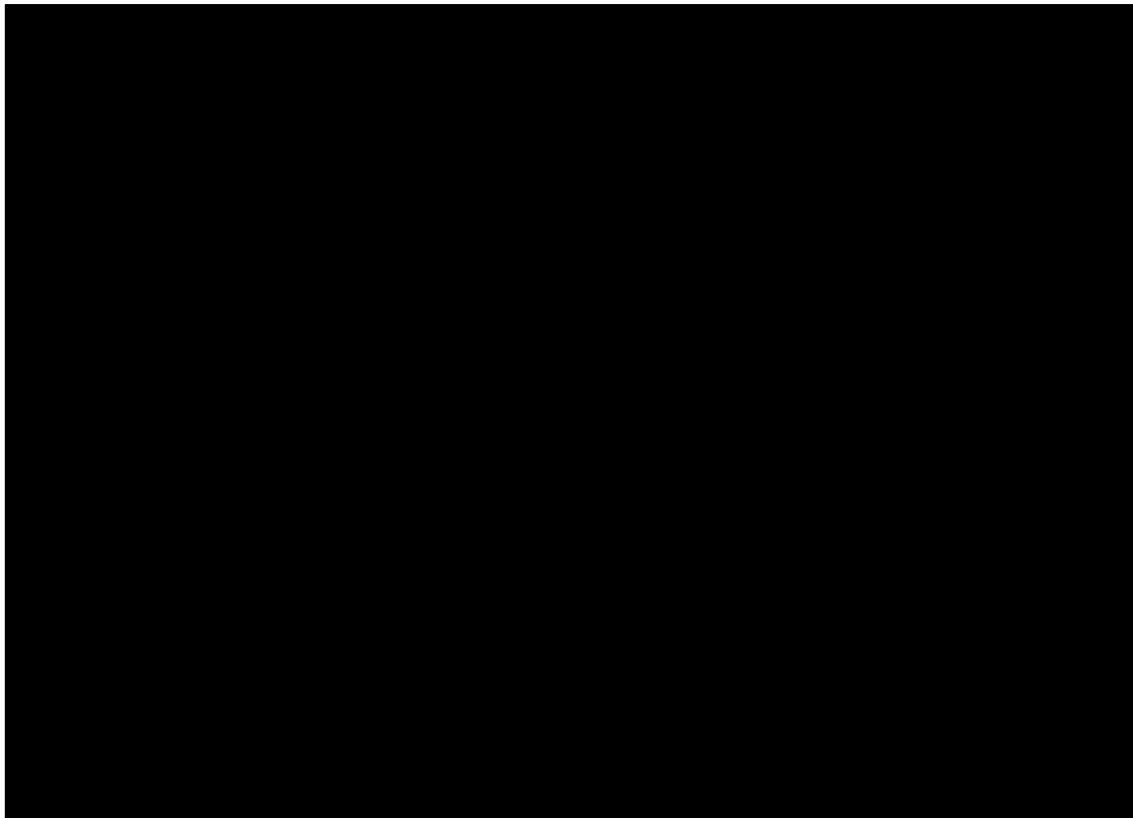


Máster en Estudios Avanzados en Arquitectura – MBArch
Innovación Tecnológica en la Arquitectura
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona - UPC

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Materiales termocrómicos como tecnología pasiva en cubierta



Autor: David Masip Vilà

Directora: Dra. Arq. Eva Crespo

- Octubre del 2019 -



Resumen

En los últimos años se han desarrollado nuevos materiales que a priori parece que puedan ofrecer mejoras en la eficiencia energética de la edificación de manera pasiva. Entre estos nuevos materiales han cobrado relevancia los dispositivos cromogénicos que permiten cambiar sus propiedades ópticas de manera reversible mediante algún estímulo externo.

El acabado superficial de las envolventes puede presentar diferentes texturas i/o colores, que determinan la cantidad de radiación solar absorbida por el material respecto la radiación incidente

En el trabajo que se presenta se analiza la influencia de la aplicación de materiales termocrómicos en cubiertas de edificios terciarios de carácter comercial.

Se llega a demostrar que la aplicación de un acabado superficial termocrómico puede llegar a producir ahorros en la demanda de valores entre el 1 y el 12% y se discute versus su coste.

Palabras clave:

#Termocrómico #Revestimiento cubiertas #Eficiencia energética #Reflexión #Absorción #Color

Abstract

In recent years, new materials have been developed that a priori seems to offer improvements in the energy efficiency of the buildings passively. Among these new materials, chromogenic devices that change their optical properties reversibly through some external stimulus have become relevant.

The coating of the envelopes can have different textures or colours, which determine the amount of solar radiation absorbed by the material with regard to the incident radiation

In the present work, the influence of the application of thermochromic materials on roofs of commercial buildings is analysed.

It is possible to demonstrate that application of a thermochromic surface can produce savings of demand for value between 1 and 12% and its cost is discussed.

Keywords:

#Thermochromic #Roof coating #Energy Efficiency #Reflection #Absorption #Colour

ÍNDICE:

1.- Introducción:	1
1.1.- Objetivo	4
1.2.- Metodología	5
2.- Estado del arte:.....	6
2.1.- Materiales termocrómicos.....	6
2.2.- Aplicaciones actuales de los materiales termocrómicos	10
2.3.- Catálogo de materiales termocrómicos según Materfad	13
3.- Presentación del caso de estudio	16
3.1.- Descripción del edificio	16
3.2.- Datos de ocupación y actividad	17
3.3.- Elementos constructivos	20
3.4.- HVAC	24
3.5.- Ubicación, orientación y clima.....	25
3.5.- Sistemas de iluminación	30
3.7.- Aberturas	30
4.- Simulación	31
4.1.- Conclusiones preliminares del cambio de color en cubierta	32
4.2.- Simulaciones anuales con acabado superficial termocrómico	33
4.2.- Temperatura superficial de la cubierta	50
4.3.- Cálculo del coste óptimo	56
5.- Conclusiones	61
5.1.- Conclusiones sobre la demanda anual en dos zonas climáticas.....	61
5.2.- Conclusiones sobre la demanda mensual en dos zonas climáticas	61
5.3.- Conclusiones sobre la temperatura superficial en dos ZC.	62
5.4.- Conclusiones sobre el coste óptimo de aplicar pintura termocrómica	62
6.- Futuras líneas de investigación	63
7.- Referencias bibliográficas:	64
8.- ANEXO:.....	66
8.1.- Anexo I: Conceptos.....	66
8.2.- Anexo II: Temperatura superficial	68
8.3.- Anexo III: Tipología edificatoria.....	69
9.- Índice de ilustraciones y tablas:.....	75

1.- Introducción:

Durante los últimos años se ha desarrollado una corriente ideológica que busca ser más eficiente y respetuoso con el medioambiente. Debido al legado de la revolución industrial, sabemos que los recursos fósiles son finitos, que nuestro modelo de producción tiene fecha de caducidad y que ha habido un aumento de la temperatura media anual a causa de la cantidad de residuos y emisiones de CO₂ que se están generando.

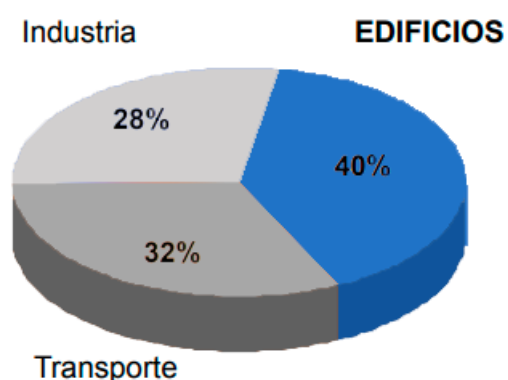


Ilustración 1: Consumo energético de los edificios vs Industria y transporte. Fuente: Acciona eficiencia energética según datos USGBC (United states Green building Council) ASMT

En el ámbito del consumo energético de los edificios, a partir del 31 de diciembre del 2020 los edificios deberán tener un consumo de energía casi cero nZEB (Retos planteados por la directiva 2010/31/UE, del 19 de mayo, relativa a la eficiencia energética de los edificios). Esto ha conllevado desarrollar vectores de innovación e investigación en arquitectura como por ejemplo el desarrollo de ‘Smart cities’ o ‘Smart Buildings’ para mejorar su eficiencia y consumo energético. Según la Comisión Europea los edificios son responsables aproximadamente del 40% de la demanda de energía y provocan un 36% de emisiones de CO₂, siendo así el mayor consumidor de energía en Europa. [1]

En la actualidad, gracias a los avances tecnológicos se han desarrollado diferentes campos de investigación entorno a materiales inteligentes cuyas propiedades pueden contribuir a la mejora del comportamiento energético del edificio, gracias a que cambian de comportamiento técnico según el estímulo externo, por ejemplo, tazas que al verter líquido caliente muestran una imagen que estaba escondida. Este tipo de materiales aplicados a la construcción abre un amplio abanico de nuevas posibilidades.



Ilustración 2: Tazas personalizadas con aplicación de acabado termocrómico. Fuente: Hofmann

[1] “Clean energy for all Europeans | Energy.” [Online]. [Accessed: 05-Aug-2019].

Los materiales cromogénicos que permiten cambiar de colores claros a oscuros y volver a claros ante estímulos externos con un aumento de temperatura son los que han despertado el interés de la investigación de esta tesina. Este tipo de materiales dinámicos prestan propiedades que a priori pueden ofrecer mejoras en la eficiencia energética en la edificación de manera pasiva.

La piel del edificio es el elemento que está en contacto con el ambiente exterior, se trata de la envolvente que debe garantizar el confort interior de los usuarios y que a su vez tiene una connotación paisajística. La solución constructiva de esta piel tiene una afectación directa en el comportamiento térmico del edificio, otros responsables serían el diseño geométrico y la ubicación del proyecto.

A veces el reino animal ofrece lecciones a los propios arquitectos, existe un tipo de hormigas, llamadas hormigas saltadoras, que utilizan una solución ingeniosa para la creación de su nido. Este tipo de hormigas se encuentra en Tasmania, con un clima con diferencias de temperatura muy variadas entre verano e invierno. Las hormigas cubren el nido con piedras oscuras en el clima frío que ayudan a retener el calor y en verano para evitar el sobrecalentamiento cambian el material de construcción a piedras blancas, reflejando la luz solar. [2]



Ilustración 3: Hormigas saltadoras cambiando piedras de color oscuro a color claro. Fuente: documental Tasmania: extraña y sorprendente

Es por esto que a continuación, se muestran los valores de la temperatura superficial de la cubierta media mensual de las horas con incidencia solar en Barcelona y Madrid. (Justificación de los cálculos en el anexo II y datos en el apartado 3.5 Ubicación, orientación y clima)

Como se muestra en la ilustración 4, para el caso de Barcelona la temperatura superficial de una cubierta blanca llega a alcanzar temperaturas de 32,1°C en Julio, aproximadamente 20°C por debajo respecto el acabado negro. Mientras que, en diciembre una cubierta negra alcanza temperaturas de 23,82°C, aproximadamente 10°C por encima del acabado blanco.

Para el caso de Madrid la ilustración 5 muestra que, la temperatura superficial para el acabado negro varía aproximadamente 10°C respecto el blanco en los meses de Enero, Febrero, Marzo Abril y Mayo.

[2] Hamilton Matt, *Tasmania: extraña y sorprendente*. Austria, 2017.

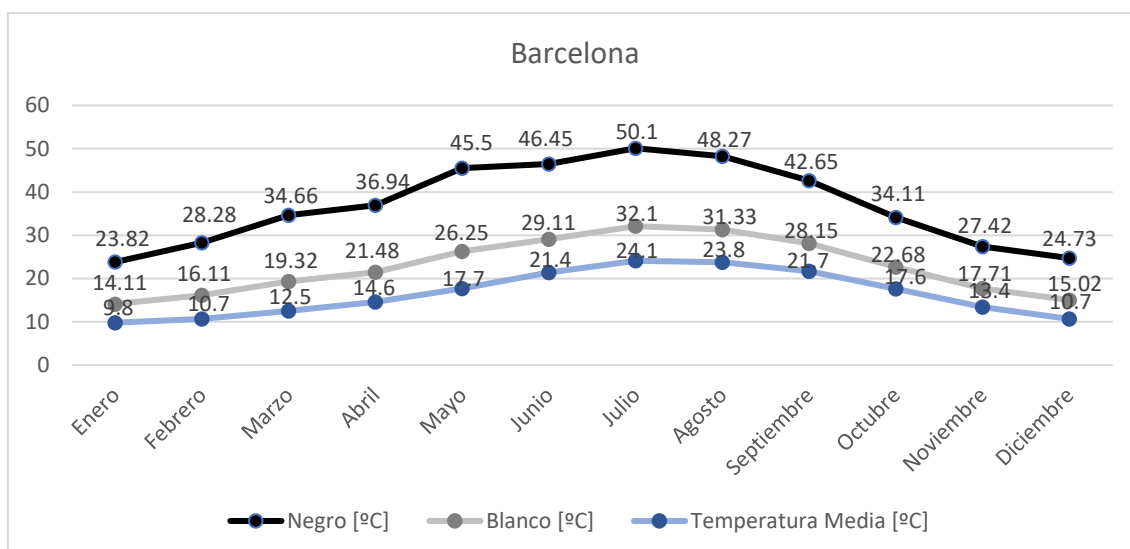


Ilustración 4: Valores de la temperatura superficial Negra y blanca en cubierta para Barcelona y temperatura media mensual. Fuente: propia

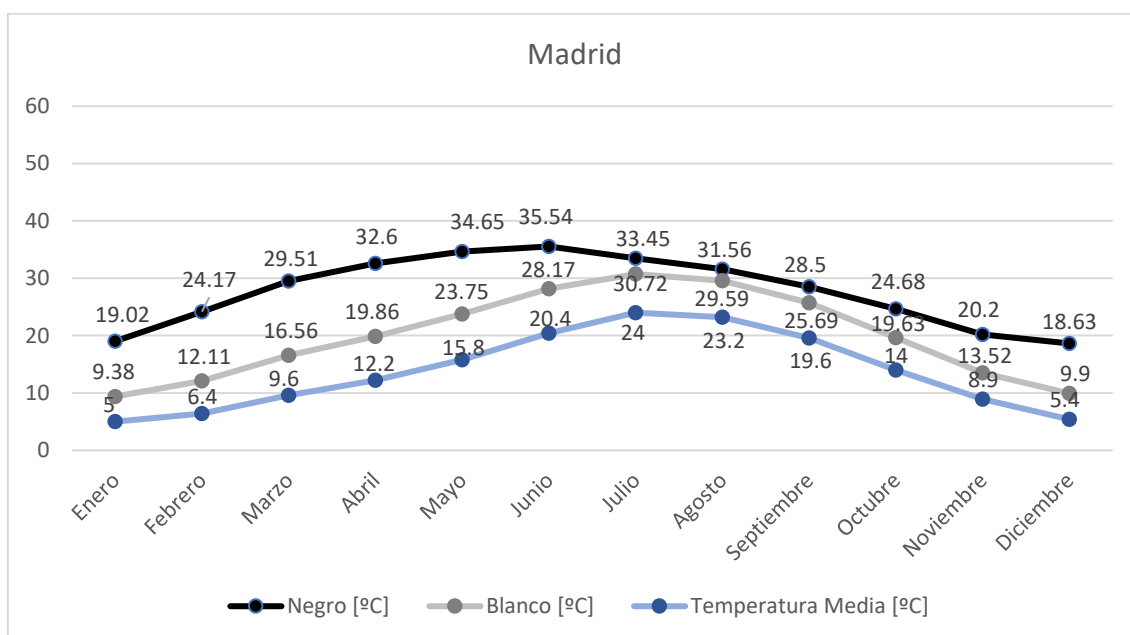


Ilustración 5: Valores de la temperatura superficial Negra y blanca en cubierta para Madrid y temperatura media mensual. Fuente: propia

En los últimos años se ha hablado de un nuevo concepto en cubiertas, llamado ‘cool roofs’ dónde gracias a un alto nivel de reflectancia evitan el sobrecalentamiento en verano. También en períodos de primavera y otoño que en nuestro clima pueden ser determinantes en el valor de demanda final, pero ¿qué pasaría si el acabado superficial además de reflejar la radiación solar en verano contribuyera a captarla en invierno?

Es por esto, que considero la utilización de los materiales termocrómicos como acabado superficial en cubierta como un área de investigación muy interesante, ya que puede comportar significativos aportes en la reducción de la demanda energética, no sólo en refrigeración, sino que también en calefacción.

1.1.- Objetivo

Generales:

El objeto de estudio de esta tesina se centra en como la aplicación de los materiales termocrómicos juegan un papel en la reducción de la demanda energética tanto en calefacción como refrigeración, aplicado a revestimiento de cubierta en edificios de uso terciario con un mayor % de cubierta respecto al total de la envolvente.

Particulares:

1. Conocer la repercusión de estos materiales según la transmitancia térmica de la cubierta.
2. Conocer el porcentaje de ahorro energético que genera la aplicación de estos revestimientos respecto revestimientos altamente absorbente y respecto uno altamente reflectivos.
3. En qué meses tiene más sentido aplicar un acabado blanco o uno negro y qué pasa en las estaciones de primavera – otoño.
4. En que clima tiene más sentido aplicar estos materiales.
5. Establecer el rango de temperatura donde debe cambiar de color para optimizar el comportamiento energético según la temperatura superficial.
6. Validar si tiene un ‘coste óptimo’ la aplicación de los termocrómicos.

1.2.- Metodología

Desarrollo de un estado del arte como punto de partida, para saber en que punto está el mercado respecto a esta tecnología, tanto a nivel de prestaciones como de aplicaciones y costos.

El comportamiento energético se centra en la evaluación de un edificio comercial aplicado a dos climas, a través de simulaciones energéticas realizadas a través del programa DesignBuilder.

En la investigación, se van a considerar distintas características reflexivas de revestimiento de cubierta para probar si realmente tiene sentido aplicar un cambio de color en Cubierta.

Estas distintas características se van a considerar en el mismo sistema constructivo, pero con transmitancias térmicas distintas según el año de aplicación de la normativa.

	U [W/m ² ·Kº]					
	NBE-CT-97		CTE DB-HE 2006		CTE DB-HE 2017 – (nZEB)	
	C2	D3	C2	D3	C2	D3
CLIMA						
CUBIERTA	1,2	0,77	0,53	0,49	0,23	0,22
FACHADAS	1,03	1,03	0,95	0,86	0,29	0,27
SUELOS	1,03	1,03	0,65	0,64	0,36	0,36
HUECO	5	5	4,4	3,5	1,6	1,6
PERMEABILIDAD HUECO [m³/h·m²]			27	27	25	25

Tabla 1: Tabla de transmitancias térmicas según el año de aplicación de la normativa. Fuente. CTE

Comparación de los resultados obtenidos mediante una simulación energética con el programa DesignBuilder

Calculo de la temperatura superficial de una superficie blanca y otra negra en Barcelona y Madrid para poder establecer un rango de temperaturas para el cambio de color.

Cálculo del coste óptimo de esta aplicación: Análisis económico de inversión y amortización.

Extraer unas conclusiones finales sobre la repercusión que tiene la aplicación de este tipo de materiales en arquitectura.

2.- Estado del arte:

2.1.- Materiales termocrómicos

Se conoce la cromogenia como la propiedad de ciertos materiales para cambiar de color debido a un estímulo externo y dónde el cambio de color puede ser reversible o irreversible. Existen materiales con esta propiedad, llamados cromoaactivos.

Dependiendo del estímulo externo se pueden clasificar en diferentes tipos: Fotocrómicos, hidrocrómicos, electrocrómicos, ultravioleta y termocrómicos.

