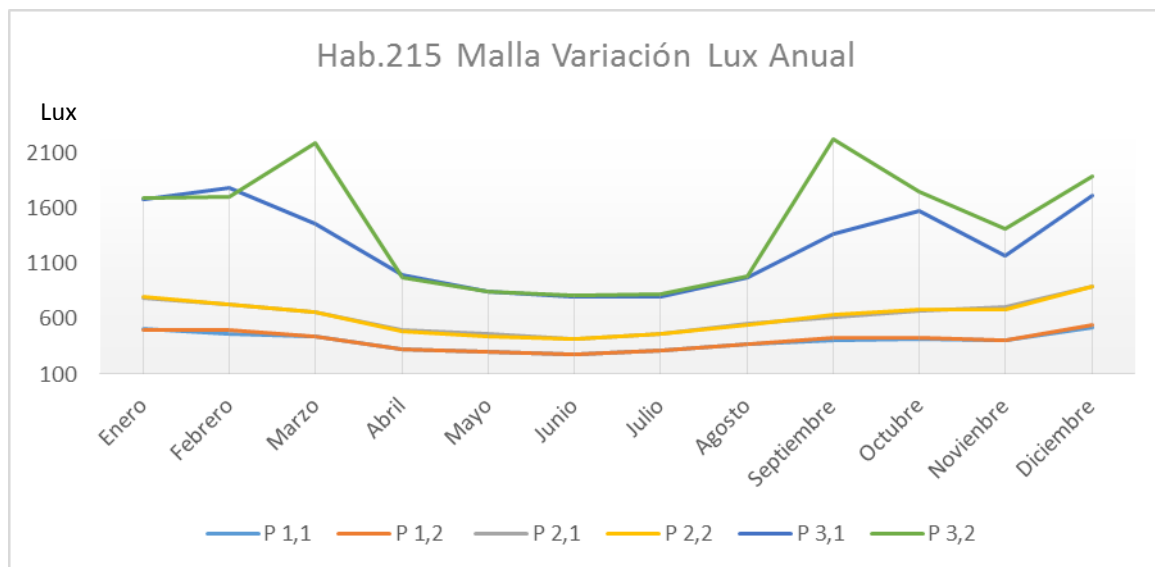
Gráfica 4: Evolución anual de radiación (W/m2), en la habitación 111 sin malla.

Un resultado similar al anterior. Con malla el rango va de 3 a 19 W/m2 aproximadamente; y sin malla, de 8 a 50 W/m2.

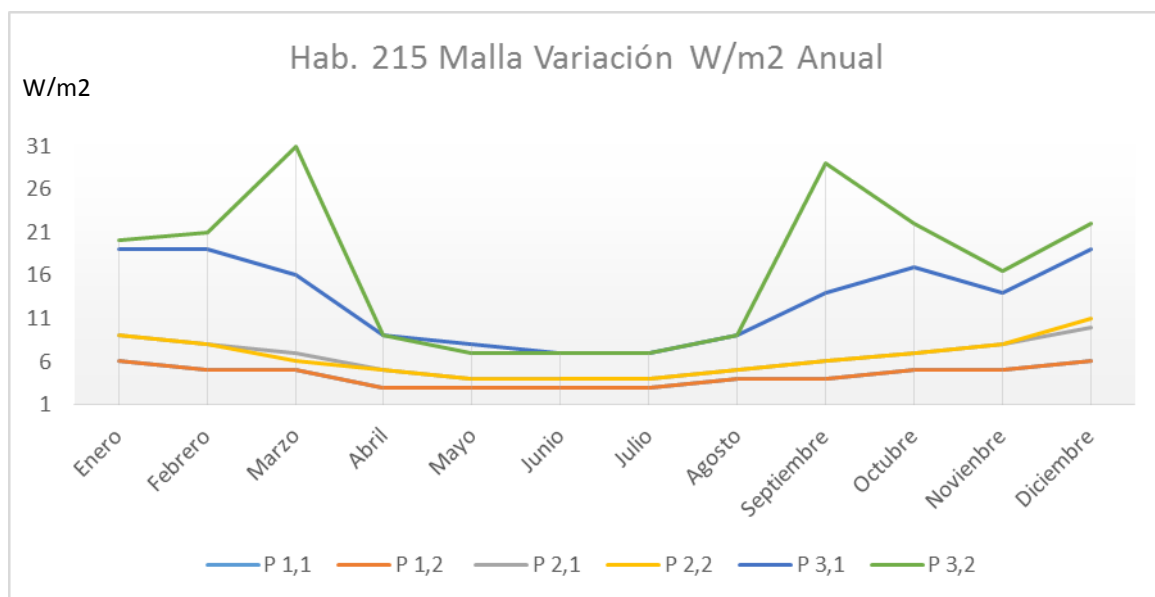
Por lo tanto en radiación: los mínimos se reducen en un 62% aprox.; y los máximo en un 62% también, cuando se utiliza la malla.

