





LA INFLUENCIA DEL VIDRIO EN EL CONSUMO DE CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN E ILUMINACIÓN EN REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS DE OFICINAS BAJO CLIMA MEDITERRÁNEO PENINSULAR (1971-1980)

Recibido 22/03/2019
Aceptado 14/06/2019

THE INFLUENCE OF GLAZING ON HEATING, COOLING AND LIGHTING USE IN OFFICE BUILDING RETROFITTING IN A PENINSULAR MEDITERRANEAN CLIMATE (1971-1980)

JORGE ÁVILA-DELGADO
Grado en Ciencia y Tecnología de Edificación
Estudiante de Doctorado Universidad de Sevilla.
Sevilla, España
<http://orcid.org/0000-0002-6803-8983>
joravidel@alum.us.es

MARÍA ROBADOR-GONZÁLEZ
Doctor Arquitecto
Docente Departamento de Construcciones Arquitectónicas II.
Universidad de Sevilla.
Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0002-4662-494>
lolarobador@us.es

JOSÉ BARRERA-VERA
Doctorado en técnicas gráficas y cartográficas
Docente del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica.
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0003-1069-4846>
barrera@us.es

Madelyn Marrero
Doctora en Filosofía
Docente del Departamento de Construcciones Arquitectónicas II.
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0002-9509-4374>
madelyn@us.es

RESUMEN

Los edificios de oficinas existentes en España representan el 33% del consumo total del parque construido. Estos son mayoritariamente edificios previos a la entrada en vigor de Código Técnico de Edificación, por lo que son poco eficientes energéticamente y poseen una elevada superficie vidriada. Las puertas y ventanas suelen ser los primeros elementos a sustituir en las renovaciones de edificios y presentan una oportunidad de mejora. Para ello, el vidrio puede ser analizado según su configuración, unido a la inclusión de tratamiento de capa en algunas de las caras (bajo emisivo), y mediante los parámetros característicos: transmitancia térmica, coeficiente de ganancia térmica solar y transmisión luminosa. En este artículo, se analiza la sustitución de vidrios monolíticos sencillos, por vidrios de doble vidrio sin tratamiento de capa o bajo emisivo, analizados por orientaciones. Se estudian tres climas mediterráneos con diferentes severidades de invierno y verano en España (Barcelona, Sevilla y Málaga). En cuanto a la configuración y tratamiento de capa del vidrio, en calefacción, se obtiene un menor consumo energético con el vidrio sin tratamiento de capa con mayor transmitancia térmica, y en refrigeración, con el bajo emisivo. Por otro lado, si se analizan los parámetros característicos, un menor consumo de calefacción se consigue con una transmitancia térmica baja, factor solar alto y transmisión luminosa baja, y en refrigeración, por el contrario, con una transmitancia alta, factor solar bajo y transmisión luminosa alta, por lo que es la combinación de ambas estaciones la que dicta los valores óptimos. En iluminación, un menor consumo se obtiene con la transmisión luminosa y factor solar mayores.

Palabras clave

Consumo energético de oficinas, eficiencia del vidrio, simulación energética, clima mediterráneo.

ABSTRACT

Office buildings in Spain represent 33% of the total energy consumption of building stock. Most were built prior to when the Technical Building Code came into force, and hence are not energy efficient and have highly glazed façades. Doors and windows are normally the first elements to be replaced during building renovations and present an opportunity for improvement. To this end, glazing can be analyzed according to its configuration, along with any internal coatings, i.e. with or without a low emissivity layer, and through the characteristic parameters, including: thermal transmittance, solar heat gain coefficient and visible transmittance. This article analyzes the replacement of monolithic glass panes with double panes without coatings (low emissivity), by orientation. Three Mediterranean climates with different winter and summer weather severity were studied in Spain (Barcelona, Seville and Malaga). In terms of window configuration and internal coatings, for heating, lower energy consumption can be obtained with glass without coatings that has higher thermal transmittance, and for cooling, with low emissivity glass. Alternately, if the characteristic parameters are analyzed, lower heating consumption is achieved with low thermal transmittance, high solar heat gain and low visible transmittance. On the contrary, during the summer high thermal transmittance, low solar heat gain coefficient and high visible transmittance yield the best results for cooling. Therefore, it is the combination of weather from both seasons that dictates the optimal values. In lighting, lower consumption is obtained with higher visible transmittance and solar heat gain coefficients.

Keywords

Energy consumption in office buildings, glazing efficiency, energy simulation, Mediterranean climate.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático debido a causas antropogénicas es una realidad cada vez más evidente. Numerosos signos tangibles indican, como lo atestigua la comunidad científica, que se ha superado el umbral de dióxido de carbono de 400 ppm (Hunger, 2016). Son los edificios los responsables del 40% del consumo total en la Unión Europea (Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 2010) y dentro de las diferentes tipologías de edificios, los de oficinas destacan por su alto consumo de energía (Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España 2004-2012, 2003) y representan el 33% del consumo total del parque construido. Se trata, mayoritariamente, de edificaciones previas a la entrada en vigor del Código Técnico de Edificación (Código Técnico de la Edificación, 2006), por lo que suelen ser inmuebles energéticamente ineficientes y con grandes superficies vidriadas. La ventana es normalmente el primer elemento de la envoltura térmica evaluado, técnica y económicamente (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2008) y destaca por su triple efecto en el consumo de energía a través de los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación (Jaber y Ajid, 2011).

La configuración del vidrio ha ido evolucionando considerablemente a lo largo de las últimas décadas mediante la aplicación de nuevos diseños, técnicas y materiales (Giménez, 2011). Así, se puede diferenciar varias tipologías en ellos (IDAE, 2008), de acuerdo a su configuración o diseño, como son el simple, doble o triple, así como la inclusión de un tratamiento de capa en alguna o varias de las caras con el que se obtendría un bajo emisivo, control solar o una combinación de ambas características. Dichas cualidades condicionan el valor de los parámetros característicos asociados al vidrio que consideran la UNE-EN 410 y UNE-EN 673 (Asociación Española De Normalización y Certificación, 2011a y 2011b), tales como la reflexión luminosa, la absorción energética, la transmisión ultravioleta, entre otros. Destacan, en este sentido, la transmitancia térmica «U» y el factor solar «FS», por su efecto en el comportamiento térmico de los recintos, y la transmisión luminosa «TL», por su influencia en la iluminación artificial.

Al igual que la parte opaca de la envoltura de los edificios, el nivel de eficiencia y elección del vidrio se ha asociado, durante los últimos años en España, principalmente al parámetro transmitancia térmica (Tabla 1). Los vidrios monolíticos sencillos fueron utilizados, en su gran mayoría, hasta la década de los ochenta (Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas, 2014).

Como se ha indicado, los edificios de oficinas se caracterizan por un elevado porcentaje de vanos (Window-to-Wall Ratio, WWR), alto consumo energético por metro cuadrado y gran aprovechamiento de la luz natural (Franzetti, Fraise y Achard, 2004). En esta línea, se han realizado diversos estudios en cuanto a su forma, disposición, WWR, tipos

Periodo	Descripción	U (W/m ² K)
1970-1980	Vidrio monolítico	5,7
1980-1990	Doble vidrio	3,3
1995-2000	Primeros vidrios bajo emisivos	1,8 - 1,6
2007	Mayor presencia vidrios bajo emisivos	1,5 - 1,3
2013	Vidrios bajo emisivos	1,1 - 0,5

Tabla 1. Evolución temporal del uso del vidrio convencional en España. Parámetro transmitancia térmica. Fuente: Recuadro extraído de Asociación Española de Fabricantes De Fachadas (2014).

de ventanas, elementos de sombra, entorno y zonas climáticas. Hee et al. (2015) ponen de manifiesto el impacto de la tipología del vidrio, estático y dinámico, en el comportamiento térmico y aprovechamiento de la luz natural. En la mejora de la normativa de ahorro energético por el gobierno de Korea, Kim et al. (2014) proponen incluir, además, el parámetro aislante de la ventana, orientación y factor solar.

