ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA

Máster en Arquitectura Energía y Medio Ambiente 2011/12

T E S I N A

V I D R I O S E S T Á T I C O S Y D I N Á M I C O S

E S T U D I O C O M P A R A T I V O D E L A E F I C I E N C I A E N E R G É T I C A D E L O S E D I F I C I O S D E O F I C I N A E N C L I M A M E D I T E R R Á N E O A P A R T I R D E L A U T I L I Z A C I Ó N D E D I F E R E N T E S T I P O S D E A C R I S T A L A M I E N T O .

LYDIA LYMPEROPOULOU
arquitecta

PhD JAUME AVELLANEDA
dirección de tesina

Índice

RESUME

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO…….....3

1.1. OBJETIVOS

1.2. JUSTIFICACIÓN

1.3. METODOLOGIA

1.4. ALCANCES

CAPITULO 2. ANTECEDENTES...…….....……..5

2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS

2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS CERRAMIENTOS ACRISTALADOS

2.2.1. Características energéticas del vidrio

2.3. VIDRIOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS

2.3.1. Vidrios estáticos

2.3.2. Nuevos tipos de vidrio: Vidrios dinámicos activos

CAPITULO 3. METODOLOGÍA DOCUMENTAL……..23

3.1. SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE VIDRIO

3.2. SELECCIÓN DEL EDIFICIO DE REFERENCIA

CAPITULO 4. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN……..…31

4.1. SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN

4.2. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN

4.2.1. Modelización

4.2.2. Actividad

4.2.3. Materiales

4.2.4. HVAC / Iluminación

4.3. SIMULACIONES

4.3.1. Energía

4.3.2. Emisiones de CO2

4.3.3. Coste

CAPITULO 5. RESULTADOS ……51

5.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.2. CONCLUSIONES

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA……...……56

RESUMEN

Lydia Lymperopoulou (arquitecta)

VIDRIOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS; ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS DE OFICINAS EN CLIMA MEDITERRANEO A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE ACRISTALAMIENTO.

Resumen de la tesina para obtener el grado de Máster por la Universidad Politécnica de Cataluña.

Tesis supervisada por Jaume Avellaneda, PhD

En la arquitectura contemporánea, el vidrio ocupa un protagonismo especial en las fachadas. Sin embargo, en edificios altamente vidriados, como edificios de oficinas, habitualmente se presentan problemas de sobrecalentamiento y deslumbramiento en sus espacios interiores de tal manera que obliga al uso de aire acondicionado, con un altísimo gasto de energía. Actualmente, entre los vidrios que contribuyen a la mejora en la eficiencia energética son los vidrios de baja emisividad con protección solar. Estos vidrios siguen siendo estáticos, no cambian sus propiedades según las condiciones exteriores y en ciertos casos resultan insuficientes. Por esta razón se plantea la necesidad de la investigación sobre nuevos tipos de vidrio como los vidrios dinámicos; un nuevo campo, recién aparecido en el comercio, que promete mejorar el comportamiento de los edificios frente a las cargas térmicas.

El objetivo de esta tesina es comparar la eficiencia energética de los vidrios de baja emisividad frente a la de los vidrio dinámicos en un edificio de oficinas a través de programas informáticos de simulación como el DesignBuilder. El estudio tiene en cuenta tanto la energía necesaria para su acondicionamiento en verano e invierno como la precisa para la iluminación. Como resultado de los estudios también se han obtenido los valores de CO_2 correspondientes a cada caso así como el coste de la energía empleada.

ABSTRACT

Lydia Lymperopoulou (architect)

STATIC AND DYNAMIC GLAZING; COMPARATIVE STUDY OF ENERGY EFFICIENCY IN OFFICE BUILDINGS WITH MEDITERRANEAN CLIMATE THROUGH THE USE OF DIFFERENT TYPES OF GLAZING.

Summary of Master's degree final project for the Polytechnic University of Catalonia.

Thesis supervised by Jaume Avellaneda, PhD

In contemporary architecture, glass plays a leading part in the facades. Nevertheless, in highly glazed buildings such as office buildings, problems of overheating and glare frequently appear and force the use of air conditioning, causing very high energy consumption. A glass that helps improve energy efficiency nowadays is Low-E Solar Control glass. Still, this kind of glass remains static; it does not change its properties according to the external conditions and in some cases it turns up to be insufficient. This led to the need for investigating new types of glass such as dynamic glass; a new field which has recently appeared in the trade and promises to improve the behavior of the buildings against thermal loads.

The objective of this study is to compare the energy efficiency of a Low-E Solar Control glass against a dynamic glass in the context of an office building through the use of an energy simulation programs like DesignBuilder. The study takes into account both the energy required for conditioning in summer and winter as well as the need for lighting. In addition, this investigation contains results about CO2 emissions and cost savings for each case.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el vidrio, en sus múltiples variantes, es uno de los materiales más versátiles utilizados en la construcción. Los avances técnicos en la industria del vidrio permitieron la fabricación de láminas de mayor tamaño, con mejores propiedades y a precios mucho más competitivos, permitiendo el aumento de las superficies acristaladas en las fachadas.

Sin embargo, este material tiene ciertos inconvenientes como la radiación solar con el exceso de luz y las ganancias térmicas que la acompañan, así como la falta de aislamiento térmico. El primero de los fenómenos mencionados se relaciona con el llamado efecto invernadero al atravesar los infrarrojos solares el vidrio, calentando los elementos o materiales sobre los que incide, que a su vez irradian infrarrojos de mayor longitud de onda para los cuales el vidrio se convierte en una barrera, quedando atrapados en el interior de la construcción. Este fenómeno es aprovechable como recurso energético cuando se necesita calentar, sin embargo, en exceso resulta contraproducente cuando las condiciones interiores no lo demandan. Por eso, cuando el vidrio se aplica en grandes superficies y en latitudes mediterráneas - como en España - puede provocar problemas como el sobrecalentamiento y la falta de confort de los usuarios, especialmente en edificios de oficinas. Como resultado, este tipo de edificios requieren un consumo energético muy grande para la climatización y tienen un altísimo impacto ambiental. Más específicamente, el consumo energético en una oficina está repartido mayoritariamente entre los equipos de iluminación y resto de aparatos eléctricos, seguido de los sistemas de climatización, dedicándose una pequeña parte (alrededor del 5%) a la producción de agua caliente sanitaria (fig.1). El uso generalizado de los sistemas de climatización, los sistemas de iluminación o el cada vez mayor número de equipos ofimáticos contribuyen significativamente a aumentar el consumo de energía de los centros de trabajo.

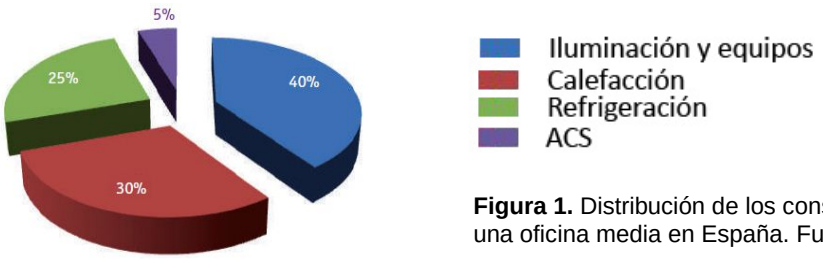


Figura 1. Distribución de los consumos de energía en una oficina media en España. Fuente: CREARA

El sector de la construcción es uno de los que genera mayor impacto ambiental. Los edificios consumen entre el 20% y el 50% de recursos naturales tales como madera, minerales, agua y combustibles fósiles y contribuyen en gran manera al aumento de las emisiones y la contaminación, tanto durante el proceso constructivo como a lo largo de su vida útil, una vez terminados.

Según estimaciones del IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), al ritmo de crecimiento actual sólo tardaremos 35 años en duplicar el consumo mundial de energía y menos de 55 años en triplicarlo. Aparte de la disminución de los recursos naturales, otro aspecto preocupante es el cambio climático. Los expertos del Panel Intergubernamental de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IPCC) señalan que en los últimos cien años la temperatura media del planeta ha aumentado 0,74°C, y numerosos sistemas naturales y humanos ya están viendo afectados por las consecuencias de este calentamiento. En la región mediterránea las previsiones apuntan a que se producirá un aumento del riesgo de olas de calor, sequías e incendios forestales, afectando a los recursos hídricos disponibles y a sectores tan importantes para la economía como el agrario o el turismo.

Para afrontar el desafío del cambio climático supone, por lo tanto, reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero, al menos un 30% para 2020 y un 80% para 2050, asociadas al consumo energético y asentar las bases de una cultura energética.

Esta tesina trata de demostrar que se pueden conseguir mejoras en la eficiencia energética de los edificios según la elección del vidrio. Por esto, tiene como objetivo la cuantificación de la eficiencia energética del envolvente de un edificio de oficinas en Barcelona según el tipo de vidrio elegido a través de programas informáticos de simulación. Se valorará el impacto ambiental a nivel de energía, emisiones de CO_2 y coste. En este modo, se podrán evaluar los vidrios de baja emisividad con control solar que ya están en el comercio desde hace años y mejoran el comportamiento energético de los acristalamientos en relación con los vidrios dinámicos activos que parece que merezca la pena su investigación y los vidrios todavía más convencionales como los de doble acristalamiento común.

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

1.1. OBJETIVOS

El primer objetivo de esta tesina es investigar diferentes tipos de vidrios y más específicamente los vidrios dinámicos o ¨vidrios inteligentes¨ que recientemente se han aparecido en el comercio y parecen muy prometedores. El secundo y principal objetivo es comparar cómo afecta al consumo energético de un edificio de oficinas la utilización de diferentes tipos de vidrios a través de programas de simulación. El estudio tiene en cuenta tanto la energía necesaria para su acondicionamiento en verano e invierno como la precisa para la iluminación natural para un clima mediterráneo. Como resultado de los estudios también se obtendrán los valores de CO_2 correspondientes a cada caso así como el coste de la energía empleada.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En lo últimos años, hay una tendencia creciente para la eficiencia energética de los edificios a nivel mundial. Ya en el año 1998 se firma el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, mediante el cual la Comunidad Europea y sus Estados miembros establecen un compromiso cuantificado de limitación o reducción de emisiones. En el año 2002 se aprueba la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de edificios. La Directiva 2002/91/CE entrará en vigor en España a más tardar el 4 enero de 2006 y en Grecia el 31 de enero de 2010.

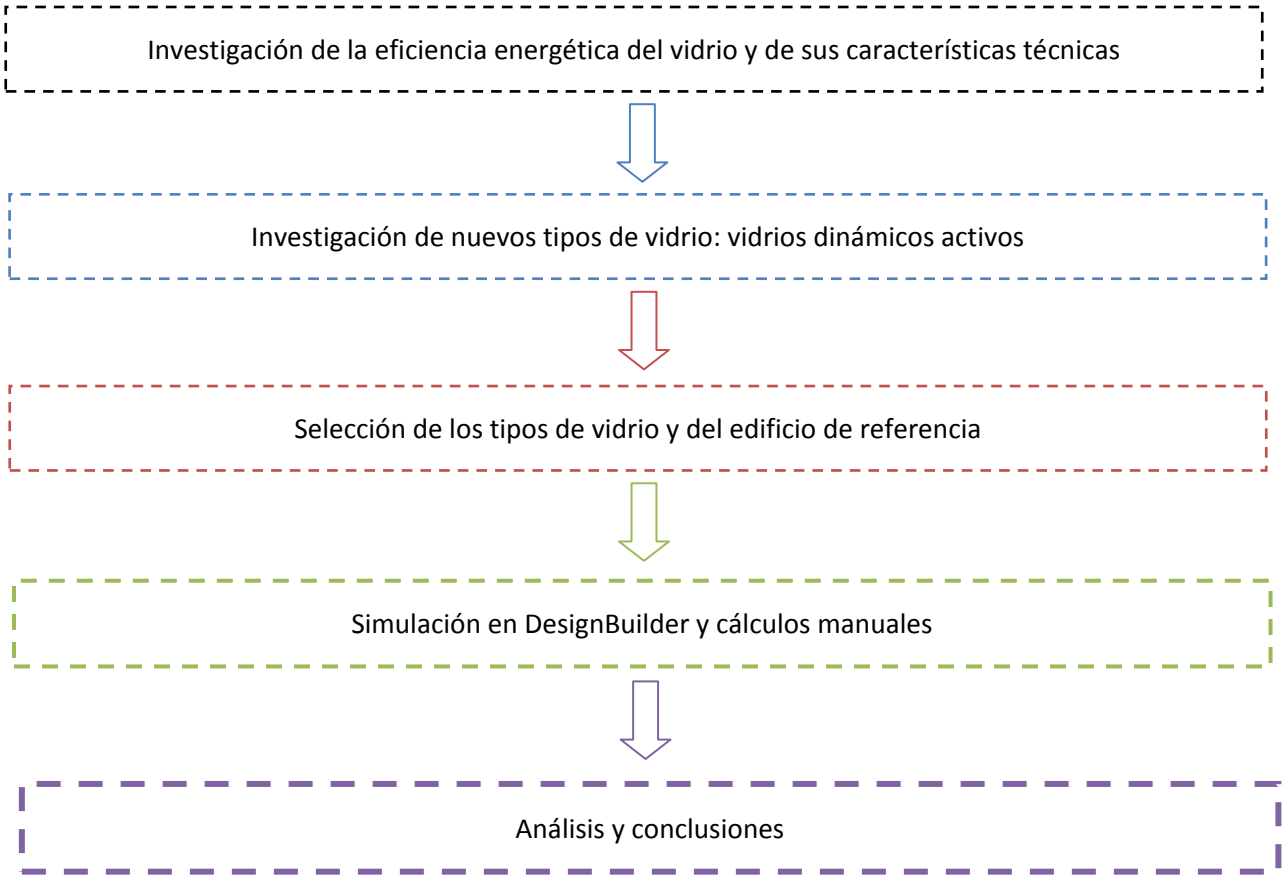
Mejorar el comportamiento energético de un edificio de oficinas, reduciendo su consumo energético desde el punto de vista de las superficies acristaladas ya no es solo un tema interesante sino una necesidad. Los programas de simulación que existen hoy pueden ayudar a los arquitectos comparar y elegir la solución más adecuada según el caso, evitando muchos problemas. Sin embargo, el reto es conocer las posibilidades de cada programa, sus posibles fallos y poder evaluar los resultados adquiridos.

La innovación de esta tesina está en el hecho que - aparte de los vidrios convencionales - investiga la última tecnología en los vidrios de la fachada, es decir los vidrios dinámicos, sobre los cuales existe muy

poca información en combinación con el uso de nuevos programas de simulación energética como el DesignBuilder.

1.3. METODOLOGIA

Para realizar dicho estudio comparativo se seguirán los siguientes pasos:



1.4. ALCANCES

El alcance pretendido en el presente trabajo es la obtención de datos que nos informen sobre el impacto ambiental de distintos tipos de vidrios en el envolvente de los edificios de oficina a nivel de energía, emisiones de CO_2 y coste.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS

Antes de analizar la eficiencia energética del vidrio, es importante referirse a la preocupación internacional que existe en nuestros días sobre el tema de la eficiencia energética en general.

Las actividades han afectado tan fuerte el medio ambiente que actualmente el sector energético está en una fase de transición. Tanto la demanda energética como el impacto ambiental (emisiones de CO_2) han aumentado mientras los recursos de los combustibles fósiles se encuentran en una disminución radical.

Desde la crisis del petróleo de 1973 que tenía como resultado la subida de los precios de la energía hasta el efecto invernadero por las emisiones de CO_2, en el mundo se han generado medidas que limitasen el consumo energético, y una de ellas fue la aparición de normas de edificación. Para tener una idea del impacto ambiental de la edificación, hay que pensar que en la Unión Europea los edificios son responsables de alrededor del 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de CO_2 [1].

En el año 1979 se aprueba la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios cuyo objeto es establecer las mejores prestaciones energéticas exigibles a estos, así como los datos que condicionan su determinación. Esta norma es de aplicación en todo tipo de edificios de nueva planta. En el año 1982 tiene lugar en Rio de Janeiro la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, cuyo objeto es lograr una estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir las interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.
La primera intervención a nivel mundial tuvo lugar en 1988 y estuvo destinada a la creación de un organismo, definido como —International Panel on Climate Change (IPCC) que tenía la función de estudiar los cambios climáticos debidos a la acción del hombre sobre el planeta y fue establecida por la ONU. En dicho contexto, como respuesta a esta situación y como medio para dar una solución a todos

[1] Según la Comisión Europea, página web http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_en.htm

estos problemas, se abre desde una perspectiva internacional grandes protocolos destinados tanto a la reducción de emisiones de CO_2 si como a la sostenibilidad del planeta.

Los dos primeros están relacionados con la reducción de emisiones de CO_2. Se trata del protocolo de Kioto y de Bali, enmarcados dentro de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El primero de ellos, el Protocolo de Kyoto (Japón), mediante el cual la Comunidad Europea y sus Estados miembros establecen un compromiso cuantificado de limitación o reducción de emisiones. Se establece un acuerdo que consiste en reducir el total de las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global en no menos de 5% en el periodo entre el año 2008 y 2012. El segundo, el Protocolo de Bali. Del 3 al 14 de Diciembre de 2007, y para sustituir el protocolo de Kioto, 190 países de todo el mundo, se reunieron en Bali (Indonesia), para desarrollar un nuevo protocolo que sustituya al de Kioto, cuando éste expire en el 2012.

Dando respuesta a estas actuaciones mundiales la Unión Europea ha desarrollado normativas, tendentes a la mejora de la eficiencia energética como la Directiva 2002/91/CE. En esta publicada por el Parlamento Europeo y el Consejo sobre el rendimiento energético, disponía la necesidad de acelerar las acciones de ahorro energético y reducir las diferencias entre los estados miembros, mediante disposiciones legislativas reglamentarias y administrativas de cada uno de los países miembros. La Directiva 2002/91/CE entrará en vigor en España en el 4 de enero de 2006. En este contexto se está elaborando actualmente un nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) con objeto de adaptar la reglamentación nacional a la nueva Directiva. Para fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico, el CTE, aprobado finalmente el 17 de Marzo de 2006, adopta un enfoque internacional más moderno en materia de normativa de edificación, son los llamados Códigos basados en prestaciones u objetivos, que son las exigencias que han de cumplir el edificio y las características de sus materiales, productos o sistemas. Este enfoque por objetivos se alinea con el denominado —enfoque basado en prestaciones , propugnado por las principales organizaciones internacionales relacionadas con los códigos de edificación, tales como el Consejo Internacional para la Investigación e Innovación de la Edificación y Construcción, CIB, o el Comité Interjurisdiccional de Colaboración Reglamentaria, IRCC. Del mismo modo se busca adaptarse al ámbito de la Unión Europea, y algunos países más avanzados en materia de normativa entre los que destacan entre otros: Reino Unido (1984); Australia (1998); Canadá (1995-2003); Países Bajos (1996); Noruega (1998) y Estados Unidos (2001).