Como era de esperar la malla está reduciendo los valores de radiación e iluminación en el interior de los espacios, tamizando la luz.

Habitación 215, con malla.



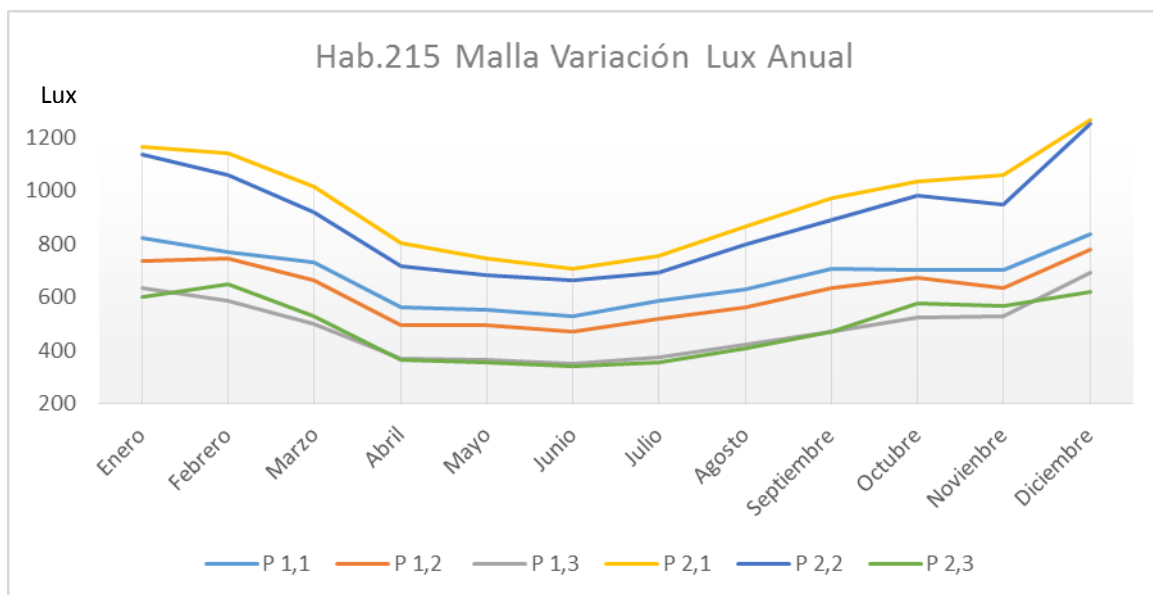
Gráfica 5: Evolución anual de iluminación (lux) en la habitación 215 con malla.