Méndez et al. (2015), en tanto, destacan la importancia de la disposición de las ventanas, con y sin influencia del entorno, en la eficiencia energética en climas europeos más representativos de Europa según la clasificación Köppen (Palermo, Torino, Frankfurt y Oslo). Goia (2016) se centra en establecer el WWR ideal en oficinas de bajo consumo para diferentes climas europeos (Oslo, Frankfurt, Rome and Athens). Afirma que la mayoría de los valores ideales se encuentra en un estrecho margen entre el 0.30 y 0.45% de vanos. De forma semejante, Ma, Wang y Guo (2015) determinan el WWR máximo según diferentes valores de transmitancia térmica de la envoltura en siete ciudades de Estados Unidos. Pino et al. (2012) destacan el tamaño de la superficie acristalada como el factor más influyente en la demanda energética en Santiago, Chile. Éstos, con un WWR del 20%, protecciones solares exteriores y vidrio selectivo, obtienen una demanda de 25 kWh/m² año.

En climas nórdicos, Poirazis, Blomsterberg y Wall (2008) establecen posibilidades y limitaciones en el diseño de futuros edificios de oficinas estudiando una planta rectangular en Gotemburgo, Suecia. Sostienen que los edificios con grandes superficies vidriadas deben estar diseñados de manera que eviten la alta carga de refrigeración. Grynning et al. (2013) obtienen resultados similares al analizar tres métodos de calificación de ventanas en un edificio en Oslo, Noruega, donde también tiene una mayor importancia la demanda de refrigeración.

Por otro lado, en climas cálidos, Huang, Niu y Chung (2014) basan su investigación en un edificio cuadrado en cuatro ciudades de latitudes entre 1° 18' y 29° 45' norte. Establecen la combinación ideal para las diferentes tipologías de ventanas convencionales y los elementos de sombras interiores y exteriores. Tsikaloudaki et al. (2012)

evalúan el comportamiento de un grupo de ventanas sobre la demanda de refrigeración en clima mediterráneo (Atenas, Lárnaca, Lisboa, Málaga y Roma) mediante el cálculo del valor del índice energético en módulo de oficina rectangular diseñado bajo norma ISO 18292, y determinan que los valores de transmitancia térmica inferiores a 2,0 W/m²K no son aconsejables si se quiere conseguir que la carga de refrigeración sea lo más baja posible.

Lee *et al.* (2013) investigan el efecto del vidrio en el consumo energético en varios climas típicos de Asia (Manila, Taipei, Shanghai, Seoul y Sapporo). Exponen diferentes propuestas para cada clima según tamaño, porcentaje y orientación. Ihara, Gustavsen y Jelle (2015) estudian, además del efecto de la transmitancia y factor solar de la ventana, la reflectancia y transmitancia térmica de la parte opaca en Tokio, Japón. Concluyen que la medida más efectiva para reducir la demanda energética pasaría por reducir primero el factor solar, seguido de la transmitancia térmica de la ventana para posteriormente aumentar la reflectancia solar de la parte opaca. Y destacan que la reducción de la transmitancia de la parte opaca aumenta la demanda en la mayoría de los edificios, siendo necesario determinar el valor apropiado.

En cuanto al consumo en iluminación, Tian *et al.* (2010) desarrollan un sistema de clasificación energética de ventanas para los edificios de oficinas más comunes de Hong Kong, a partir del cual indican qué estrategias de control de la iluminación artificial tienen un gran impacto en la calificación energética. Bodart y De Herde (2002), por su parte, evalúan el impacto del aprovechamiento de la luz natural en Uccle, Bélgica y aseveran poder reducir la iluminación artificial en oficinas entre un 50 y 80%. Lee y Won (2017) analizan la combinación factor solar y transmisión luminosa, proponiendo una guía que mejore la eficiencia económica según coste energético e inversión inicial, en Corea del Sur. Afirman que el consumo energético disminuye a medida que el factor solar disminuye y la transmisión luminosa aumenta.

Con visión a futuro, Rubio-Bellido, Pérez y Pulido (2016) abordan hipotéticos escenarios meteorológicos que podrían surgir como consecuencia del cambio climático, y los efectos que podrían darse sobre la demanda energética en diferentes años, en Chile. En ese marco, investigan cómo optimizar la planta (factor de forma) y la envolvente (relación ventana y parte ciega) de estas construcciones. Asimismo, Shibuya y Croxford (2016) exploran el impacto del cambio del clima sobre el consumo de calefacción y refrigeración de un edificio estándar existente en tres regiones de Japón.

El presente artículo analiza el vidrio desde dos puntos de vista: su configuración, que corresponde al número de paneles acristalados que lo conforman (simple o doble vidrio) o al tratamiento de capa (baja emisividad), y sus parámetros característicos. La metodología propuesta permite determinar, comparar y entender la influencia de

ambas formas de análisis en el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación, y con ello, en la elección de cada sistema y orientación. Primero, se considera el vidrio según su configuración y tratamiento de capa, para lo cual es necesario no tener aplicado ningún tratamiento de capa (vidrio claro), o bien, contar con una capa de baja emisividad (bajo emisivo). Y, en segundo lugar, se trabajan los tres parámetros característicos: la transmitancia térmica, el factor solar y transmisión luminosa, cuyos valores dependen de los resultados obtenidos a partir de la primera etapa del análisis.

Para conseguir ambos objetivos se define un edificio modelo de oficinas, representativo del parque edificatorio, dentro del periodo de mayor volumen de construcción de oficinas en España (1971-1980). El edificio es adaptado o transformado geométricamente, interna y externamente, de manera que permita obtener una igualdad de condiciones en todas las orientaciones, posibilitando con ello, la comparación entre dichas orientaciones. Tres tipos de vidrios son utilizados: monolítico sencillo, doble claro y doble bajo emisivo. El modelo, una vez modificado, es sometido a tres entornos climáticos que exhiben diferentes severidades de invierno y verano, de acuerdo al Código Técnico de la Edificación (CTE, 2017). Los climas vienen definidos por una letra (desde la "A", para el más suave, hasta la "E", para el más severo) cuando se refiere al consumo calefacción, y por un número (desde el "1", el más suave, al "4", el más severo) cuando se trata de refrigeración. Los entornos climáticos corresponden a tres ciudades con mayor superficie construida de oficinas en clima mediterráneo peninsular español (Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, 2014): Barcelona, de código «C2» y latitud 41° 28' N, Sevilla «B4» de 37° 42' N, y Málaga «A3» de 36° 67' N.

METODOLOGÍA

Para determinar la influencia e importancia de la configuración y tratamiento de capa, y de los parámetros de los vidrios en edificios de oficinas, se sigue la siguiente metodología:

1. Se define el modelo representativo de un grupo existente del parque edificatorio. Se determina aquí la geometría, alturas, vanos y ventanas del modelo inicial de estudio basado en datos catastrales y estadísticos en las ciudades de estudio.
2. Se establecen las características constructivas del modelo, partiendo en este caso, de informes técnicos y códigos constructivos vigentes en el periodo de construcción elegido. Así también, se define la ocupación, la operación y los equipos instalados.
3. Se precisan los datos requeridos para la representación del modelo dentro del programa de simulación energética que incluye los parámetros

de evaluación: transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa de los vidrios.