En materia de energía, el CTE, permite satisfacer, entre otros, los requisitos básicos de ahorro de energía y aislamiento térmico establecidos en el artículo 3 de la Ley 38/1999, de 5 de Diciembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). El procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios se ha presentado con el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico —Ahorro de Energía y Real Decreto 47/2007 por el que se aprueba la calificación energética de los edificios. Este certificado deberá incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios de forma que se pueda valorar y comparar su eficiencia energética, con el fin de favorecer la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía.

Por ello, desde el pasado 31 de Enero de 2007, fecha de publicación en el BOE, los nuevos edificios en España deberán disponer de la correspondiente certificación energética. Con ello el usuario dispondrá de información sobre el comportamiento térmico de cada oficina o vivienda. La clasificación de las oficinas o viviendas se realiza siguiendo una escala de letras (de la A a la G en orden decreciente de eficiencia energética) y de colores, tal y como explica la figura adjunta. Para cumplir con lo exigido por el CTE la oficina o vivienda debe tener como mínimo una clasificación G. Para determinar la clase que le corresponde a un edificio concreto, se valorará el CO2 emitido por el consumo de energía del global de sus instalaciones.

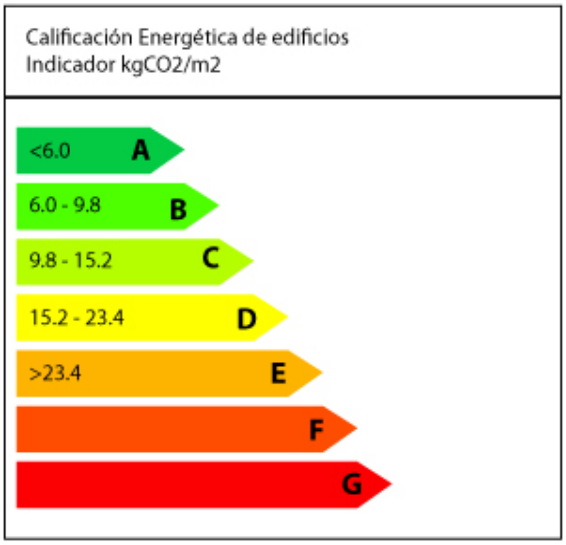


Figura 2. Certificación energética de los edificios.

2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS CERRAMIENTOS ACRISTALADOS

La tecnología de producción para la construcción ha ido capaz de variar la composición química del vidrio, agregando elementos o gases de baja emisividad entre dos vidrios, incluir sistemas de control solar y térmico, o combinando varios de éstos, ofreciendo así distintos tipos de vidrios que contribuyen en el ahorro energético de los edificios: productos de doble acristalamiento aislante, combinados con vidrios de

baja emisividad, de control solar, laminados acústicos y de seguridad, tintados, resistentes al fuego hasta los vidrios inteligentes, o también llamados Smart glazings. Los últimos son vidrios dinámicos que son capaces de cambiar alguna propiedad frente a algún cambio en el ambiente en el que se encuentran.

Todas estas soluciones, tienen como objetivo incrementar el confort de los usuarios, y al mismo tiempo reducir los costes y las emisiones de CO_2.

2.2.1. CARÁCTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

Para facilitar la comprensión del comportamiento del vidrio, a continuación se disponen algunas definiciones sobre sus características.

a) Luz visible

La energía que viene del sol se divide en tres tipos de energía: visible (radiación), infrarroja (calor) y ultravioleta (decoloración y riesgos a la salud). Cada tipo de energía se diferencia por la longitud de sus ondas. Los rayos ultravioletas tienen una longitud de onda pequeñas y los rayos infrarrojos longitudes de onda altas. La luz visible que percibe el ojo humano es sólo una pequeña parte de este espectro electromagnético, entre 390 y 780 nanómetros e incluye los colores: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo.

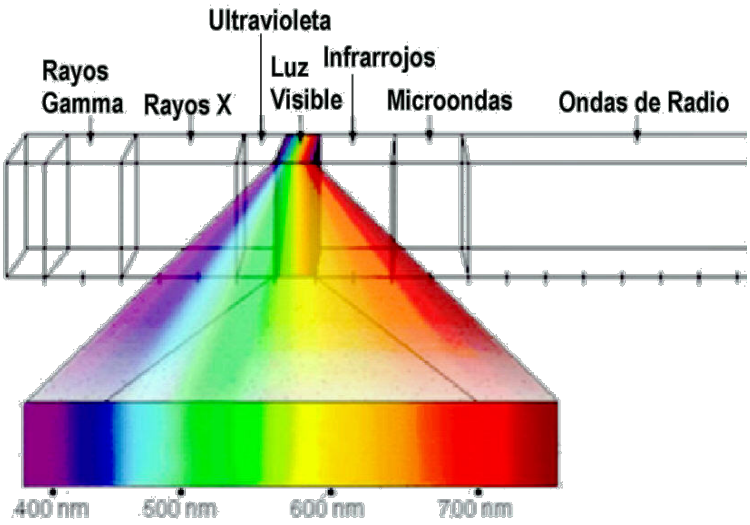


Figura 3. Luz y radiación electromagnética.
(Fuente: Visualización científica. Http://www-2.dc.uba.ar/materias/viscie/apunte/color.htm)

La transmisión luminosa (T) es la parte de la radiación que no es reflejada ni absorbida y pasa a través del vidrio, expresado en porcentaje. En general, entre menor sea el numero mejor será el control de las reflexiones o el sobrecalentamiento; al otro lado, un número más alto es recomendable para mantener una mayor cantidad de luz natural.

b) Energía solar

Es la radiación térmica proveniente del sol. Parte de esta radiación se transmite directamente a través del cristal y cuya densidad espectral va de 300 a 2150 nm (según EN410). Otra parte se observe por el cristal y y el resto se refleja hacia el exterior (ver figura 4). Para evitar el sobrecalentamiento, es recomendable que la transmisión solar sea la más baja posible.

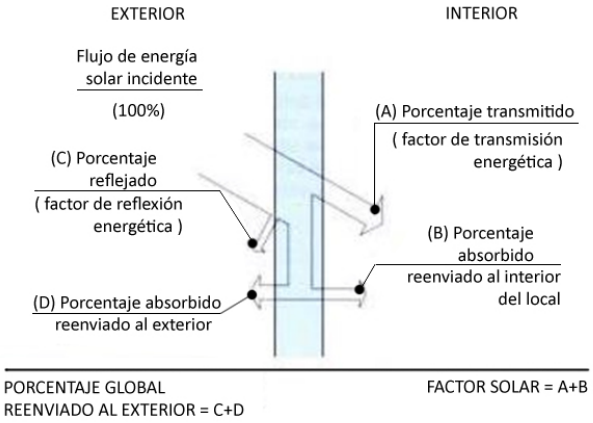


Figura 4. Coeficientes de reflexión, absorción y transmisión de calor de en vidrios
(Fuente: Manual del vidrio de Saint-Gobain Glass)

c) Factor solar (Solar Heat Gain Coefficient (SHGC))

Es el porcentaje de energía total que pasa a través del vidrio y la energía solar incidente. Esta energía total es la suma de la energía solar que entra directamente por transmisión y de manera indirecta por absorción (la energía cedida por el calentamiento del acristalamiento), como demuestra la figura 4. Mientras más bajo es el factor salar, mejores son las propiedades de control solar de la abertura.

d) Coeficiente U

Medida de la transferencia del calor a través de la abertura debido a las diferencias de temperaturas entre el exterior y el interior. Este coeficiente representa el flujo de calor que atraviesa 1 m² de pared para una diferencia de temperatura de 1 ºC entre el interior y el exterior del local. Mientras más bajo es el valor U, menor será la pérdida de calor hacia el exterior del edificio, así como los costes energéticos.

e) Coeficiente de sombra

Este coeficiente se obtiene si dividimos el factor solar (transmisión total) de determinada composición de vidrio con la del vidrio flotado claro de 3 mm (que es 0,87) y se utiliza como una medida comparativa del rendimiento. Es un índice que mide la capacidad de filtrar el calor producido por los rayos directos del sol (radiación de onda corta). Cuanto menor sea el coeficiente de sombra, menos calor solar se transmite. Se calcula restando la transmisión directa al factor solar (transmisión total) del vidrio de que se trate y dividiendo por el factor solar (transmisión total) de un vidrio flotado claro 3 mm (g -T / 0,87). El C.S de un cristal de 3mm es 1.

2.3. VIDRIOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS

2.3.1. Vidrios estáticos

En edificios con gran superficie acristalada en fachada, es conveniente utilizar vidrios con aislamiento térmico reforzado, que presentan unas elevadas prestaciones térmicas. Con ellos, las pérdidas energéticas se reducen sensiblemente en invierno y el bienestar térmico mejora considerablemente. Además, la temperatura de la superficie del vidrio es más elevada, reduciendo la sensación de frío y eliminando los riesgos de condensación. Para mejorar el aislamiento térmico, la solución básica es el uso de dobles acristalamientos. Estos se pueden mejorar utilizando vidrios dobles con capas de baja emisividad o bien sustituyendo el aire de la cámara por un gas noble, generalmente, argón.

2.3.1.1. Doble acristalamiento

La cámara hermética de los acristalamientos dobles permite conseguir un nivel de aislamiento considerablemente mayor que una luna simple de vidrio. Un acristalamiento doble con una cámara de 12 mm ofrece un coeficiente de transmisión energética U de 2,8 W/m2·K, mientras que una luna de vidrio sencilla alcanza uno de 5,8 W/m2·K. De la misma manera, también se reduce el coeficiente de transmisión energética K de 5 Kcal/h m2 ºC -con una luna monolítica- hasta 2,4 Kcal/h m2 ºC. Como se ha comentado ya, la cámara puede también rellenarse con un gas noble para mejorar aún más el rendimiento térmico.

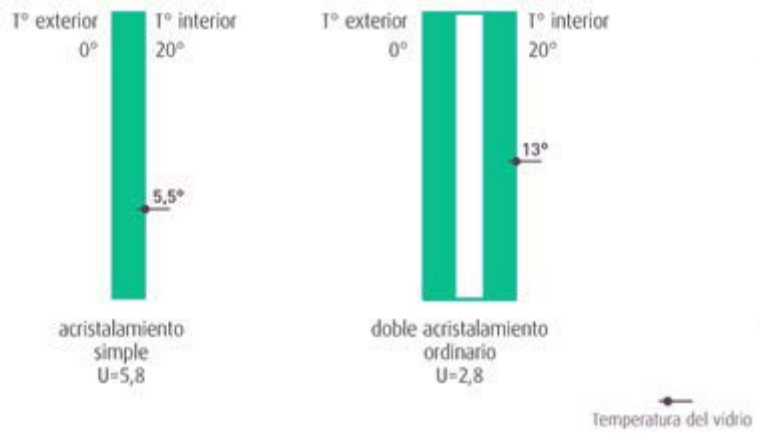


Figure 5. Comparación entre un vidrio sencillo y un vidrio de doble acristalamiento (Fuente AislaGlass)

2.3.1.2 Vidrios bajo emisivos

En un edificio, las ventanas y fachadas son los lugares con mayor pérdida de energía. Para reducir esta pérdida se pueden instalar vidrios de baja emisividad, que reducen notablemente el coeficiente de transmisión térmica. Cuanto menor sea este coeficiente, mayor será el ahorro energético por radiaciones térmicas entre los dos vidrios del doble acristalamiento.

La baja emisividad se consigue mediante un tratamiento en el que se depositan sucesivas capas de metales como la plata u óxidos metálicos sobre la superficie del vidrio. Esta capa metálica provoca que la

pérdida de energía a través del vidrio se reduzca en un 70% con relación a un vidrio convencional, al evitar casi totalmente ese intercambio de energía, permaneciendo el calor en el interior cuando en el exterior hace frío.

Se debe prestar atención a la finalidad energética del vidrio, ya que un vidrio con un tratamiento de baja emisividad puede aislar del frío o del calor dependiendo de la cara en la que se haga el tratamiento. Si la cara tratada se coloca de manera que la capa metálica esté situada en el vidrio interior y orientada hacia la cámara de aire, Figura 6, la energía solar (ondas cortas) permanecen en el interior después de transformarse en calor (ondas largas), actuando de esta manera como una calefacción gratuita.

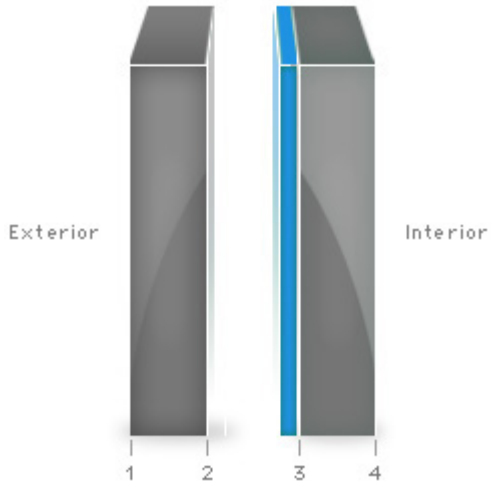


Figure 6. Doble acristalamiento con tratamiento de baja emisividad en cara 3
(Fuente: AislaGlass)

Para que un vidrio con tratamiento de baja emisividad pueda aislar del frío y del calor, la capa metálica, además de incorporar un alto contenido en plata, incorpora otros óxidos metálicos que aumentan su poder de reflexión. La cara tratada se coloca de manera que la capa metálica esté situada en el vidrio exterior y orientado hacia la cámara de aire. Esta capa evita también el intercambio de radiaciones térmicas entre los dos vidrios, reduciendo la transmisión de calor del conjunto.

Otra mejora importante que ofrecen los vidrios bajo emisivos está relacionada con el confort interior. Cuando hace frío, en acristalamientos simples o dobles sin capa metálica, la temperatura superficial en la cara interna del vidrio es mucho más baja que la temperatura del recinto, por lo que se produce el efecto de “pared fría”: el usuario evita la proximidad al acristalamiento ya que ahí se percibe el frío. Sin embargo,

con los vidrios bajo emisivos, la temperatura superficial del vidrio aumenta, reduciéndose la diferencia entre la temperatura del recinto y la del vidrio. Esta temperatura uniforme aporta mayor confort incluso en las zonas más próximas al acristalamiento.

2.3.1.3. Vidrios de control solar

La función de los vidrios de control solar es reducir la cantidad de energía solar en el interior del edificio, evitando el sobrecalentamiento del espacio y reduciendo el empleo de aire acondicionado, cosa que disminuye considerablemente el gasto de energía del edificio. Esto se consigue con un factor solar bajo, conferido al vidrio gracias al depósito en una de sus caras de una capa de óxidos metálicos que le proporciona propiedades de reflexión y absorción.

El factor solar de un acristalamiento, como ya se ha comentado, es la relación entre la energía total que entra en el local a través de dicho acristalamiento y la energía solar incidente. Esta energía total es la suma de la energía solar que entra por transmisión directa y la energía cedida por el acristalamiento al espacio interior, tras su calentamiento por absorción energética.

2.3.2. NUEVOS TIPOS DE VIDRIO: VIDRIOS DINÁMICOS ACTIVOS

Los vidrios dinámicos activos o vidrios cromogénicos, son vidrios que cambian su transparencia por la aplicación de una pequeña corriente eléctrica, controlada por los propios ocupantes del edificio o por una instalación domótica. A continuación se explican los vidrios que forman parte de este grupo.

2.3.2.1. Vidrios electrocrómicos

Se considera material electrocrómico aquel que puede modificar su absorción de la luz y el calor cuando se le aplica la corriente. Los revestimientos electrocrómicos consisten en cinco capas, de las que la 1 y la 5 son transparentes y conductoras, la 2 y la 4 son electrocrómicas y la 3 es conductora de iones pero no de electrones. Cuando se aplica un bajo voltaje, los iones de las capas 2 y 5 se mueven hacia la capa

electrocrómica en las que ya están los electrones, lo que hace que absorban la luz y se vean tintados. En este modo se puede bloquear en su interior hasta 91% de calor. Cuando se cambia el voltaje se produce el proceso contrario. La transición toma típicamente de 3 a 5 minutos para alcanzar el 90% de su rango.

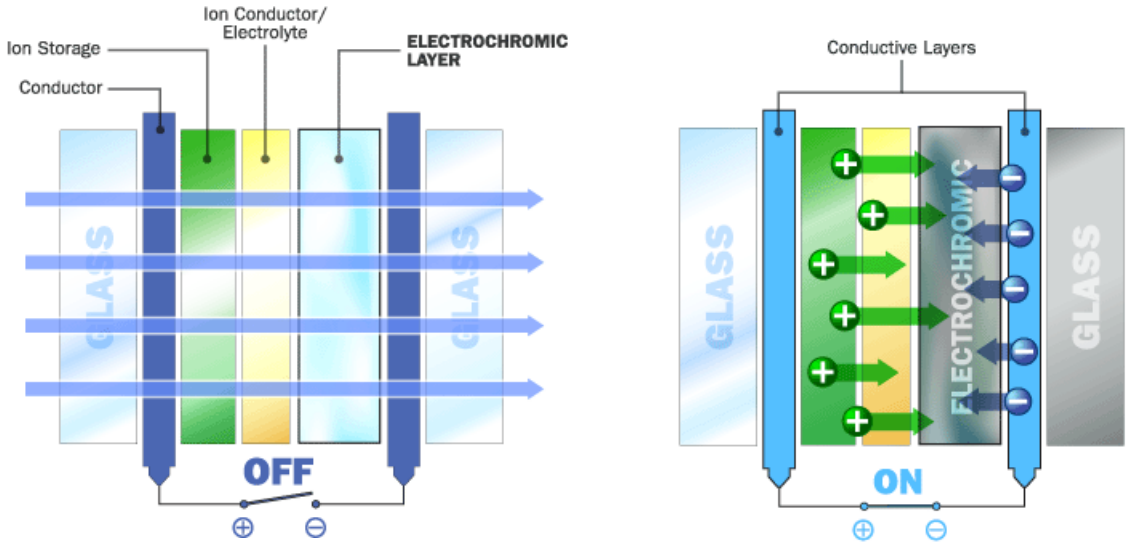


Figura 7. Ilustración del funcionamiento de un vidrio monolítico electrocrómico.
(Fuente: página web http://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window5.htm)

La corriente eléctrica puede ser activada manualmente o por sensores que reaccionan con la intensidad de la luz. El estado monolítico de los vidrios EC procede de cinco capas de óxido metálico sobre un vidrio, lo que le asegura alta durabilidad (por ser inorgánico) y la posibilidad de integrarlo en Unidades de Vidrio Aislante (UVAs) o de baja emisividad.