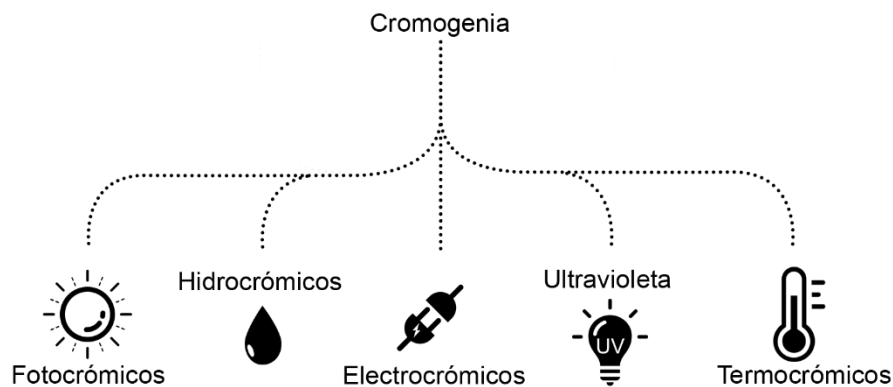
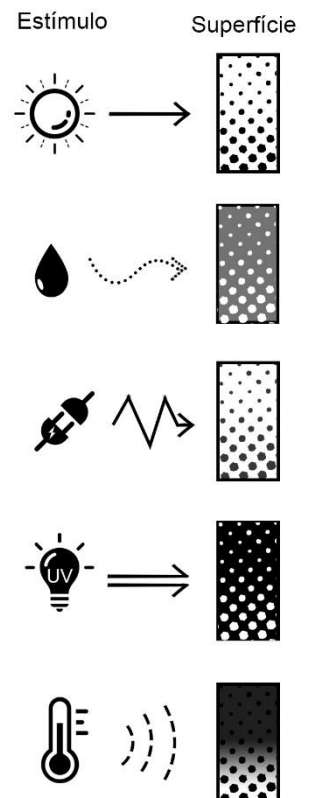


Ilustración 6: Tipo de materiales cromogénicos. Ilustración: propia

- Los materiales **fotocrómicos** reaccionan ante cambios en el tipo de iluminación, de modo que si existe radiación solar incidente o algún otro tipo de iluminación el material padece un cambio de color que concluye con el cese de la iluminación. El nivel de transformación que sufren depende de la intensidad de la luz incidente, es por ello que en la oscuridad no se ven.
- Los materiales **hidrocrómicos** reaccionan al ser humedecidos, el contacto con el agua provoca una reacción en su estructura y como consecuencia su caracterización óptica. Normalmente los hidrocrómicos muestran en su estado de sequedad un color, mientras que humedecidos se vuelven translucidos.
- La familia de los **electrocrómicos** está compuesta por materiales que cambian su aspecto como consecuencia directa de un cambio en su estado de oxidación al ser tratados o conectados a una fuente eléctrica externa.
- Los materiales **ultravioletas** son muy conocidos en el ámbito de los cosméticos. Se trata de materiales susceptibles a la radiación de luz ultravioleta y que únicamente son apreciables bajo esta.
- Los **termocrómicos** son aquellos con la capacidad de cambiar de color dependiendo de la temperatura. Estos materiales cambian de aspecto en función de una temperatura de transición. En la actualidad la mayoría de efectos termocrómicos son reversibles.



Los termocrómicos:

En la mayoría de los casos, el comportamiento termocrómico se basa en pigmentos orgánicos, que se encapsulan en microcápsulas con un diámetro de alrededor de 15 μm o menos con el objetivo de protegerlas de los químicos de su alrededor.

Sus propiedades ópticas cambian a un estado de un color con una temperatura inferior a una temperatura de transición y sufre una decoloración cuando la temperatura es superior y con la capacidad de ser reversible cuando se enfría nuevamente. Esto se traduce a una alta absorción solar en el material para condiciones de frío que da lugar a un aumento de la temperatura superficial. Por lo contrario, el material muestra una alta reflectancia para condiciones cálidas que evita aumento de la temperatura superficial. Esta variación inteligente de la respuesta óptica es especialmente interesante para la aplicación de materiales termocrómicos en envolventes de edificios, ya que se adapta a las condiciones exteriores.[3]



Ilustración 7: Reacción de superficie termocrómica a temperatura 36°C Ilustración: propia

De hecho, hay varios trabajos recientes que demuestran los ahorros de energía asociados con el uso de materiales claros. Estos materiales frescos se caracterizan por una alta reflectancia en el rango cercano al infrarrojo del espectro solar, lo que da lugar a un calentamiento reducido de las envolturas debido a la absorción de radiación, por ejemplo:

[3] C. G. Granqvist, "Recent progress in thermochromics and electrochromics: A brief survey," *Thin Solid Films*, vol. 614, pp. 90–96, Sep. 2016.

1. En el artículo *“Estudio comparativo del efecto de las propiedades ópticas del revestimiento exterior de fachada sobre la demanda energética de un edificio”*.(2018) [4] , se analiza la influencia de las propiedades ópticas de dos tipos de revestimiento exterior en fachada sobre la demanda energética de un edificio tipo residencial, con un acabado de cemento belítico y uno de ladrillo de fábrica caravista. Desarrollan un análisis de la demanda energética en dos climas distintos, Madrid y Almería y con distintas soluciones constructivas.

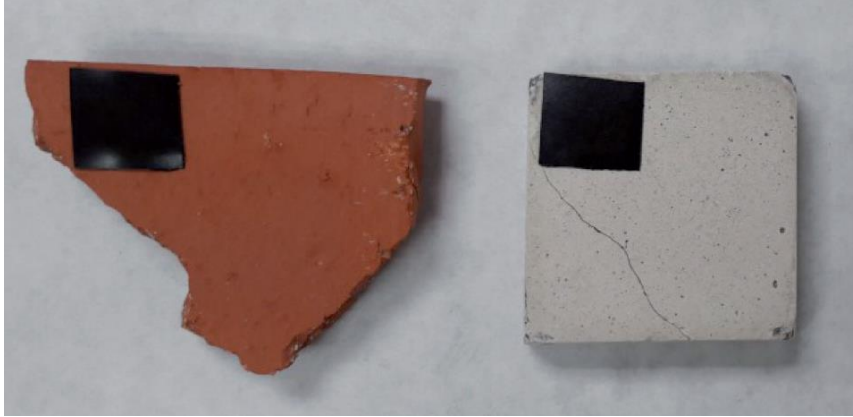


Ilustración 8: Muestra de materiales de revestimiento: ladrillo y cemento belítico Fuente: Artículo [4]

En el caso de la zona climática de Almería, con el uso de un revestimiento de cemento belítico (acabado claro) se acerca al valor de 15 kWh/m²-año, valor establecido para edificios Passive House. En el caso de la zona climática de Madrid, el efecto del revestimiento claro hace incrementar en 3 kWh/m²-año la demanda de calefacción anual con respecto a la demanda de calefacción de un revestimiento exterior de fábrica de ladrillo.

Por ello, el artículo concluye diciendo “ Sería interesante un material de revestimiento termocrómico, que englobe las propiedades deseadas en cada época del año, las del ladrillo en invierno (alta absorción) y las de cemento belítico en verano (baja absorción)”.

2. En el artículo *“State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities”*.(2017)[5] , desarrolla un estado del arte sobre *“cool roofs”* para futuras estrategias de mitigación contra los fenómenos del cambio climático. El artículo concluye demostrando que en los últimos años ha habido un crecimiento exponencial sobre artículos que investigan sobre materiales altamente reflexivos porque ayudan a la reducción de la demanda anual de los edificios.

[4] M. J. Gavira-Galocha, G. Pérez-Álvarez-Quiñones, and C. Acha-Román, “Estudio comparativo del efecto de las propiedades ópticas del revestimiento exterior de fachada sobre la demanda energética de un edificio,” *Dyna*, vol. 94, no. 2, pp. 216–220, 2018.

[5] A. L. Pisello, “State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities,” *Sol. Energy*, vol. 144, pp. 660–680, Mar. 2017.

3. En el artículo "Preparation of thermochromic coatings and their energy saving analysis" (2014) [6], desarrolla un análisis sobre 8 recubrimientos termocrómicos y una temperatura de transición de 25°C. Acaba demostrando que la aplicación de estos termocrómicos reduce la demanda en distintas ciudades de China, también concluye que para la reflectancia solar las pruebas reflejan más energía solar a alta temperatura siendo incoloro, mientras que absorbe más energía a baja temperatura. También que los termocrómicos son adecuados para las regiones de climas cálidos e inviernos fríos. En ningún momento el artículo se plantea si la temperatura de transición es la adecuada.

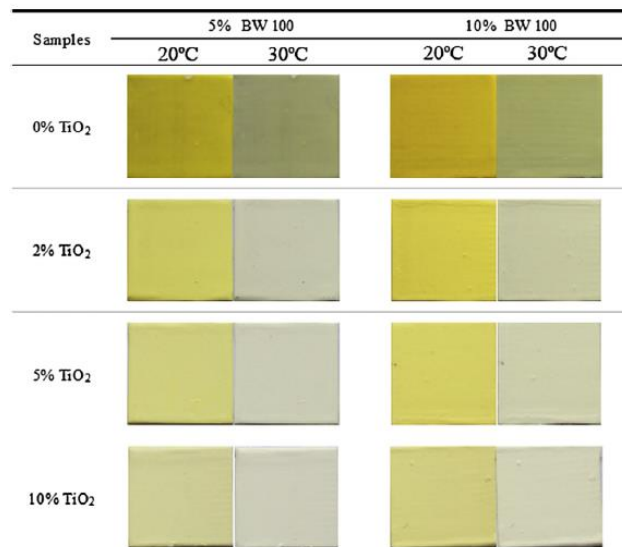


Ilustración 9:Revestimiento termocrómico en distintas temperaturas Fuente: Artículo [6]

La reacción de cambio de color depende de la temperatura de transición, esta varía según la sensibilidad del pigmento a los diferentes niveles de temperatura y se activa al sufrir una modificación de la temperatura superficial.

Los termocrómicos a su vez se distinguen en tres grupos en función del proceso que sufren para cambiar de color basados en:

- Dispersión
- Reflexión
- Absorción de luz

Cuando en la tesis se hace referencia a materiales termocrómicos se quiere expresar el hecho de que existen distintos materiales con funciones y propiedades distintas. Por ejemplo para la Reflexión existen cristales líquidos (esméticos, nemáticos y colestéricos). El objetivo de la tesis no es estudiar estos materiales en profundidad, sino ver la repercusión de su aplicación en arquitectura.







[6] S. Zheng, Y. Xu, Q. Shen, and H. Yang, "Preparation of thermochromic coatings and their energy saving analysis," Sol. Energy, vol. 112, pp. 263–271, Feb. 2015.

2.2.- Aplicaciones actuales de los materiales termocrómicos

A continuación, se muestran algunos ejemplos de aplicaciones de materiales termocrómicos. No se trata de algo fortuito, sino que se venden estos productos de forma especial precisamente por su termocromia. Aun así, no son productos que hayan aparecido recientemente en el mercado, sino que algunos se empezaron a usar en 1987 (como las tazas o camisetas).

Se puede observar que su uso se enfoca principalmente a pequeñas anécdotas de ciertos artilugios, pero que no se alcanza un auténtico aprovechamiento en todas sus facetas posibles, es decir tanto en la técnica como en la estética.

Aplicaciones actuales de los materiales termocrómicos

Material	Uso	Ejemplo	Imagen
	Sector del hogar	Envases, microondas, sartenes o mangos	
Pigmentos	Cosméticos	Pinta uñas termocrómico	
Textil	Moda	Ropa camisetas	
Pintura	Sector del hogar	Tazas termocrómicas	
	Seguridad bancaria	Papel termosesible	
Tinta	Medicina	Etiquetas de control de temperatura o en cadenas de frío	

Aplicaciones cromogénicas en la arquitectura

En cuanto a termocrómicos aplicados a la arquitectura, lo más próximo que tenemos son revestimientos termocrómicos. Lo más cercano a su uso ha sido en pintura termocrómica con fin de mejorar la eficiencia energética y compararla con otras pinturas. No se ha encontrado su aplicación si no meros estudios.

El estudio “Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures” (2009) realizado por T.Karlessi, M. Santamouris, K.Apostolakis, A.Synnefa y I. Livada [7] compara las propiedades de pinturas termocrómicas. Se exponen a radiación solar muestras de 33 x 33 cm de colores amarillo, verde, gris, negro, azul y marrón a una temperatura ambiente de 35°C.

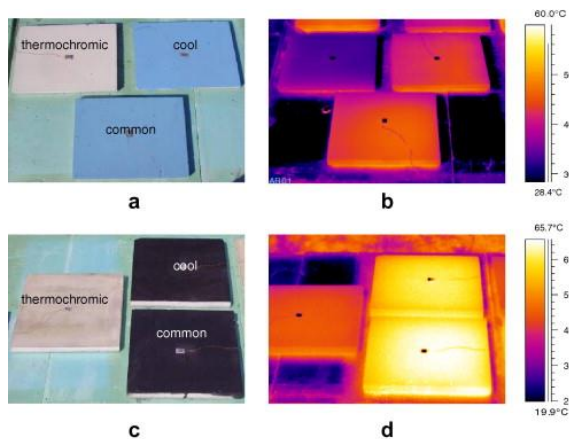


Ilustración 10: Diferencia de temperaturas de pinturas termocrómicas, frías y convencionales. Fuente: T.Karlessi, 2009.

Donde se demuestra que una pintura termocrómica después de su cambio de color, llega a absorber lo mismo que una pintura convencional, mientras que por encima de la temperatura de transición la reflectancia es mayor que las pinturas frías.

El vidrio electrocrómico o también llamado “vidrio inteligente” es un producto que se encuentra en la actualidad en el mercado y funcionan principalmente mediante estímulos eléctricos. Al aplicarle el estímulo al material, este cambia de transparente a opaco.



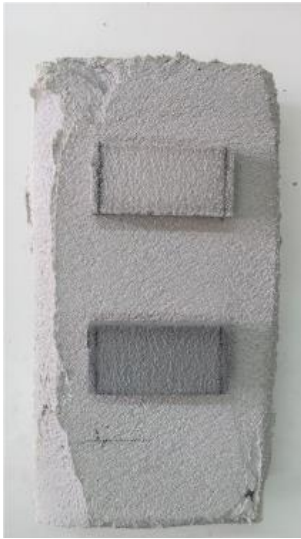
Ilustración 11: Vidrio electrocrómico opaco y transparente. Fuente: iTecvision

En el ámbito de acristalamiento, encontramos estudios donde desarrollan acristalamiento electrocrómico y termocrómico para dar respuestas a la radiación solar controlada mediante una

variación de un voltaje aplicado externamente y con un cambio de temperatura respectivamente. Este tipo de material dinámico puede mejorar la eficiencia energética

[7] T. Karlessi, M. Santamouris, K. Apostolakis, A. Synnefa, and I. Livada, “Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures,” *Sol. Energy*, vol. 83, no. 4, pp. 538–551, Apr. 2009.

y reducir el impacto ambiental de los edificios a través de un control adecuado del flujo de luz y la energía solar a través de las envolventes. [3]



Se encuentran recientes investigaciones en artículos como en “Smart reversible thermochromic mortar for improvement of energy efficiency in buildings” [8] donde para el caso de las fachadas, proponen una composición optimizada de mortero termocrómico reversible para mejorar la eficiencia energética. Este material solo ha sido testado en laboratorio, todavía no se ha aplicado directamente a un ejemplo práctico.

Como se puede observar, hay una corriente de investigación sobre este tipo de materiales en la arquitectura, pero todavía no vemos un estudio aplicado. Al mismo tiempo no hay información técnica ni de durabilidad sobre estos materiales.

Ilustración 12: Aspecto de la reversibilidad termocrómica del mortero. Fuente: G.Perez et al./ Construction and Building materials 186 (2018)

[3] C. G. Granqvist, “Recent progress in thermochromics and electrochromics: A brief survey,” *Thin Solid Films*, vol. 614, pp. 90–96, Sep. 2016

[8] G. Perez, V. R. Allegro, M. Corroto, A. Pons, and A. Guerrero, “Smart reversible thermochromic mortar for improvement of energy efficiency in buildings,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 186, pp. 884–891, 2018.

2.3.- Catálogo de materiales termocrómicos según Materfad

A continuación, se presenta una muestra de algunos de los materiales catalogados por Materfad, centro de materiales de Barcelona. Se han escogido algunos materiales que pueden tener futuras aplicaciones en el ámbito de la Arquitectura. [9]

Pintura termocrómica

Numero de referencia:	140108-00
Descripción:	Pintura termocrómica que reacciona con el calor
Tipo:	Acabados y recubrimientos
Tipo de material:	De origen mineral
Campo actual de aplicación:	Aeronáutico y espacio / automoción / bienes de consumo / construcción / ferroviario
Fabricante:	-



Ilustración 13: Pintura termocrómica. Fuente: Materfad

Live Colors

Numero de referencia:	100123-00
Descripción:	Gama de microcápsulas termocrómicas
Tipo:	Acabados y recubrimientos
Tipo de material:	De origen mineral
Campo actual de aplicación:	-
Fabricante:	-

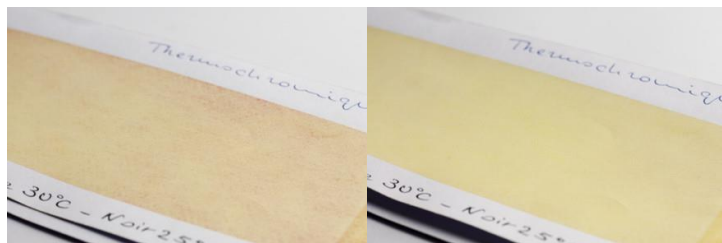


Ilustración 14: Live Colors. Fuente: Materfad

[10] Centro de materiales de Barcelona - Materfad." [Online]. Available: <http://es.materfad.com/> [Accessed: 22-Sep-2019].

PLA Termocrómico

Numero de referencia:	140300-00
Descripción:	Filamento termocrómico para impresión 3D
Año de inicio de fabricación	2014
Tipo de material:	Materiales poliméricos (termoplásticos)
Campo actual de aplicación:	Impresión 3D
Fabricante:	-



Ilustración 15: Filamento termocrómico para impresión 3D. Fuente: Materfad

Emphasis

Numero de referencia:	14110090-00
Descripción:	Inclusiones en silicona con efectos de fotoluminiscencia y termicromismo
Tipo:	Adaptativo / Acabados
Tipo de material:	Materiales poliméricos (termoplásticos)
Campo actual de aplicación:	Bienes de consumo
Fabricante:	-

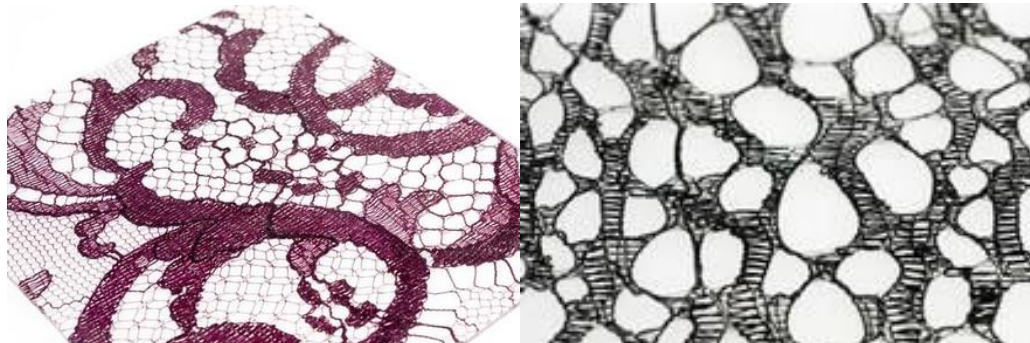


Ilustración 16: Silicona termocromica Fuente: Materfad

Tinta termocrómica

Numero de referencia:	100488-00
Descripción:	Tintas que cambian de color con la temperatura
Tipo:	Adaptativo / Acabados y recubrimientos
Tipo de material:	Materiales de origen mineral y poliméricos
Campo actual de aplicación:	Bienes de consumo
Fabricante:	-

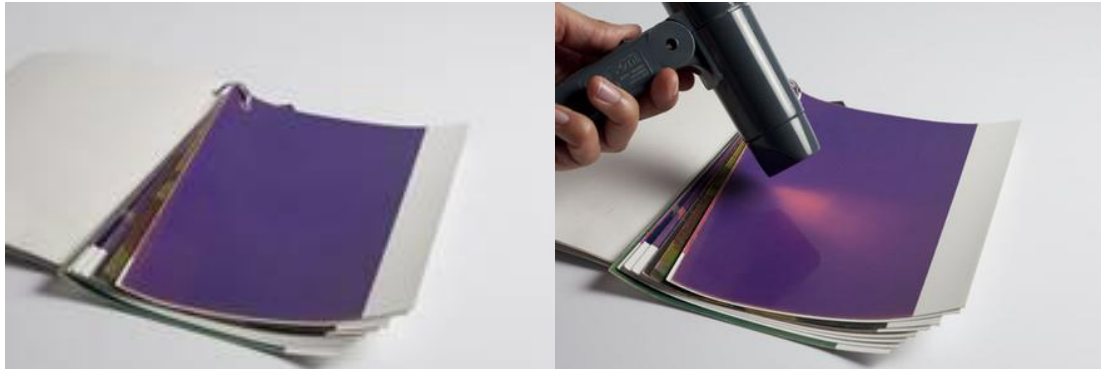


Ilustración 17: Tinta termocrómica. Fuente: Materfad

Como se puede observar, en las descripciones de los materiales no queda descrito en ninguno el fabricante/distribuidor, pues se trata de materiales experimentales o que aún no se le ha encontrado un campo de aplicación específico.