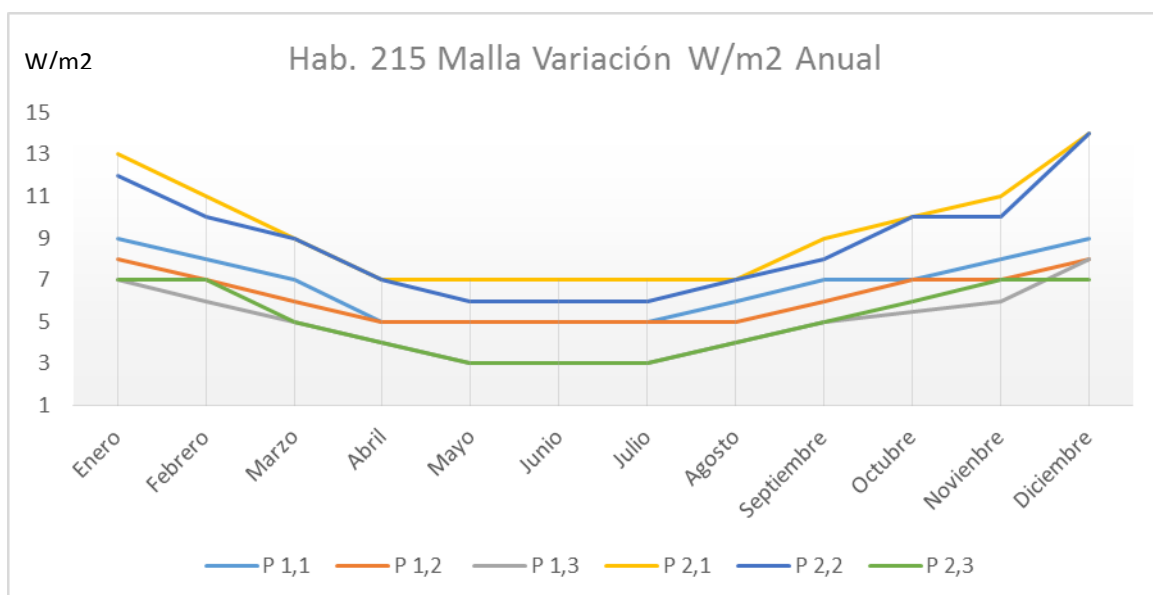
Gráfica 6: Evolución anual de radiación (W/m2), en la habitación 215 con malla

Los valores en esta habitación son más elevados que en la habitación de la planta inferior a pesar de tener la malla, seguramente el hecho de que la malla termine sobre los huecos de esta habitación afecta, y en las épocas de verano donde el sol está más inclinado, los valores aumentan. Además estos cambios se están produciendo para los puntos situados más cercanos a la ventana, en los intermedios y los profundos los máximos y mínimos son muy similares a los de la habitación.

Habitación 316, con malla.



Gráfica 7: Evolución anual de iluminación (lux) en la habitación 316 con malla.



Gráfica 8: Evolución anual de radiación (W/m2), en la habitación 316 con malla

Los valores en esta habitación son los más bajos de los tres, como ya se ha explicado, en ella la malla no está actuando, pero si el sistema de lamas colocadas en horizontal sobre los dinteles de las ventanas. Además hay que resaltar que la dimensión de la habitación es distinta, por lo que cambia la distribución de los puntos, solo existen dos líneas de medición figura 52. Vemos que en las gráficas, las líneas se distribuyen de forma más homogénea, no existen esos picos de verano que vemos en las habitaciones con mallas.

5. CONCLUSIONES

Después del análisis de **resultados obtenidos** se van a comentar por apartados las conclusiones obtenidas.