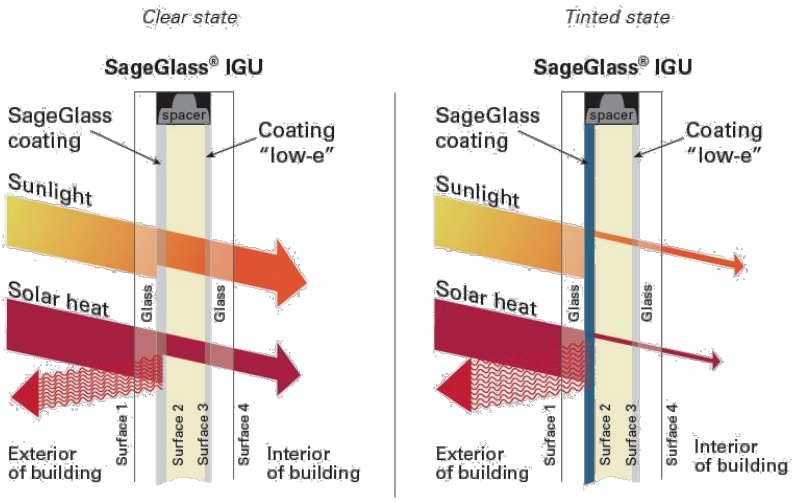


Figura 8. Diagrama de un típico vidrio doble electrócomico. (Fuente: SageGlass)

Figure 9. Aplicación de los vidrios electrocrómicos en la edificación**.**
Century College, Estados Unidos.

SISTEMA DE CONTROL

Diseñado específicamente, el sistema de control incluye algoritmos propietarios para gestionar de forma manual o automáticamente mediante baja tensión el tinte de la SageGlass ® de acuerdo con el nivel de luz basado en sensores de luz. El sistema puede ser independiente o integrado en un sistema de gestión de edif Clear state ANTUM DE CRISTAL ofrece un sistema completo, incluyendo los cables Tinted state a

Figura 9. Vista interior y exterior de las ventanas electrocrómicas. (Fuente: SageGlass)

electrónica, manual de interruptores de pared, unidades de control inteligentes, sensor de luz, etc.

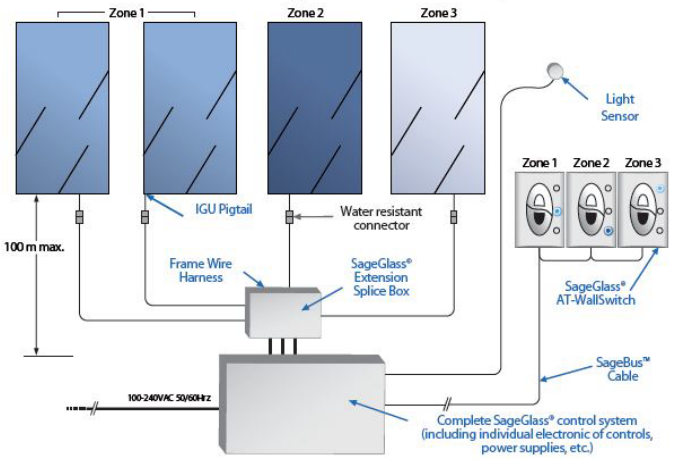


Figure 10. Ejemplo del sistema de gestión del vidrio electrocrómico SageGlass para 3 zonas según la luz exterior.
(Fuente: SageGlass)

2.3.2.2. Vidrios de cristal liquido disperso (LCD)

Podemos definir el cristal líquido como una fase del vidrio entre los estados de sólido y liquido. Cuando no se aplica voltaje, las partículas se dispersan en el espacio; como resultado, la luz se difunde en el espacio y el vidrio vuelve a ser opaco. Mediante la aplicación de voltaje, las moléculas se clasifican en serie de modo radiación emitida directamente. El voltaje cambia según las circunstancias ambientales del exterior o a través del sistema de gestión del edificio.

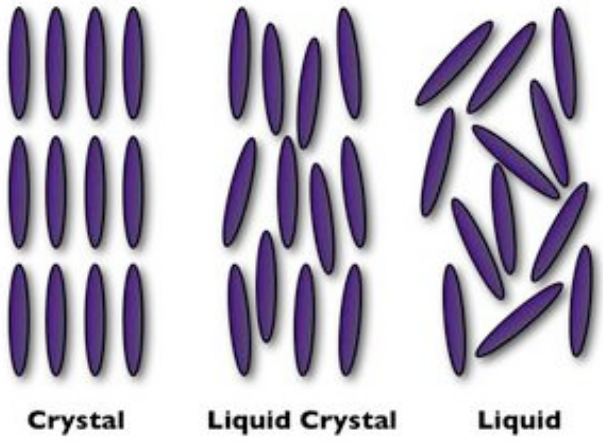


Figure 11. Fases del cristal liquido. (Fuente: Materials Digital Library Pathway página web: www.matdl.org/matdlwiki/index.php/softmatter:Liquid_Crystal)

Una vez definido el cristal líquido, se puede describir una de sus aplicaciones en este campo, como son los vidrios de cristal líquido disperso (LCD). Consiste en una fina película de cristal líquido que está colocado entre dos conductores eléctricos transparentes sobre delgadas películas de plástico y todo ello es laminado entre dos capas de vidrio. Cuando está apagado, el cristal líquido está desordenado y desalineado, reflejando la luz, y consiguiendo un estado translúcido.

Los LCD conmutan a simple vista, con la ventaja de que no se necesitan polarizadores24. Los tiempos de conmutación entre los estados OFF y ON son del orden de ≈1 ms, y se busca su reducción, ya que esto incrementaría sus posibilidades de aplicación. La posibilidad de incorporar color es viable y actualmente se está investigando en esta dirección.

Los vidrios de cristal líquido, tienen solamente dos estados, claro y difuso, y la potencia (0.5 W, operando entre 24 y 100V), debe ser continuamente aplicada al cristal, para mantener el estado de claro. El rango de transmitancia visible es aproximadamente del 50-80% según fabricante. Algunos productores ofrecen el vidrio en diversos colores e incluso curvados. Algunas aplicaciones realizadas ahora acerca de estos vidrios sobre los rayos ultravioleta, permiten su aplicación en exteriores, pero comúnmente se usa en los espacios interiores. Cuando el vidrio está desconectado de su sistema especial de suministro de corriente, los cristales líquidos son objetos de difusión aleatoria que difunden luz en todas las direcciones.

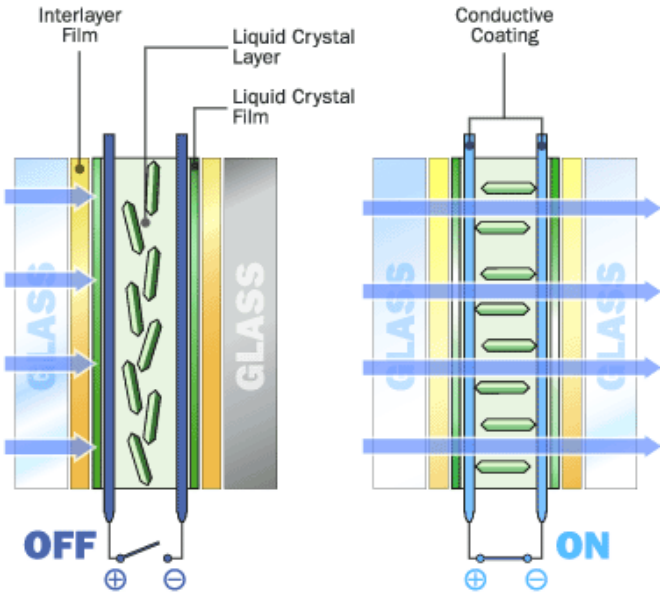


Figure 12. Ilustración del funcionamiento de un vidrio de cristal liquido disperso (LCD). Cuando el vidrio es desconectado la luz incidente es dispersada (izquierda), mientras que aplicando un campo eléctrico se consigue un material transparente. (Fuente: página web HowStuffWorks)

Aunque estos materiales han alcanzado una maduración en el mercado bastante alta, no son muy interesantes bajo el punto de vista del ahorro energético, por diversas razones. En primer lugar en el estado transparente, deben estar continuamente alimentados con consumos energéticos (20 W/m2), además la diferencia de la transmitancia global entre el estado transparente y opaco (entre un 20% y un 30% respectivamente en el espectro visible y solar) con variaciones aún menores del parámetro de factor solar. A diferencia de los electrocrómicos son capaces de difundir la luz con un elevado rango de

modulación, encontrando aplicación como particiones en espacios interiores, coches etc.

Figure 13. Vidrio suspendido colocado por SGG-Privalite encendido y apagado. Sala de reuniones Lloyds TSB. Londres. (Fuente: SGG Privalite)

Vidrios de cristal liquido disperso

Ventajas	Desventajas
Ofrece privacidad. Se puede usar como partición interior.	Incluso en modo translúcido (apagado), hay una excesiva entrada de calor y luz solar.
	Requiere constante suministro eléctrico para mantenerlo activado (transparente).
	Debe usarse con vidrio de control solar o bajo emisivo, porque la capa de cristal líquido resulta altamente dañada por la radiación ultravioleta.

2.3.2.3. Gasocrómicos

Estos vidrios tienen un efecto similar en comparación con los vidrios electrocrómicos pero el color del vidrio cambia según el hidrógeno que se introduce en la cavidad. La exposición al oxigeno devuelve la ventana a su estado original, transparente y se mantiene en un estado en particular cuando no hay cambios en el contenido de gas.

El gas está introducido en la cámara entre el panel exterior y el intermedio de un vidrio triple. La segunda cavidad y el tercer vidrio, que suele llevar una capa bajo emisiva, asegura que el vidrio obtenga unas propiedades térmicas adecuadas. El componente activo de un vidrio Gasocrómico es una película de óxido de Tungsteno (WO3), más delgada de 1µm de espesor, y laminada con un catalizador. Esta capa está localizada en la superficie interior del panel exterior de un triple vidrio (ver figura 14). Cuando dicha película está expuesta a una baja concentración de hidrógeno, adquiere un color azulado, reduciendo la visibilidad y los valores de transmitancia visible. Variaciones en el espesor de la película y la concentración de hidrógeno pueden afectar a la profundidad y la velocidad de coloración.

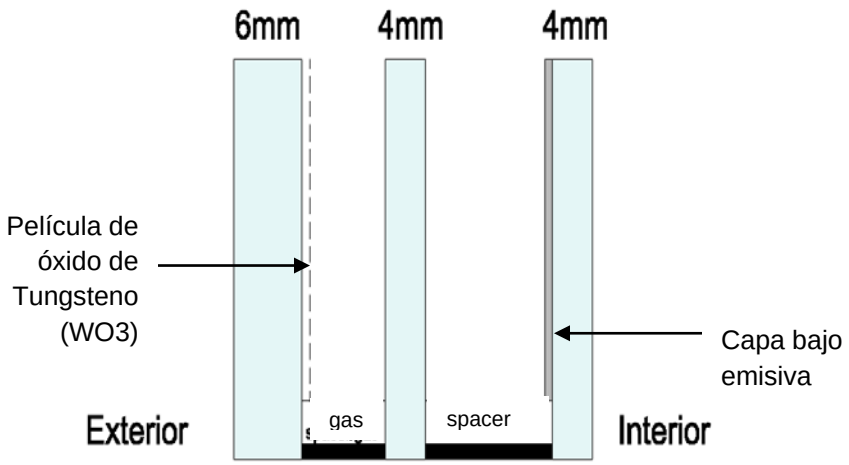


Figure 14. Estructura del vidrio gasocrómico. Archivo propio

La clave principal en los requerimientos de diseño de un vidrio gasocrómico en comparación con un vidrio convencional se basa en el hecho de que dicho vidrio está conectado a un completo sistema de cables eléctricos y tuberías. Para acomodar estos componentes el sistema de fachada debe proveer el suficiente espacio para que luego pueda ser conectado con cada ventana individualmente. El mejor método es acomodarlo en la cavidad formada fuera de la estructura usando tornillería más una cobertura embellecedora, tal y como indica la siguiente figura:

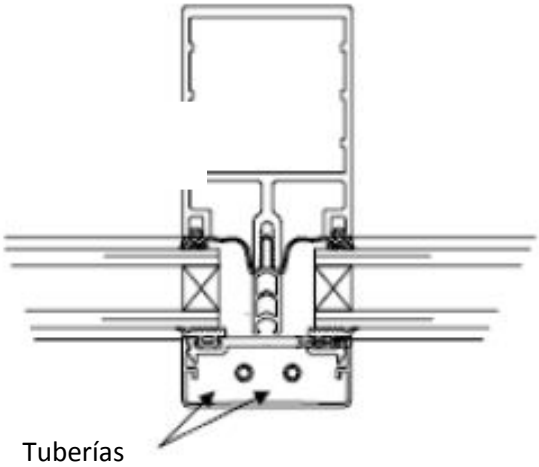


Figura 15. Colocación de un vidrio Gasocrómico. (Fuente: Platzer (2003))

El control de la unidad se puede manejar tanto manualmente como automáticamente. La integración a un sistema domótico previamente incorporado a la vivienda permitirá al vidrio encenderse o apagarse en función de las condiciones lumínicas, térmicas o de confort que desea el usuario.

Vidrios gasocrómicos

Ventajas	Desventajas
Puede ser controlado por el propio usuario mediante una instalación domótica.	Alta complicación tecnológica a la hora de instalar el vidrio.
Según estudios es capaz de reducir las cargas térmicas del aire acondicionado y de la calefacción.	

2.3.2.4. Vidrio de partículas en suspensión (SPD)

Este vidrio, controlado eléctricamente, utiliza dos delgadas capas de líquido, entre las cuales numerosas partículas microscópicas están suspendidas. En un estado apagado, las partículas están desordenadas y se bloquea parcialmente la transmisión solar y la vista. Cuando se aplica un campo eléctrico a través de las capas conductoras, las partículas se alinean y se aumenta así la transmitancia. Cuando la cantidad de voltaje se reduce, el vidrio se oscurece hasta que esté completamente oscuro.

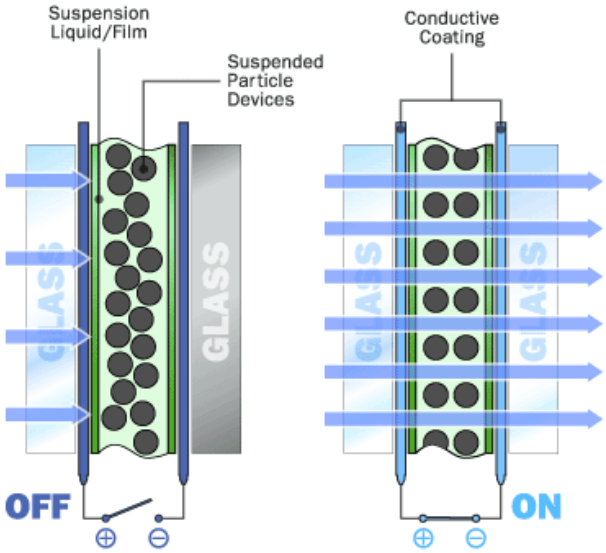


Figure 16. Ilustración del funcionamiento de un vidrio de partículas en suspensión (Suspended Particle Devices). Cuando el vidrio está desconectado la transmisión solar y la vista están parcialmente bloqueadas (izquierda), mientras que aplicando un campo eléctrico se consigue un material más transparente. (Fuente: página web HowStuffWorks). Su transmitancia puede variar de 0.05 a 0.57.

El tiempo de encendido es más limitado en comparación con el electrocrómico, y requiere unos 100 voltios, desde el estado de apagado (coloreado) al encendido (casi transparente), y puede ser modulado a cualquier estado intermedio. La potencia requerida es de 0.05W, tanto para encenderlo, como para mantenerlo en una constante transmisión si no está apagado adquiriendo un color azul cobalto.Ya están investigando nuevos modelos que requieren un voltaje menor a 35voltios, así como nuevas suspensiones que darían colores distintos (verde, rojo y violeta). Estos vidrios laminados están entrando actualmente en

el mercado y pueden ser fabricados hoy día en láminas de dimensiones de 1.2x2.4 m, tanto planos como curvos. Sin embargo, la durabilidad y las propiedades ópticas solares no están verificadas actualmente y el coste de estos vidrios es muy elevado.

Figure 17. Transición del vidrio.
(Fuente: LTI glass)

Vidrio de partículas en suspensión (SPD)

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación	Requieren una constante aportación eléctrica para cambiar de estado
Puede ser controlado por el propio usuario	No aguantan la radiación ultravioleta
Tiene distintos niveles de visibilidad	

CAPITULO 3. METODOLOGÍA DOCUMENTAL

3.1. SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE VIDRIO

Primero, se ha elegido como base de referencia un vidrio doble sencillo con cámara de aire y a continuación un vidrio de baja emisividad y protección solar como lo que en realidad existe en el edificio de referencia. Por último, se ha elegido un vidrio dinámico activo, el vidrio electrocrómico, porque aparte del hecho que ya existe en el comercio y así fue posible encontrar más información sobre el producto, existen programas de simulación que pueden evaluar su eficiencia energética cuando se usa en las fachadas de los edificios.

A continuación se analiza cada uno de estos vidrios y sus características:

CASO 1: Vidrio doble con cámara de aire

Es un punto importante comenzar con un vidrio doblado sencillo como base para poder compararlo después con los vidrios más innovadores:

El doble acristalamiento hace referencia al conjunto formado por dos láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno espaciador, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. Al encerrar entre dos paneles de vidrio una cámara de aire, inmóvil y seco, aprovechando la baja conductividad térmica del aire, limitan el intercambio de calor por convección y conducción. La principal consecuencia es un fuerte aumento de su capacidad aislante, reflejado en la drástica reducción de su transmitancia térmica (U = 3.3 W/m2K, para la composición más básica 4-6-4). En esta investigación se estudiará el comportamiento del vidrio doble con cámara de aire (6-13-6 mm), colocando persianas manuales al interior.

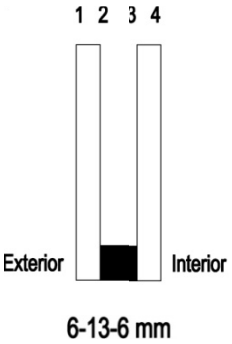
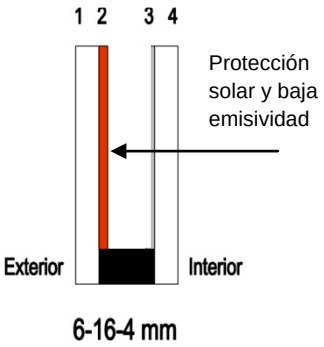


Figure 18.
Composición de un vidrio doble sencillo

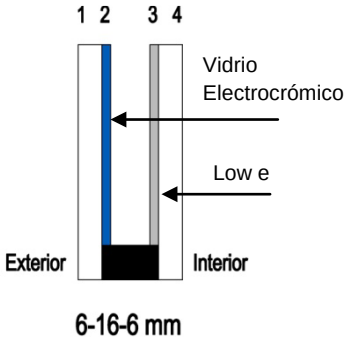
CASO 2: Vidrio doble de baja emisividad y protección solar

La elección de este tipo de vidrio en combinación con el uso de persianas interiores automatizadas ha sido la primera mejora respecto al vidrio doble sencillo con el objetivo de reducir la carga térmica y el exceso de iluminación debido a la radiación solar. Se trata de un vidrio de control solar, que reduce la entrada de energía solar no deseada a la vez que permite la máxima transmisión luminosa. La pelicula de baja emisividad (Low e) se coloca sobre la cara 2, cara interna del vidrio externo (ver imagen).