Al carecer de la información del fabricante también quedan la incógnita de las propiedades técnicas del material, de la durabilidad e incluso su impacto ambiental.

3.- Presentación del caso de estudio

3.1.- Descripción del edificio

El modelo escogido de edificación terciaria aislado responde un edificio de uso comercial pues se considera un tipo edificatorio con gran superficie de cubierta y normalmente de una planta y sin afectación de sombras en cubierta, que se repite en zonas de polígonos industriales como Zona Franca, polígono industrial del Besós entre otros.

El sector comercial tiene un gran potencial de ahorro, ya que son establecimientos que consumen energía durante largos periodos de tiempo y de muy diversas maneras (calefacción, refrigeración, iluminación...), además de acoger a multitud de consumidores. Según los datos de la Guía de auditorías energéticas en centros comerciales, fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, 2010 [10] el consumo de energía de estos establecimientos muestra que el 45% del consumo pertenece a la iluminación, un 45% a climatización (dentro de esta una gran demanda de aire acondicionado en verano) y el 10% restante otros usos como transporte mecánico, frío industrial...

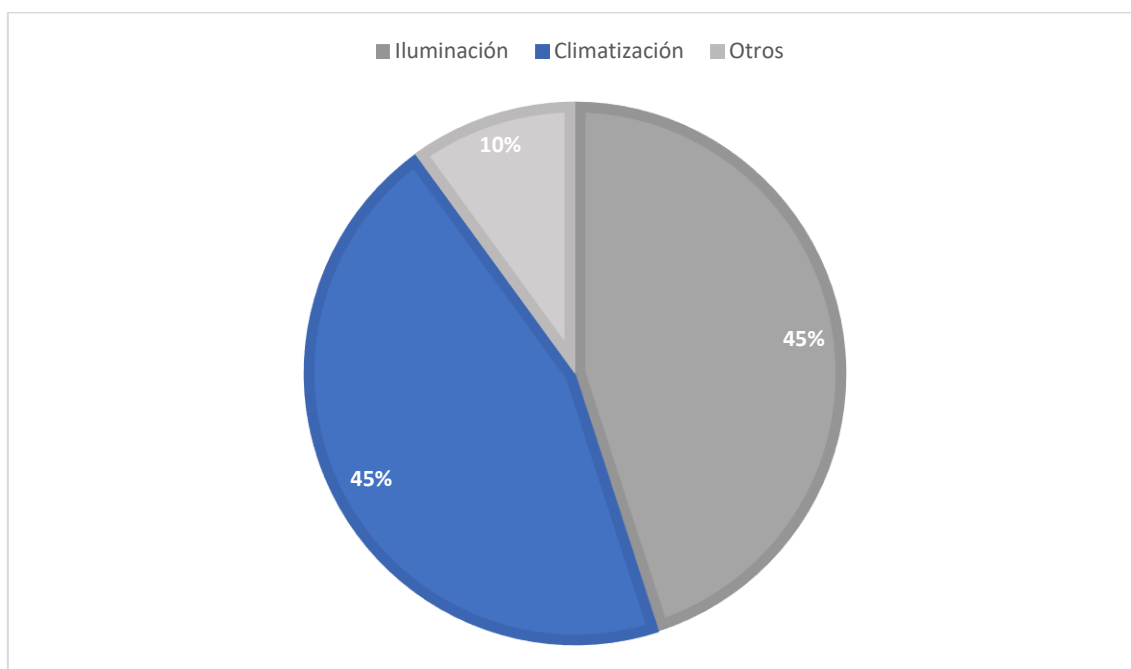


Ilustración 18: Consumo de energía en centros comerciales. Fuente: Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, 2010. Ilustración: propia

Se ha escogido unas medias de 70m x 46m en planta y 8m en altura, medidas que se justifica en el anexo III.

[11] J. de Isabel, M. García, and C. Egido, "Guía de auditorías energéticas en centros comerciales," p. 164, 2010.

3.2.- Datos de ocupación y actividad

Al tratarse de edificios terciarios con mucha superficie y distintas afluencias de ocupación se definen los distintos valores para el modelo de cálculo:

3.2.1.-Ocupación

Según CTE-DB-SI – Ocupación 2m^2 /persona en centros comerciales

Superficie de ocupación – 2800 m^2

Ocupación 900 personas

Densidad = $0,32$ personas / m^2

3.2.2.-Horarios de funcionamiento

Se tiene en cuenta que el edificio es de uso comercial, el horario de funcionamiento se considerará igual al horario de apertura que los centros comerciales, es decir, de 10:00 a 22:00h de lunes a sábado.

Al mismo tiempo, el % de ocupación se debe considerar diferente según el horario. Según datos a tiempo real de google (11/07/2019) se toman los valores de las siguientes gráficas para días de lunes a viernes y otros para sábados.

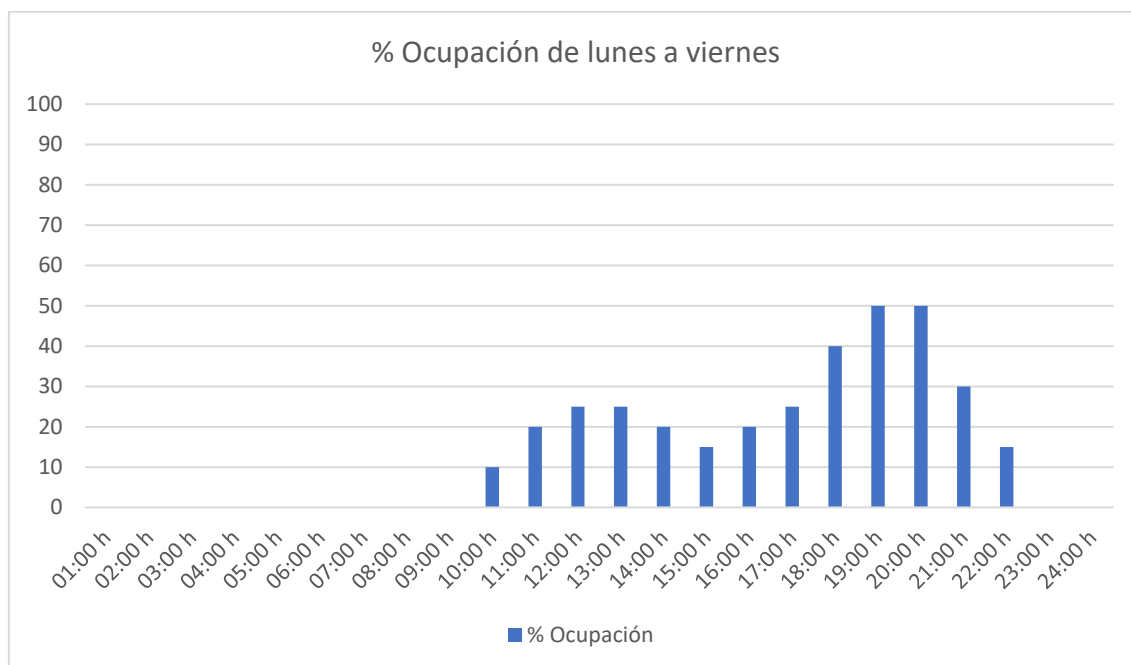


Ilustración 19: Gráfica % ocupación / hora lunes a viernes. Fuente: Google Maps Ilustración: Propia



Ilustración 20: Gráfica % ocupación / hora sábados. Fuente: Google Maps Ilustración: Propia

3.2.3.- Ganancias térmicas:

Por ocupación:

Ganancias térmicas Lunes a viernes				
horario	% ocupación	nº Personas	Ganancias térmicas por ocupación W *	Ganancias térmicas W/m ²
10:00	10	90	11790	4,21
11:00	20	180	23580	8,42
12:00	25	225	29475	10,53
13:00	25	225	29475	10,53
14:00	20	180	23580	8,42
15:00	15	135	17685	6,32
16:00	20	180	23580	8,42
17:00	25	225	29475	10,53
18:00	40	360	47160	16,84
19:00	50	450	58950	21,05
20:00	50	450	58950	21,05
21:00	30	270	35370	12,63
22:00	15	135	17685	6,32

Tabla 2: Ganancias térmicas de Lunes a viernes en W/m². Fuente: Ocupación Goggle maps, * Tabla para cálculo de ganancias interiores. Fuente Carrier. Pág I-69, I- 70, I71 (se han considerado 131 W por persona)

<i>Ganancias térmicas sábado</i>				
<i>horario</i>	<i>% ocupación</i>	<i>nº Personas</i>	<i>Ganancias térmicas por ocupación W *</i>	<i>Ganancias térmicas W/m²</i>
10:00	10	90	11790	4,2107
11:00	25	225	29475	10,5268
12:00	55	495	64845	23,1589
13:00	75	675	88425	31,5804
14:00	60	540	70740	25,2643
15:00	25	225	29475	10,5268
16:00	20	180	23580	8,4214
17:00	25	225	29475	10,5268
18:00	70	630	82530	29,4750
19:00	100	900	117900	42,1071
20:00	95	855	112005	40,0018
21:00	60	540	70740	25,2643
22:00	30	270	35370	12,6321

Tabla 3: Ganancias térmicas para Sábado en W/m2. Fuente: Ocupación Goggle maps, * Tabla para cálculo de ganancias interiores. Fuente Carrier. Pág I-69, I- 70, I71 (se han considerado 131 W por persona)

Por maquinaria

<i>Ganancia térmica por maquinaria</i>				
	<i>Cantidad</i>	<i>Ganancias térmicas por ocupación W *</i>	<i>Ganancias térmicas W</i>	<i>Ganancias térmicas W/m²</i>
<i>1 PC cada 500m²</i>	6	400 w/ud	2400	
<i>Pantalla TV publicidad</i>	4	250 w/ud	1000	
<i>Máquina expendedora</i>	4	1500 w/ud	6000	
<i>Nevera</i>	2	500 w/ud	1000	
<i>TOTAL</i>			10400	3,71

Tabla 4: Ganancias térmicas por maquinaria en W/m2. Fuente: * Tabla para cálculo de ganancias interiores. Fuente Carrier. Pág I-69, I- 70, I71.

Control ambiental:

<i>Estación</i>	<i>Temperatura operativa(°C)</i>	<i>Humedad relativa(%)</i>
<i>verano</i>	23 a 25	45 a 60
<i>invierno</i>	21 a 23	40 a 50

Tabla 5: Condiciones interiores de diseño para actividades metabólicas sedentarias. Fuente: RITE

3.3.- Elementos constructivos

Las construcciones de edificios terciarios en la periferia o zonas industriales se caracterizan por detalles constructivos a base de elementos ligeros para su rápida construcción. Como no hay un detalle "tipo" para justificar los elementos constructivos de estas edificaciones se van a tener en cuenta los valores de Transmitancias térmicas de los cerramientos según la evolución normativa estatal. Se van a utilizar los valores de referencia de edificaciones residenciales.

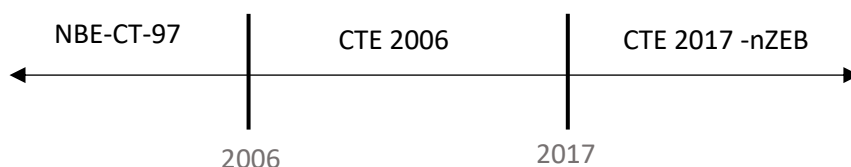


Ilustración 21: Esquema de períodos de distintas normativas en la edificación en España. Ilustración: Propia

Para edificaciones anteriores al 2006 se va a considerar la normativa NBE-CT-79, para edificaciones entre el 2006 y 2017 se va a considerar CTE 2006 (a pesar que CTE haya podido tener distintas actualizaciones, se hace una simplificación) y para nueva edificación CTE 2017.

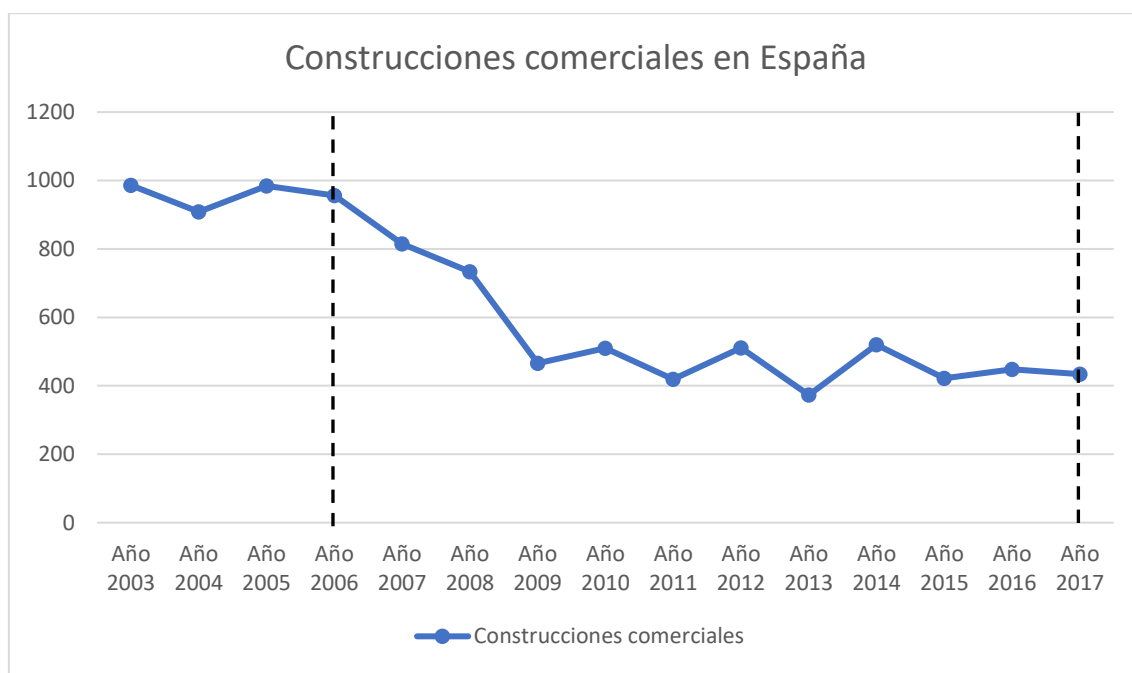


Ilustración 22: Construcciones comerciales en España del 2003-2017 Fuente: Instituto Nacional de estadística (INE)

Según fuente del INE, vemos que después del 2006 hay una reducción de la construcción de edificación comercial, así pues, se entiende que hay un % mayor de edificación anterior al 2006 y que a partir del 2017 hay poca cantidad por la cantidad de años que engloba respecto al resto.

3.3.1.- Transmitancias térmicas

Para el **NBE-CT-79** se toman como referencia los valores de la tabla 2 del artículo 5 Coeficientes de transmisión térmica K de los cerramientos. En este caso al tratarse de una normativa anterior a CTE dónde la zona climática W equivale a la zona C2 de Barcelona y la Y equivale a la D3 de Madrid. (ver tabla 6) (No se especifican valores obligatorios de la K en el hueco ni de permeabilidad.)

NBE-CT-79		
	U [W/m ² ·Kº]	
	C2	D3
CUBIERTAS	1,2	0,77
FACHADAS LIGERAS	1,03	1,03
FACHADAS PESADAS	1,55	1,20
FORJADO SOBRE ESPACIO ABIERTO	0,86	0,69
SUELOS O TECHOS	-	1,03

Tabla 6: Tabla de Transmitancia térmica según NBE-CT-79

Para el **CTE DB-HE 2006** se toman como referencia los valores de la tabla 2.1 transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. (ver tabla 7)

CTE 2006		
	U [W/m ² ·Kº]	
	C2	D3
CUBIERTAS	0,53	0,49
FACHADAS	0,95	0,86
SUELOS O TECHOS	0,65	0,64
VIDRISO Y MARCOS	4,40	3,50
PERMEABILIDAD m ³ /h·m ²	27	27

Tabla 7: Tabla de Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica CTE 2006

Para el **CTE DB-HE 2017** los valores de la tabla 2.3 transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica son más restrictivos que el de 2006 pero la variación no es mucha. Por ello para tener una mayor comparativa, se escogen los valores del CTE DB-HE del Apéndice E Valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica que son valores que se aproximan más a los estándares de los edificios PasivHouse.

CTE 2017		
	U [W/m ² ·Kº]	
	C2	D3
CUBIERTAS	0,23	0,22
FACHADAS	0,29	0,27
SUELOS O TECHOS	0,36	0,34
VIDRISO Y MARCOS	1,6	1,6
PERMEABILIDAD [m ³ /h·m ²]	25	25

Tabla 8: Tabla de Transmitancia térmica máxima y permeabilidad del aire de los elementos de la envolvente térmica CTE 2017

A continuación, se muestran los valores finales en esta tabla resumen:

	U [W/m ² ·Kº]					
	NBE-CT-79		CTE DB-HE 2006		CTE DB-HE 2017 – (nZEB)	
	C2	D3	C2	D3	C2	D3
CLIMA						
CUBIERTA	1,2	0,77	0,53	0,49	0,23	0,22
FACHADAS	1,03	1,03	0,95	0,86	0,29	0,27
SUELOS	1,03	1,03	0,65	0,64	0,36	0,36
HUECO	4,4	3,5	4,4	3,5	1,6	1,6
PERMEABILIDAD HUECO [m ³ /h·m ²]	-	-	27	27	25	25

Tabla 1: Tabla resumen de transmitancias térmica y permeabilidad del hueco a utilizar en la simulación por cada clima

3.3.2.- Elementos constructivos:

Para el modelo de cálculo se consideran el mismo elemento constructivo, lo que cambia en cada caso es la transmitancia térmica según el año de construcción como se menciona en el apartado anterior. Se han considerado estos elementos constructivos porque forman parte del modelo constructivo más replicable analizado en el anejo II.