- En primer lugar hacer referencia a la fiabilidad de los **archivos climáticos** con los que el programa Ecotec y Daysim trabajan, pues como se ha visto en los resultados, los datos en el día de la medición, coinciden de forma muy cercana con lo mostrado en el archivo climático.
- En segundo lugar, mencionar el **modelado**, se ha simulado la malla de cuatro formas distintas, y vemos que por sus características, se hace difícil representarla en un modelo virtual. Los datos de mediciones, habría que realizar un estudio mucho más completo con mediciones prolongadas en el tiempo y obtener medias para saber a qué porcentaje de perforación podría asimilarse una malla en función de su porcentaje real, por que como ya vimos el porcentaje real, tampoco dio resultados muy cercanos a los obtenidos in situ. Y la asimilación a un sistema de lamas, también probado en el trabajo, en función de la relación de espesor de las varillas y separación entre ellas, no es tampoco una buena de simulación de este tipo de mallas.
- En tercer lugar, las **cartas estereográficas** han mostrado, como a nivel de soleamiento interior, de mancha solar; la malla no está realizando ningún efecto, los resultados con y sin malla son iguales. Puede ser debido, tal como se expuso en la literatura, con el estudio de (Andrea G. Mainini, 2014), a que el factor de apertura de la malla no permite considerarla como protección solar,
- En el apartado del **soleamiento interior**, se muestra que a pesar de que la malla no esté afectando, las condiciones de las habitaciones son aceptables, pues en los meses más fríos (cuando el sol tiene un ángulo más horizontal), la penetración es mayor, llegando a solear casi toda la habitación. En los meses intermedios, esta mancha solar va disminuyendo, no afectando a la zona de las camas, quedándose en la banda más cercana a la ventana. Y para los meses más calurosos de verano la penetración es casi nula (el ángulo solar ayuda, ya que es más vertical). Estos resultados se obtienen casi por igual en ambas habitaciones, puesto que su posición es muy cercana tanto en horizontal como en vertical en el alzado del edificio, y porque su relación con la malla, que si es distinta, no está afectando.
- Con los resultados de **la repercusión a lo largo del año**, se obtienen varias conclusiones; por un lado vemos la diferencia que existe entre las habitaciones 111 y 215, con respecto a la 316, en cuando a homogeneidad. En las dos primeras que tienen malla, se aprecia claramente una estratificación en las tres bandas en las que se ha medido; mientras que la tercera de ellas, cuya protección son las lamas, no la malla, la habitación tiene una evolución más constante y controlada, en la que todos los puntos varían de forma similar a lo largo del año.

- La **estratificación** de las dos habitaciones con mallas además de estar muy definida, podemos destacar como los puntos más cercanos a la ventana se disparan respecto al resto, en los meses de invierno cuando el sol está más horizontal. La malla por su geometría da resultados distintos en función de la época, puesto que al tener tan poco espesor, cuando el sol pierde verticalidad, la atraviesa sin ser casi desviado.
- Como se ha mostrado en la **comparativa de la habitación 111, con y sin malla** los niveles de radiación e iluminación se ven reducidos, la mayoría de las veces en más del 50%. Al tener menos radiación la temperatura será algo menor que si no existiese. La malla, está actuando como un filtro, pero no como un elemento de control solar.

6. IDEAS PARA AMPLIAR EL TRABAJO DESARROLLADO

Este trabajo, se ha centrado en el estudio de una malla usada como protección solar, se ha estudiado su forma de simulación y los resultados de iluminación y radiación en el interior de un edificio hospitalario.

Un trabajo que profundice en la forma en la que simular este tipo de sistemas para que aquellos que quieran aplicarlos, sepan su verdadera repercusión en el edificio, sería de gran interés.

Se han comparado resultados con y sin malla, sería interesante comparar estos resultados con los niveles recomendados para este tipo de edificios y ver en qué medida debe completarse con iluminación artificial, o que exceso de iluminación natural existe.

Por otro lado, y puesto que estas malas se están extendiendo tanto, sería interesante un estudio que se centrara en como completar estos sistemas para un correcto funcionamiento del edificio. Cuáles son los sistemas que pueden aplicarse para mantener la apariencia deseada obteniendo verdadero control solar.

7. BIBLIOGRAFÍA

Artículos:

- Alzoubi H., Al-Zoubi A., *Assessment of building façade performance in terms of daylighting and the associated energy consumption in architectural spaces: Vertical and horizontal shading devices for southern exposure facades*. Energy Conversion and Management, n° 51 (2010): 1592–1599.
- Athanassios T., *The impact of venetian blind geometry and tilt angle on view, direct light transmission and interior illuminance*. Solar Energy, n° 82 (2008): 1172–1191.
- Atif M., Love J., Littlefair P., *Daylighting Monitoring Protocols and Procedures for Building*. Daylight in Buildings, 1997: Anexo 29.
- Blanco J., Arriaga P., Rojí E., Cuadrado J., *Investigating the thermal behavior of double-skin perforated sheet façades: Part A: Model characterization and validation procedure*. Building and Environment, n° 82 (2014): 50-62.
- Ferrés X., Fernández I., Marshal G., Lanchas A., Astudillo J., Cerezo J., Pardal C., Arbós F., Marroquín Z., Cilento R., Agirre I., *Chapas metálicas perforadas de control solar en fachadas ligeras*. Envolvente arquitectónica, n° 06 (2013): 6-10.
- Ibarra D., Reinhart C., *Daylight factor simulations. How close do simulation beginners "really" get?* Building Simulation, 2009: 196-203.
- Kim J., Kim G., *Advanced External Shading Device to Maximize Visual and View Performance*. Indoor Built Environ 19, n° 1 (2010): 65–72.
- Mainini A., Poli T., Zinzi M., Speroni A., *Spectral light transmission measure of metal screens for glass façades and assessment of their shading potential*. Energy Procedia, n° 48 (2014): 1292 – 1301.
- Ochoa C., Aries M., Hensen J., *State of the art in lighting simulation for building science: a literature review*. Journal of Building Performance Simulation, n° 4 (2012): 209-233.
- Pérez G., *Brise-soleil, recurso arquitectónico de control solar. Evolución y propuesta de diseño optimizado para Camagüey, 2012*.
- Reinhart C., Walkenhorst O., *Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds*. Energy and Buildings, n° 33 (2001): 683-697.
- Sabry H., Sherif A., Gadelhak M., Aly M., *Balancing the daylighting and energy performance of solar screens in residential desert buildings: Examination of screen axial rotation and opening aspect ratio*. Solar Energy, n° 103 (2014): Solar Energy.
- Sherif A., El-Zafaranyb A., Arafaa R., *External perforated window Solar Screens: The effect of screen depth and perforation ratio on energy performance in extreme desert environments*. Energy and Buildings, n° 52 (2012): 1-10.
- Sherif A., Sabry H., Rakha T., *External perforated Solar Screens for daylighting in residential desert buildings: Identification of minimum perforation percentages*. Solar Energy, n° 86 (2012): 1929–1940.

Sherif A.H., Sabry H., Gadelhak.M., *The impact of changing solar screen rotation angle and its opening aspect ratios on Daylight Availability in residential desert buildings*. *Solar Energy*, nº 86 (2012): 3353-3363.

Thanachareonkit A., Scartezzini J.L., *Modelling Complex Fenestration Systems using physical and virtual models*. *Solar Energy*, nº 84 (2010): 563–586.

Libros:

Comité Español de la Iluminación e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Guía Técnica de Aprovechamiento de la Luz Natural en la iluminación de edificios*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2005.

Fernández, Paula Esquivias. *Autodesk Ecotec Analysis*. Tesis en desarrollo. 2015.

Pattini, Andrea. *Capítulo 11*. Tesis, *La Luz Natural e Iluminación de Interiores*, 2002.

Ruiz, Ignacio Requema. *Le Corbusier y el brise-soleil*. Tesis Arquitectura adaptada al clima en el Movimiento moderno: *Le Corbusier (1930-1960)*. 2011.

Páginas Web:

Adventure, Allaboard for. *allaboardforadventure*. 2015.

<https://allaboardforadventure.wordpress.com/tag/arab-fund-aka-arab-foundation-aka-arab-organizations-headquarters-building/>.

AA.VV., Consejería de Empleo, Empresa y Comercio. Agencia Andaluza de la Energía. 2012,

<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/energia-andalucia/planificacion-energetica/politica-europea-nacional>.

AA.VV., Instruments, PCE. *Equipos de medida - Balanzas - Regulación y control*. 2015.

<http://www.pce-iberica.es/manuales/manual-MacSolar.pdf>.

—. *Equipos de medida, Balanzas, Regulación y Control*. 2015. <http://www.pce-iberica.es/manuales/manual-luxometro-pce-174-nuevo.pdf>.

AA.VV., Levantina. *Levantina The Natural Stone Company*. 2015.

<http://www.levantina.com/es/materiales/marmoles/cremas/serpeggiante>.

AA.VV., Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. 2011, <http://www.idae.es/> (último acceso: 2015).

AA.VV., U.S Department of Energy, *Energy Efficiency & Renewable Energy*. 2015.