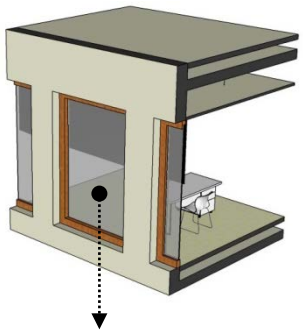


CASO 3. Vidrio electrocrómico

Como hemos visto antes, el vidrio electrocrómico puede modificar su absorción de la luz y el calor cuando se le aplica la corriente. La película de baja emisividad (Low e) se coloca sobre la cara 3 y la película del vidrio electrocrómico sobre la cara 2, cara interna del vidrio externo. El vidrio electrocrómico no necesita protección solar adicional por esto no se utilizarán persianas interiores en este caso.

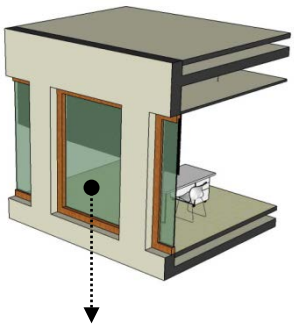


CASO 1



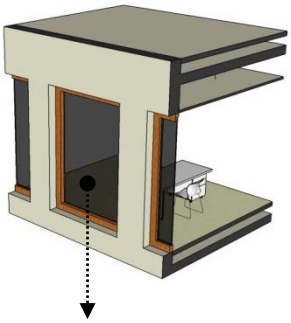
Vidrio doble con cámara de aire + persianas manuales

CASO 2



Vidrio doble de baja emisividad y protección solar + persianas automatizadas

CASO 3



Vidrio doble electrocrómico

Nota: Como las fachadas sur-este y sur-oeste reciben la máxima radiación durante tanto en invierno como en verano (ver estudio relativo en el Anexo I p.53), se colocará el vidrio electrocrómico sólo en esta parte del edificio. En el resto de las fachadas se utilizará el vidrio doble de baja emisividad y protección solar con persianas automatizadas.

Tabla de las prestaciones de los vidrios elegidos:

			TRANSMISIÓN		**FACTOR SOLAR (g)**	**VALOR U**
Producto	**Estado**	**Composición**	**Visible**	**Solar**	**EN 410 %**	**EN 410**
Vidrio doble -- DesignBuilder	clear	6-16-6 Aire	78%	60%	0.69	2.7
Vidrio doble de baja emisividad y protección solar -- Guardian	clear	6-16-4 Aire Argon	50%	29%	0.32	1.4
Vidrio electrocrómico -- SageGlass	clear	6-16-6 Aire Argon	62%	38%	0.39	1.1
	20%		21%	9%	0.14	1.1
	6%		6%	2%	0.07	1.1
	tinted		2%	0.7%	0.05	1.1

3.2. SELECCIÓN DEL EDIFICIO DE REFERENCIA

Para el análisis se ha elegido el edificio del Banco de Sangre y Tejidos que se sitúa en Barcelona, por los arquitectos J. Sabaté, A. Cazurra, H. Espeche. El edificio obtuvo el tercer lugar en los premios europeos de energía sostenible ¨Sustenaible Energy Europe Awards 2011¨, entre 309 proyectos de toda Europa.

Figura 19. Edificio de referencia

Banco de Sangre y Tejidos de Cataluña

Barcelona, España, Distrito 22@ Poble Nou.

Área total: 6.632 m². Altura: 29.50 m.

Coste: 25.500.000 €

Arquitectos J. Sabaté, A. Cazurra, H. Espeche

El BST es un centro de referencia para el procesamiento de la sangre y tejidos humanos, así como uno de los más importantes bancos público de células madre de Europa. El edificio dispone de una gran área de tratamiento de la sangre y producción de hemoderivados ubicada en el subsuelo, donde se sitúan también los contenedores criogénicos para la conservación de las células progenitoras. En las plantas superiores del edificio se sitúan los laboratorios de análisis y validación de la sangre, así como espacios de investigación, algunos de los cuales están dotados de sistemas de filtros que garantizan una pureza ambiental extrema (salas blancas).

Figure 20. Ubicación del edificio de Banco de Sangre y Tejidos en Barcelona.

Tipología de fachada

Se trata de un edificio rectangular que tiene una fachada pesada que se constituye de 50% aberturas y 50% hormigón. El cerramiento pesado se constituye de hormigón blanco (U = 0.41 W/m².K), lana mineral y recubrimiento de chapas de madera de castaño. Los huecos son de vidrio doble de baja emisividad y protección solar (U = 1.6 W/m2.K; g = 0.27, T = 0.50).

Figure 21. Fachada de hormigón con 50% huecos

Estructura

El edificio es un cuerpo de dos luces de 26 y 63m. Las fachadas de hormigón y los núcleos de servicio interiores, son la a la vez la estructura del edificio. La contundencia del muro de hormigón permite obtener espacios diáfanos de grandes dimensiones (12 x 20 m) donde alojar múltiples organizaciones funcionales. Los accesos y los espacios de servicio se disponen en cuatro núcleos en el interior del edificio y permiten disponer del resto de planta con la máxima flexibilidad.

Cerramiento exterior: El cerramiento exterior de las fachadas es de alta inercia (U = 0.3 W/m².K) y se consiste de hormigón blanco con armadura de varillas de 24”, aislamiento de lana mineral y recubrimiento de chapas de madera de castaño al interior.

Cubierta: Hormigón blanco con aislamiento reforzado (U = 0,28 W/m^2.K)

Forjado: El forjado consiste de hormigón con poliuretano (suelo más ligero) y suelo técnico de aglomerado y galvanizado con revestimiento de linóleum.

Carpintería: La carpintería es de madera con ventanas fijas. Los vidrios usados son de baja emisividad y protección solar (U = 1.6 W/m2.K; g = 0.27, T = 0.50) con persianas interiores. Las persianas son lamas horizontales microperforadas de alta reflexión y de doble orientación que dirigen la luz hacia el cielo raso reflectivo, incrementando la iluminación interior. Además, dispone de una regulación automática de las

persianas en función de la nubosidad y del ángulo de incidencia de los rayos delo sol. Esta regulación viene del sistema DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

El “cerebro” de DALI reside en su unidad de control. En esta, se desarrolla de forma automática rutinas que permiten la detección de los componentes conectados en el sistema y los direcciona. El usuario define el funcionamiento del sistema mediante comandos simples que actúan a través de los diferentes elementos de control. Por ello es muy sencillo y rápido cambiar las configuraciones y ajustarlas a los nuevos requerimientos que se precisen. Fue diseñado por los principales fabricantes de equipos de conexión electrónicos (ECE) con el fin de garantizar un estándar unificado en la industria de la iluminación. DALI no hace referencia a un sistema de iluminación, sino que hace referencia al estándar de comunicación entre un controlador y los equipos de conexión electrónicos, y por tanto, está incluido como apéndice E4 en la norma de equipos de conexión electrónicos EN 60929. Por ello la compatibilidad de ECE de diferentes fabricantes está garantizada.

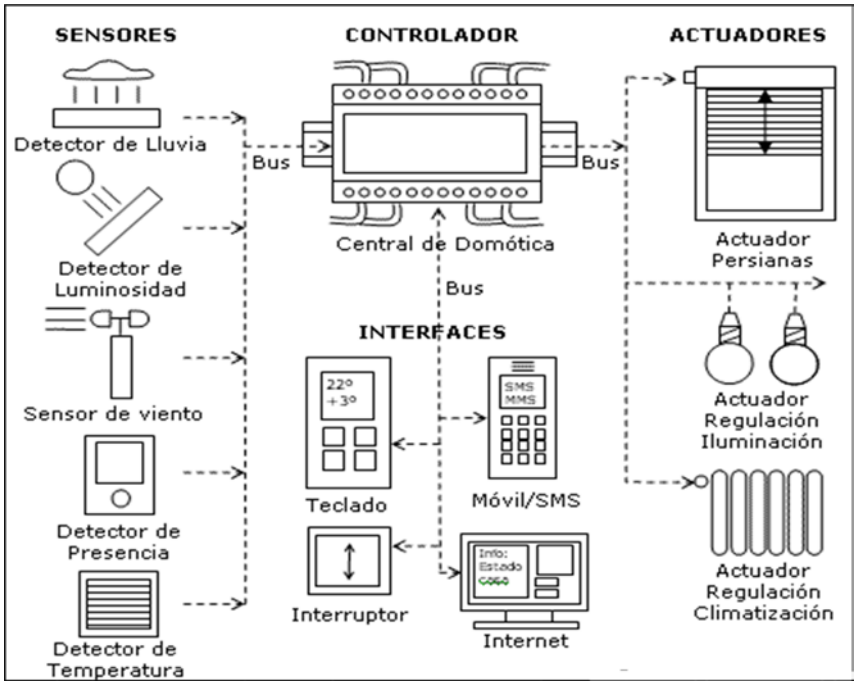


Figura 22. Sistema de control de iluminación – DALI. Fuente: CASADOMO.com

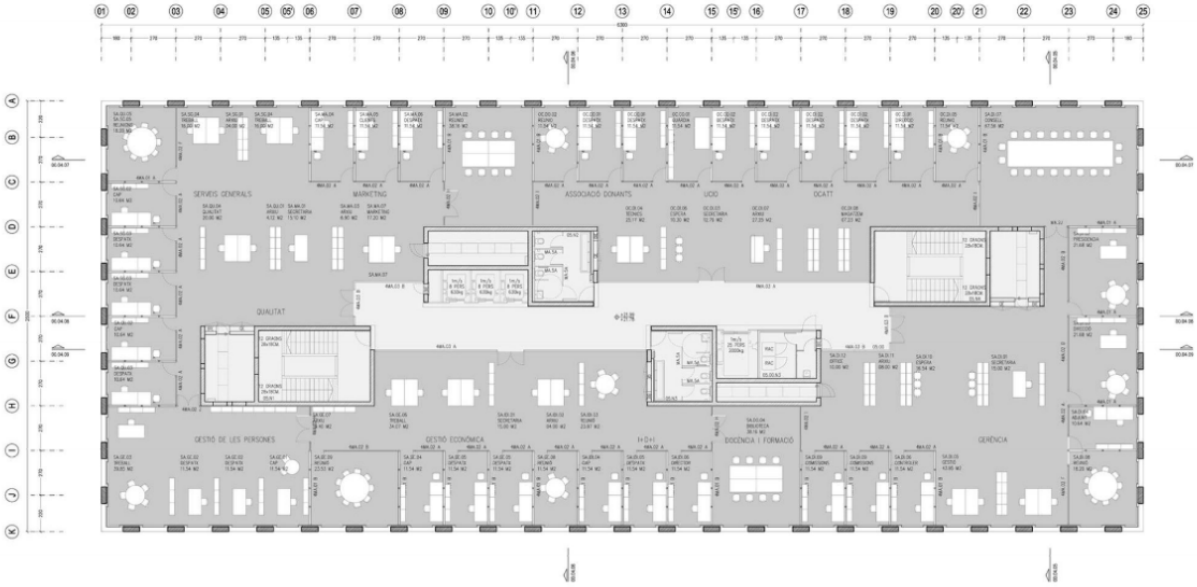


Figure 23. Edificio del Banco de Sangre y Tejidos (BST), Tercera planta

Figure 24. Edificio del Banco de Sangre y Tejidos (BST), Sección

Instalaciones

- Calefacción / ACS

La calefacción viene de 2 calderas de potencia calorífica 460 kW cada una, alimentadas con gas natural como combustible.

- Refrigeración

La generación de refrigeración se realiza con 3 refrigeradores (modelo CLIMAVENETA) de potencia calorífica 621kW, alimentadas con electricidad de la red como combustible. CoP del sistema: 4.96

Además hay 3 ¨cooling towers¨ adiabáticos con potencia 723 kW.

Figure 25. Vista de las instalaciones del BST, situadas en la cubierta del edificio

CAPITULO 4. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

4.1. SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN

Ya en el mercado existe un gran número de herramientas de simulación [2], cada una tiene sus ventajas y sus limitaciones. Tras numerosas consultas, de los programas de simulación energética mediante ordenador se destaca, el Ecotect y el DesignBuilder, el último basado con el motor de cálculo del EnergyPlus. A través de esta investigación se estudiaron en práctica ambos programas y se conocieron en profundidad tantos las posibilidades que cada uno ofrece como sus fallos.

Como resumen, podemos decir que ambos programas son complementarios.

El Ecotect ofrece cálculos de sombreamiento y radiación muy visuales. Sus limitaciones se encuentran en los cálculos de energía térmica (consumos de calefacción y refrigeración, temperaturas interiores, etc). Sobre las simulaciones lumínicas, Radiance y Daysim son bastante fiables pero el problema en nuestro caso fue que no existe en su biblioteca la opción de vidrios dinámicos, como el vidrio electrocrómico.

El DesignBuilder se apoya en el EnergyPlus, lo que permite análisis muy avanzados de los sistemas del edificio. Además tiene en la carpeta ¨aberturas¨ la opción del vidrio electrocrómico. Sus limitaciones se encuentran en el hecho que tiene un modelado geométrico más limitado, con menor capacidad de importación y menor opción en visualización de radiación e iluminación. En teoría el programa puede estimar el coste y las emisiones de CO_2.

Para esta tesina se utilizó Ecotect para calcular la radiación incidente en el envolvente del edificio tanto en invierno y como en verano y según estos resultados se colocaron los vidrios electrocrómicos. Para las simulaciones energéticas (calefacción, refrigeración, iluminación etc), las emisiones de CO_2 y el coste se eligió exclusivamente el programa DesignBuilder 3.0.0.105. Al mismo tiempo se hizo la estimación de las emisiones de CO_2 y del coste a mano para evaluar los resultados del programa.

[2] Existe una lista de los programas de simulación energética del Departamento de Energía de los Estados Unidos en la siguiente página web: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm

4.2. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACION

El trabajo con programas de simulación implica una complejidad importante, que va desde la modelización del edificio, la introducción de datos sobre los materiales y el HVAC (calefacción, ventilación y refrigeración) hasta la interpretación de los resultados obtenidos a través del programa.

Dada la complejidad y la falta de suficientes datos sobre el edificio de referencia, fue fundamental ponerse en contacto con el equipo de proyecto del edificio, colaboradores que participaron en su diseño pasivo-activo y expertos sobre los vidrios electrocrómicos. Esto es de gran importancia porque en esta manera se ha obtenido una investigación que tiene en cuenta la realidad de un edificio de oficinas y de los vidrios electrocrómicos que existen en el comercio, capaz de valorar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

4.2.1. Modelización

Al principio se ha ido utilizado el programa Revit (autodesk) que es compatible con Ecotect Analysis 2011 para la producción del modelo de referencia en tres dimensiones. Después de importar el archivo en Ecotect, aunque la geometría en la visualización parecía que estaba bien, habían problemas durante la simulación y mucho retraso. Por esto, fue necesario diseñar otra vez el edificio, desde el principio directamente en el programa de Ecotect. Aparte del edificio del Banco de Sangre y Tejidos, han sido diseñado los edificios vecinos para observar el impacto que tienen al edificio de referencia.

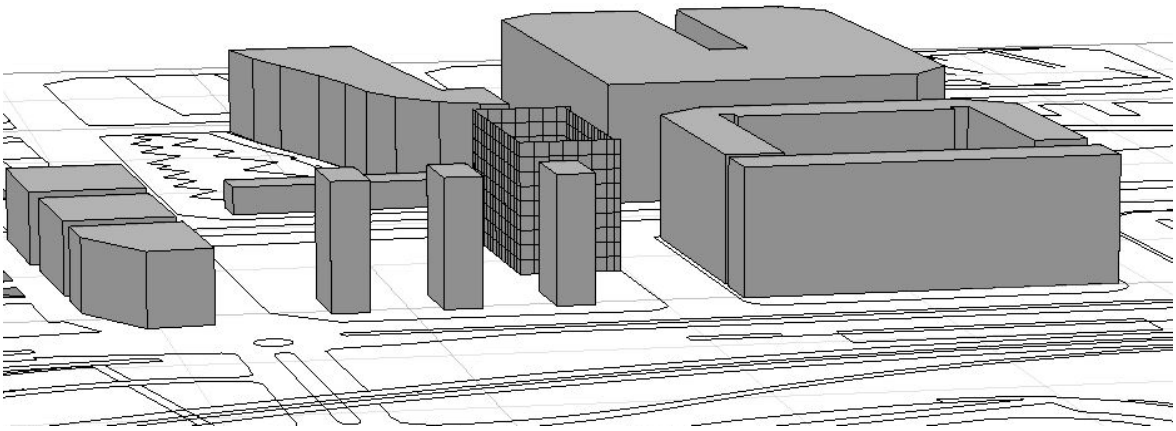


Figure 26. Modelización en Ecotect. Edificio de referencia y su entorno.

Para la realización de los cálculos de energía, las emisiones de CO2 y el coste se ha elegido una media planta del edificio, la tercera planta, la cual se ha diseñado directamente en el programa de DesignBuilder.

Como conclusión parcial, se puede decir que importar archivos en estos 2 programas tiene como resultado la perdida de mucho tiempo tratando de corregir el modelo, sin éxito. Si se trata de un edificio relativamente simple, es mejor diseñarlo directamente en los programas de simulación energética.

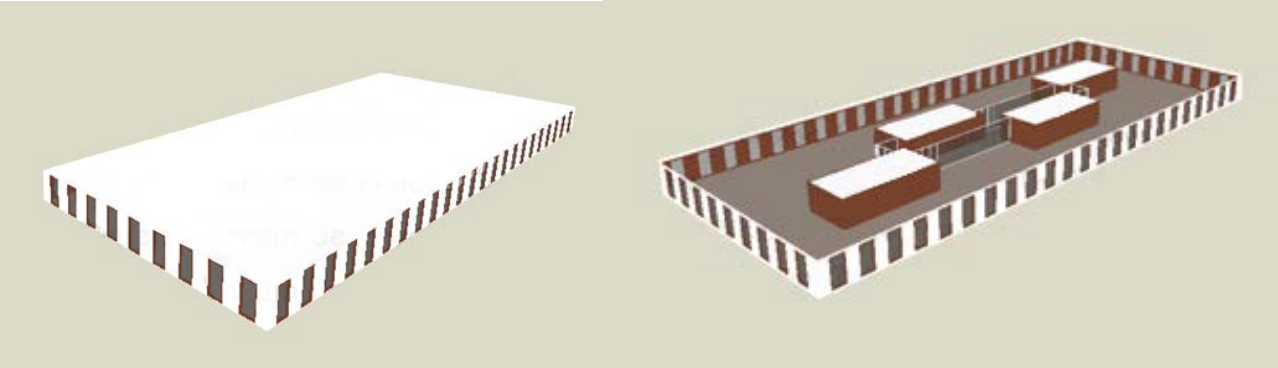


Figure 27. Modelización en DesignBuilder. Tercera planta, vista exterior-interior.