Muros y cubierta:

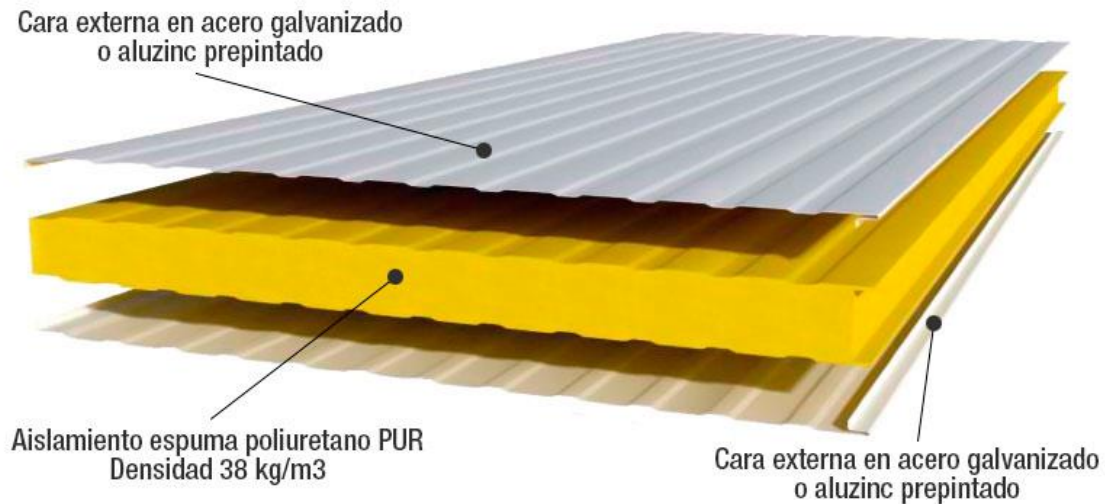


Ilustración 23: Detalle del panel sandwich. Fuente: Panelesandwich.com

3.3.3.- Características reflexivas del revestimiento:

En la simulación se han considerado distintas características reflexivas de revestimiento para la cubierta para poder probar si realmente tiene sentido o no aplicar un cambio de color. Los valores de la simulación se han considerado como si el material fuera altamente reflexivo y absorbente, en la realidad estos valores se verían afectados por la durabilidad del material y el mantenimiento.

- 1.- Un material altamente reflexivo (blanco) = 99%
- 2.- Un material altamente absorbente (negro) = 99%
- 3.- Termocrómico = Reflexivo y Absorbente = 99% en blanco y 99% en negro

3.4.- HVAC

Aunque el principal objetivo es la afectación en el comportamiento de la demanda energética, algunos parámetros del DesignBuilder los evalúa a partir de si hay intención de satisfacer o no la demanda. Es decir, si hay previsión de instalar climatización o no. Se ha considerado oportuno incorporar en la evaluación un equipo de climatización de SCOP porque a priori permite la posibilidad de comparar resultados a nivel más real.

Se ha considerado un SCOP de 2,5 con un sistema de calefacción y refrigeración mediante bomba de calor (el sistema de calefacción planteado es el que se recomienda en la guía de auditorías energéticas en centros comerciales FENERCOM 2010). [10]

Tasa de renovación de aire:

Según CTE-DB-SI – Ocupación 2m² /persona

Superficie de ocupación – 2800 m²

Según RITE, IDA 3 para locales comerciales – 8 dm³/s

Caudal de ventilación – 1,8 rh

Para que el modelo de cálculo sea más fiable, se ha utilizado los factores de conversión de energía final a primaria fijados por IDAE, dónde obtenemos los valores siguientes:

<i>Fuente energética</i>	<i>Factor de energía primaria</i>
<i>Electricidad</i>	2,28
<i>Gas natural</i>	1,07
<i>Butano y propano</i>	1,05
<i>Gasoil</i>	1,12

Tabla 9: Factores de conversión para electricidad. Fuente: IDAE datos del año 2009. Publicado el noviembre de 2010

[11] J. de Isabel, M. García, and C. Egido, “Guía de auditorías energéticas en centros comerciales,” p. 164, 2010.

3.5.- Ubicación, orientación y clima

Ubicación:

Para la simulación se han considerado dos ubicaciones distintas, Barcelona (que según CTE DB-HE corresponde a un clima C2) y Madrid (clima D3).

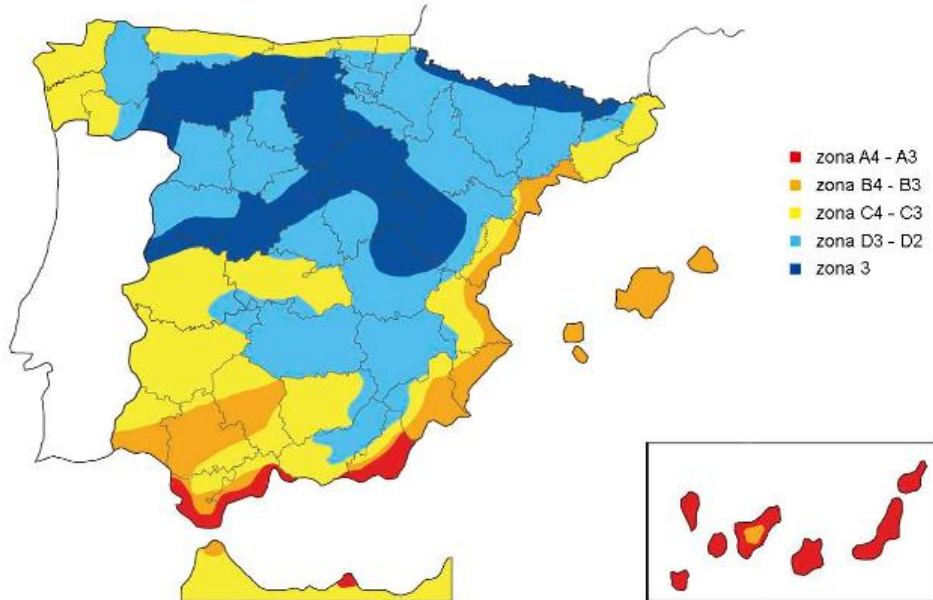


Ilustración 24: Mapa de zonas climáticas en España. Fuente: CTE-DB-HE

Los datos climáticos utilizados en la simulación corresponden a los del año 2002 según base de datos de Design Builder.

Orientación:

Como se muestra en el anejo II la orientación de este tipo de edificaciones al final viene determinada por la morfología urbana del polígono industrial más que por decisiones energéticas. Se ha considerado una orientación Norte-Sur para la fachada más predominante como se muestra en las imágenes siguientes.

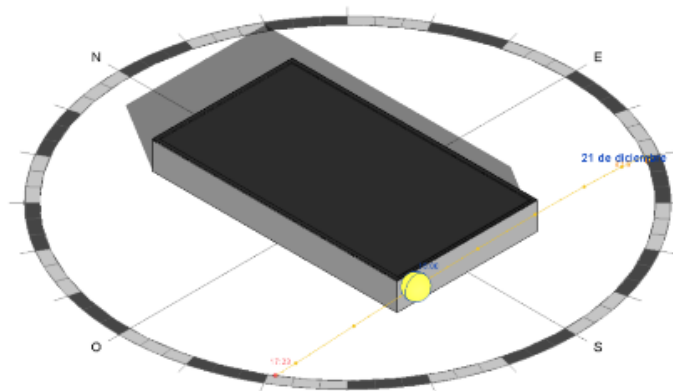


Ilustración 25: Axonometría en solsticio de invierno en Barcelona. Fuente: Revit Ilustración: propia

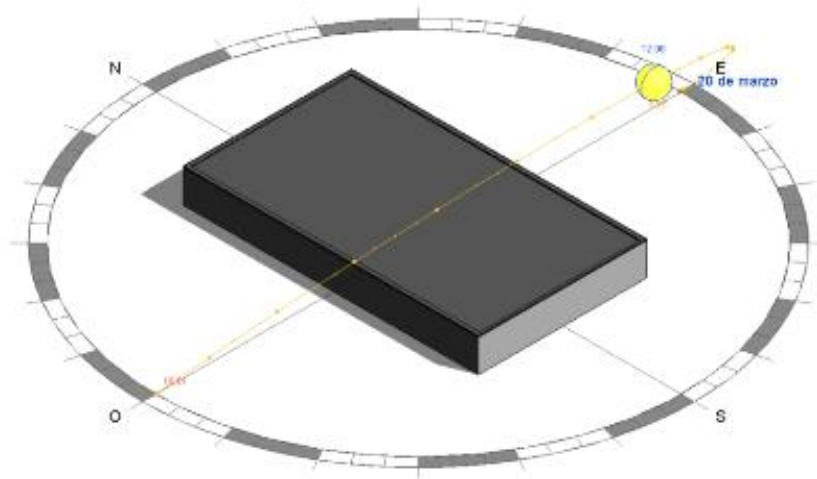


Ilustración 26: : Axonometría en solsticio de primavera/otoño en Barcelona. Fuente: Revit Ilustración: propia

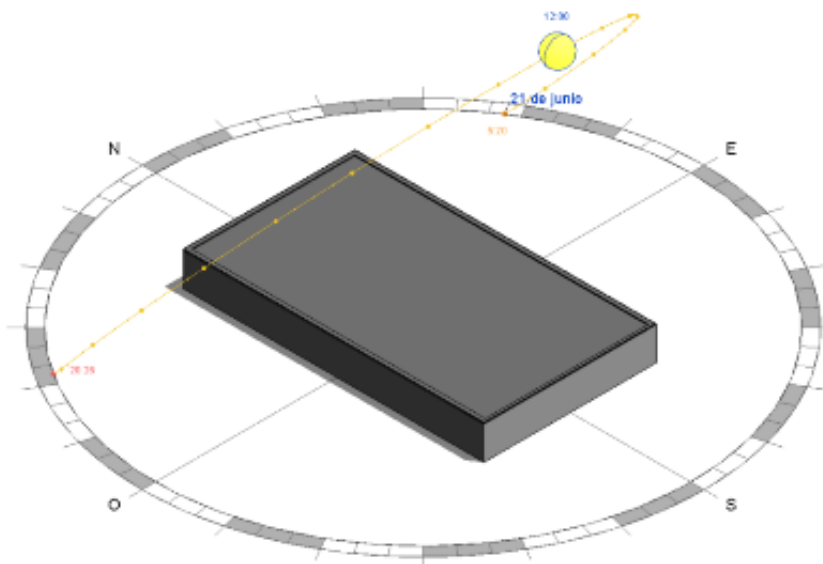


Ilustración 27: : Axonometría en solsticio de verano en Barcelona. Fuente: Revit Ilustración: propia

Datos climáticos:

Los datos climáticos utilizados en la simulación corresponden a los del año 2002 según base de datos de Design Builder

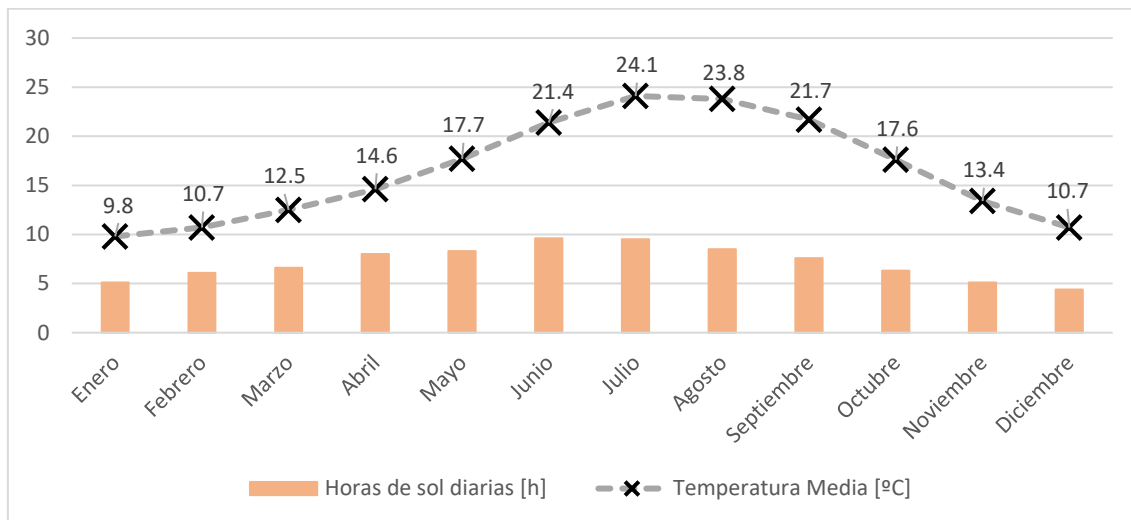
Temperatura media mensual y horas de sol diarias**Barcelona:**

Ilustración 28: Datos de temperatura media y horas de sol diarias en Barcelona Fuente: Climate data.org

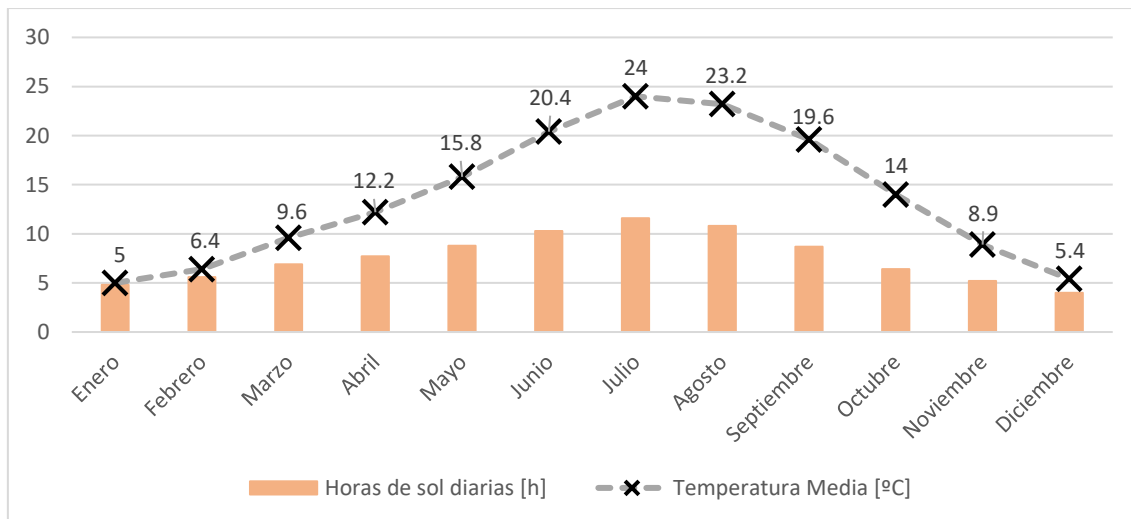
Madrid:

Ilustración 29: Datos de temperatura media y horas de sol diarias en Madrid Fuente: Climate data.org

Como se puede apreciar en las ilustraciones 25 y 26 el clima de Barcelona es el que tiene una diferencia entre temperatura máxima y mínima menos brusca, en cambio Madrid tienen un clima donde las temperaturas la diferencia de temperatura entre verano e invierno llega a los 20°C. Al mismo tiempo, Barcelona por lo general tiene menos horas de sol diarias que Madrid.

Irradiación solar:

Se toman como referencia los valores consultados en la base de datos de ADRASE[11] que proporciona los datos de la radiación solar sobre el plano horizontal en cada zona climática.

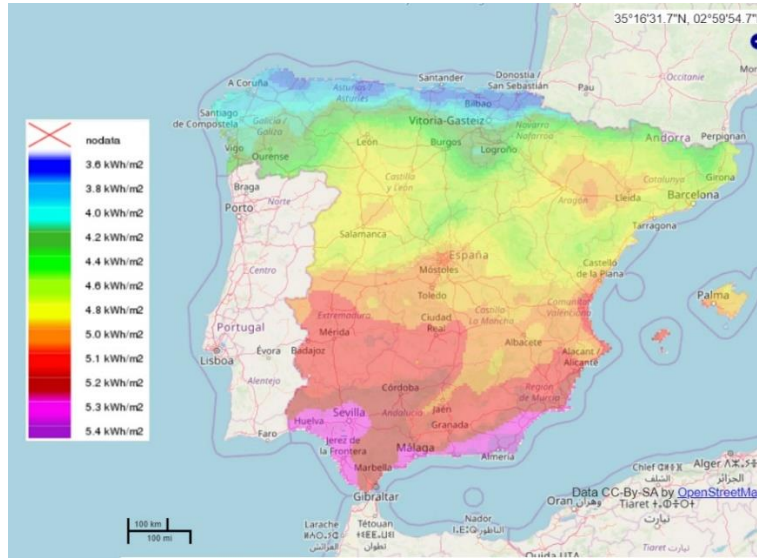
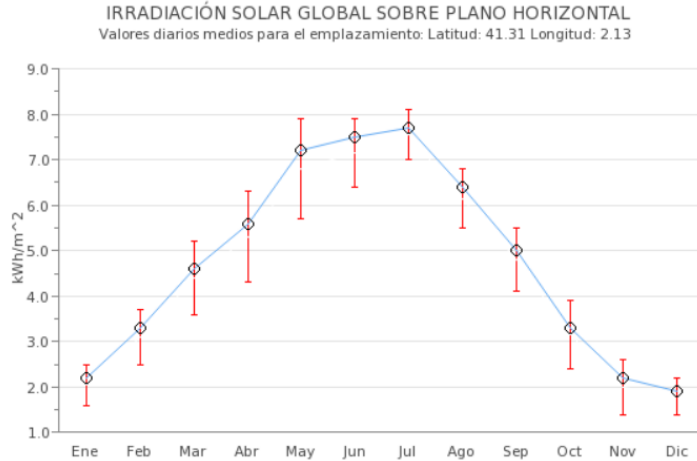


Ilustración 30: Mapa de radiación solar [kWh/m²] en España Fuente: ADRASE

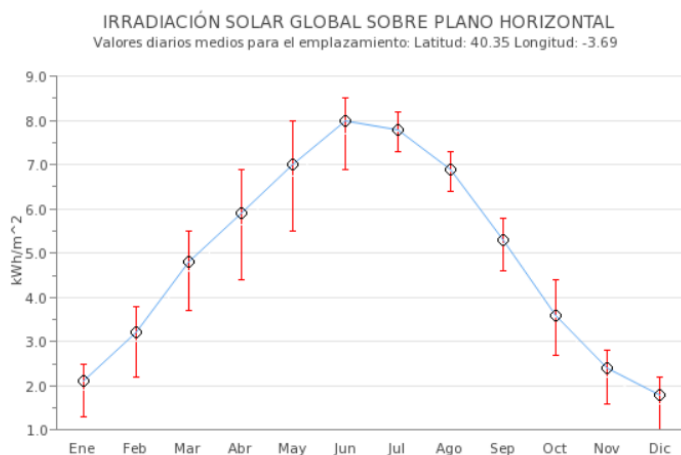
Barcelona:



(kWh/m ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Percentil 75	2.5	3.7	5.2	6.3	7.9	7.9	8.1	6.8	5.5	3.9	2.6	2.2
Valor medio	2.2	3.3	4.6	5.6	7.2	7.5	7.7	6.4	5.0	3.3	2.2	1.9
Percentil 25	1.6	2.5	3.6	4.3	5.7	6.4	7.0	5.5	4.1	2.4	1.4	1.4

Tabla 10: Irradiación solar global sobre plano horizontal en Barcelona Fuente ADRASE

[12] “ADRASE - Acceso a datos de radiación solar de España - Inicio.” [Online]. Available: <http://www.adrase.com/>. [Accessed: 26-Sep-2019].

Madrid:

(kWh/m ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Percentil 75	2.5	3.8	5.5	6.9	8.0	8.5	8.2	7.3	5.8	4.4	2.8	2.2
Valor medio	2.1	3.2	4.8	5.9	7.0	8.0	7.8	6.9	5.3	3.6	2.4	1.8
Percentil 25	1.3	2.2	3.7	4.4	5.5	6.9	7.3	6.4	4.6	2.7	1.6	1.0

Tabla 11: Irradiación solar global sobre plano horizontal en Madr Fuente ADRASE

Irradiancia solar

Se extraen los valores medios mensuales de irradiación por cada región y se extrae el valor de w/m^2 de irradiancia solar según las horas de sol que hay en cada mes.

		<i>Barcelona</i>											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>KWh/m²</i>		2,2	3,3	4,5	5,5	7,1	7,4	7,6	6,4	4,9	3,2	2,2	1,9
<i>W/m²</i>		431,3	540,98	681,81	687,5	855,42	770,8	800,0	752,9	644,7	507,9	431,37	431,8

		<i>Madrid</i>											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>KWh/m²</i>		2,1	3,2	4,8	5,9	7	8	7,8	6,9	5,3	3,6	2,4	1,8
<i>W/m²</i>		437,5	571,43	695,65	766,23	795,45	776,7	672,41	638,89	609,20	562,5	461,54	450

Tabla 12: Tabla de irradiancia solar en Barcelona y madrid W/m^2 Fuente: ADRASE

3.5.- Sistemas de iluminación

Para justificar los sistemas de iluminación de la edificación terciaria, se sigue el mismo procedimiento de las normativas.