4. Se determina la iluminación y colocación de fotosensores con programas informáticos.
5. Se estipula las combinaciones de vidrios a ensayar y se identifican los vidrios comúnmente empleados y comercializados.
6. Se realizan simulaciones relacionadas con la influencia de los vidrios, según configuración y tratamiento de capa, para posteriormente continuar con los parámetros característicos. En este último caso, se generan distintas combinaciones ficticias auxiliares de los valores de los parámetros de los vidrios dobles.
7. Se representan gráficamente los resultados por ciudades y orientaciones, según configuración y tratamiento del vidrio, y parámetros característicos. Se amplía, posteriormente, el estudio del vidrio a un rango de valores de transmitancia térmica y factor solar mayores para conocer si mantiene el vidrio el mismo comportamiento.



EDIFICIOS REPRESENTATIVOS

La Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, a través del documento "Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio" (2014), refleja una superficie construida de oficinas en España de 111,29 millones de m². De ellos, el 31,8% fueron construidos en los años 2002-2011, el 23,1%, en el intervalo 1991-2001 y un 15,2%, entre 1971 a 1980. Periodo, este último, caracterizado por el uso del vidrio monolítico sencillo.

El listado de referencias catastrales de inmuebles indica cuáles tienen uso de oficina en la Subdirección General de Política de la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento. Y a través de la Sede Electrónica del Catastro (Servicios electrónicos de la Dirección General del Catastro) se han localizado los de Sevilla, de los cuales se eligen tres, mediante un estudio de campo. Estos edificios están caracterizados por presentar: planta rectangular, elevada superficie y número de plantas, vanos modulados con igual dimensión, forma y porcentaje en todas las orientaciones, y ningún edificio colindante cercano (Figura 1).

Los tres edificios son utilizados en el diseño geométrico y elementos de la envolvente del modelo de oficinas. Debido a las diferencias existentes entre ellos, se considera una situación intermedia en cuanto a la planta (dimensiones exteriores, número de plantas y altura de suelo a suelo), el vano (porcentaje, geometría y posición, escuadría, altura dintel y antepecho, y elemento de sombra propia) y la ventana (carpintería, fracción de marco y vidrio).

Figura 1. Edificios de referencia en la definición del modelo inicial.
 Fuente: Elaboración de los autores.

El edificio modelo, de planta rectangular, tiene unas dimensiones interiores de 50m x 20m con alineación de fachadas de mayor longitud a eje norte-sur. Consta de 11 plantas con una altura de suelo a suelo de 3,10m. Los forjados de las plantas intermedias son de 0,36 m siendo la altura de suelo a techo de 2,74m.

HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

La herramienta de simulación energética elegida, de uso extendido en el sector de la construcción, es DesignBuilder¹, sobre la cual se ha basado la caracterización y estructuración de los diferentes elementos pasivos y activos del edificio modelo. Esta trabaja con el motor de cálculo EnergyPlus -desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y creado a partir de la unión de las herramientas DOE-2 y BLAST-, el que permite realizar simulaciones dinámicas avanzadas en tiempo real. También incorpora RADIANCE en el análisis de la iluminación natural incidente a través de los parámetros lumínicos: nivel de iluminancia y factor de luz diurna, mediante el método "ray-tracing" (trazado de rayos) en el plano de trabajo. Emplea el modelo de cálculo estadístico Monte Carlo, incluyendo la reflexión, refracción de la luz, sombras y otros efectos necesarios de forma unificada para conseguir un efecto realista. Finalmente, la herramienta usa el módulo HVAC, el cual considera un amplio rango de sistemas (todos los de referencia del estándar ASHRAE 90.1), como también la dinámica de fluidos computacional (CFD) en el estudio detallado del movimiento del aire interior y la distribución de temperaturas, entre otros aspectos.

Para el cálculo de los parámetros lumínicos de fuentes de luz interior y distribución de luminarias de los recintos se ha utilizado la también conocida y extendida herramienta DIALux² del Instituto Alemán de Luminotécnica Aplicada. Esta hace posible integrar una multitud de paquetes de base de datos de productos de compañías de fabricantes diferentes.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, OCUPACIONALES, OPERACIONALES, FUNCIONALES, Y EQUIPOS

El diseño de las soluciones constructivas que componen la envolvente del edificio modelo se ha basado en la norma de buenas prácticas, correspondiente al periodo de estudio en España (Ministerio de la Vivienda, 1972), mientras que sus valores de transmitancia térmica se han

apoyado en la biblioteca de materiales de la Herramienta Unificada de Verificación del Documento Básico HE del CTE y la Certificación Energética de Edificios³ (HULC 2016) (Tabla 2).

Los vanos de fachada, de forma rectangular en posición apaísada, son modulares de iguales características geométricas y dimensionales equidistantes entre sí, a 0,50m (Figura 2). El porcentaje de vanos es del 46% en todas las orientaciones, único considerado en las simulaciones.

Parámetro	Espesor (m)	U (W/m ² K)
Cubierta	0,46	0,91
Muro de fachada	0,29	1,28
Suelo	0,51	2,36
Partición interna horizontal	0,36	1,96
Partición interna vertical	0,12	2,23

Tabla 2. Parte opaca de la envolvente térmica y particiones interiores. Espesores y valor transmitancia térmica. Fuente: Elaboración de los autores.

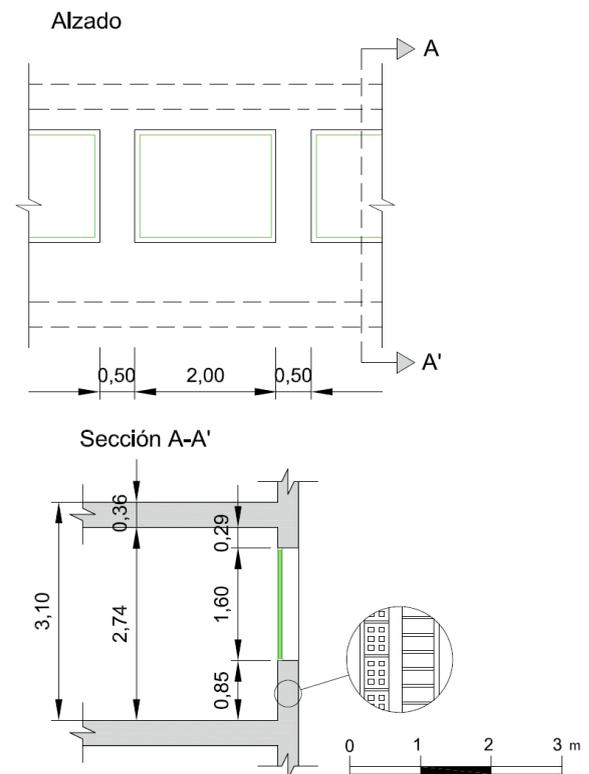


Figura 2. Alzado y sección fachada del edificio modelo inicial. Fuente: Elaboración de los autores.

[1] HERRAMIENTA DESIGNBUILDER (versión 5.0.1.021) (<https://www.designbuilder.co.uk>)
 [2] HERRAMIENTA DIALUX (versión 4.12) (<https://www.dial.de/es/dialux-desktop/download/>)
 [3] HERRAMIENTA HULC (versión 1.0.193.1049, de fecha 10-mar-2016) (<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener>)

Parámetro		Valor
Vano	Escuadría	2,00 x 1,60 m
	Altura dintel	2,45 m
	Altura antepecho	0,85 m
Ventana	Parámetros del vidrio monolítico de 6 mm	$U_g = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ $FS = 0,85$ $TL = 91 \%$
	Perfil de marco	$U_f = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\alpha = 0,30$
	Infiltración recintos	$n^{50} = 5,0 \text{ 1/h}$
	Fracción de marco	15 %

Tabla 3. Parámetros del vano y ventana. Fuente: Elaboración de los autores.