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm?CFID=3429109&CFTOKEN=67471f4273ffa0cf-3BB17EE0-B075-E9A4-6FBE52BFDF86F84&jsessionid=57DB33C61858F057CBF1F864D91B8A14.eere.

Valcárcel, Antonio Hernández. *Web personal de Antonio Hernández Valcárcel, I.E.S. Floridablanca Murcia*. 2015,

<http://www.antoniohernandez.es/Arte/imagenes/12%20Arquitectura%20siglo%20XX/WEBS/LE%20CORBUSIER.html>.

ANEXO

Extracto 1, documentación fotográfica visita al edificio de la Policía Local, primer intento de caso de estudio.

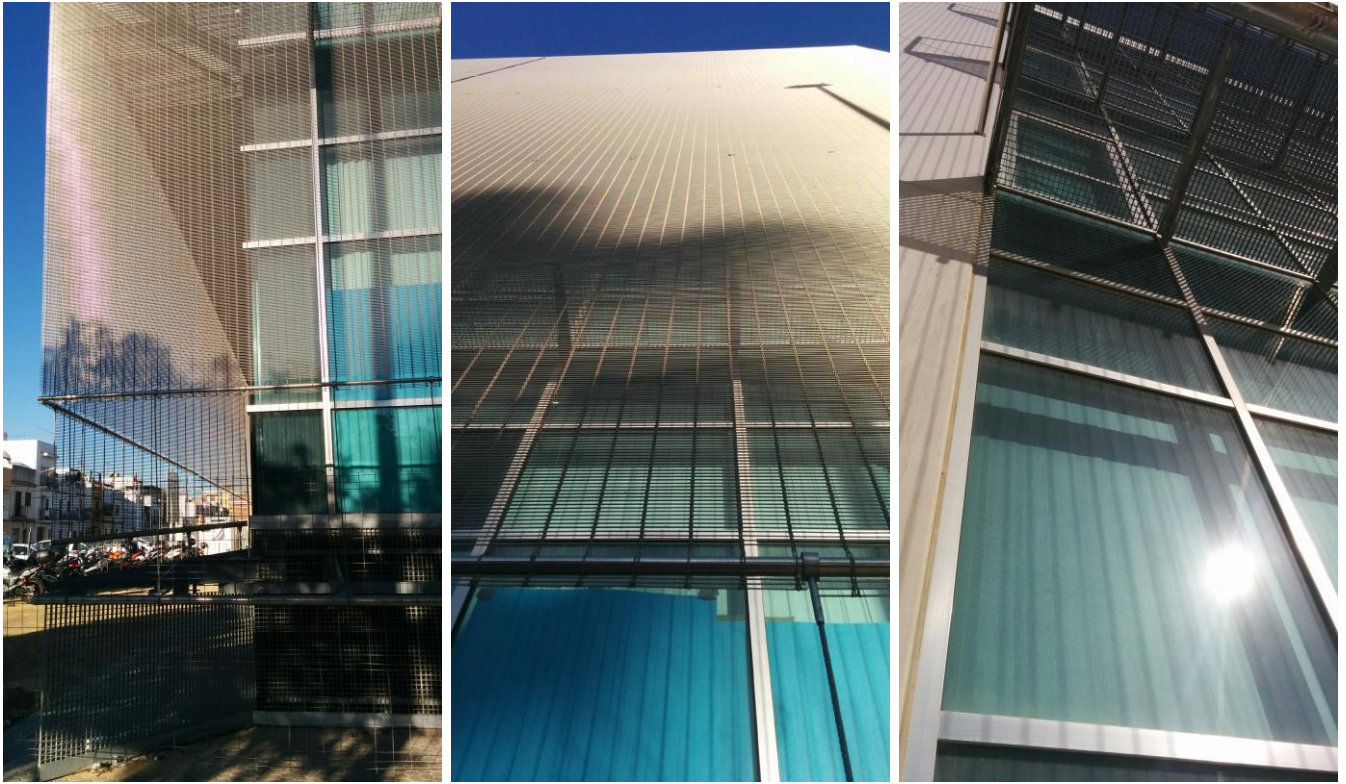