Para NBE 79 no se especifican valores de eficiencia energética en la instalación de iluminación. Se va a considerar una VEEI de 9.

Para **CTE-HE3-2006** según tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

ZONAS DE ACTIVIDAD DIFERENCIADA	VEEI LÍMITE
SUPERMERCADOS, HIPERMERCADOS Y GRANDES ALMACENES	6,0
CENTROS COMERCIALES	8,0

Para **CTE-HE3-2017** según tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

ZONAS DE ACTIVIDAD DIFERENCIADA	VEEI LÍMITE
SUPERMERCADOS, HIPERMERCADOS Y GRANDES ALMACENES	5,0
CENTROS COMERCIALES	6,0

Al mismo tiempo el programa DesignBuilder permite añadir valores de la potencia del equipo, se considera una potencia con valores genéricos dados por el programa:

	Tipo de iluminación	Potencia (2,5 w/m ² -100lm)
CTE 2017	LED	2,5
CTE 2006	T5 – fluorescente	3,3
NBE 1979	T8 - fluorescente	4,4

Tabla 13: Valores de potencia según el año de aplicación Fuente: CTE y NBE-79

3.7.- Aberturas

La mayoría de edificación terciaria comercial analizada tiene pocos elementos de abertura, son edificios herméticos. Estos edificios se caracterizan por un acceso de unos 20-30m acristalado y una puerta de carga y descarga trasera.

Valores estanqueidad al aire

	Ren/hora a 50Pa
CTE 2017	1 - 2
CTE 2006	3 - 4
NBE 1979	9 - 10

Tabla 14: Valores de Renovación/hora a 50 Pa según año de aplicación Fuente: Según valores contrastados a Toni Gassó Bolowrdoor Test

4.- Simulación

A continuación se presentan los casos de estudio simulados con el programa Design Builder [12] . Para cada caso de estudio se han realizado dos simulaciones, la primera con el acabado superficial de cubierta blanco y el otro negro. Cada simulación se ha ubicado al mismo tiempo en dos Zonas climáticas (ZC a partir de ahora) distintas, Barcelona y Madrid con distintas transmitancias térmicas ya mencionadas anteriormente.

El objetivo de esta tesina era detectar en que meses la demanda era menor para aplicar el acabado superficial termocrómico. La idea parte de la posibilidad que presentan los materiales termocrómicos para cambiar de color con la temperatura, y así usarlos como tecnología pasiva en cubierta.

Para todas las simulaciones, se ha considerado unas absortancias y emitancias bastante ‘puras’, sin tener en cuenta que la durabilidad o mantenimiento puede afectar en estos valores finales.



Ilustración 31: Modelo 3D de la simulación en DesignBuilder de la cubierta negra.



Ilustración 32: Modelo 3D de la simulación en DesignBuilder de la cubierta Blanca.

[13] “Design Builder.” .Versión 4.5.0.148 <https://ecoeiciente.es/descargas-designbuilder/>

4.1.- Conclusiones preliminares del cambio de color en cubierta

4.1.1.- Resumen demandas anuales de cada caso de estudio en dos zonas climáticas con acabado superficial blanco y negro.

Como se muestra a continuación, en las ilustraciones 33 y 34 las demandas anuales totales siempre son mayores en el caso del acabado superficial negro comparadas con el acabado superficial blanco. Se extraen como conclusiones preliminares que, el cambio de color superficial en cubierta tiene una repercusión en la demanda anual de valores que oscilan entre el 0,56% para el caso del CTE 2017 en ZC Barcelona al 9% en el caso del NBE 1979 y que para edificios con bajas transmitancias térmicas el cambio de color va a afectar menos que con altas transmitancias.

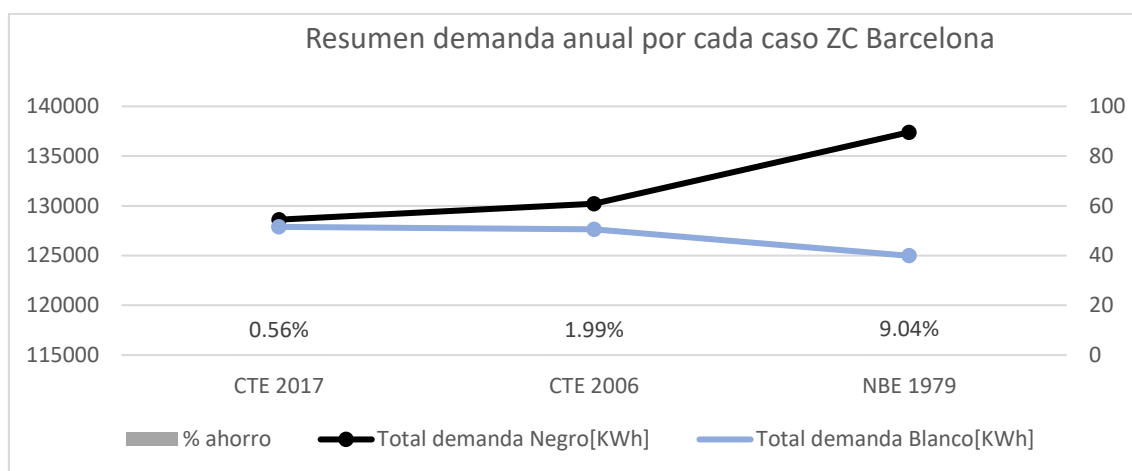


Ilustración 33: Resumen de la demanda anual para cada caso de estudio en Barcelona y el % de ahorro energético al cambiar de negro a blanco. Fuente: simulación con DesignBuilder Ilustración propia.

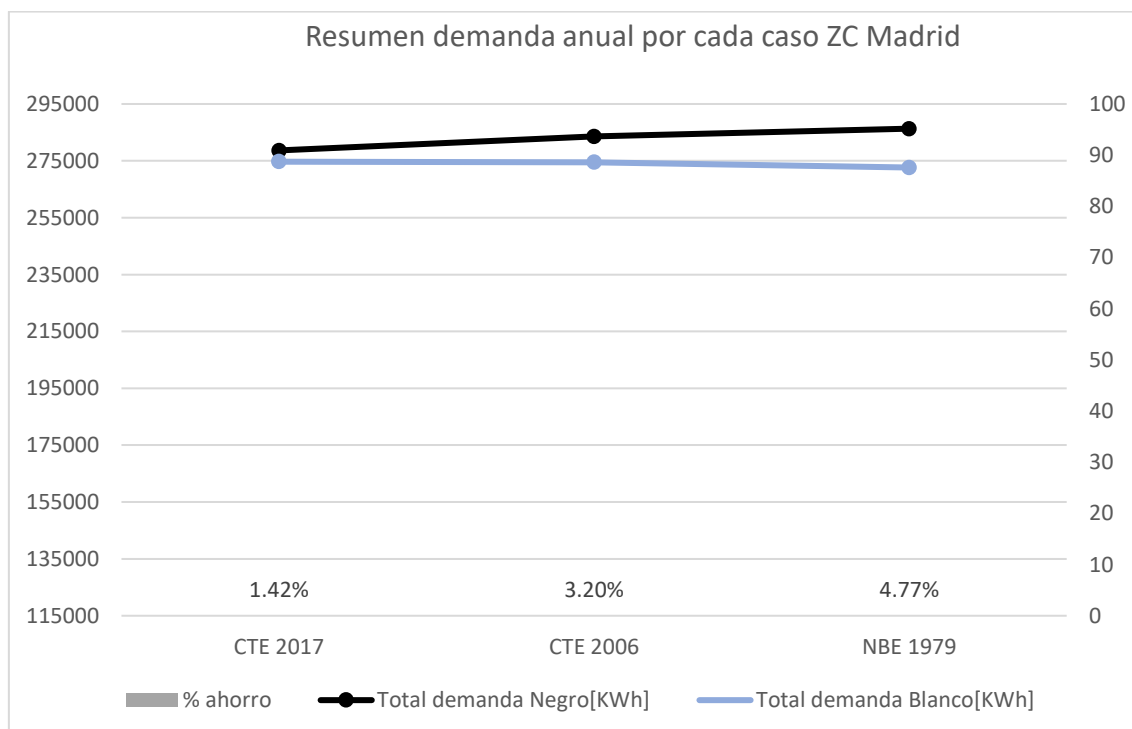


Ilustración 34: Resumen de la demanda anual para cada caso de estudio en Madrid y el % de ahorro energético al cambiar de negro a blanco. Fuente: simulación con DesignBuilder Ilustración propia.

Pero cabe mencionar que, en los climas de España las demandas anuales para este tipo de edificación se dividen en demandas de calefacción elevadas en los meses fríos y demandas elevadas de refrigeración en los meses de verano [10] . Es por esto que se considera interesante la aplicación o el estudio del comportamiento del acabado superficial termocrómico a nivel desglosado por mes y no anual como se ha realizado anteriormente termocrómico para que en cada mes la cubierta pueda cambiar de color en función de la demanda del edificio.

4.2.- Simulaciones anuales con acabado superficial termocrómico

4.2.1.- Resumen demandas anuales de calefacción y refrigeración para cada caso de estudio en dos zonas climáticas con acabado superficial negro, blanco y termocrómico.

A continuación, se muestran los resúmenes de demandas anuales para tres casos, uno con acabado superficial negro, uno con blanco y el otro el termocrómico.

En este caso termocrómico no se ha simulado, sino que es la unión entre el acabado negro en los meses con menor demanda de calefacción y el acabado blanco en los meses con menor demanda de refrigeración.

[11] J. de Isabel, M. García, and C. Egido, "Guía de auditorías energéticas en centros comerciales," p. 164, 2010.

EVALUACIÓN DEMANDA ANUAL ZONA CLIMÁTICA BARCELONA

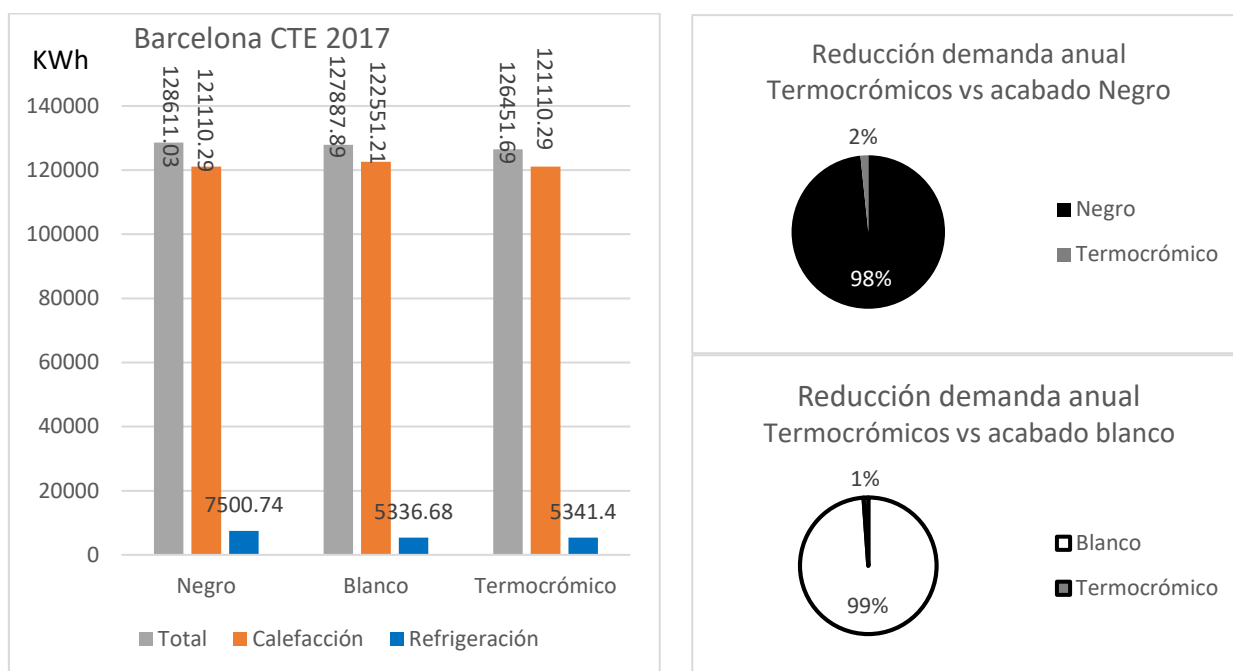


Ilustración 35: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Barcelona CTE 2017. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia

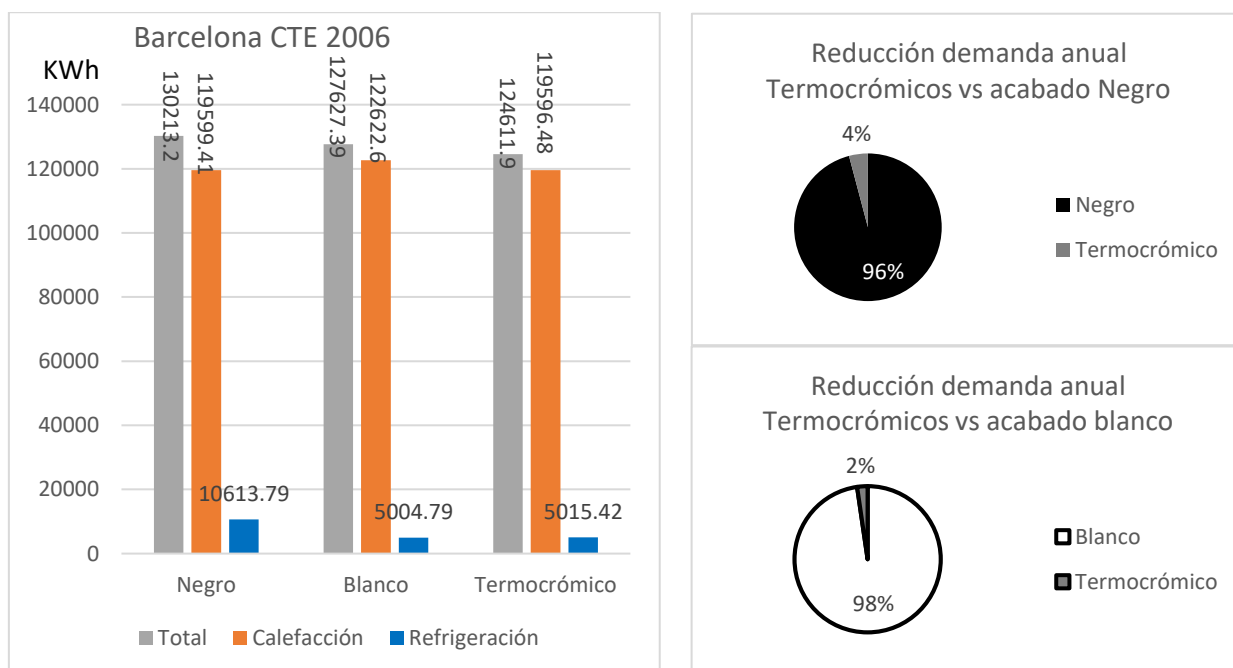


Ilustración 36: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Barcelona CTE 2006. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia

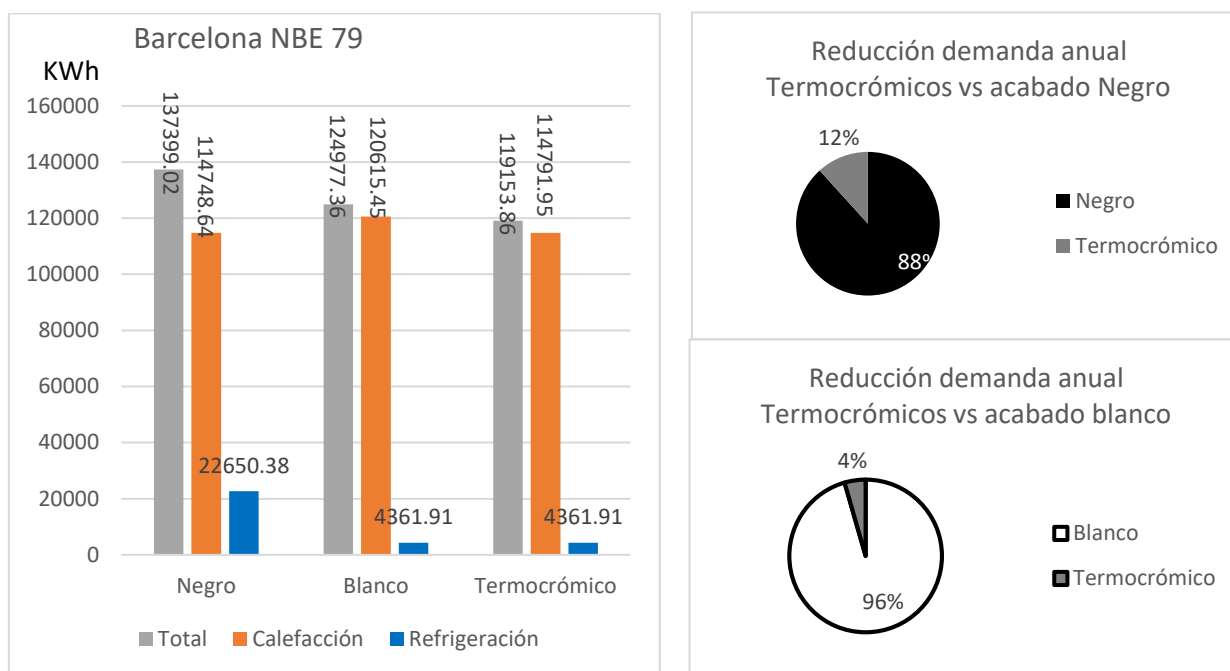


Ilustración 37: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Barcelona NBE 79. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia

Como era de esperar, termocrómicos tiene una demanda más reducida que el resto. Para ser más exactos esto supone un ahorro del 1% respecto la cubierta blanca y de un 2% respecto la negra en el caso del CTE 2017. A priori parecen valores muy pequeños, pero la reducción de un 1% de la demanda para este caso es de 1436,2KWh traducido a Kg de Co₂ son 531,4, que equivale a la absorción anual de Co₂ de 27 árboles. [13] Un % de ahorro pequeño puede convertir-se en un valor significativo si se repiten los casos a nivel mundial.

El ahorro energético para el caso del CTE-2006 aumenta en ambos casos. El ahorro energético del material termocrómico respecto un acabado negro es del 4% y respecto un acabado blanco de un 2%.

Para finalizar, en el caso de NBE 79 es donde hay más ahorro energético, se llega al 12% de un acabado negro a termocrómico y un 5% de un acabado blanco a termocrómico.

Cabe destacar que, a mayor transmitancia térmica mayores son las demandas de calefacción, pero en cambio menores las de refrigeración. Por esto en este tipo de edificación el ahorro mayoritariamente se consigue reduciendo la demanda de calefacción.

Se intuye que el ámbito de aplicación de los termocrómicos puede tener cierta competitividad en la rehabilitación energética para edificaciones con transmitancias parecidas a las de NBE 79.

[13] "Calculo electrico - Calculo GEI CeroCO₂." [Online]. Available: <https://www.ceroco2.org/calculadoras/electrico>. [Accessed: 05-Oct-2019].