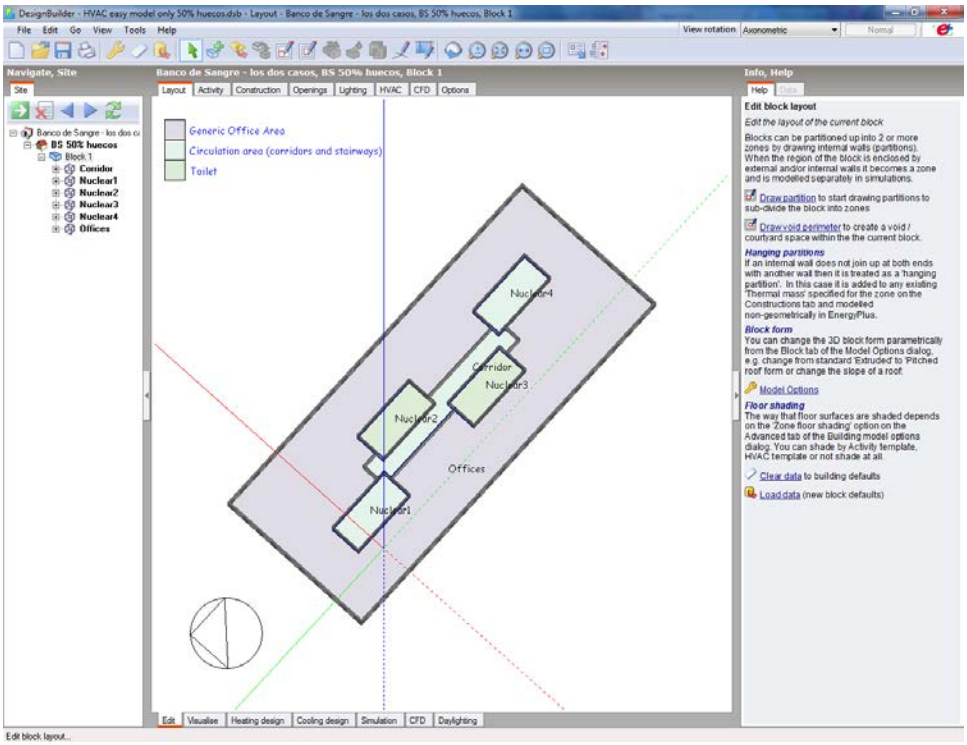
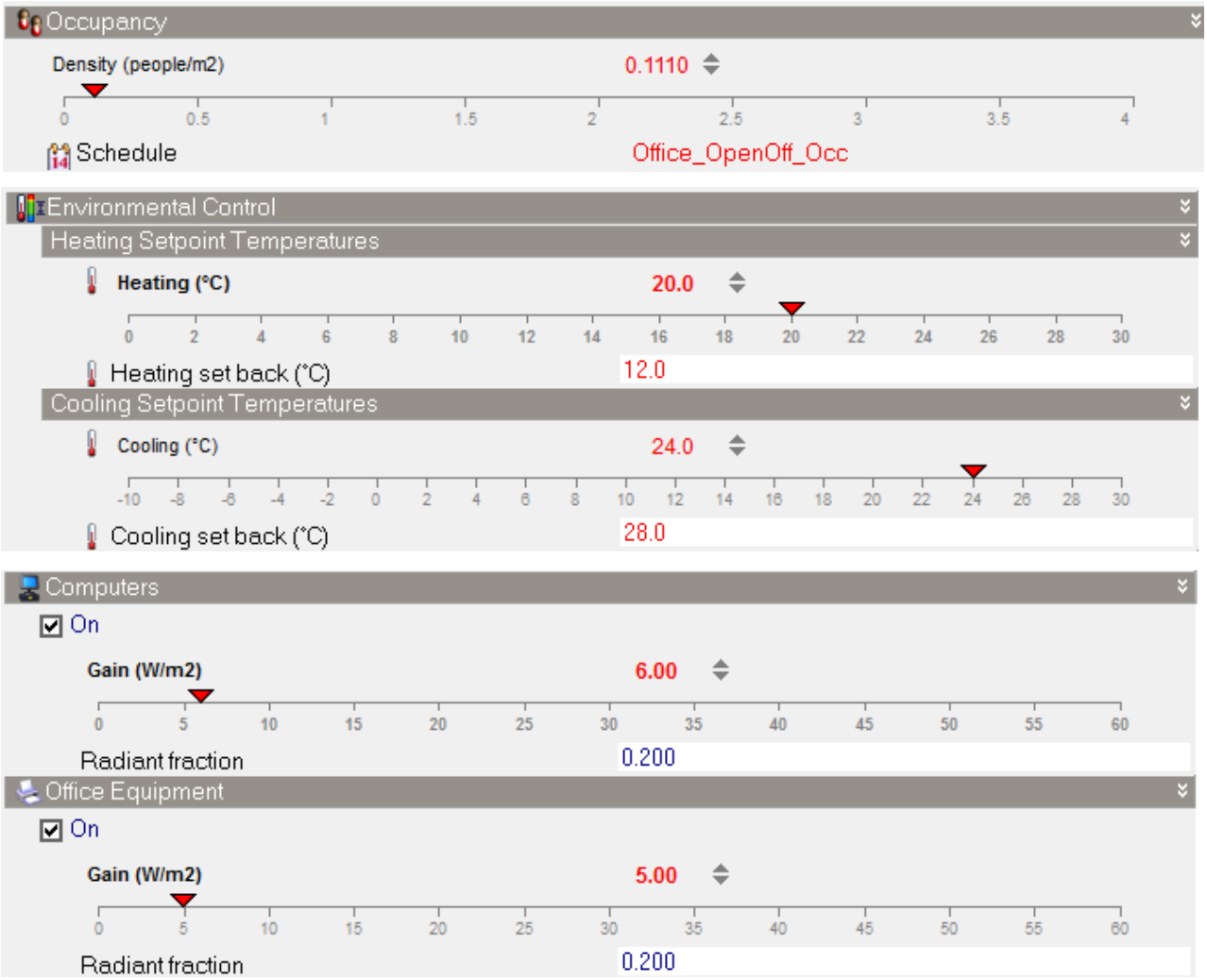


Figure 28. Modelización en DesignBuilder. Tercera planta, creación de zonas

4.2.2. Actividad

El siguiente paso fue la definición de las densidades de ocupación, la densidad de iluminación, las densidades de los equipos, las temperaturas de consigna de la Calefacción y de la Refrigeración, y, finalmente, los horarios de las zonas. Se utilizaron diferentes técnicas para conseguir estos valores. La densidad de la ocupación y de los equipos se calcularon en base de las plantas del edificio mientras que las temperaturas de consiga se arreglaron según las respuestas del equipo de proyecto del edificio en el cuestionario propio (ver Anexo II p.55).



Relleno de datos sobre la actividad del edificio. Programa DesignBuilder

4.2.3. Materiales

a. Elementos constructivos

Para la definición de cada uno de los elementos que conforman la envolvente del edificio (muros exteriores, suelos, techos, cubiertas), se deben especificar las diferentes capas que conforman el cerramiento con sus materiales, grosores, características y transmitancias de cada una de ellas. El programa dispone todos estos datos en sus librerías.

b. Aberturas

Dentro de la base de datos del mismo programa, se pueden encontrar las opciones posibles para definir el marco, el tipo de vidrio y sus características. Se trata de una extensa y actualizada base de datos de vidrios de los principales fabricantes del mundo (IGDB: International Glazing Database), desarrollada por el National Fenestration Rating Council (NFRC) y certificada con la ISO 15099 estándar y ASHRAE SPC. En esta base existe la opción del vidrio electrocrómico y por esto fue posible la investigación de este tipo de vidrio en la presente tesina.

Los valores obtenidos para los vidrios del DesignBuilder son muy parecidos con los de las empresas elegidas. A continuación se muestra una tabla de comparación entre los datos obtenidos de estas empresas y los obtenidos del programa DesignBuilder:

Nombre del vidrio	Procedencia de los datos	Composición	Factor solar g	Transmisión visible	U-value (673)
Vidrio doble sencillo	Empresa	6-13-6, Air	0,69	0,78	2,7
	DesignBuilder		0,70	0,78	2,8
SuperNatural 54 (clear)	Guardian	6-16-4, Argon	0,28	0,54	1,1
	DesignBuilder		0,30	0,54	1,1
Doble vidrio electrocrómico de baja emisividad	SageGlass	6-16-6, Argon transparente/tintado	0.48	0.62	1.1
			0.05	0.02	1.1
	DesignBuilder	6-16-6.Argon transparente/tintado	0.44	0.59	1.1
			0.06	0.02	1.1

Una vez definidas las características de los vidrios, se pueden elegir las protecciones solares - aleros, persianas interiores etc - las cuales son importantes tanto para invierno como para verano, porque afectan los cálculos de demanda de calefacción y de refrigeración. Para el vidrio doble con cámara de aire y el vidrio doble de baja emisividad con protección solar se usan persianas interiores de alta reflexión. El control de las persianas automatizadas en el caso del vidrio de baja emisvidad y protección solar se hace según el deslumbramiento (glare control).

4.2.4. HVAC / Iluminación

El nivel de iluminancia en cada zona del edificio depende de la posición del sol, la condición del cielo, la posición del sensor de la fotocélula, la protección solar y el tamaño, la ubicación y las propiedades del vidrio. La primera variable – la posición del sol – se incluye en el archivo del tiempo (ciudad: Barcelona) y se toma en cuenta durante la simulación. La condición del cielo (sol, cielo claro, cielo promedio, cielo nublado) está en las opciones de la simulación y el caso del cielo nublado CIE permite determinar los factores de luz diurna. El resto de las variables de debe asignar en el modelo.

El nivel de iluminancia en el área de oficina se consideró 500 lux, en los pasillos 100 lux y en los aseos y las escaleras 150 lux* y todos los sensores de iluminación se encuentran en el plano de trabajo, que es 0.8 metros por encima del suelo.

Para los cálculos de calefacción, refrigeración e iluminación es obligatorio definir el tipo de combustible, el CoP del sistema, el tipo de las luminarias y otros detalles como las condiciones de impulsión de Aire etc. Por esto, como se mencionó antes, fue muy importante hablar con el equipo de proyecto del edificio para poder entender mejor el edificio de referencia (ver Anexo II p.55). Según el cuestionario que rellenó el equipo, la descripción de las instalaciones es la siguiente:

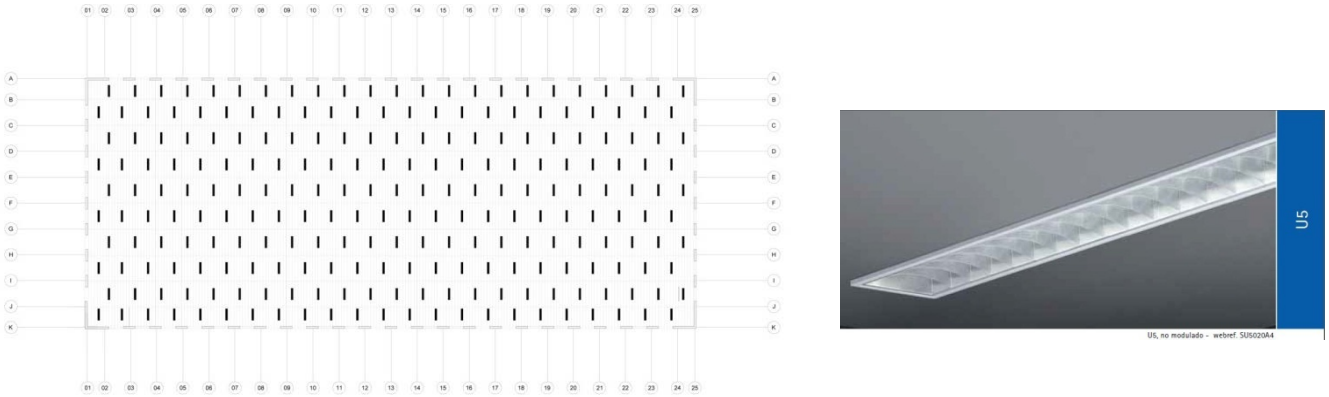


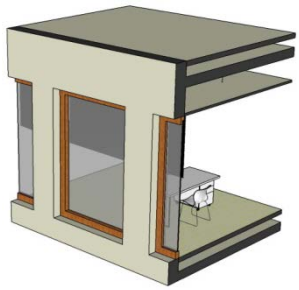
Figure 29. Distribución de las luminarias en una planta típica. BST. Modelo de luminaria: U5, empresa ETAP

Categoría	Descripción
HVAC	
System type	VAV + Heat recovery + Free coolimg
Cooling type	Chilled water
Heating type	Hot water gas boiler
Economiser (Free cooling) type	Return air temperature
Fan system operation	Continuous whenever spacies are occupied
Number and type of chillers	3 screw chillers
Chiller efficiency	4.9 COP
Number and type of Boilers	2 gas boilers
Heating set point	20°C
Cooling set point	24°C
DOMESTIC HOT WATER SYSTEM	
Type	Instantaneous hot water only (fuel: natural gas)
LIGHTING	
Luminaire type	Recessed
Lighting control type	Stepped (only for the office zone)

4.3. SIMULACIONES

4.3.1. ENERGÍA

Los resultados de HVAC se refieren en una planta típica del edificio del Banco de Sangre y Tejidos, en Barcelona, y se dividen en dos épocas estacionales: anual y mensual.

FACHADA CONVENCIONAL	Combustible	kWh / m²	kWh / planta	
Equipos de oficina	Electricidad	7,609	12.127	
Iluminación	Electricidad	18,792	29.948	
Ventiladores	Electricidad	9,922	15.813	
Bombas	Electricidad	9,133	14.555	
Calefacción	Gas	7,472	11.907	
Refrigeración	Electricidad	14,796	23.580	
ACS	Gas	4,177	6.658	
Heat rejection	Electricidad	0,675	1.045	
Total		**72,576**	**115.633**	
Vidrio doble con cámara de aire + persianas manuales. Simulación Nº1				

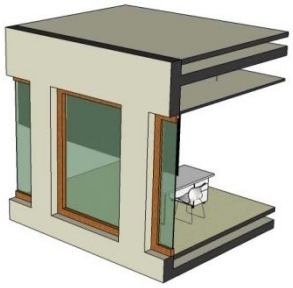
Se puede observar que para el HVAC se usa principalmente como combustible la electricidad, por esto son tan elevados los valores en este caso. La siguiente gráfica muestra la distribución de los combustibles fósiles. La iluminación tiene el mayor consumo y después siguen la refrigeración, los ventiladores, las bombas de calor, los equipos de oficina (computadora, escáner etc) y la calefacción.

Edificio BST	Calefacción		Refrigeración		Iluminación		Ventilación	
	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh
Enero	1,927	3.071	0.011	17	1,656	2.639	0,331	528
Febrero	1,323	2.109	0	0	1,44	2.295	0,241	384
Marzo	0,854	1.360	0,030	48	1,512	2.410	0,226	359
Abril	0,561	895	0,404	643	1,584	2.524	0,458	730
Mayo	0,159	253	1,766	2.815	1,656	2.639	1,117	1.780
Junio	0,033	62	2,905	4.629	1.44	2.295	1,658	2.643
Julio	0	0	3,256	5.189	1,656	2.639	1,773	2.826
Agosto	0	0	3,283	5.233	1,584	2.295	1,752	2.792
Septiembre	0,025	40	2,976	4.743	1,512	2.639	1,682	2.680

Octubre	0,202	322	0,114	182	1,656	2.524	0,174	277
Noviembre	0,864	1.376	0,028	45	1,512	2.410	0,223	356
Diciembre	1,524	2.429	0,023	36	1,584	2.524	0,287	458
Total	7,472	11.907	14,796	23.580	18,792	29.948	9,922	15.813

Demanda mensual de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación, BST. Simulación N º1

FACHADA CONVENCIONAL	**Fuel**	**kWh / m²**	**kWh / planta**
Equipos de oficina	Electricidad	7,609	12.127
Iluminación	Electricidad	5,539	8.824
Ventiladores	Electricidad	9,910	15.796
Bombas	Electricidad	8,964	14.287
Calefacción	Gas	7,708	12.285
Refrigeración	Electricidad	14,597	23.260
ACS	Gas	4,177	6.658
Heat rejection	Electricidad	0,633	1.009
Total		**59,137**	**94.246**

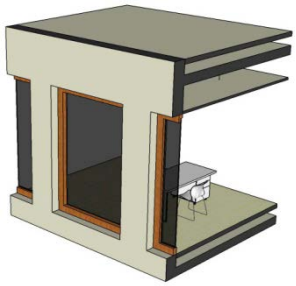


Vidrio doble de baja emisividad con protección solar + persianas automatizadas, BST. Simulación Nº2

Edificio BST	**Calefacción**		**Refrigeración**		**Iluminación**		**Ventilación**	
	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh
Enero	1,962	3.126	0.004	7	0,627	1.000	0,320	511
Febrero	1,362	2.171	0	0	0,461	734	0,235	375
Marzo	0,891	1.421	0,028	45	0,442	704	0,222	354
Abril	0,592	943	0,387	616	0,402	640	0,448	715
Mayo	0,167	267	1,778	2.833	0,374	595	1,127	1.796
Junio	0,036	57	2,905	4.629	0,324	516	1,663	2.651
Julio	0	0	3,182	5.072	0,347	553	1,773	2.825
Agosto	0	0	3,172	5.055	0,374	596	1,753	2.793
Septiembre	0,028	45	2,956	4.710	0,411	655	1,684	2.683
Octubre	0,216	344	0,130	206	0,532	847	0,184	293
Noviembre	0,898	1.431	0,029	46	0,611	974	0,219	350
Diciembre	1,556	2.480	0,026	41	0,634	1.010	0,282	450
Total	7,708	12.285	14,597	23.260	5,539	8.824	9,910	15.796

Demanda mensual de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación, BST. Simulación N º2

FACHADA CONVENCIONAL	Fuel	kWh / m²	kWh / planta
Equipos de oficina	Electricidad	7,609	12.127
Iluminación	Electricidad	5,356	8.536
Ventiladores	Electricidad	9,913	15.797
Bombas	Electricidad	9,063	14.444
Calefacción	Gas	7,427	11.838
Refrigeración	Electricidad	14,794	23.579
ACS	Gas	4,177	6.658
Heat rejection	Electricidad	0,648	1.124
Total		**58,987**	**94.103**



Vidrio doble electrocrómico + glare control, BST. Simulación Nº3

Edificio BST	Calefacción		Refrigeración		Iluminación		Ventilación	
	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh
Enero	1,902	3.031	0.005	9	0,606	965	0,310	494
Febrero	1,315	2.096	0.015	24	0,451	719	0,233	371
Marzo	0,855	1.363	0,043	69	0,419	668	0,228	364
Abril	0,563	898	0,414	660	0,382	609	0,466	743
Mayo	0,157	251	1,769	2.820	0,374	596	1,123	1.789
Junio	0,033	53	2,910	4.638	0,315	502	1,662	2.649
Julio	0	0	3,223	5.137	0,340	542	1,772	2.824
Agosto	0	0	3,238	5.160	0,363	578	1,752	2.792
Septiembre	0,023	36	2,965	4.725	0,387	617	1,682	2.680
Octubre	0,201	320	0,131	208	0,512	816	0,182	290
Noviembre	0,866	1.380	0,039	62	0,588	938	0,220	350
Diciembre	1,512	2.410	0,042	67	0,619	986	0,283	451
Total	7,427	11.838	14.779	23.579	5,356	8.536	9,913	15.797

Demanda mensual de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación, BST. Simulación N º3

4.3.2. EMISIONES DE CO_2

La Directiva 2009/29/CE, que modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, tiene como objetivo conseguir una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el año 2020 como mínimo en un 20% respecto a los niveles de 1990, por lo que los derechos de emisión asignados a las instalaciones en el régimen del comercio deben situarse, en su conjunto, por debajo del 21% desde el momento actual hasta el año 2020 respecto a los niveles de 2005.