Parámetro		Valor	
Calefacción	Rendimiento estacional	0,85	
	Temperatura de consigna	22°C	
Refrigeración	Rendimiento estacional	1,80	
	Temperatura de consigna	24°C	
Ventilación	Categoría IDA 2	12,5 dm ³ /s	
Ganancias internas	Ocupación	Densidad ocupación	10,00 m ² /persona
		Tasa por persona	130 W/persona
		Factor metabólico	0,93
Equipos	Iluminación artificial	Vestimenta	Verano (0,50), Invierno (1,00)
		Densidad	4,50 W/m ²
		Fracción radiante	0,63
Iluminación artificial	Iluminación artificial	Fracción radiante	0,37
		Fracción visible	0,18
		Fracción conectiva	0,45
Iluminación artificial	Potencia/área		16,98 W/m ²
	VEEI		2,36 W/m ² 100 lux
	Factor mantenimiento		0,80
Iluminación natural	Fracción iluminación controlada por sensor de luz		50 %
	Iluminación de consigna		500 lux
	Plano de trabajo		0,85 m

Tabla 4. Parámetros sistema de calefacción y refrigeración, ventilación mecánica y ganancias internas, e iluminación artificial y natural. Fuente: Elaboración de los autores.

En una rehabilitación energética de vanos de fachadas no tiene sentido cambiar únicamente la superficie vidriada sino la ventana. Ello, debido, por un lado, a las pésimas prestaciones térmicas que tiene el perfil de hoja y/o marco y, por otro, a la imposibilidad técnica de incluir un vidrio de mayor calidad y grosor en el poco espesor del perfil existente. En las simulaciones, se ha considerado las características técnicas del marco en su situación reformada.

Se elige un sistema de hoja fija, al no considerarse la ventana una estrategia de ventilación natural en el sector terciario (CTE, 2013), de perfil PVC y color blanco. El vidrio es un monolítico sencillo de 6mm de espesor, retranqueado 24cm del paramento exterior (Tabla 3).

Los elementos de sombras en vanos de fachada son iguales en todas las orientaciones, de modo que se escoge para el estudio la opción de máxima incidencia de la radiación solar. Es el retranqueo de la ventana el único considerado. Al centrarse la investigación en el comportamiento del vidrio, se han mantenido constantes todos los elementos que conforman la envolvente térmica y particiones interiores, así como las características ocupacionales, operacionales, funcionales y los equipos. La transmitancia térmica, el factor solar y la transmisión luminosa son las únicas variables.

El equipo de producción de calor está compuesto por un ventilconvector 4 tubos de vector energético el gas natural. El equipo de refrigeración corresponde a una enfriadora por aire de vector la electricidad.

En la iluminación artificial se ha elegido una de tipo general directo, es decir, aquella que no modifica su distribución, aun produciéndose cambios en la posición de los puestos de trabajo. Se ha considerado una instalación muy habitual en oficinas (IDAE, 2001) consistente en luminarias de techo empotradas no ventiladas con lámparas fluorescentes tubulares lineales de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, tipo TL-D 26mm de diámetro.

En el aprovechamiento de la luz natural, se ha empleado un sistema de regulación y control automático tipo progresivo/apagado en el que la iluminación artificial y potencia eléctrica consumida disminuyen linealmente a medida que aumenta la incidencia de la iluminación natural (Ordóñez, 2014). Las lámparas se apagan al sobrepasar el nivel de iluminación de consigna. Cada recinto lleva incorporado un fotosensor situado a eje del vano a una distancia de 2,45m. No se ha considerado ningún factor corrector por pérdida de radiación lumínica por suciedad del vidrio (Tabla 4).

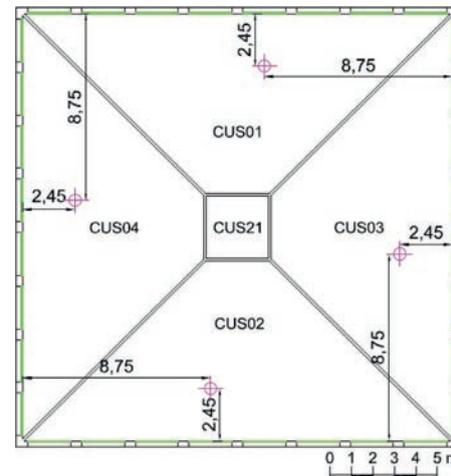


Figura 3. Planta modelo de oficinas. Fuente: Elaboración de los autores.

ADAPTACIÓN DEL EDIFICIO MODELO Y COMBINACIONES EN LA COMPARACIÓN DEL VIDRIO

Para conocer la influencia de la configuración del vidrio, unido al tratamiento de capa, y de los tres parámetros característicos sobre los consumos de calefacción, refrigeración e iluminación, el edificio modelo de planta rectangular, de 50 x 20 m, es previamente adaptado con el fin de conseguir una igualdad de condiciones en todas las orientaciones, que permita la comparación.

El primer inconveniente que se presenta en el modelo de planta rectangular es la desigual incidencia de la radiación solar por fachada. Por lo que éstas son unificadas en sus dimensiones, tomando como referencia la de menor longitud, de manera que la planta pasa a ser de 20m x 20m. Un segundo inconveniente está relacionado con la superficie de los espacios interiores. Estos tienen que ser también iguales entre sí, dando un nuevo escenario compuesto por núcleo central, CUS21, y cuatro espacios de igual superficie útil y número de vanos orientados hacia los cuatro puntos cardinales, CUS01 a 04 (Figura 3). Por simplificación y rapidez en las simulaciones, se ha centrado el estudio en una única planta intermedia, la más representativa.

El modelo empleado en las simulaciones difiere del comúnmente usado, que consiste en un módulo de oficina a una orientación donde todas las paredes son adiabáticas, excepto la fachada con el vano acristalado. En este caso, la simulación se comienza considerando todos los vanos de la planta con vidrios monolíticos, los cuales son sustituidos posteriormente por los dobles reales y ficticios, por orientaciones de fachada, reflejando el efecto sobre la planta modelo cuadrada.

VIDRIOS DE EXPERIMENTACIÓN

En la investigación se han utilizado tres tipologías de vidrios muy comunes en la edificación. Una configuración simple, correspondiente al monolítico sencillo, que fue definida con el edificio modelo de planta rectangular, y dos configuraciones dobles. De estas últimas, una sin tratamiento, el doble claro, y otra con tratamiento de baja emisividad en la cara dos, correspondiente a un doble bajo emisivo (Tabla 5). Estas tres tipologías son, en definitiva, las adoptadas para el primer análisis de comportamiento del vidrio, según su configuración y tratamiento de capa.

Vidrio	Código	U (W/m ² K)	FS (-)	TL (%)
<p>Monolítico sencillo</p>	RE_MS	5,7	0,85	91
<p>Doble claro</p>	RE_DC	2,8	0,72	79
<p>Doble bajo emisivo</p>	RE_BE	1,6	0,41	69

Tabla 5. Vidrios de experimentación reales. Valores parámetros U, FS y TL. Fuente: Elaboración de los autores a partir de Guardian SunGuard, Empresa de vidrios. Información Técnica.