*considerando que 1kWh = 0,37 Kg de Co₂ y considerando que un árbol absorbe aproximadamente entre 10-30 kg de Co₂ al año

EVALUACIÓN DEMANDA ANUAL ZONA CLIMÁTICA MADRID

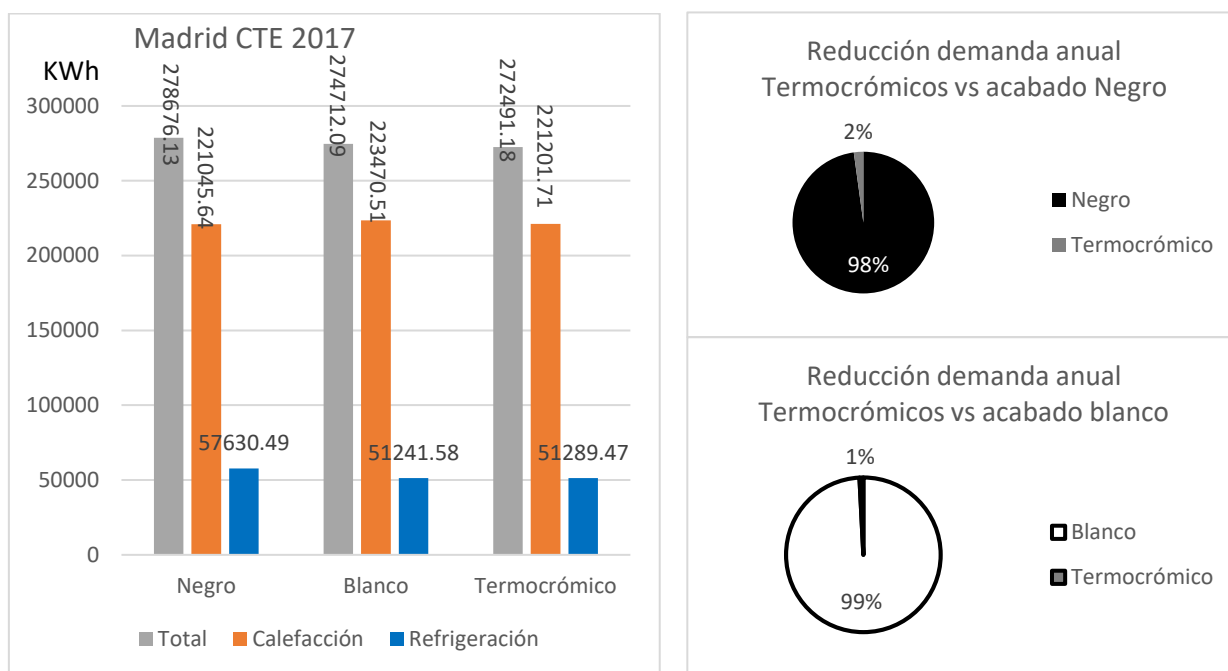


Ilustración 38: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Madrid CTE 2017. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia

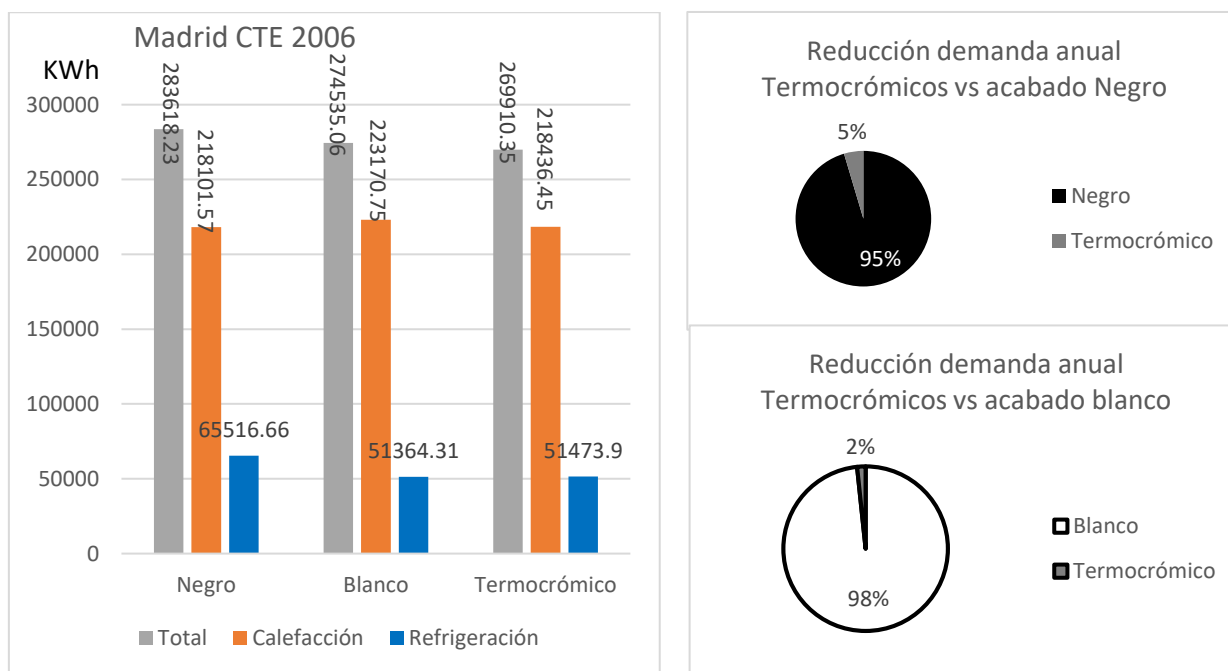


Ilustración 39: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Madrid CTE 2006. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia

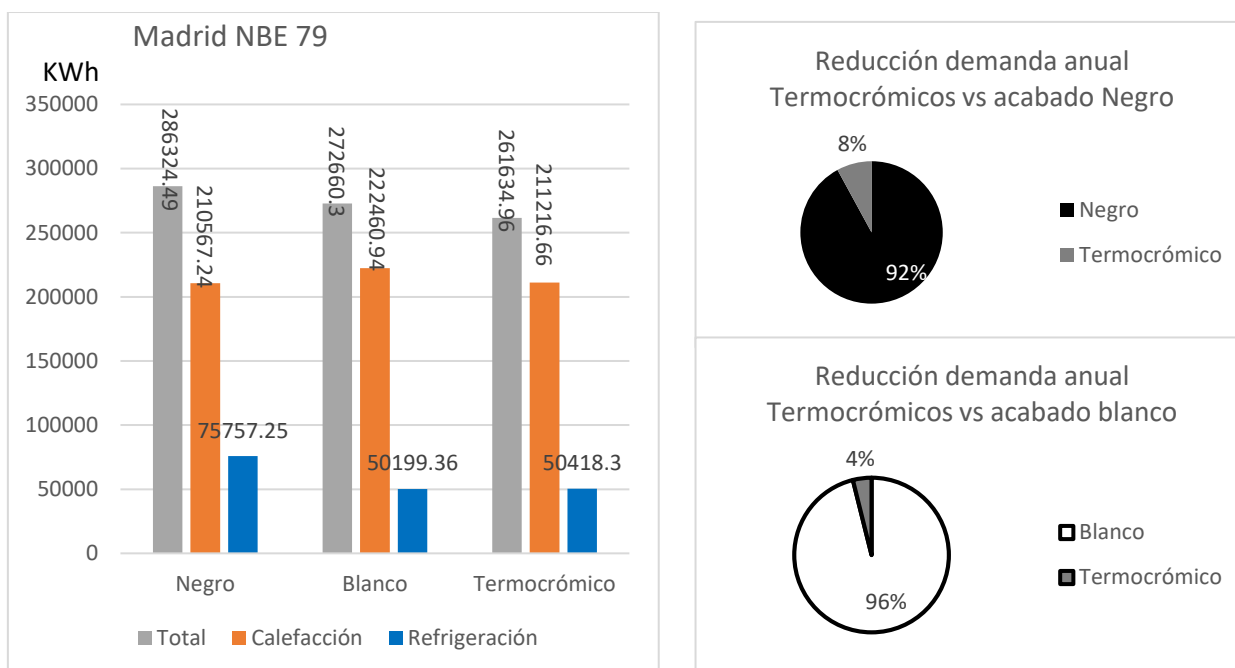


Ilustración 40: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Madrid NBE 79. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia

En la ZC de Madrid las demandas respecto a Barcelona son más elevadas. La aplicación de un acabado superficial termocrómico supone un ahorro del 1% respecto la cubierta blanca y de un 2% respecto la negra para CTE 2017. El 1% de ahorro equivale a 2220,91Kwh, que son 821,7 Kg de Co2 que equivale a la absorción anual de Co2 de 41 árboles.

Para el caso del CTE-2006 aumenta el ahorro ambos casos. El ahorro energético del material termocrómico respecto un acabado negro es del 5% y respecto un acabado blanco de un 2%.

No es finalmente hasta el caso de NBE 79 que se ahorra un 8% de energía usando un acabado termocrómico respecto uno negro, y un 4% respecto uno blanco.

Ocurre lo mismo que en el caso de Barcelona que, a mayor transmitancia térmica mayores son las demandas de calefacción, pero en cambio menores las de refrigeración, excepto en los casos de acabado superficial negro, que la demanda de refrigeración se dispara. Como las demandas en general son tan elevadas, el % de ahorro energético se produce en la refrigeración.

Aunque a priori parece que el caso de Madrid tiene un % menor de ahorro energético respecto el de Barcelona, sus ahorros en la de

manda son mayores que en Barcelona.

4.2.2.- Evaluación de demanda mensual de cada caso de estudio para dos zonas climáticas.

S1: EVALUACIÓN CTE-2017 DEMANDA MENSUAL ZONA CLIMÁTICA BARCELONA

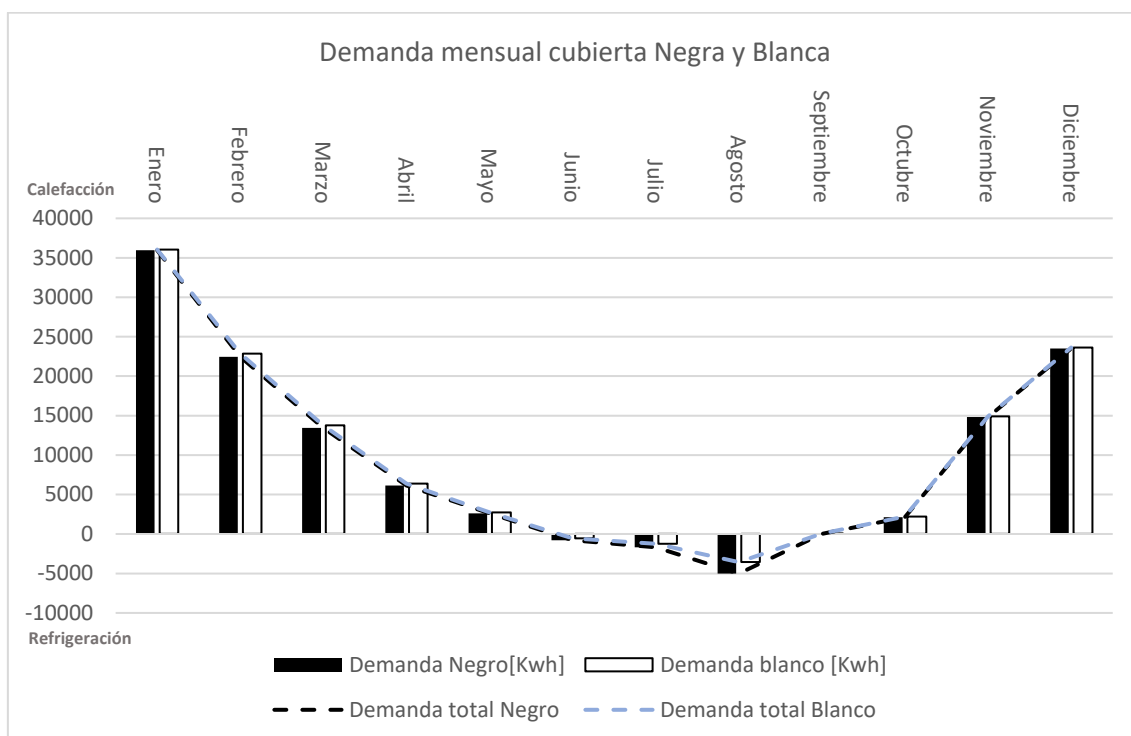


Ilustración 41: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

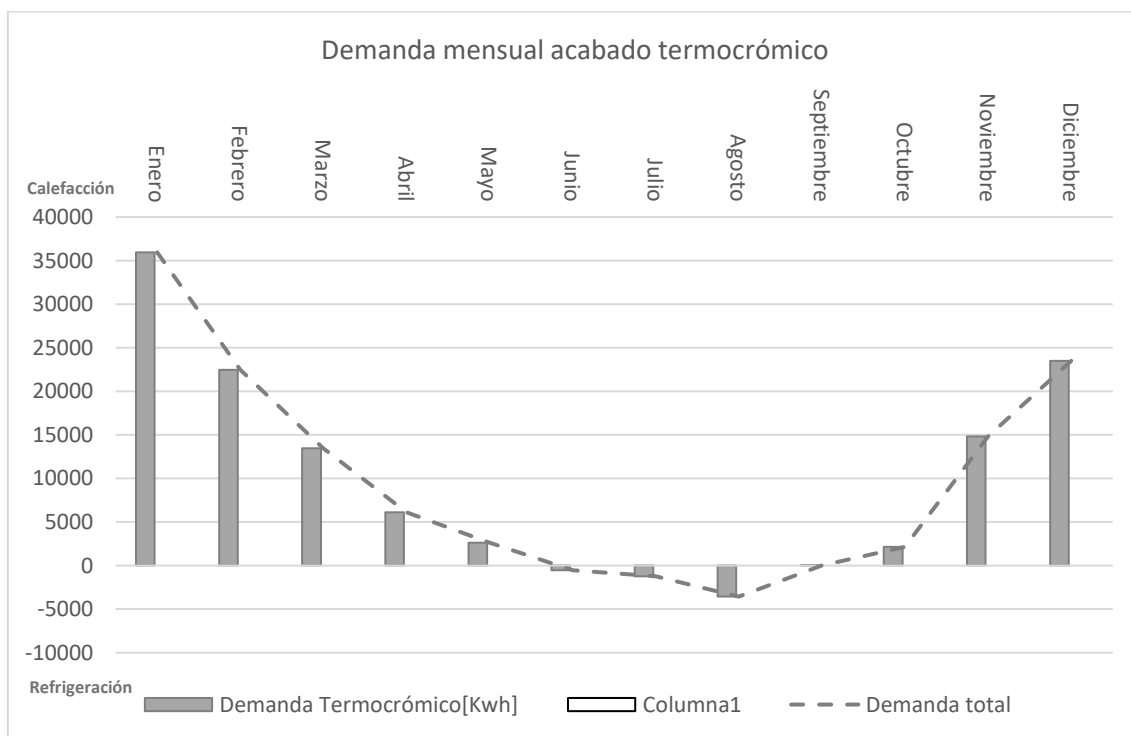


Ilustración 42: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

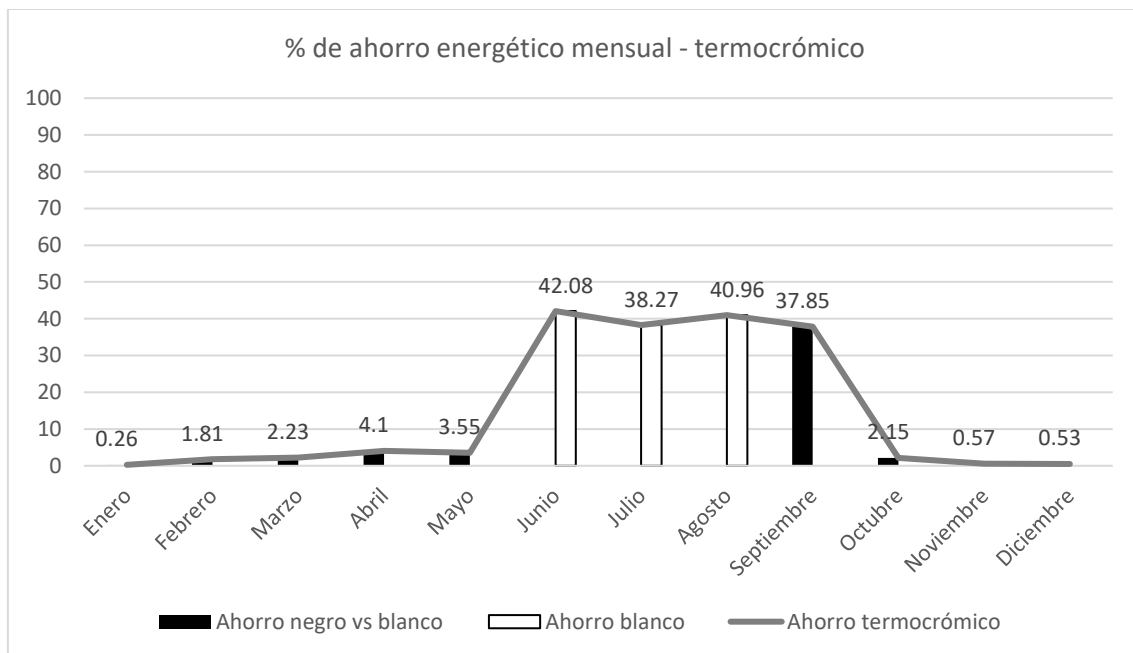


Ilustración 43: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

Como se puede observar en la ilustración 41, para el caso del acabado superficial blanco las demandas de Calefacción son mayores para los meses de septiembre a mayo, mientras que para los meses de Junio a Agosto las demandas de refrigeración son menores. Por ello, el termocrómico funcionaría de septiembre a mayo con acabado superficial negro, y de Junio a Agosto blanco, ver ilustración 42.

La ilustración 43 muestra el ahorro energético del acabado termocrómico vs un acabado negro y uno blanco. Como las demandas de calefacción son similares entre el blanco y el negro, la mayor diferencia se encuentra en los meses de Junio a Septiembre, donde se conseguiría un ahorro energético alrededor del 40% mensual solo con el hecho de cambiar de blanco a negro en los meses de verano.