En este sentido, las emisiones de GEI pueden clasificarse en emisiones cubiertas por la Directiva de comercio de derechos de emisión y emisiones no cubiertas por la Directiva de comercio de derechos de emisión (conocidas como emisiones difusas).

Cuando hablamos de gases de efecto invernadero (GEI) nos referimos a CO_2 equivalente (CO_2 eq), que incluye los seis gases de efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido de nitrógeno (N_2O), hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y hezafluoruro de azufre (SF_5).

<u>Factores de emisión</u>

Para calcular las emisiones asociadas, debe aplicarse el factor de emisión que corresponda.

En el caso del consumo eléctrico, debe aplicarse un factor de emisión de CO_2 - también conocido como mix eléctrico (g de CO_2/kWh) - que representa las emisiones asociadas a la generación eléctrica conectada a la red nacional necesaria para cubrir el consumo. En Cataluña, la electricidad que se consume, proviene de la red eléctrica peninsular y no se puede distinguir exactamente en qué planta de generación de electricidad se ha producido la electricidad importada. Por lo tanto, el mix que se recomienda utilizar es el valor del mix peninsular que refleje las emisiones de CO_2 generadas en la península para producir la electricidad de la red, y que tiene en cuenta que existen unas pérdidas de electricidad que se asocian al transporte y a la distribución. El mix eléctrico del año 2010 era de 267 g CO_2/kWh [3].

[3] Según la Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero de la Oficina Catalana de Canvi Climátic. Versión de marzo de 2012.

Los factores de conversión, según tipo de combustible, son los siguientes:

Combustibles	Factor de conversion
Electricad (kWh)	0,267 kg CO_2 / kWh
Gas natural (m^3)	10,70 kWh / m^3
Gas natural (m^3)	2,15 kg CO_2 / m^3

Hay que mencionar que estos factores no permiten calcular el total de emisiones posibles de GEI porque no toma en cuenta gases distintos del CO_2. En el caso de gas natural, primero se debe trasformar los kWh/año a m^3 y a continuación aplicar el factor de conversión para conseguir los kg CO_2 que se producen. Entonces: 2,15 kgCO_2/m^3 / 10,70 kWh/m^3= 0,200 kgCO_2/kWh.

CASO 1: Vidrio doble con cámara de aire + persianas manuales						
Electricidad	97.068	kWh	0,267	kg CO_2 / kWh	25.917	kg CO_2
Gas natural	18.565	kWh	0,200	kgCO_2 / kWh	3.713	kg CO_2
Emisiones de CO_2					**29.630**	**kg CO_2**

CASO 2: Vidrio doble de baja emisividad y protección solar + persianas automatizadas						
Electricidad	75.303	kWh	0,267	kg CO_2 / kWh	20.106	kg CO_2
Gas natural	18.943	kWh	0,200	kg CO_2 / kWh	3.789	kg CO_2
Emisiones de CO_2					**23.895**	kg CO_2

CASO 3: Vidrio doble electrocrómico + glare control						
Electricidad	75.607	kWh	0,267	kg CO_2 / kWh	20.187	kg CO_2
Gas natural	18.496	kWh	0,200	kg CO_2 / kWh	3.699	kg CO_2
Emisiones de CO_2					**23.886**	kg CO_2

* Teniendo en cuenta que muy aproximadamente 1 árbol adulto retiene de media, unos 6 Kg de CO2 al año (varía según la especie) - dato encontrado en la página web: www.salvar1arbol.com – para la retención del CO2 en el primer caso se necesitan 4.938 árboles, en el segundo 3.938 y en el tercer 3.981.

Ya que se ha hecho la estimación de emisiones de CO_2 a mano, es interesante evaluar los resultados de las emisiones de CO2 que da el programa DesignBuilder para el mismo consumo energético:

Emisiones CO_2 (kg)	Vidrio sencillo + persianas manuales	Vidrio doble de baja emisividad + persianas automatizadas	Vidrio doble electrocrómico + glare control
Calculos manuales	29.630	23.895	23.886
DesignBuilder	70.114	55.276	55.335

Observamos que hay una muy gran diferencia entre les resultados.

El cálculo de CO_2 fue asociado con el consumo de energía en sistemas de calefacción, aire acondicionado y ventilación (HVAC), y electricidad calculados por el software. Por lo tanto, el software también identifica un factor para cada combustible, el cual contiene un cantidad de CO_2 emitido por unidad de energía consumida (kgCO_2/kWh), por lo que al multiplicar este factor por el consumo del edificio entrega las emisiones anuales de CO_2. Los factores presentados por el software para el consumo de energía en España fueron los siguientes:

Electricidad: 0,685 CO_2/kWh

Gas natural: 0,195 CO_2/kWh

Como hemos visto antes, según la Generalitat de Catalunya – Comisión Interdepartamental del Cambio Climático y la Oficina Catalana de Cambio Climático, el factor de conversión para la electricidad es 0,685 CO_2/kWh y para el gas natural: 0,20 kgCO_2/kWh. Cambiando los parámetros del programa según estos valores ocurren los siguientes resultados que son prácticamente iguales con los del cálculo a mano:

Emisiones CO_2 (kg)	Vidrio sencillo + persianas manuales	Vidrio doble de baja emisividad + persianas automatizadas	Vidrio doble electrocrómico + glare control
Cálculos manuales	29.630	23.895	23.886
DesignBuilder	29.631	23.894	23.862

Tabla comparativa de las emisiones de CO2 obtenidos de cálculos manuales y del programa DesignBuilder

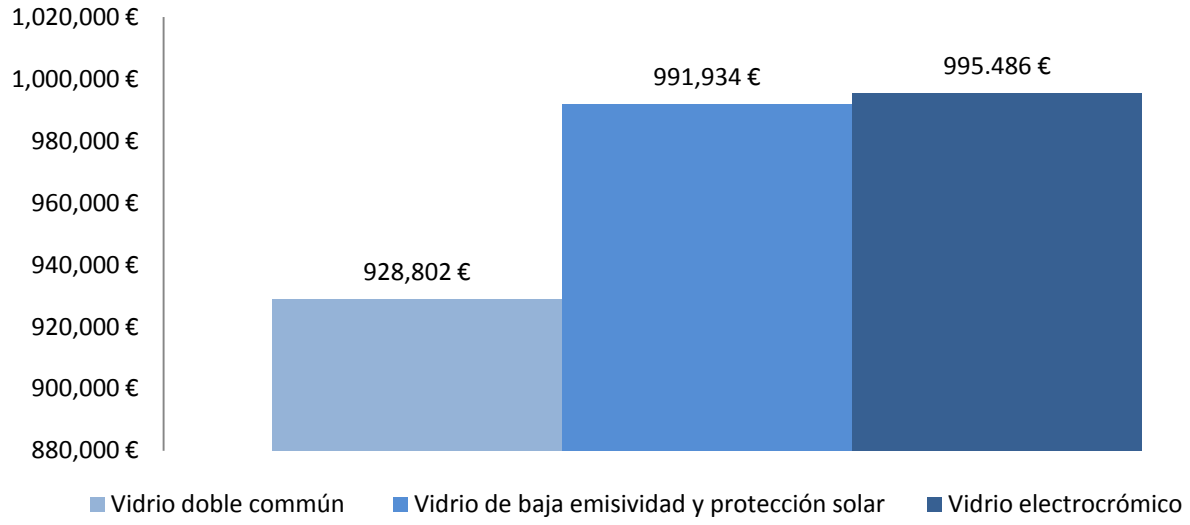
BANCO DE SANGRE Y TEJIDOS, BARCELONA. TERCERA PLANTA. Análisis energético y emisiones CO_2							
Tipo de vidrio	**Iluminación**	**Equipos**	**HVAC**			**Annual**	**$C0_2$**
	Electricidad kWh	**Electricidad kWh**	**Electricidad Wh**	**Gas natural kWh**	**Total kWh**	**kWh**	**$KgCO_2$**
Vidrio doble + persianas manuales	29.948	12.127	54.993	18.565	73.558	115.633	29.630
Vidrio doble de baja emisividad con protección solar + persianas automatizadas	8.824	12.127	54.352	18.943	73.295	94.246	23.895
Vidrio electrocrómico + glare control	8.536	12.127	54.944	18.496	73.440	94.103	23.886

4.3.3. COSTE

Para tener una correcta imagen del coste de cada vidrio elegido, tenemos que examinar no sólo los costes de los vidrios sino también el coste de las persianas interiores porque en el caso de los vidrios electrocrómicos no se usa protección solar adicional; Además, hay que tener en cuenta los costes de mantenimiento de estas persianas, la energía que se necesita para el funcionamiento de los vidrios electrocrómicos y el ahorro energético en cada caso.

Otros beneficios económicos incluyen beneficios indirectos de mejoras en confort térmico y visual que pueden mejorar la productividad de los usuarios, con lo cual aumenta el coste-efectividad. En esta tesina, no vamos a tener en cuenta los beneficios indirectos porque se necesitan estudios adicionales para cuantificar su impacto en el coste de cada vidrio.

A continuación se muestra el coste inicial de una planta típica del Banco de Sangre y Tejidos según el tipo de vidrio que se usa. Para el caso del vidrio de baja emisividad y protección solar se pidió del equipo de proyecto del edificio el coste inicial de la fachada del edificio; es decir, coste de vidrio, persianas, hormigón, aislamiento y revestimiento interior. Mientras que para el caso del vidrio electrocrómico, se puso el precio que propuso la empresa Sage Europe. De esta manera se obtuvieron resultados fiables que tienen en cuenta la realidad del comercio hoy en día.



Coste inicial de una planta típica del BST, según tipo de vidrio

COSTE INICIAL

CASO 1: Vidrio doble con cámara de aire + persianas manuales. BST-Planta típica				
FACHADA	Unidad	Orientación	Coste € / U	Coste €
Vidrio doble 6mm/16mm/6mm	23	NE	231	5.303
Vidrio doble 6mm/16mm/6mm	9	SE	231	2.075
Vidrio doble 6mm/16mm/6mm	23	SO	231	5.303
Vidrio doble 6mm/16mm/6mm	9	NO	231	2.075
Sub Total	64			14.755
Persiana interior de lamas micro perforadas	64		650	41.600
Sub Total				41.600
Parte opaca	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Hormigón blanco	256		267	68.352
MW Lana mineral [0.037 W/[mK]]	256		8,50	2.176
Tablero de madera (DM 19mm)	256		150	38.400
Sub Total	256			108.928
LOSA	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Suelo técnico con linoleum	1663		126,47	210.320
Hormigón (35 cm)	1663		237	394.131
Sub Total	1175?			604.451
PARTICIONES	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Hormigón	136,08		267	36333
Tablero de madera (DM 19mm)	136,08		150	20412
Particiones de madera	280		50	14000
Vidrio de seguraridad	174,96		70	12.247
Sub Total				82.993
TECHO	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Techo suspendido	1663		25	41.575
Luminarias (unidad)	230		150	34.500
TOTAL €				928.802

COSTE INICIAL

CASO 2: Vidrio de baja emisividad con protección solar + persianas automatizadas. BST-Planta típica				
FACHADA	Unidad	Orientación	Coste € / U	Coste €
Vidrio doble 6mm/16mm/4mm	23	NE	1.017	23.391
Vidrio doble 6mm/16mm/4mm	9	SE	1.017	9.153
Vidrio doble 6mm/16mm/4mm	23	SO	1.017	23.391
Vidrio doble 6mm/16mm/4mm	9	NO	1.017	9.153
Sub Total	64			65.088
Persiana interior de lamas micro perforadas	64		850	54400
Sub Total				54400
Parte opaca	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Hormigón blanco	256		267	68.352
MW Lana mineral [0.037 W/[mK]]	256		8,50	2.176
Tablero de madera (DM 19mm)	256		150	38.400
Sub Total	256			108.928
LOSA	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Suelo técnico con linoleum	1663		126,47	210.320
Hormigón (35 cm)	1663		237	394.131
Sub Total	1175?			604.451
PARTICIONES	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Hormigón	136,08		267	36333
Tablero de madera (DM 19mm)	136,08		150	20412
Particiones de madera	280		50	14000
Vidrio de seguraridad	174,96		70	12.247
Sub Total				82.993
TECHO	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Techo suspendido	1663		25	41.575
Luminarias (unidad)	230		150	34.500
TOTAL €				**991.934**

COSTE INICIAL

CASO 3: Vidrio electrocrómico. BST-Planta típica				
FACHADA	Unidad	Orientación	Coste € / U	Coste €
Vidrio doble 6mm/16mm/4mm	23	NE	1.017	23.391
Vidrio electrocrómico	9	SE	2.828	25.452
Vidrio electrocrómico	23	SO	2.828	65.044
Vidrio doble 6mm/16mm/4mm	9	NO	1.017	9.153
Sub Total	64			123.040
Persiana interior de lamas micro perforadas	0		850	0
Sub Total				0
Parte opaca	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Hormigón blanco	256		267	68.352
MW Lana mineral [0.037 W/[mK]]	256		8,50	2.176
Tablero de madera (DM 19mm)	256		150	38.400
Sub Total	256			108.928
LOSA	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Suelo técnico con linoleum	1663		126,47	210.320
Hormigón (35 cm)	1663		237	394.131
Sub Total	1175?			604.451
PARTICIONES	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Hormigón	136,08		267	36333
Tablero de madera (DM 19mm)	136,08		150	20412
Particiones de madera	280		50	14000
Vidrio de seguraridad	174,96		70	12.247
Sub Total				82.993
TECHO	m²	Orientación	Coste € / m²	Coste €
Techo suspendido	1663		25	41.575
Luminarias (unidad)	230		150	34.500
TOTAL €				**995.486**

Las persianas usan partes mecánicas que a menudo necesitan reparación o mantenimiento cada año. Según estadísticas, 25% de las persianas que están instalados a los edificios tienen problemas dentro de 10 años de uso. Esto significa que se necesita un técnico para reparar o reemplazar estas persianas durante los próximos años. Los vidrios electrocrómicos no tienen partes mecánicas y por lo tanto, no necesitan algún mantenimiento específico.

MANTENIMIENTO DE LAS PERSIANAS INTERIORES

	Número de años después la instalación	% de las piezas mecánicas que necesitan mantenimiento	Número de m² a mantener	Coste de 1 técnico/hora en Eur + coste de refacciones	Número de horas en sitio	Coste de reparación por año	Coste total desde la instalación
	1	1%	3	300	3	900	900
	2	2%	6	300	7	2100	3000
	3	2%	6	300	7	2100	5100
	4	2%	6	300	7	2100	7200
	5	3%	8	300	10	3000	10200
	6	3%	8	300	10	3000	13200
	7	3%	8	300	10	3000	16200
	8	3%	8	300	10	3000	19200
	9	3%	8	300	10	3000	22200
	10	3%	8	300	10	3000	25200
TOTAL	10	25%	69	300	84	**25.200**	

CONSUMO DE ENERGÍA DEL VIDRIO ELECTROCRÓMICO (SAGEGLASS)

	Número de horas	Consumo kW/m²/24h	Número de días por año	Consumo kWh/m²/año	m²	Consumo kWh/año	Coste* €
	24	0.0004	8760	3.5	130	**455**	**81**
TOTAL							

*Para suministros con potencia contratada a partir de 15 kW, el término de energía es 0,1790376 €/kWh según las tarifas eléctricas de Endesa publicadas en el BOE 28 Junio 2012.