Vidrio	Código	U (W/m²K)	FS (-)	TL (%)
Monolítico	RE_MS	5,7	0,85	91
Doble claro	RE_DC	2,8	0,72	79
Doble claro ficticios	FI_DC02	2,8	0,72	69
	FI_DC06	2,8	0,41	79
	FI_DC08	2,8	0,41	69
Bajo emisivo	RE_BE	1,6	0,41	69
Bajo emisivo ficticios	FI_BE02	1,6	0,41	79
	FI_BE06	1,6	0,72	79
	FI_BE08	1,6	0,72	69

Tabla 6. Vidrios de experimentación reales y ficticios. Valores parámetros U, FS y TL. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 4. Consumo de calefacción, a la izquierda, y de refrigeración, a la derecha, con vidrios según prestación en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

En cambio, para conocer el comportamiento del vidrio por parámetros característicos es necesario contemplar, además de las tres tipologías anteriores, seis vidrios ficticios adicionales, creados expresamente a partir de la combinación de los valores de transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa de los dos vidrios: doble sin tratamiento y de baja emisividad (Tabla 6). Tres son doble claro (FI_DC02, FI_DC06, FI_DC08) y los otros tres son bajo emisivo (FI_BE02, FI_BE06, FI_BE08).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

COMPORTAMIENTO DEL VIDRIO SEGÚN CONFIGURACIÓN Y TRATAMIENTO DE CAPA

Si se compara el vidrio doble claro y doble bajo emisivo, en un ambiente con calefacción, se obtiene menor consumo con el vidrio doble claro, caracterizado por tener la transmitancia térmica mayor ($2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). En refrigeración, en cambio, se obtiene menor consumo con el bajo emisivo ($1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) (Figura 4). Si se analiza el parámetro factor solar, el vidrio doble claro, con el que se obtiene menor consumo en calefacción, es el que tiene un valor mayor (0,72). En refrigeración, el vidrio doble bajo emisivo, con el que se obtiene menor consumo, es el que presenta un valor menor (0,41). En iluminación, el menor consumo se obtiene con el vidrio que posee el mayor valor de transmisión luminosa, independientemente del valor de la transmitancia y del factor solar (Figura 5).

COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Al comparar, en este caso, el vidrio doble claro, el doble bajo emisivo y los ficticios creados con cada una de las dos tipologías anteriores, es con el vidrio FI_BE08 ($1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, 0,72, 69 %) con el que se consigue menor consumo en calefacción. Este se caracteriza por tener la transmitancia térmica más baja, el factor solar más alto y la transmisión luminosa más baja. En refrigeración, se obtiene menor consumo con el vidrio FI_DC06 ($2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, 0,41, 79 %), identificado con la transmitancia térmica más alta, el factor solar más bajo y la transmisión luminosa más alta. Tales valores de parámetros son opuestos a los obtenidos con el vidrio FI_BE08 en calefacción (Figura 6). En iluminación, un menor consumo se obtiene con el vidrio RE_DC ($2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, 0,72, 79 %) y con el FI_BE06 ($1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, 0,72, 79 %). Ambos se distinguen por tener los parámetros de transmisión luminosa y de factor solar más altos (Figura 7). Tanto en calefacción como en refrigeración e iluminación, se obtiene el mismo resultado en todas las orientaciones y ciudades.

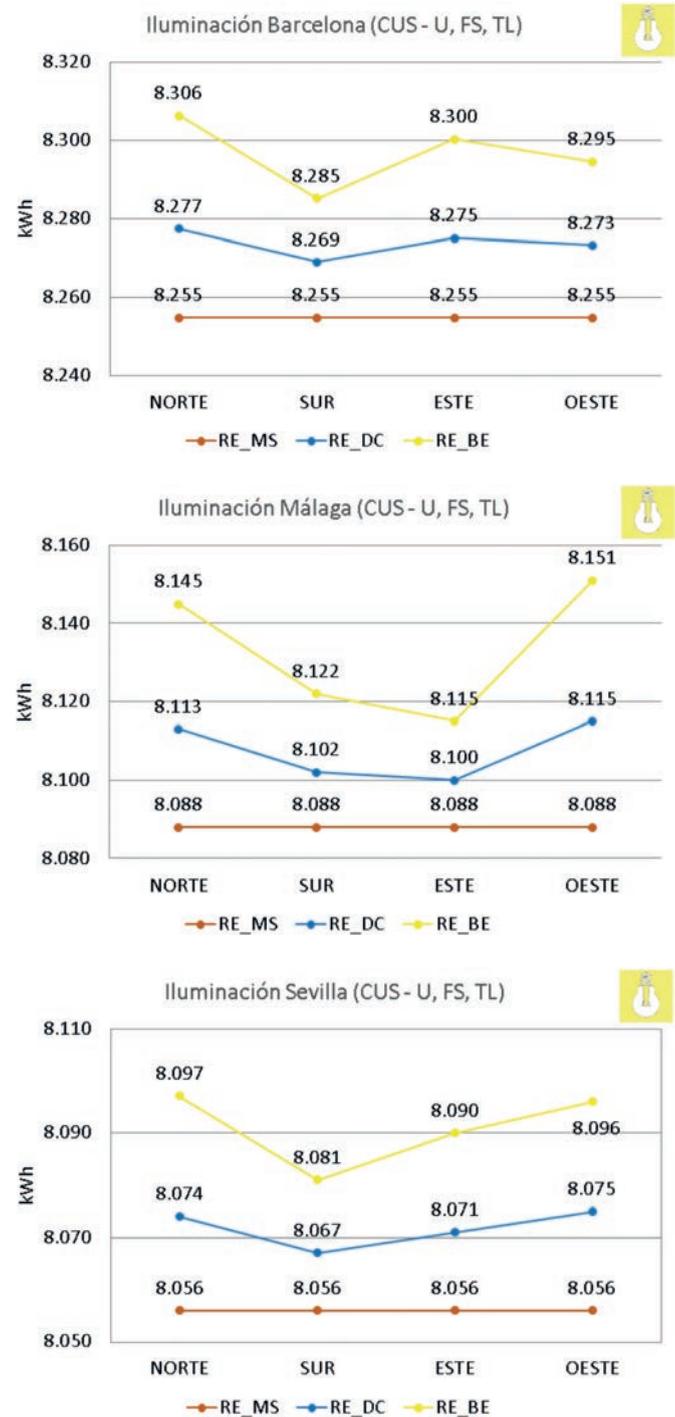


Figura 5. Consumo de iluminación con acristalamientos según prestación en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