S2: EVALUACIÓN CTE-2017 DEMANDA MENSUAL ZONA CLIMÁTICA MADRID

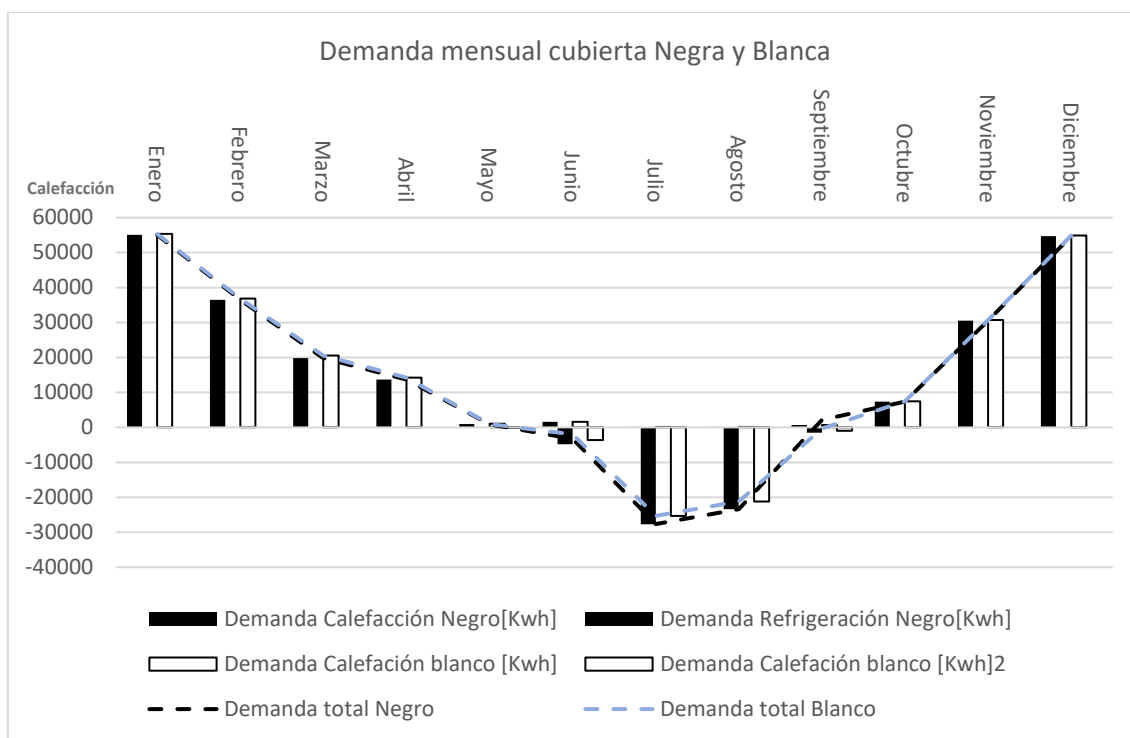


Ilustración 44: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

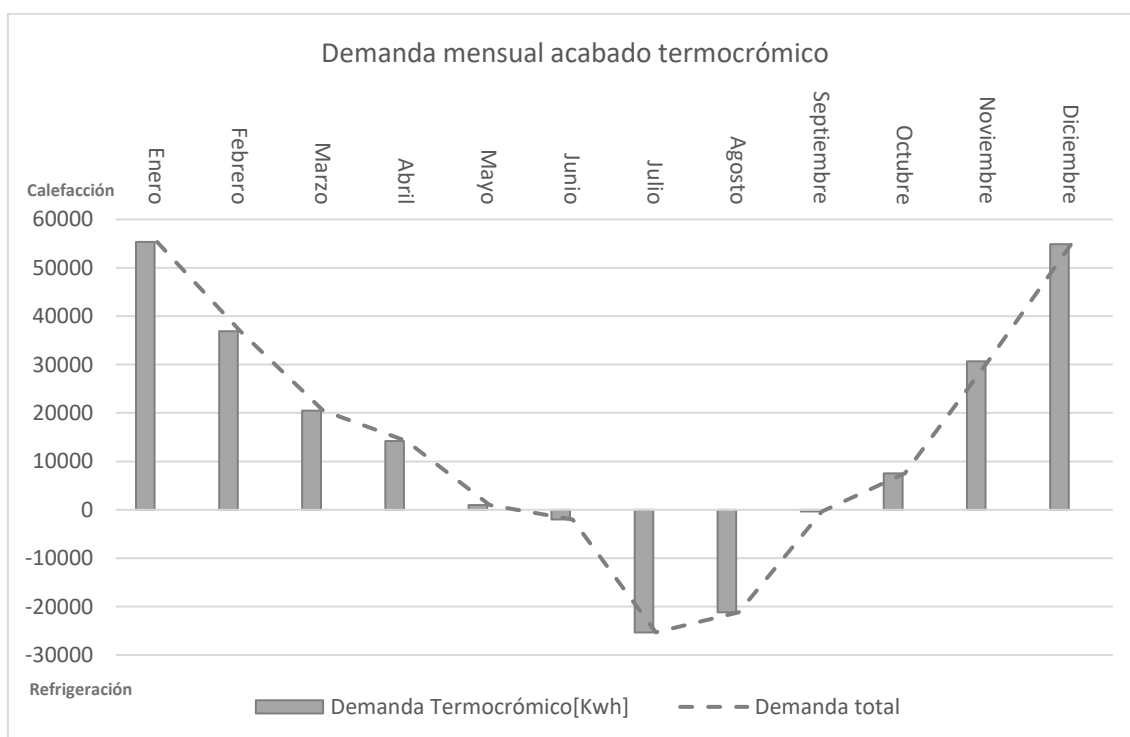


Ilustración 45: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

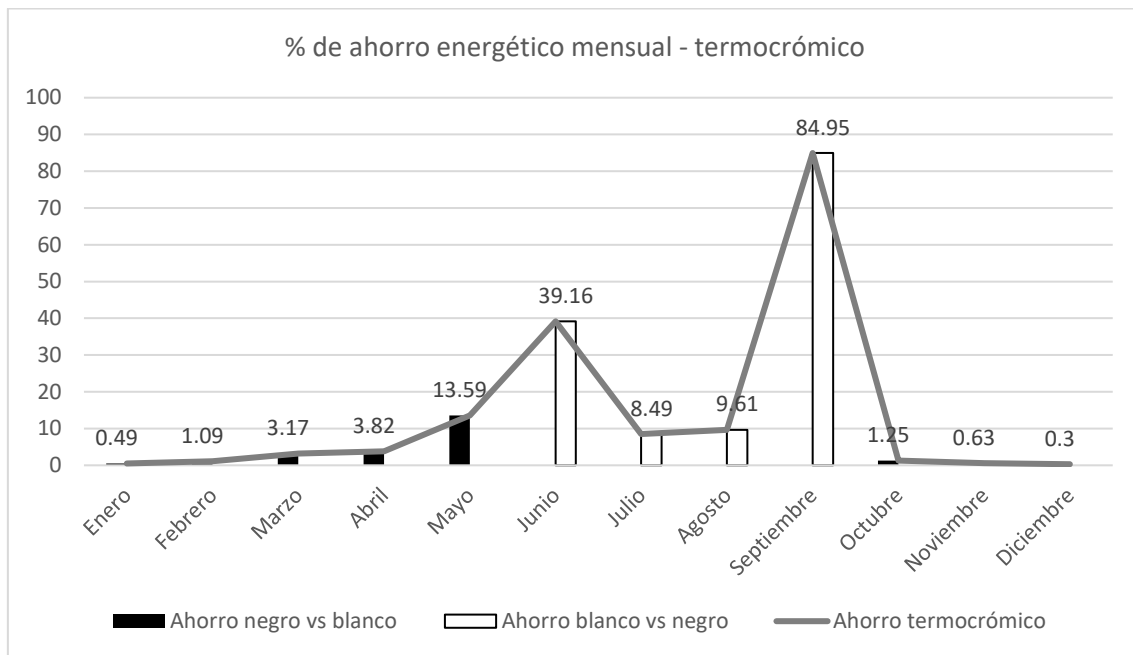


Ilustración 46: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

La ilustración 46 muestra que, aunque parcialmente los consumos de la ilustración 44 parezcan iguales hay un % de ahorro energético del blanco vs el negro y viceversa.

Se observa a partir de la ilustración 44, para el caso del acabado superficial blanco las demandas de Calefacción son mayores para los meses de octubre a mayo, mientras que para los meses de Junio a septiembre las demandas de refrigeración son menores. Por ello, el termocrómico funcionaría de octubre a mayo con acabado superficial negro, y de Junio a Agosto blanco, ver ilustración 45.

Como las demandas de calefacción son similares entre el blanco y el negro, la mayor diferencia se encuentra en los meses de Junio a Septiembre, donde se conseguiría un ahorro energético máximo del 84% y mínimo del 8,4%.

S3: EVALUACIÓN CTE-2006 DEMANDA MENSUAL ZONA CLIMÁTICA BARCELONA

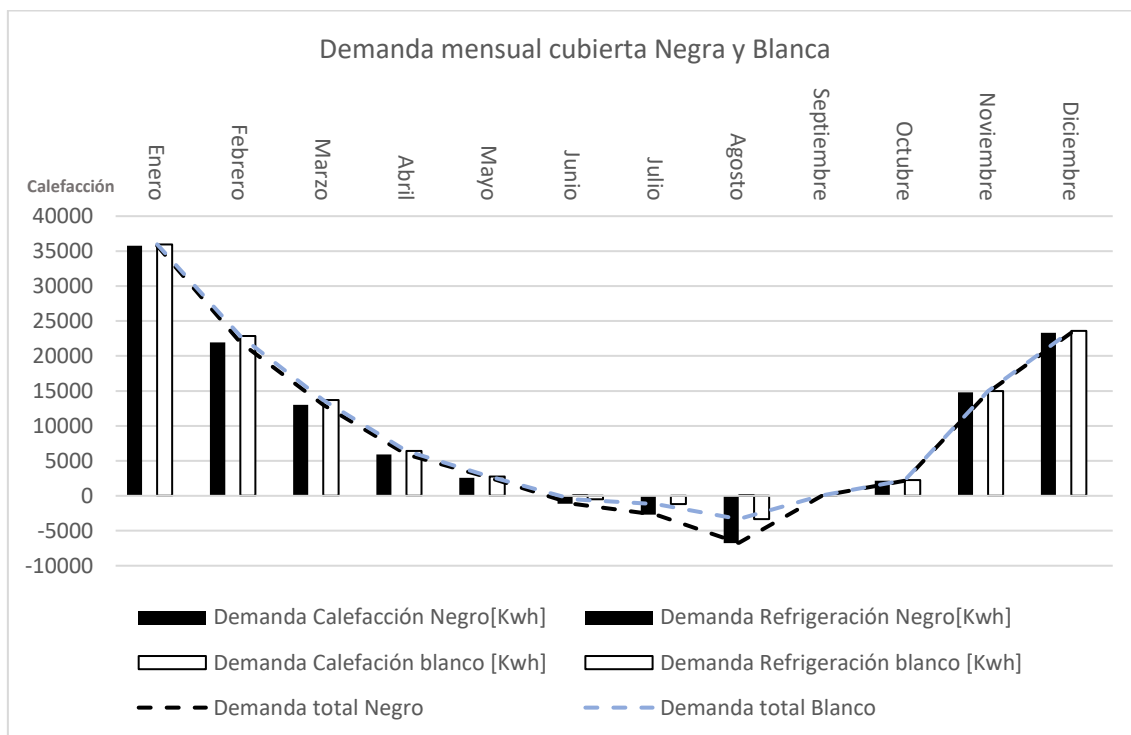


Ilustración 47: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

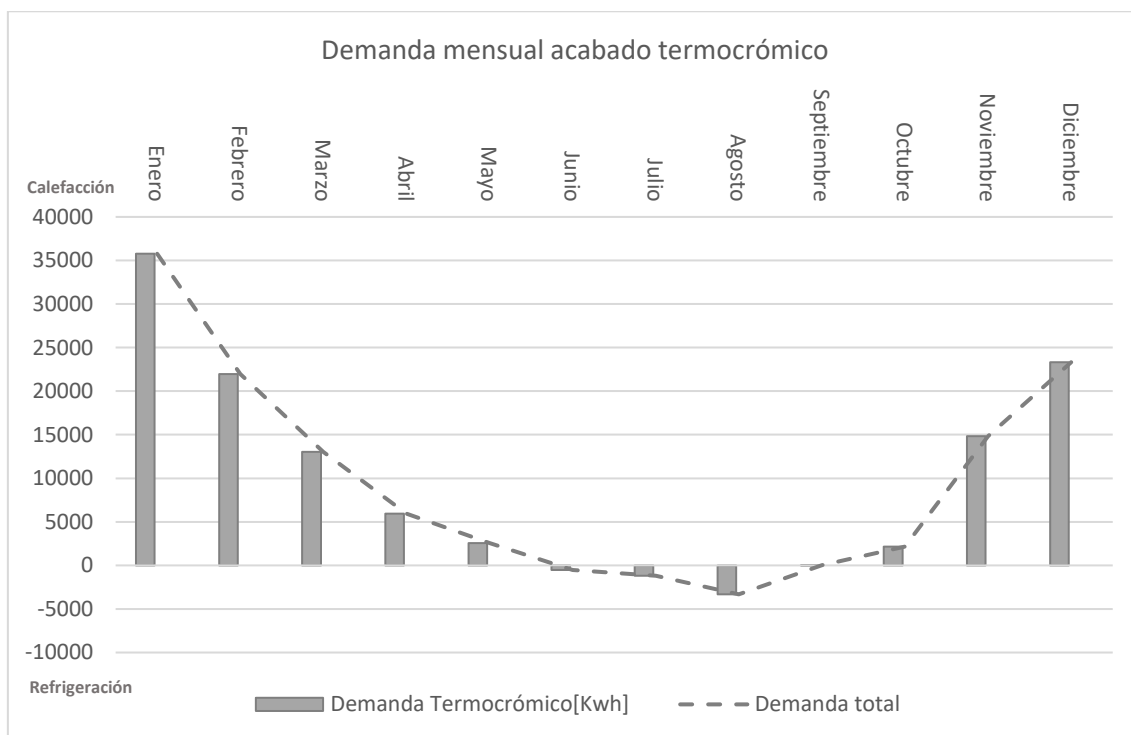


Ilustración 48: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

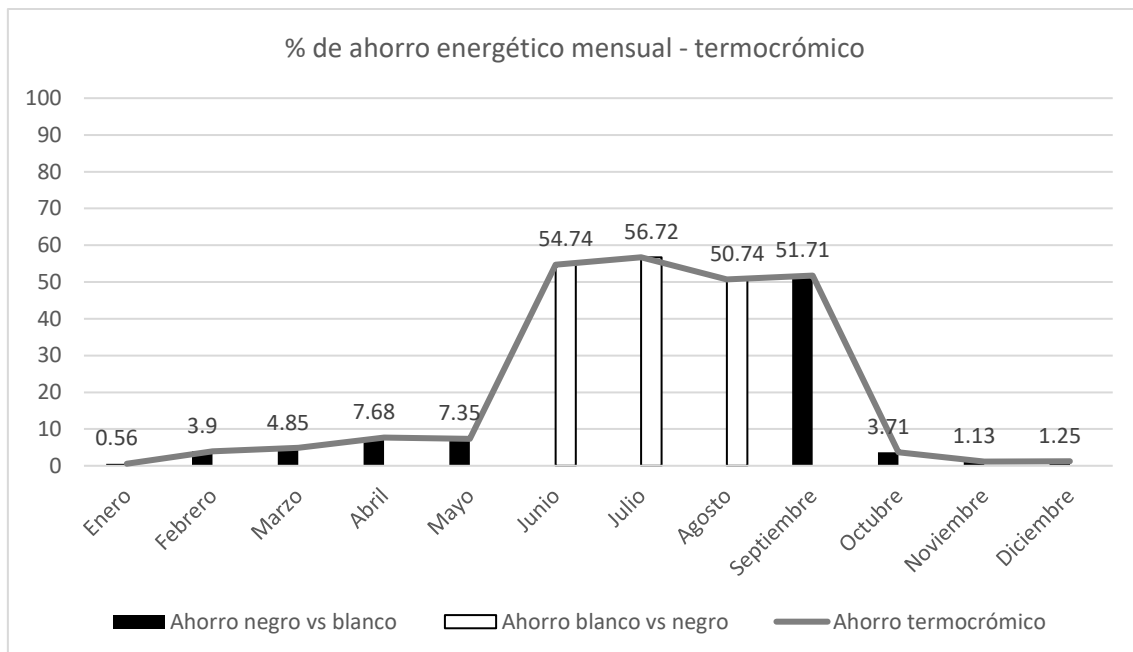


Ilustración 49: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

Se repite el mismo patrón que para el caso de CTE-2017 en Barcelona, los meses de Junio a Agosto las demandas de refrigeración son menores con el acabado superficial blanco, en cambio para los meses de septiembre a mayo son menores las demandas de calefacción para el caso del acabado superficial negro.

La ilustración 49 muestra el ahorro energético del acabado termocrómico vs un acabado negro y uno blanco. Comparado con la ilustración 43(% de ahorro energético mensual para CTE – 2017), el caso de CTE-2006 los ahorros energéticos mensuales son mayores. La mayor diferencia se encuentra en los meses de Junio a Septiembre, donde se conseguiría un ahorro energético alrededor del 50% mensual solo con el hecho de cambiar del blanco al negro en los meses de verano.

S4: EVALUACIÓN CTE-2006 DEMANDA MENSUAL ZONA CLIMÁTICA MADRID

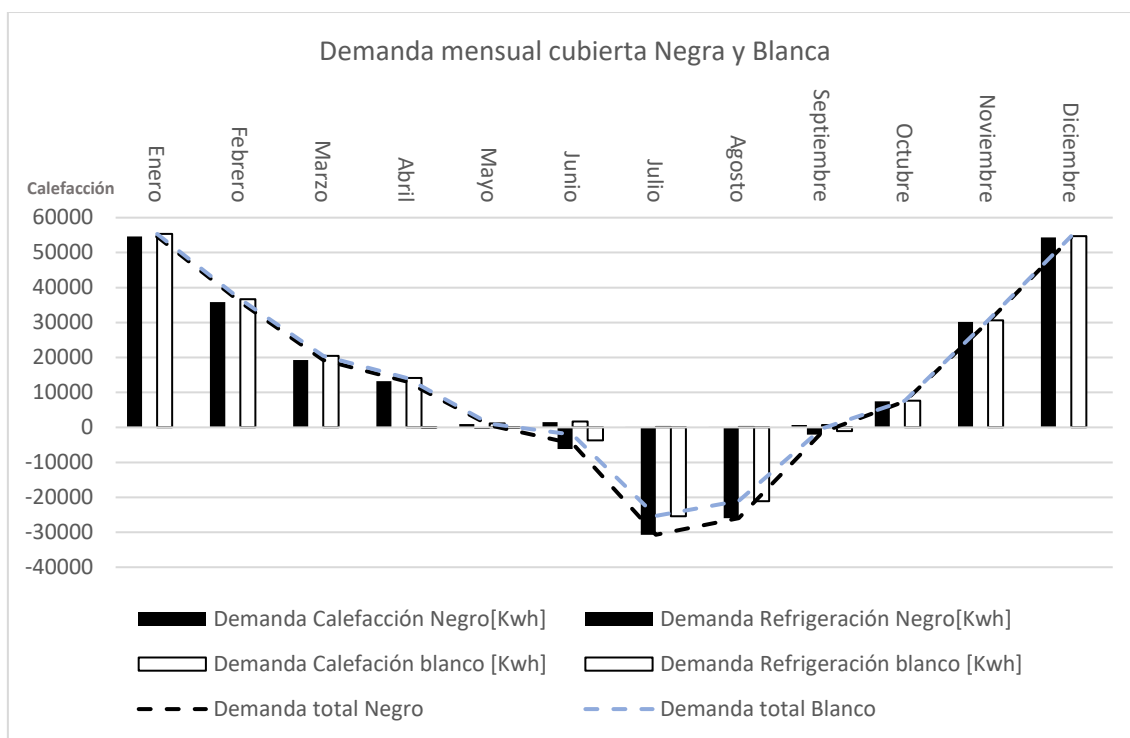


Ilustración 50: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

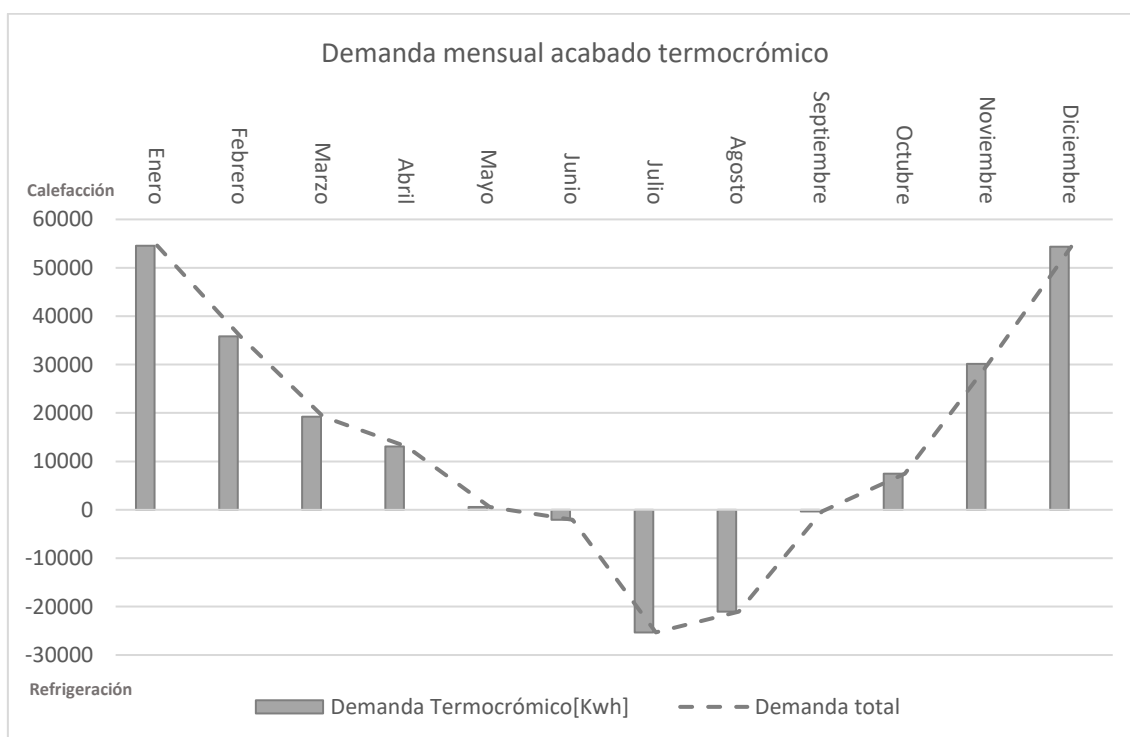


Ilustración 51: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial termocrómico en Madrid Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

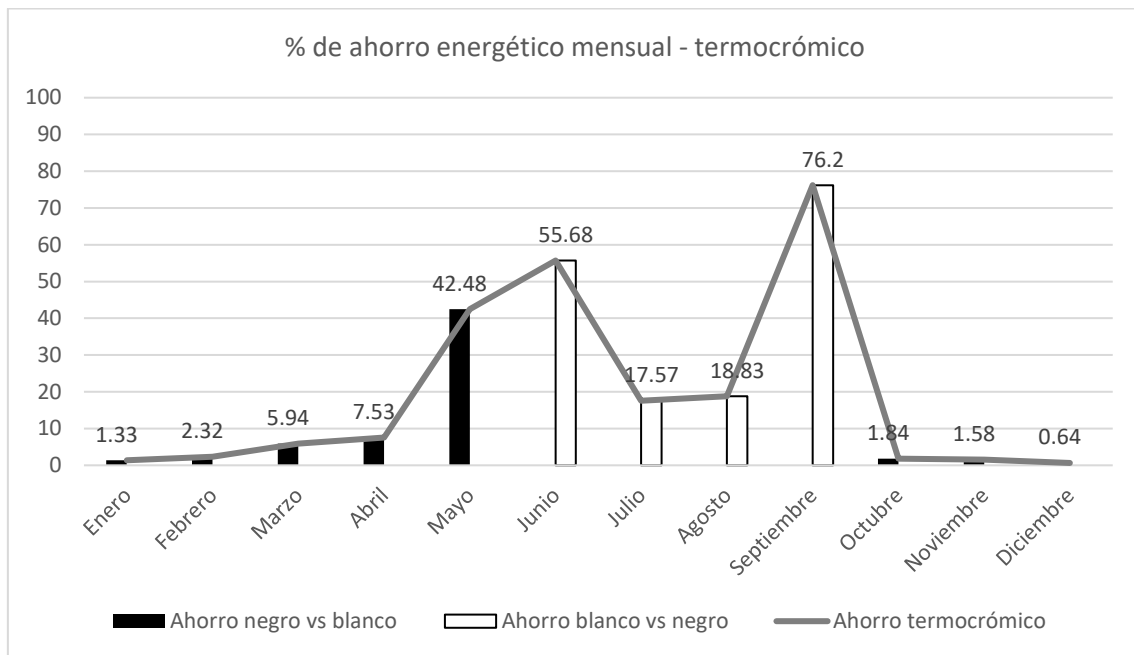


Ilustración 52: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

Se repite el mismo patrón que para el caso de CTE-2017 en Madrid, los meses de Junio a Septiembre las demandas de refrigeración son menores con el acabado superficial blanco, en cambio para los meses de octubre a mayo son menores las demandas de calefacción para el caso del acabado superficial negro.