CONSUMO ANUAL DEL EDIFICIO. BST

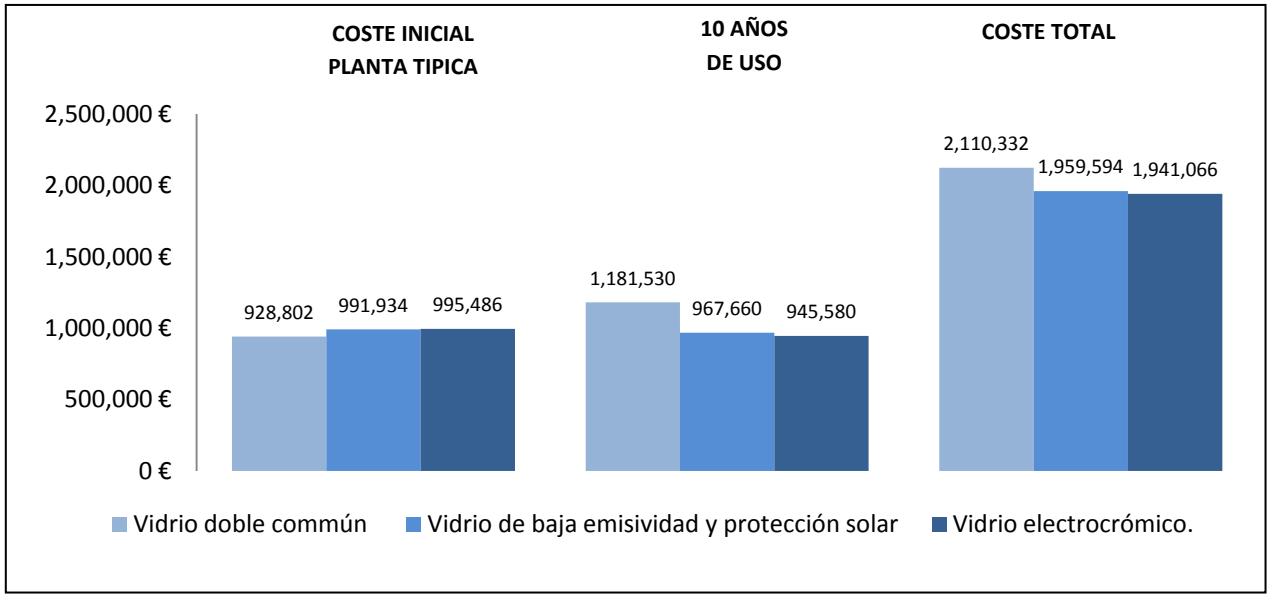
Alternativas	Fachada convencional (kWh)	Coste (€)
1.Vidrio doble	115.633	20.703
2.Vidrio de baja emisividad	94.246	16.874
3.Vidrio electrocrómico	94.103	16.929

CONSUMO 10 AÑOS DE USO. BST

Alternativas	Fachada convencional (kWh)	Coste (€)
1.Vidrio doble	1.181.530*	211.538
2.Vidrio de baja emisividad	967.660*	173.248
3.Vidrio electrocrómico	945.580**	169.290

*Está incluido el mantenimiento de las persianas interiores

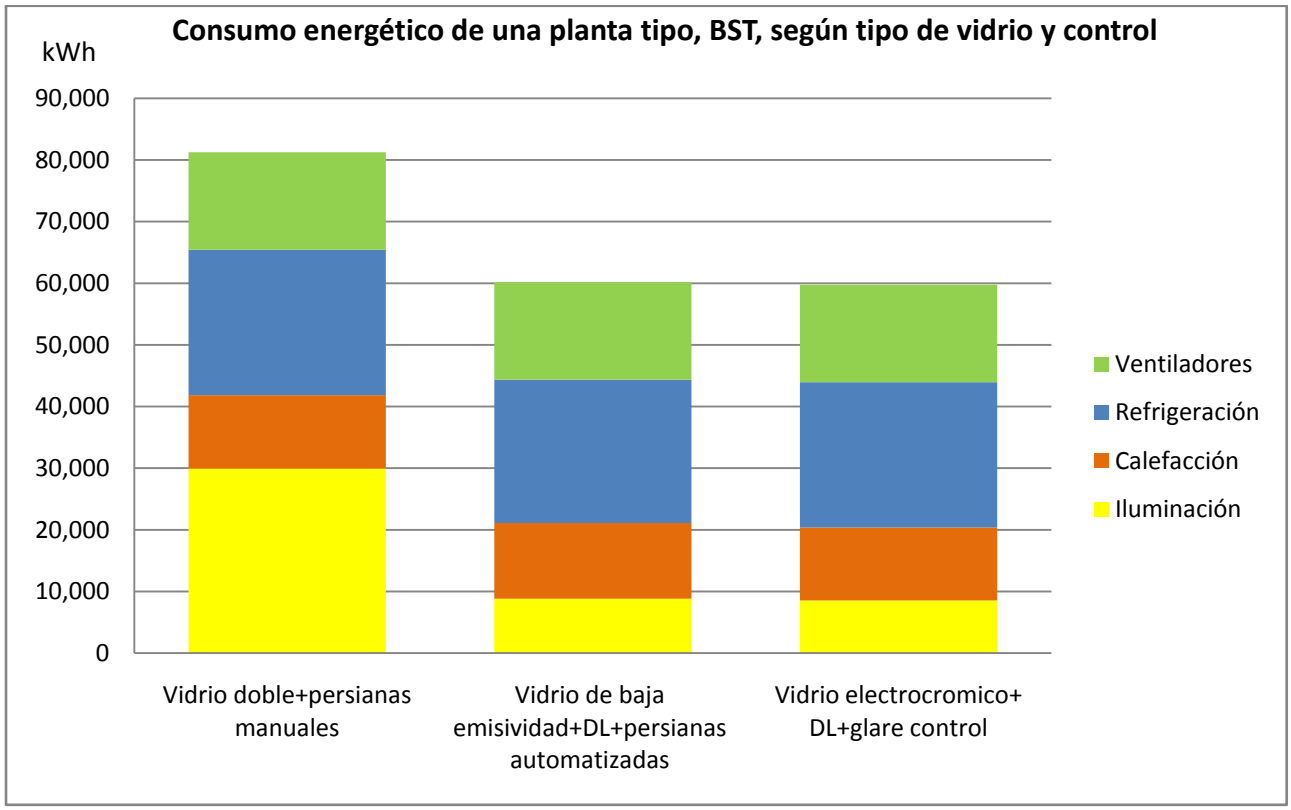
**Está incluido el consumo para el funcionamiento de los vidrios electrocrómicos (455 kWh/año).



5. RESULTADOS

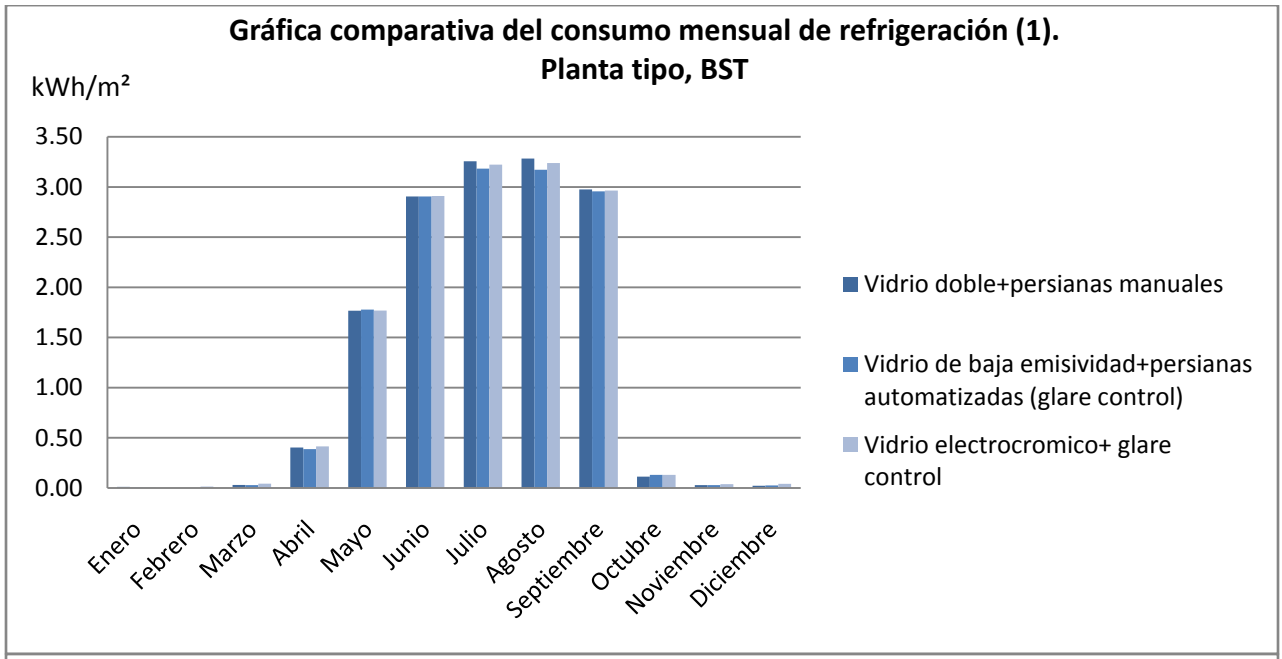
5.1. Comparación de los resultados

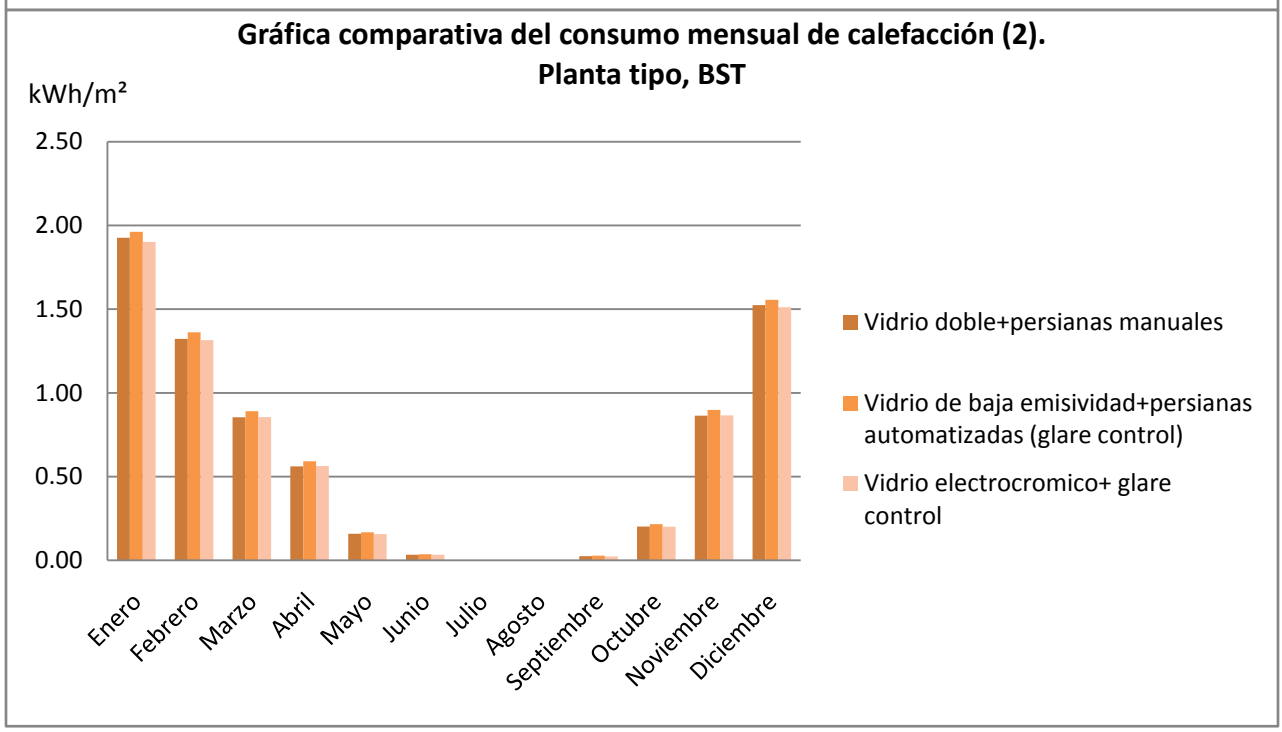
Estos resultados se han representado gráficamente en la siguiente figura en la que podemos ver el consumo del edificio según el tipo de vidrio elegido. Se nota una gran diferencia entre el vidrio doble común con persianas manuales y el resto de los vidrios, principalmente en la parte de la iluminación. Esto es debido a que tradicionalmente en los edificios de oficinas las persianas estaban bajadas la mayoría del tiempo, a causa del deslumbramiento y los reflejos en las pantallas. Además la falta de control de iluminación según la luz natural sube aún más el consumo de electricidad.



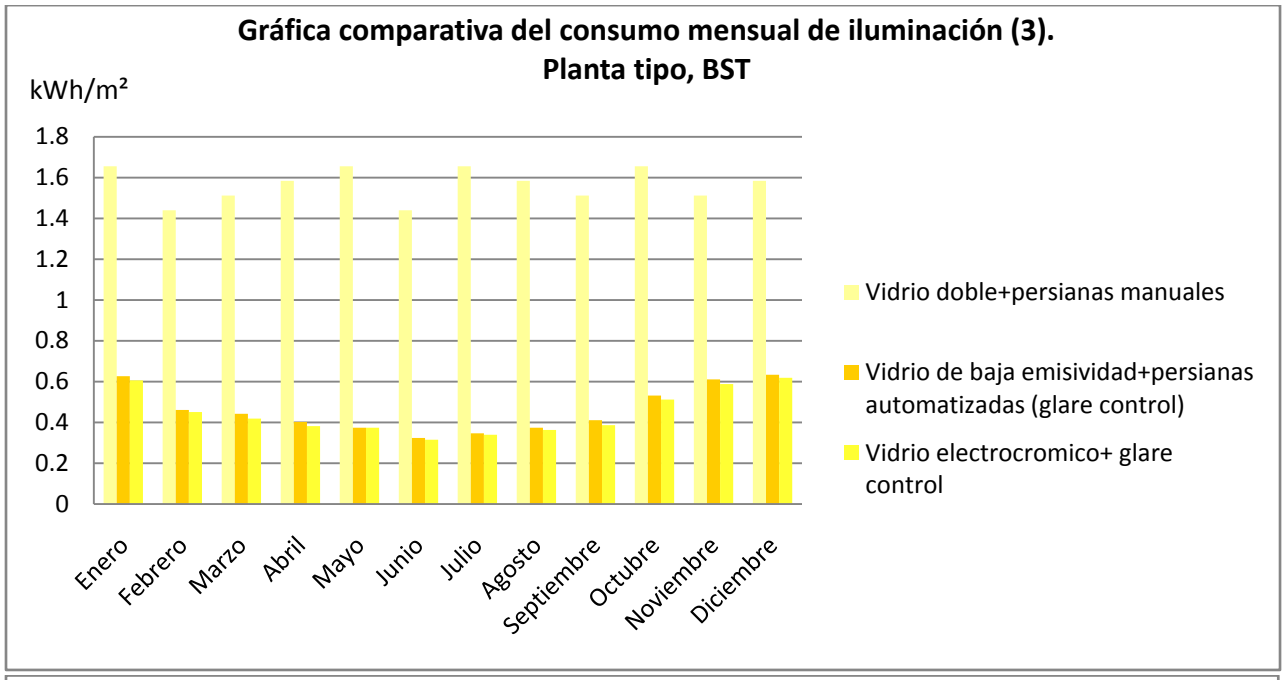
A continuación se presenta en detalle el consumo mensual de ventilación, refrigeración, calefacción e iluminación. Aquí se pueden ver las aportaciones de cada vidrio y comparar el vidrio de baja emisividad y protección solar con el vidrio electrocrómico.

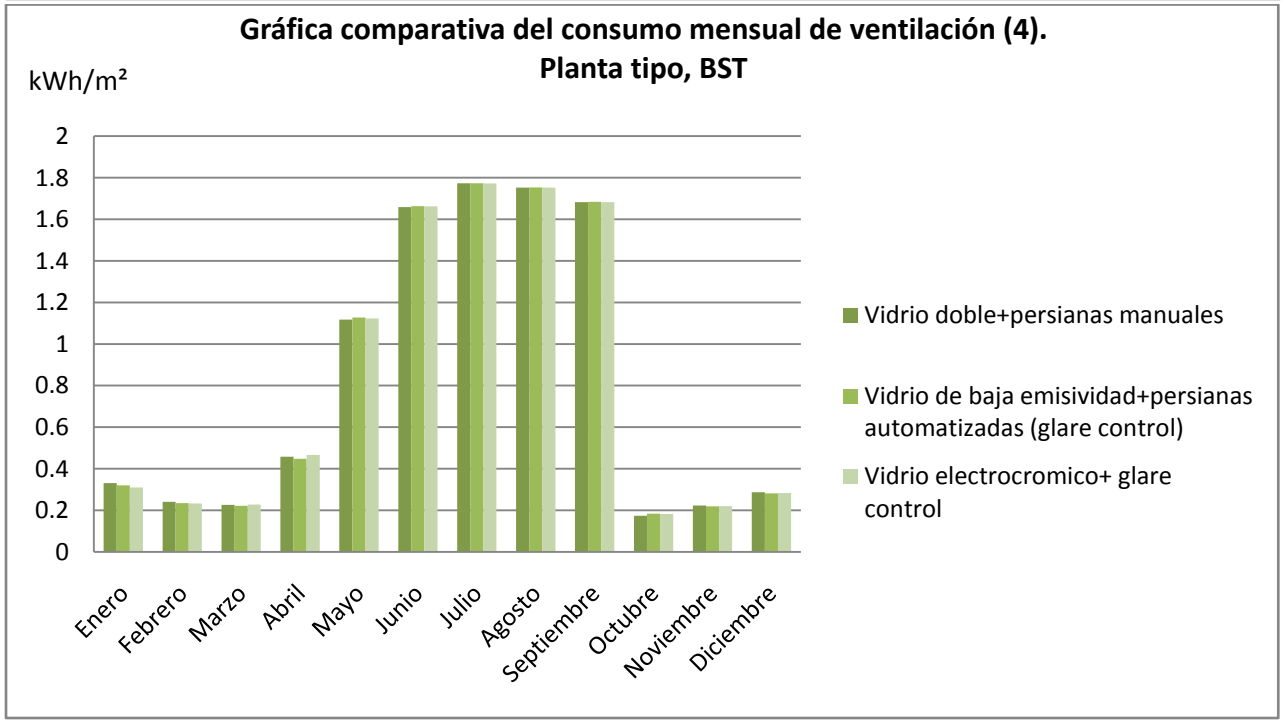
Como observación general, el edificio está situado en Barcelona y tiene un clima cálido por esto la demanda de refrigeración es siempre mayor de la demanda de calefacción.





La alternativa del vidrio de baja emisividad con protección solar y persianas automatizadas tiene mayor consumo en calefacción e iluminación (gráfica 2 y 3) mientras que el vidrio electrocrómico ¨gasta¨ más en refrigeración en verano (gráfica 1).





5.2. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio es investigar el efecto de varios tipos de vidrio en un edificio de oficinas en Barcelona a través de un programa de simulación como el DesignBuilder. El edificio de referencia es el Banco de Sangre y Tejidos, por los arquitectos J. Sabaté, A. Cazurra, H. Espeche.

Primero se hizo un análisis teórico de las características energéticas del vidrio y de los nuevos tipos de vidrio que existen en el comercio. Según este análisis, se ha elegido como base un vidrio doblado con cámara de aire y persianas manuales, pasando a continuación a un vidrio de baja emisividad con protección solar y persianas automatizadas – como lo que en realidad existe en el edificio de referencia – y por último a un vidrio de última generación (vidrio electrocrómico). En el tercer caso, el vidrio electrocrómico se ha puesto en la fachada Sur-Este y Sur-Oeste donde hay más radiación solar tanto en invierno tanto en verano. En el resto de las fachadas se mantuvo el vidrio de baja emisividad con protección solar y persianas automatizadas.

La comparación de estas alternativas muestra que en un clima mediterráneo el edificio de oficinas con 50% de huecos empleado en la simulación gasta menos energía con el uso del vidrio electrocrómico. Aunque la diferencia en eficiencia entre el segundo y el tercer caso es muy poca. Más específicamente, en el caso del vidrio electrocrómico hay un 4% de ahorro en calefacción y en iluminación y a nivel de refrigeración el vidrio de baja emisividad con protección solar ahorra 2% en relación con el vidrio electrocrómico.