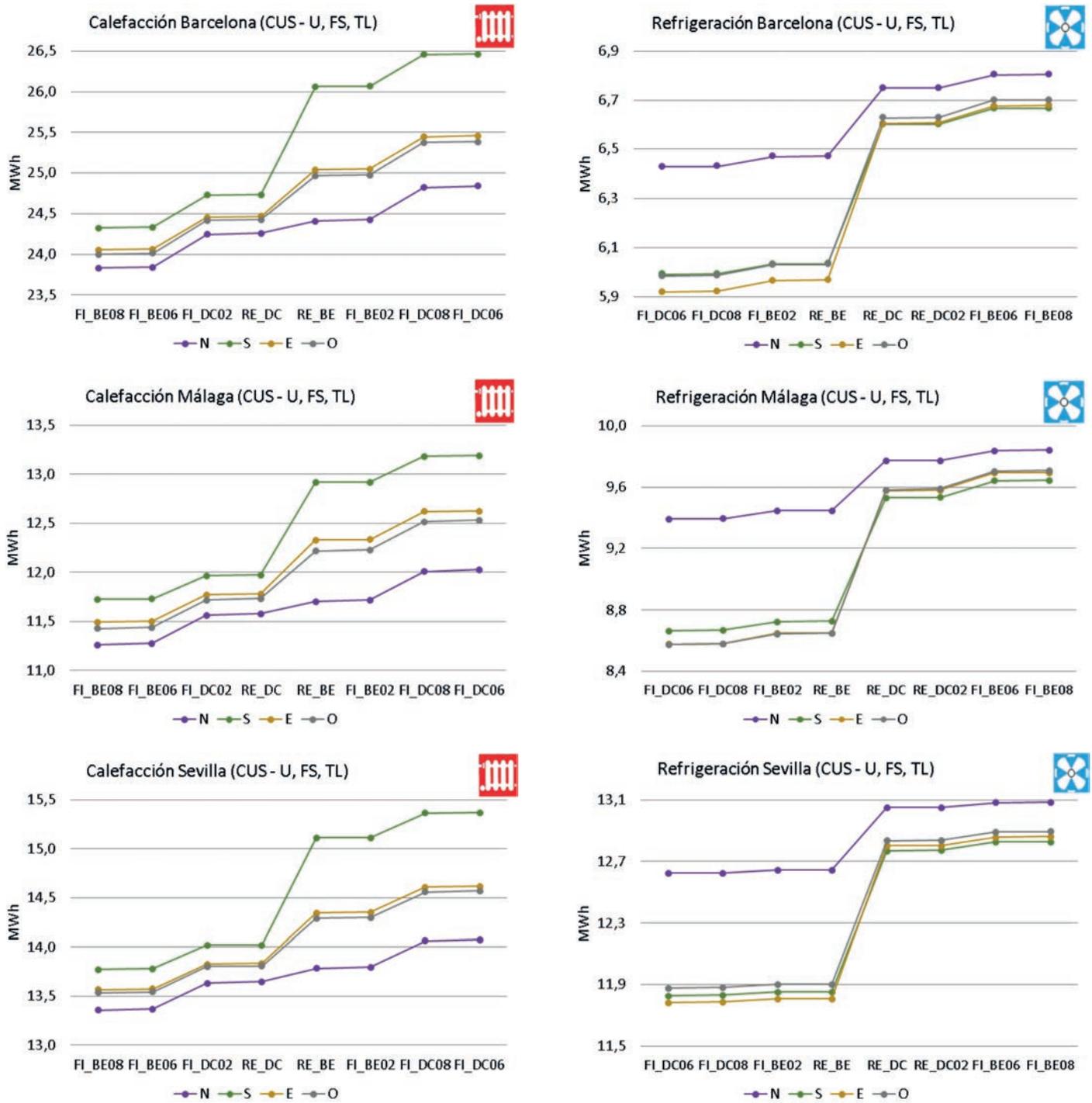


Figura 6. Consumo de calefacción, a la izquierda, y refrigeración, a la derecha, con la combinación de parámetros en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

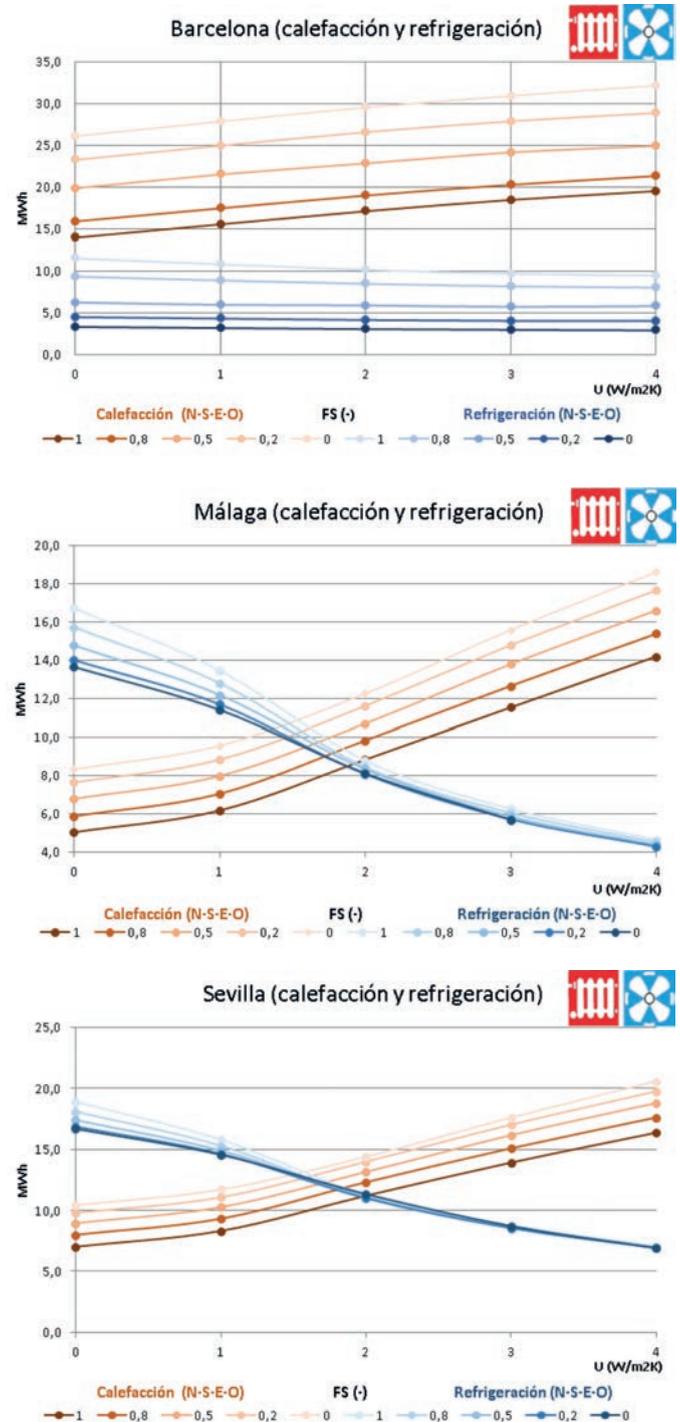
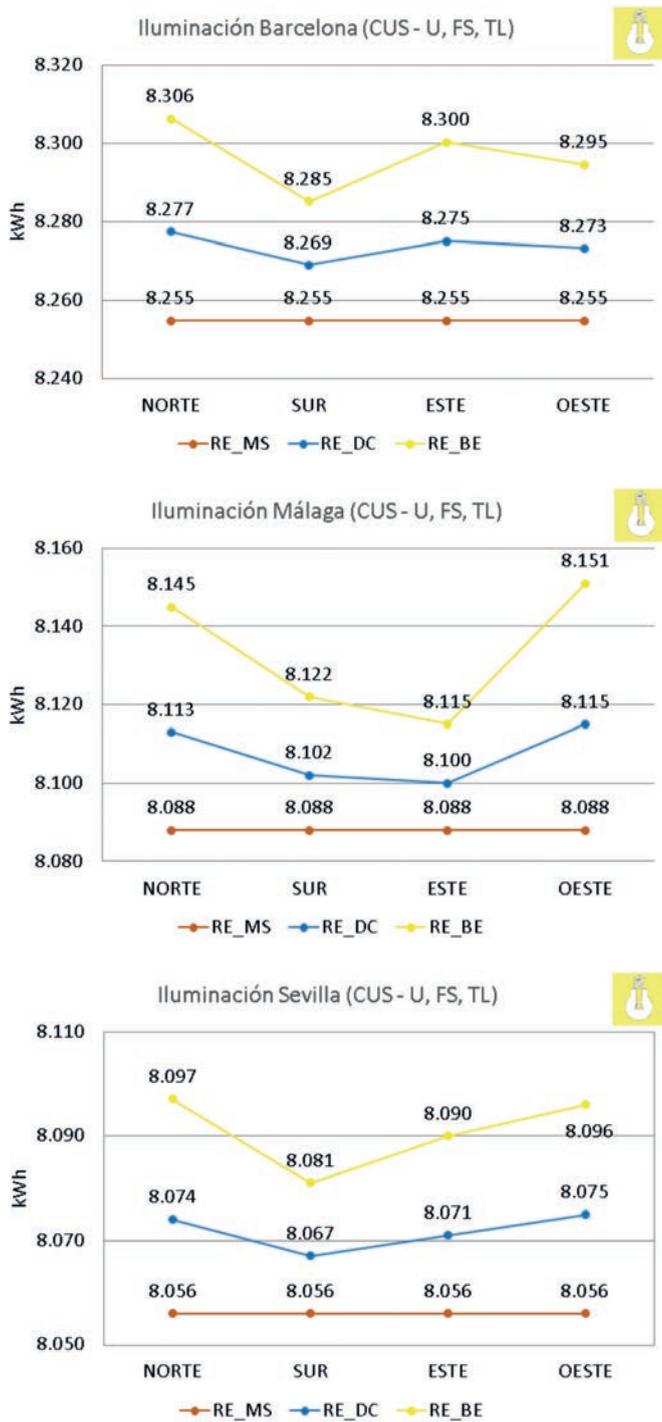