Figura 53: Tres vistas exteriores de las fachadas sur y este con la malla

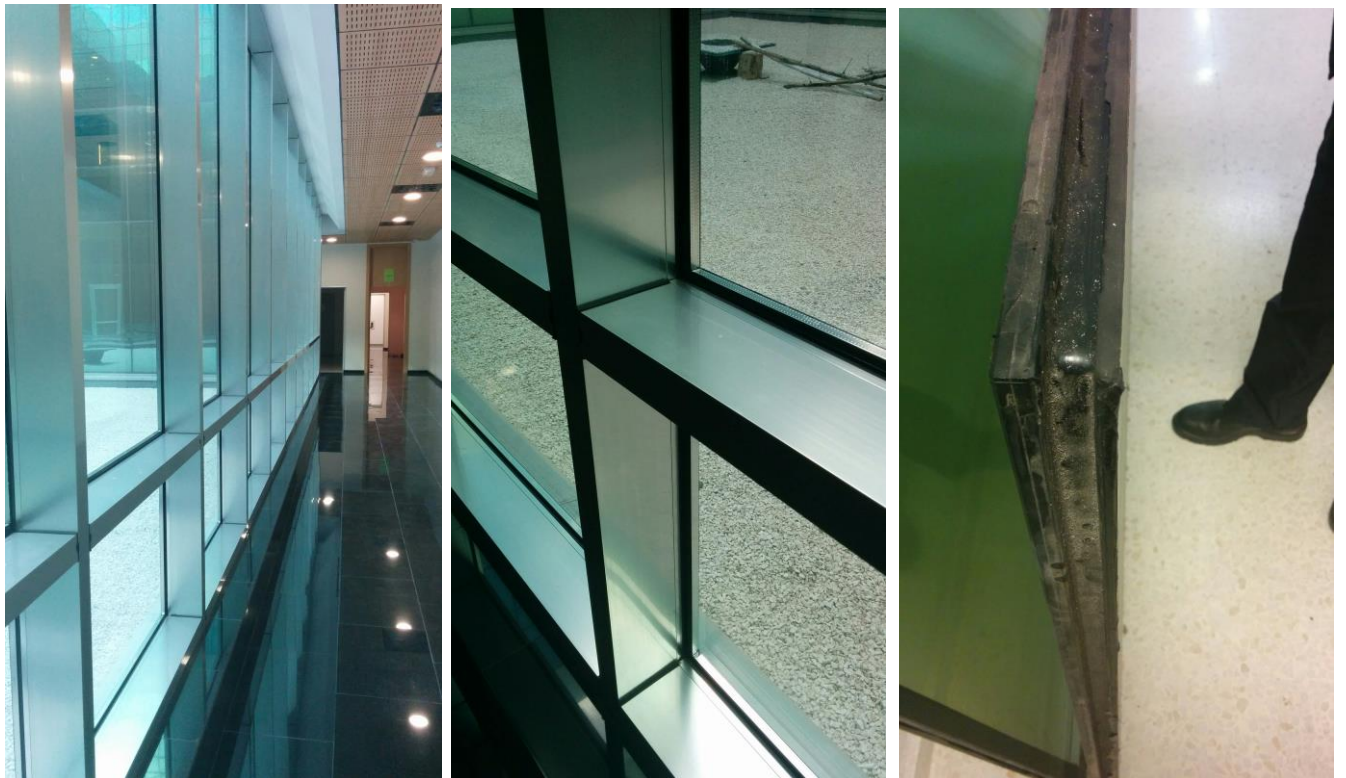


Figura 54: Vistas interior de carpinterías y detalles de carpintería y vidrio.

Extracto 2, documentación fotográfica complementaria a la mostrada en el trabajo, visita al edificio Hospital Fátima, caso de estudio desarrollado.



Figura 55: Vista desde el interior de la habitación con malla, vista de la habitación con mancha solar.



Figura 56: Vista desde el pie de la malla, vista del remate de la malla.



Figura 57: Vista habitaciones con malla, vista habitaciones si malla. Fuente: estudio Alminar.