Otra conclusión interesante es que en la primera alternativa del vidrio doble con cámara de aire y persianas manuales se aumenta muchísimo el consumo de la energía, un 18% del consumo total del edificio. Este es el típico caso que aún se encuentra en edificios de oficinas donde no hay algún sistema de control de iluminación de las luminarias y de las persianas según las condiciones exteriores. Como resultado, las luces quedan casí todo el día encendidas mientras que las persianas están principalmente bajadas, a causa del deslumbramiento o por costumbre.

Para el cálculo de las emisiones de CO_2 se considera que desde la producción de los vidrios hasta el proceso constructivo las emisiones son parecidas. Por esto se estima el impacto ambiental debido al uso

del edificio y resulta que el vidrio electrocrómico tiene casí las mismas emisiones de CO_2 que el vidrio bajo emisivo (sólo 1% menos) y emite 20% menos que el caso del vidrio doble sencillo con persianas manuales.

Sobre el coste de los vidrios - teniendo en cuenta el coste de la inversión y los primeros 10 años del uso del edificio – se estima que la alternativa del vidrio electrocrómico es más económica mientras que el coste para su funcionamiento es muy bajo, a nivel de 3.5 kWh/m²/año. Hay que mencionar que aún no existe alguna información sobre el mantenimiento de este tipo de vidrios y su garantía es de 10 años para el vidrio, 5 años para el funcionamiento del electrocrómico y sólo 2 años de los componentes de los sistemas de control.

Para tener resultados más generalizados sobre la eficiencia energética de dichos vidrios se deben probar más parámetros como distintas tipologías de fachada o climas más fríos que el mediterráneo. Por esto, en esta tesina se ha probado también el mismo edificio de referencia pero con una fachada tipo muro cortina (85% de huecos) y los resultados han muestrado que hay mayor gasto de energía cuando se usa el vidrio electrocrómico en relación con el vidrio de baja emisividad y protección solar con persianas automatizadas (ver Anexo III p.60).

En conclusión, el vidrio con sus múltiples variantes, puede ser un material de altas prestaciones en relación a la estética y eficiencia energética en la arquitectura. Los vidrios dinámicos pueden ser el futuro de la envolvente del edificio debido a que permite un control dinámico del calor y luz en función de las necesidades de los ocupantes permitiendo al mismo tiempo óptimas vistas sin obstáculos. Por esto es importante para los arquitectos e ingenieros entender los tipos de vidrios que están disponibles hoy en día en el comercio con el fin de encontrar la solución óptima para cada proyecto.

Futuras líneas de investigación

De modo complementario se propone investigar aspectos tales como la eficiencia de dichos vidrios probando distintas tipologías de fachada (de 10% a 100% huecos), climas más fríos o la precisión de los programas de simulación.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

[1] Loughran Patrick, **Falling glass: problems and solutions in contemporary architecture**, 2003, p.82-5

[2] Baker,Nick;Steemers,Koen, **Energy and environment in architecture: a technical design guide**, 2000, p.42-43

[3]Adolfo Guzzini, Josep Masbernat, Josep Mi*às*, Silvia Brandi, Agustí Obiol, Vicente Guallart, Josep Ramon Solé, Jorge García de la Cámara, Marco Atzori, Sebastiano d´Urso, Jaume Avellaneda, Josep Juliol, Josep Maria Gonzáles, Carles Bou, **iGuzzini, Barcelona Corporate Building**, 2011, p. 220-7, 270-83

[3] Knaack,Klein, Bilow, Auer: **Facades, principles of construction**, 2007, p. 85-86

[4] ITeC, **Comportamiento energético de una fachada acristalada**, 2007, p. 9-14

[5] Amstock,Joseph S., **Manual del vidrio en la construcción**, 1998, p. 384-390

[6] Compagno,Andrea, **Intelligente glasfassaden :material, anwendung, gestaltung / Intelligent glass façades : material, practice, design**, 1995, p. 50-55

[7] Carmen Giménez Molina, **Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos,** Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, 2011, p. 52-92

[8] SageGlass, **Performance assessment of SageGlass electrochromic coatings and controls**, 2010, p.1-20

[9] Lydia Lymperopoulou, **Innovadores usos del vidrio en las fachadas de los edificios**. Investigación antes el proyecto final de carrera. Universidad Politécnica de Patras,Escuela de Arquitectura, 2006, p.63-71

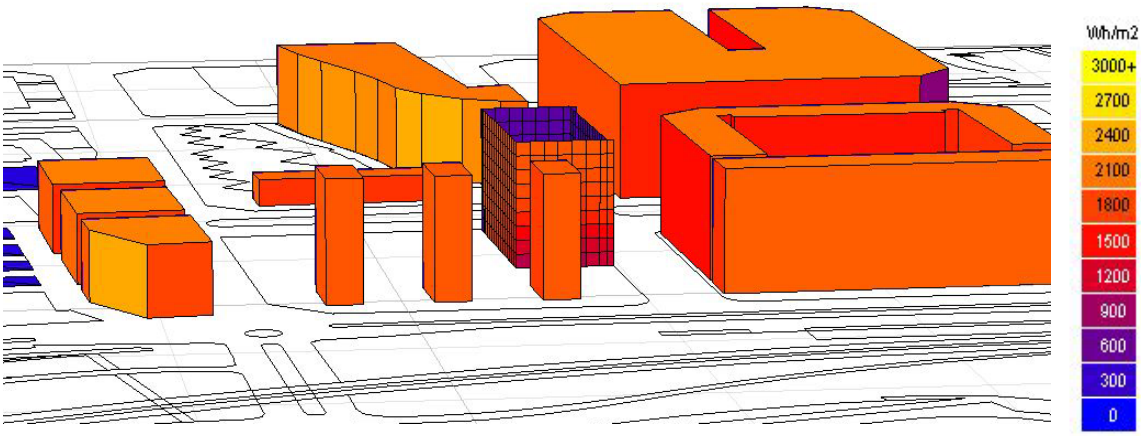
[10] CEI, IDAE, CSCAE, **Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios**, 2005, p. 45

[11] Cuerva Contreras, Eva, **Requerimientos de fachadas acristaladas en edificios de oficinas según el nuevo Códico Técnico de la Edificación**, Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, Master Thesis, 2007, p.17-25

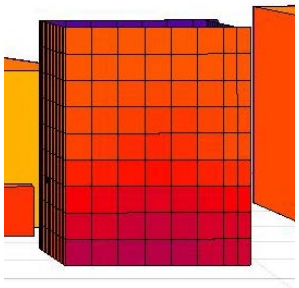
[12] CREARA Consultores S.L. y Evangelina Nucete (WWF España), **Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas**, 2008, p.1-5

ANEXO I

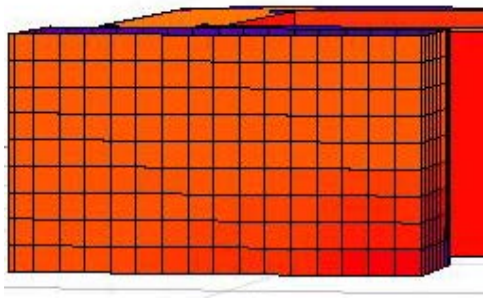
BST, Solar Access Analysis (de 1 de deciembre a 28 de febrero, 8h a 18h). Radiación



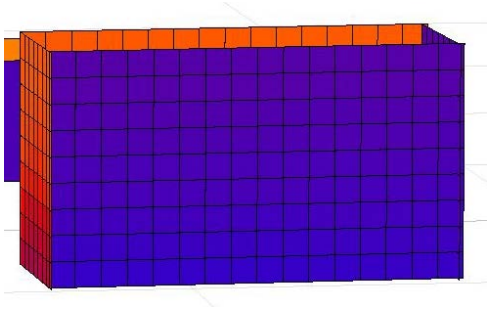
Estudio da cada fachada por separado



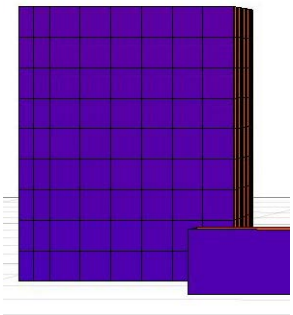
SUR



OESTE

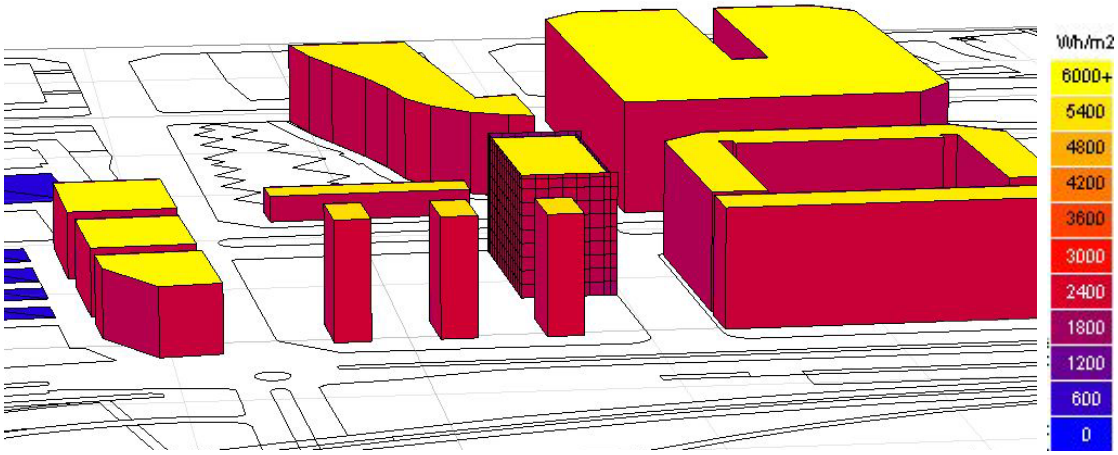


ESTE

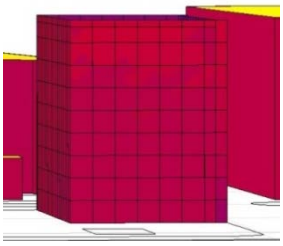


NORTE

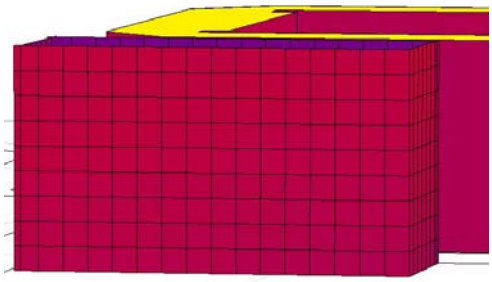
BST, Solar Access Analysis (de 1 de junio a 31 de agosto, 8h a 18h). Radiación



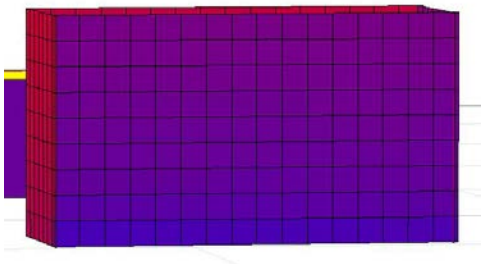
Studying each facade seperately



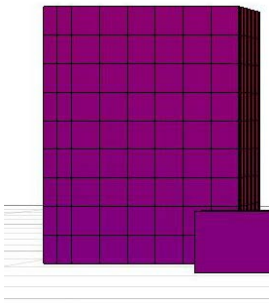
SUR



OESTE



ESTE



NORTE

ANEXO II

CUESTIONARIO

Banco de Sangre y Tejidos

Este cuestionario se ha sido creado para completar el estudio de la tesina ¨Vidrios estáticos y dinámicos. Estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficinas en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento¨ del Máster Oficial Arquitectura, Energía y Medio Ambiente de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.

Lydia Liberopulu_arquitecta

10.07.12

→ ACTIVIDAD BST

- **ACTIVIDAD**

  Light manual work

- **OCUPACIÓN**

  Densidad (personas/m²)

  ……

- **EQUIPOS DE OFICINA** (W/m²)

  ……

- **CONTROL AMBIENTAL**

  Temperaturas de Consigna de la Calefacción (ej. 18 °C)

  ……

Temperaturas de Consigna de la Refrigeración (ej. 25°C)

……

Nivel mínimo de Iluminancia (ej. 100 lux)

……

MATERIALES

- **FACHADA**

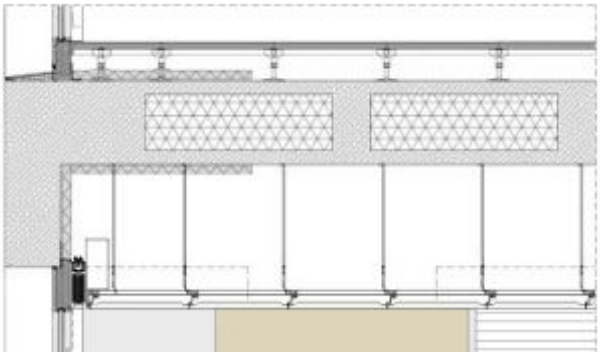
1. Hormigón blanco
2. Lana mineral
3. Cámara de aire
4. Tablero de madera

U= 0.41 W/m2 · K

- **SUELO**

1. ……
2. ……
3. ……
4. ……
5. ……

U = …….. W/m2 · K



- **CUBIERTA**

1. Hormigón blanco con aislamiento reforzado

U = 0,28 W/m^2.K

→ COSTE / m²

FACHADA

1) Persiana interior de lamas micro perforadas

……

2) Vidrio de control solar y baja emisividad (U= 1.6 W/m2 · K)

……

3) Carpintería de madera

……

4) Hormigón blanco (20 cm)

……

5) Aislamiento / lana mineral (5 cm)

……

6) Tablero de madera

……

DESIGNBUILDER

→ ILUMINACIÓN

- Tipo de luminaria: EMPORTADA (U5)
  Fracción radiante ….
  Fracción visible ….

- Energía de iluminación (W/m2 – 100 lux)
  ……*

  *desde 0 hasta 40

- Control de iluminación

  Tipo de control:
  1. Lineal
  2. Lineal/apagado
  3. Escalonado

CALEFACCIÓN

COMBUSTIBLE

1. Electricidad de la red
2. Gas natural
3. Gasoil
4. Otro

TIPO

1. Convectivo o
2. Radiante/Convectivo

- CoP del sistema de calefacción …..

- Condiciones de Impulsión de Aire

REFRIGERACIÓN

COMBUSTIBLE

1. Electricidad de la red
2. Gas natural
3. Gasoil
4. Otro

- CoP del sistema de refrigeración ……

- Condiciones de Impulsión de Aire

  Temperatura del aire impulsad (°C) ….
  Tasa de humedad del aire impulsado (g/g) …..

→ ACS

COMBUSTIBLE

1. Electricidad de la red
2. Gas natural
3. Gasoil
4. Otro

TIPO

1. Same as HVAC
2. Dedicated hot water boiler
3. Stand-alone water boiler
4. Instantaneous hot water only
5. Instantaneous combi
6. Heat pump
7. Otro

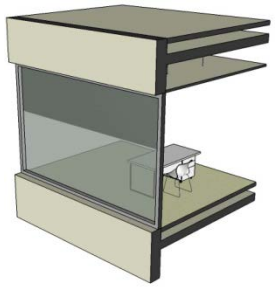
- CoP del ACS ……

- Temperatura del agua

  Temperatura de salida – impulsión (°C) ….
  Temperatura de entrada al sistema (°C) …..

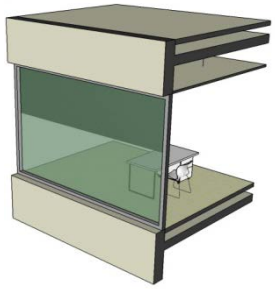
ANEXO III

MURO CORTINA	Combustible	kWh / m²	kWh / planta
Equipos de oficina	Electricidad	7,609	12.127
Iluminación	Electricidad	18,792	29.950
Ventiladores	Electricidad	11,884	18.125
Bombas	Electricidad	11,372	18.940
Calefacción	Gas	6,902	10.999
Refrigeración	Electricidad	17,012	27.113
ACS	Gas	4,177	6.658
Heat rejection	Electricidad	0,763	1.216
Total		**78,511**	**125.128**



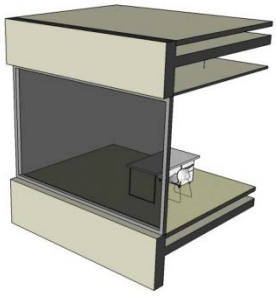
Vidrio doble sencillo con persianas interiores manuales, BST. Simulación Nº1

MURO CORTINA	Fuel	kWh / m²	kWh / planta
Equipos de oficina	Electricidad	7,609	12.127
Iluminación	Electricidad	4,911	7.826
Ventiladores	Electricidad	9,894	15.769
Bombas	Electricidad	9,057	14.435
Calefacción	Gas	7,319	11.664
Refrigeración	Electricidad	14,699	23.426
ACS	Gas	4,177	6.658
Heat rejection	Electricidad	0,644	1.026
Total		**58,310**	**92.841**



Vidrio doble de baja emisividad con protección solar y persianas, BST. Simulación Nº2

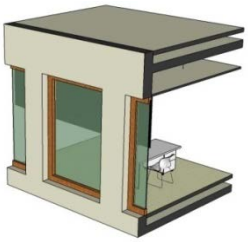
MURO CORTINA	Fuel	kWh / m²	kWh / planta
Equipos de oficina	Electricidad	7,609	12.127
Iluminación	Electricidad	4,837	7.708
Ventiladores	Electricidad	10,303	16.816
Bombas	Electricidad	10,551	16.421
Calefacción	Gas	6,905	11.006
Refrigeración	Electricidad	15,917	25.368
ACS	Gas	4,177	6.658
Heat rejection	Electricidad	0,705	1.124
Total		**61,004**	**97.228**

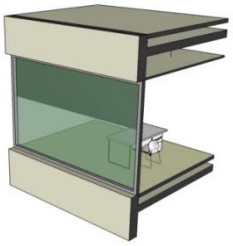


Vidrio doble electrocrómico, BST. Simulación Nº3

Comparación de consumo anual entre una fachada con 50% huecos y una fachada tipo muro cortina (85% huecos) en un clima mediterráneo.

CONSUMO ANUAL





CASO 1 Vidrio doble con cámara de aire + persianas manuales	**115.633**	→	**125.128** ↑	**kWh/planta**
CASO 2 Vidrio doble de baja emisividad y protección solar + persianas automatizadas	**94.246**	→	**92.841** ↓	**kWh/planta**
CASO 3 Vidrio doble electrocrómico	**94.103**	→	**97.228** ↑	**kWh/planta**