Figura 7. Consumo de iluminación con la combinación de parámetros en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 8. Consumo de calefacción y refrigeración con la combinación de parámetros U (0, 1, 2, 3 y 4 W/m²K) y FS (0,0; 0,2; 0,5; 0,8 y 1), en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

Para el rango de parámetros de vidrios dobles reales y sus correspondientes ficticios, en calefacción, se consigue un menor consumo energético con el vidrio que tiene una transmitancia térmica baja y factor solar alto. Y en refrigeración, con el vidrio que tiene una transmitancia térmica alta y factor solar bajo. Con el fin de comprobar si la reducción del consumo energético se mantiene igual para valores de transmitancia térmica y factor solar más amplios, se realiza un último grupo de simulaciones compuesto por la combinación de valores de transmitancia térmica de: 0, 1, 2, 3 y 4 W/m²K con valores del factor solar de: 0,0; 0,2; 0,5; 0,8 y 1. Cada combinación es considerada y sustituida en todas las orientaciones cada la vez.

En las gráficas de las tres ciudades se puede apreciar, que el consumo energético es menor cuanto más baja es la transmitancia térmica y mayor es el factor solar en calefacción, y cuanto mayor es la transmitancia y menor es el factor solar en refrigeración. Únicamente se obtiene un menor consumo en un caso aislado en refrigeración en Sevilla, cuyo valor de transmitancia térmica es de 2 W/m²K y de factor solar, 0 (Figura 8).

Se puede observar cómo en Barcelona, que presenta un clima más suave en verano y más severo en invierno, es la calefacción la que domina el impacto anual por lo cual un factor solar alto y valores de transmitancia bajos son la mejor opción. Pero en climas más cálidos, como los de Sevilla y Málaga, se debe encontrar un punto intermedio en la transmitancia, entre 1,9 a 2,0 W/m²K. Valores por debajo del umbral reducen el consumo en invierno, aminorando las pérdidas de calor, y por encima, reducen el consumo en verano, incrementándose la disipación de calor.

CONCLUSIONES

La metodología expuesta, que parte de la identificación de un modelo de edificio de oficinas representativo, ha permitido conocer el comportamiento teórico del vidrio de vanos de fachadas en la reducción del consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial. Ello ha sido posible tanto desde el punto de vista de la configuración, con y sin capa bajo emisiva, como de los tres parámetros característicos: transmitancia, factor solar y transmisión luminosa. Para la labor, fue necesario disponer de datos estadísticos de las construcciones y geometrías más representativos a través del análisis de informes y datos públicos

oficiales. También se requirió identificar los vidrios más comúnmente empleados y comercializados. Además, fue preciso ajustar la planta modelo inicial de forma rectangular a una cuadrada, con el fin de conseguir una igualdad de condiciones en todas las orientaciones que permitiera las comparaciones de las diferentes tipologías de vidrios: una situación ideal consistente en igualdad de fachadas, distribución de espacios y condiciones internas.

COMPORTAMIENTO DEL VIDRIO SEGÚN CONFIGURACIÓN CON Y SIN CAPA BAJO EMISIVA

En el estudio del vidrio por configuración y tratamiento de capa, se ha visto cómo aquel con transmitancia térmica más baja, característico del doble bajo emisivo, obtiene un consumo de calefacción mayor. Resultado que contradice el concepto que se tiene de dicha tipología, pues al tener menor valor de transmitancia térmica es asociado con una mayor reducción del consumo energético en calefacción. En refrigeración, es en cambio el vidrio bajo emisivo con el que se consigue un menor consumo. Esto sucede en todas las orientaciones y zonas climáticas con los vidrios dobles sin tratamiento y bajo emisivo. Escenarios que son debidos, en parte, a la influencia del valor bajo y alto del parámetro factor solar de cada vidrio.

En iluminación artificial, se consigue mayor reducción energética con el monolítico sencillo, caracterizado por tener la transmisión luminosa y factor solar mayores. Dicho resultado se obtiene igualmente en todas las orientaciones y zonas climáticas.

COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL VIDRIO

A diferencia del análisis del vidrio según su configuración y tratamiento de capa, aquí se crearon unidades ficticias de la combinación de los parámetros característicos de los vidrios dobles claro y bajo emisivo.

Un menor consumo de calefacción se consiguió con el vidrio que presentaba la transmitancia térmica más baja y factor solar más alto. En refrigeración, esto se correspondió con el vidrio con transmitancia térmica alta y un factor solar bajo. Combinación de valores de transmitancia térmica y factor solar que permiten, en el periodo de calefacción, menor pérdida de energía térmica y mayor ganancia solar,

mientras que, en refrigeración, mayor flujo de energía térmica (disipación del calor del interior al exterior de forma pasiva) y menor ganancia solar. Dichos valores de parámetros permiten, en el caso de estudio por configuración y tratamiento de capa, que el vidrio doble claro y doble bajo emisivo tenga un mayor efecto en la reducción del consumo energético en invierno o verano, respectivamente, en las tres ciudades estudiadas. En cuanto a la iluminación artificial, la reducción del consumo es mayor cuanto más elevado sea el valor de la transmisión luminosa y factor solar. El comportamiento de los parámetros se mantiene igual en todas las orientaciones y zonas climáticas.

En líneas globales, los vidrios deben ser seleccionados por el valor de los parámetros característicos y no de acuerdo al nombre generalizado con el que se les suele identificar, por ejemplo, bajo emisivo o con control solar. Efectivamente, el mayor ahorro energético se consigue a través de la combinación ideal de los tres parámetros, y esta será distinta según lo que se quiera reducir: la calefacción o la refrigeración.

FUTURAS INVESTIGACIONES

En futuras investigaciones, se propone el diseño de una herramienta de selección de vidrio que considere el periodo anual. Primero, centrar el estudio en el confort térmico (parámetros de transmisión térmica y coeficiente de ganancia de calor solar), considerando el efecto del calor liberado por los dispositivos de iluminación artificial. Y más adelante, incorporar aspectos tales como, características de la habitación, comportamiento del usuario frente al uso de elementos de sombra interiores, deslumbramiento, suciedad en los vidrios, edificios cercanos y la colocación óptima del sensor de luz.

También se investigará sobre el efecto del cambio climático en la selección de los vidrios, ya que el ciclo de vida de estos es cercano a los 50 años, por lo que se debe incluir un análisis sobre los métodos de ahorro futuro de energía y sobre aquellos que, por el contrario, perjudican la eficiencia.

Por último, se puede abordar otras ciudades del Mediterráneo y comprobar si se repite el mismo patrón que entre Sevilla y Málaga, al sur, con respecto a Barcelona, más al norte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Vidrio para la Edificación. Determinación de las características luminosas y solares acristalamientos. UNE-EN 410, 2011a.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica (valor U). UNE-EN 673, 2011b.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE FACHADAS LIGERAS Y VENTANAS. Guía Técnica de Ventanas para la Certificación Energética de Edificios. ASEFAVE: 2014.

BODART, M. y DE HERDE A. Global energy savings in offices buildings by the use of daylight. *Energy and Buildings*, 2002, vol. 34, pp. 421-429.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). *Real Decreto 314/2006*, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, 2006.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. *Documento básico habitabilidad energía 2. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (versión consolidada): septiembre 2013*. España: Ministerio de Fomento, 2013.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. *Documento Básico Habitabilidad Energía 1. Limitación de la demanda energética: junio 2017*. España: Ministerio de Fomento, 2017.

DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA, VIVIENDA Y SUELO. *Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio: abril 2014*. España: Ministerio de Fomento, 2014.

DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Directiva 2010/31/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Diario Oficial de la Unión Europea, nº L 153. Unión Europea, 2010.

ESTRATEGIA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA 2004-2012 [en línea]. Sector Edificación, 2003. [Consultado 12 abril 2019]. Disponible en: https://previa.uclm.es/profesorado/vtoledano/_private/Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20Espa%C3%B1a.pdf.

FRANZETTI, Christelle; FRAISE, Gilles y ACHARD, Gilbert. Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on the thermal loads in office buildings. *Energy and Buildings* [en línea], 2004, vol. 36, pp. 117-126. DOI: 10.1016/j.enbuild.2003.10.005.

GIMÉNEZ MOLINA, María del Carmen. *Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2011.

GOIA, Francesco. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. *Solar Energy* [en línea], 2016, vol. 132, pp. 467-492. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.031>.

GRYNNING, Steinar; GUSTAVSEN, Arild; TIME, Berit y JELLE, Bjorn Petter. Windows in the buildings of tomorrow: Energy losers or energy gainers? *Energy and Buildings* [en línea], 2013, vol. 61, 185-192. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.029>.

HEE, W.J.; ALGHOUL, M.A.; BAKHTYAR, B.; ELAYEB, O.; SHAMERI, M.A.; ALRUBAIH, M.S. y SOPIAN K. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2015, vol. 42, pp. 323-343. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.020031>.

HUANG, Yu; NIU, Jian-lei y CHUNG, Tse-ming. Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. *Applied Energy* [en línea], 2014, vol. 134, pp. 215-228. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.100>.

HUNGER, Tomás. La humanidad ante el temido efecto de las 400 ppmde CO₂. *Ciencias* [en línea], 8 noviembre 2016, p. 19. [Consultado 12 abril 2019]. Disponible en: <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/330406028-La-Humanidad-Ante-El-Temido-Hito-de-Las-400-Ppm-de-CO2.pdf>

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas: marzo 2001*. Madrid: IDAE, 2001.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios*. Soluciones de Acristalamiento y Cerramiento Acristalado: septiembre 2008. Madrid: IDAE, 2008.

IHARA, Takeshi; GUSTAVSEN, Arild y JELLE, Bjørn Petter. Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Applied Energy* [en línea], 2015, vol. 158 pp. 422-432. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.074>.

JABER, Samar y AJIB, Salman. Thermal and economic windows design for different climate zones. *Energy and Buildings* [en línea], 2011, vol. 43 pp. 3208-3215. DOI: [10.1016/j.enbuild.2011.08.019](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.019)

KIM, Seok-Hyun; KIM, Sun-Sook.; KIM Kwang-Woo y CHO, Young-Hum. A study on the proposes of energy analysis indicator by the window elements of office buildings in Korea. *Energy and Buildings* [en línea], 2014, vol. 73, pp. 153-165. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.061>.

LEE, Chijoo y WON, Jongsung. Analysis of combinations of glazing properties to improve economic efficiency of buildings. *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2017, vol. 166 pp. 181-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.024429>.

LEE, J.W.; JUNG, H.J.; PARK, J.Y.; LEE, J.B. y YOON, Y. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. *Renewable Energy*, 2013 [en línea], vol. 50, pp. 522-531. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029016>.

MA, Peizheng; WANG, Lin-Shu y GUO, Nianhua. Maximum window-to-wall ratio of a thermally autonomous building as a function of envelope U-value and ambient temperature amplitude. *Applied Energy* [en línea], 2015, vol. 146, pp. 84-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.103020031>.

MÉNDEZ ECHENAGUCIA, Tomás; CAPOZZOLI, Alfonso; CASCONI, Ylenia y SASSONE Mario. The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. *Applied Energy* [en línea], 2015, vol. 54, pp. 577-591. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.090>.

MINISTERIO DE LA VIVIENDA. Decreto 3565/72 por el que se establecen las normas tecnológicas de la edificación NTE. *Boletín Oficial del Estado*, n.º 13. España, 1972.

ORDÓÑEZ GARCÍA, Arturo. *Manual de ayuda DesignBuilder en español*. Versión del manual 2014.12.03. Sol-Arq., 2014.

PINO, Alan; BUSTAMANTE, Waldo; ESCOBAR, Rodrigo y ENCINAS PINO, Felipe. Thermal and lighting behavior of office buildings in Santiago of Chile. *Energy and Buildings* [en línea], 2012, vol. 47 pp. 441-449. DOI: [10.1016/j.enbuild.2011.12.016](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.016).

POIRAZIS, Harris; BLOMSTERBERG, Ake y WALL María. Energy simulations for glazed office buildings. *Energy and Buildings* [en línea], 2008, vol. 40, pp. 1161-1170. DOI: [10.1016/j.enbuild.2007.10.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.011).

RUBIO-BELLIDO, Carlos; PÉREZ FARGALLO, Alexis; PULIDO ARCAS, Jesús A. Optimization of annual energy demand in office buildings under the influence of climate change in Chile. *Energy* [en línea], 2016, vol. 114, pp. 569- 585. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.021>.

SERVICIOS ELECTRÓNICOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO [en línea]. [Consultado 10 abril 2019]. Disponible en: <https://www.sedecatastro.gob.es/>.

SHIBUYA, Toshihiko y CROXFORD, Ben. The effect of climate change on office building energy consumption in Japan. *Energy and Buildings* [en línea], 2016, vol. 117, pp. 149-159. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.023>.

TIAN, Cheng; CHEN, Tingyao; YANG, Hongxing y CHUNG, Tse-ming. A generalized window energy rating system for typical office buildings. *Solar Energy* [en línea], 2010, vol. 84, pp. 1232–1243. DOI: 10.1016/j.solener.2010.03.030.

TSIKALOUDAKI, Katerina; LASKOS, K. Konstantinos; THEODOSIOU, Theodoros y BIKAS, Dimitrios. Assessing cooling energy performance of windows for office buildings in the Mediterranean zone. *Energy and Buildings* [en línea], 2012, vol. 49, pp. 192-199, DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.02.004.