A pesar que en la ilustración 52 se muestre que en mayo, junio y septiembre los % de ahorro son mayores al 40% sus demandas mensuales son valores muy pequeños respecto al global. Es por esto que finalmente donde se consigue el ahorro energético es en los meses de julio y agosto con un 17%, es decir el ahorro energético al aplicar el termocrómico se consigue en los meses de mayor demanda de refrigeración.

S5: EVALUACIÓN NBE-79 DEMANDA MENSUAL ZONA CLIMÁTICA BARCELONA

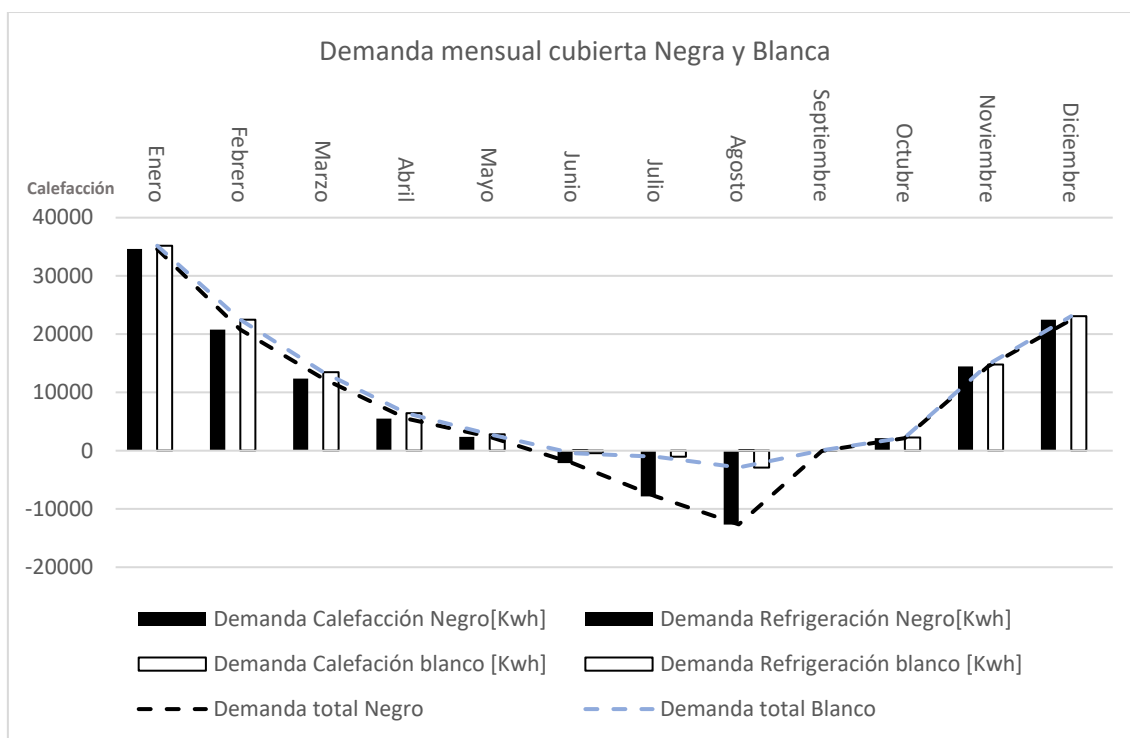


Ilustración 53: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

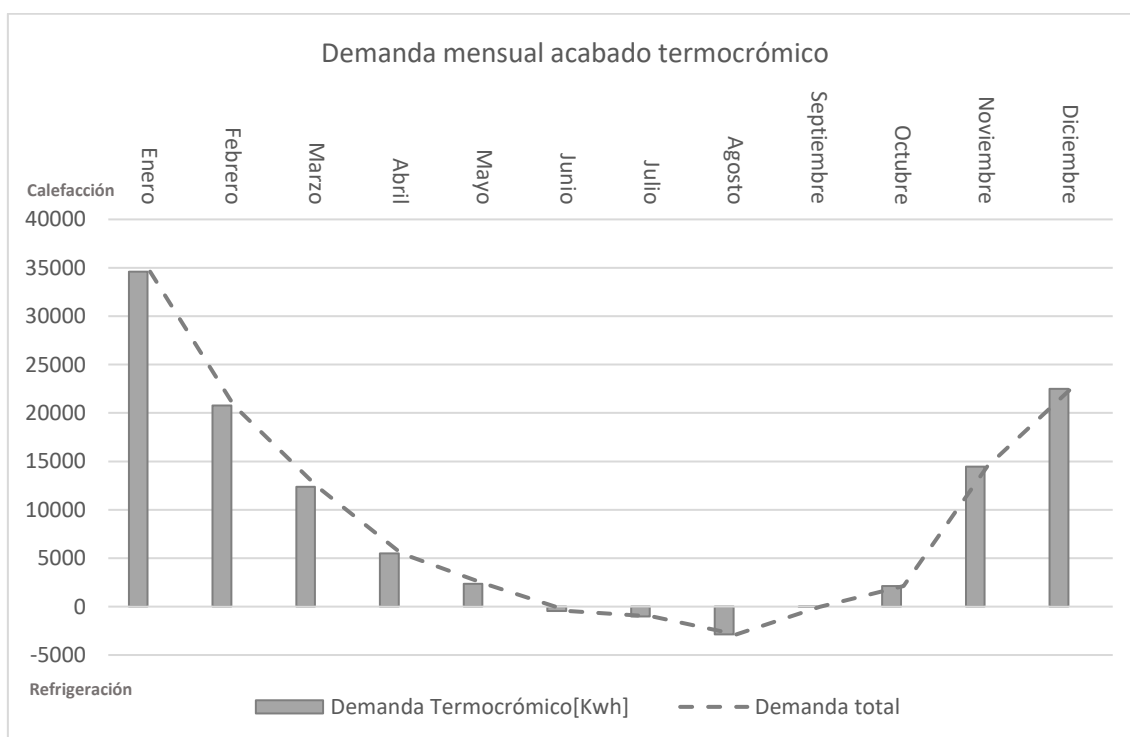


Ilustración 54: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial termocrómico en Barcelona Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

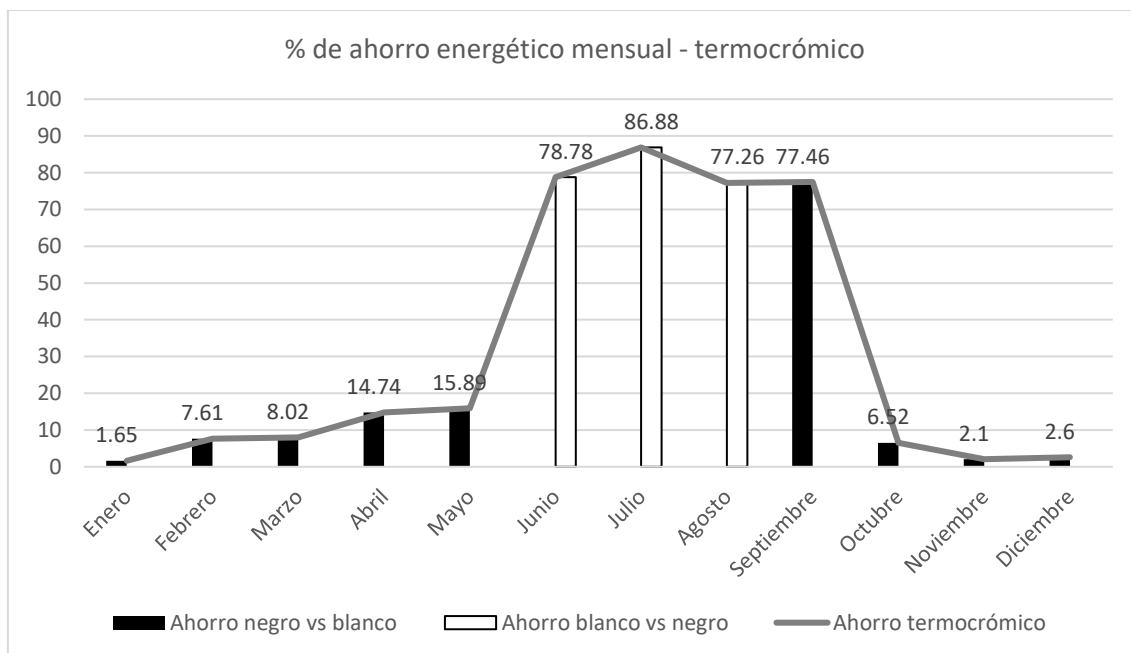


Ilustración 55: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

Se repite el mismo patrón que para los dos otros casos de Barcelona, los meses de Junio a Agosto las demandas de refrigeración son menores con el acabado superficial blanco, en cambio para los meses de Septiembre a Mayo son menores las demandas de calefacción para el caso del acabado superficial negro. Es por esto que el acabado superficial termocrómico, debería ser blanco de Junio a Agosto y Negro de Septiembre a Mayo.

A pesar que en la ilustración 55 se muestre que en septiembre y junio los % de ahorro son mayores al 70% sus demandas mensuales son valores muy pequeños respecto al global. Es por esto que finalmente donde la aplicación del termocrómico conseguiría el ahorro energético en los meses de julio y agosto con un 77% aproximadamente cambiando su color a blanco. En los meses de Septiembre a mayo actuaría con el acabado negro y sus ahorros varían entre el 1,65% en Enero a un 15,8% en mayo.

S6: EVALUACIÓN NBE-79 DEMANDA MENSUAL ZONA CLIMÁTICA MADRID

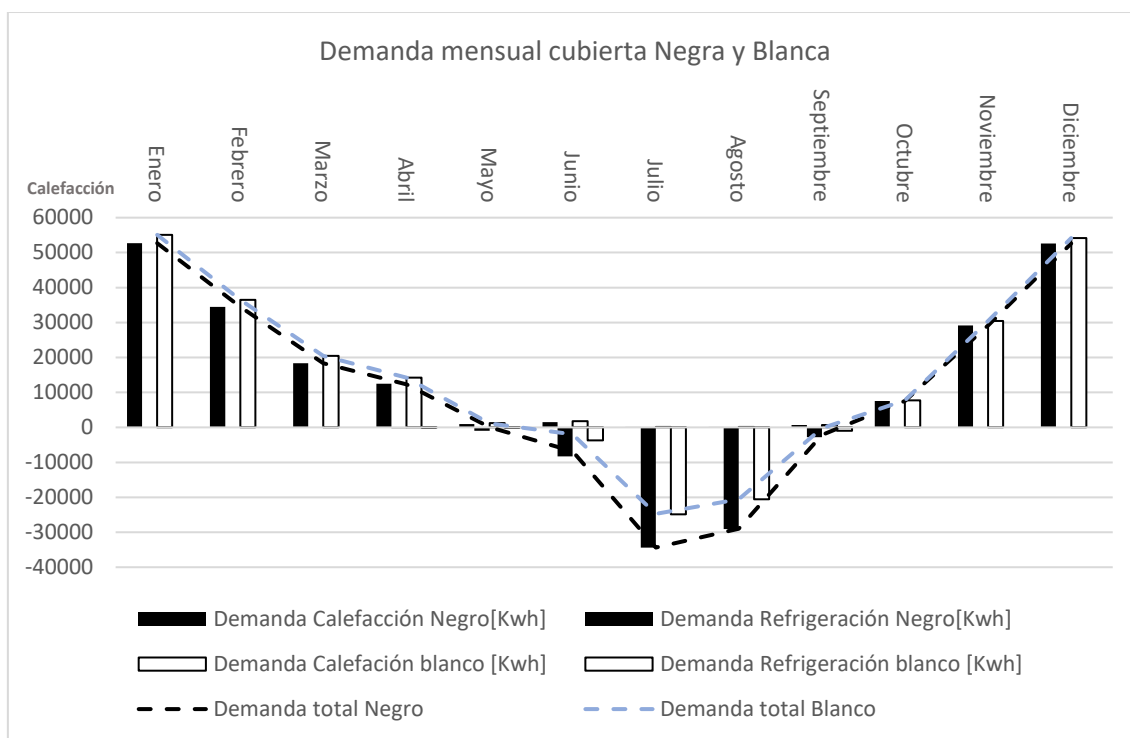


Ilustración 56: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

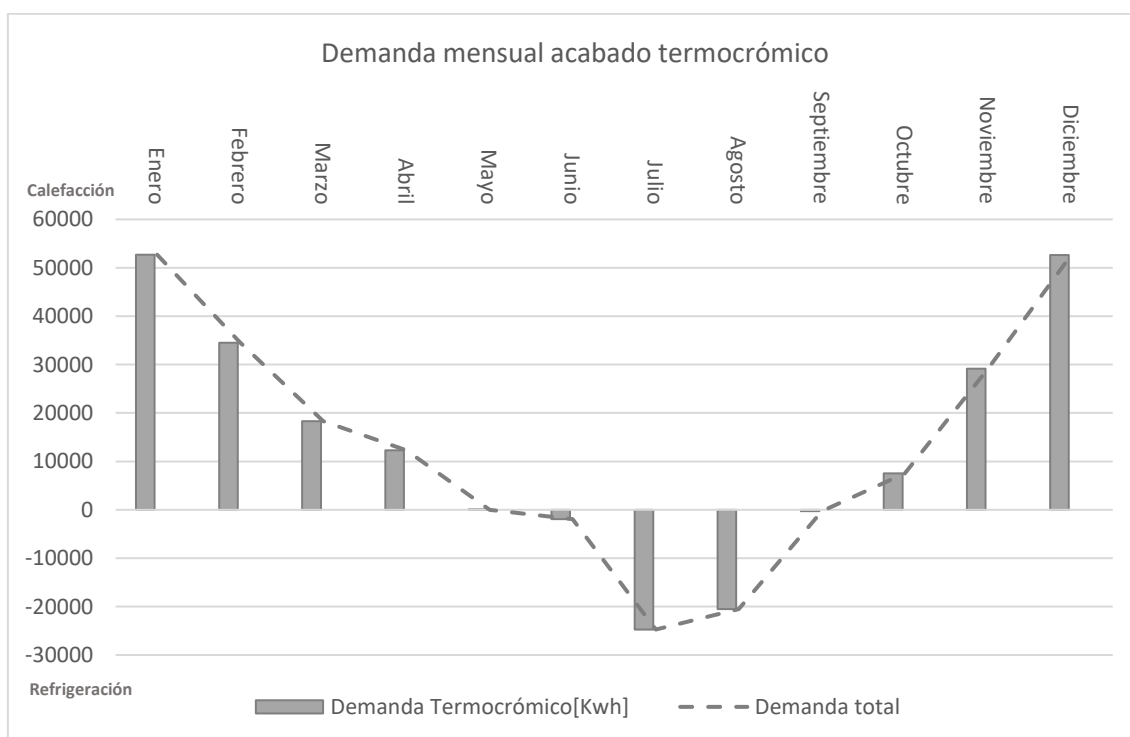


Ilustración 57: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial termocrómico en Madrid Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

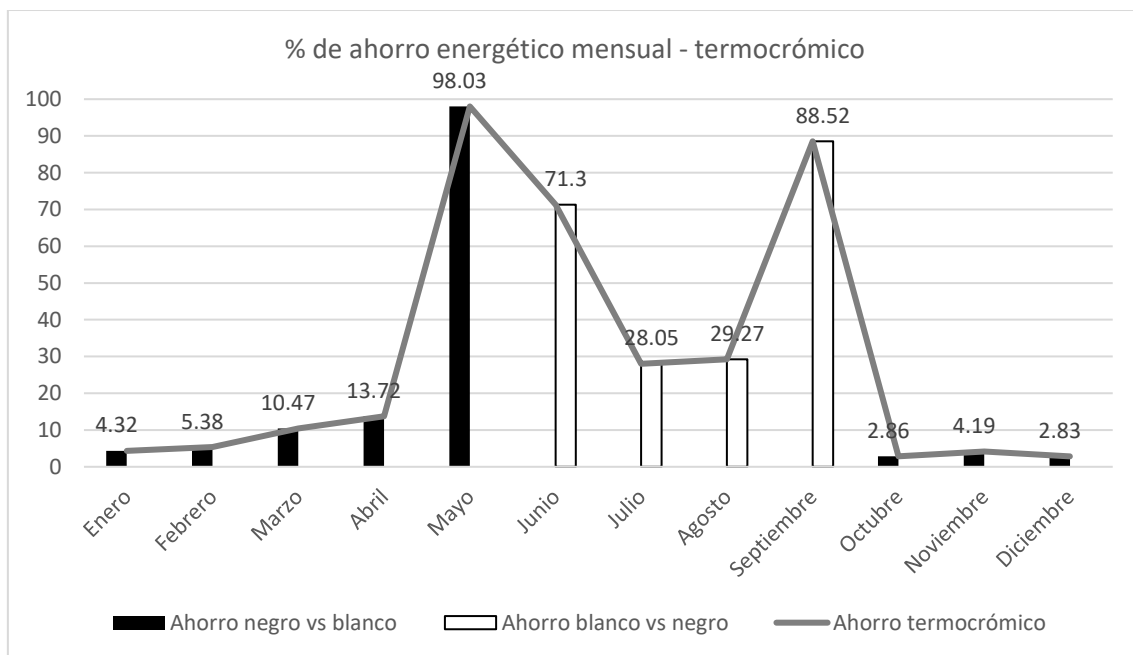


Ilustración 58 : Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia

Se repite el mismo patrón que para los dos otros casos de Madrid, los meses de Junio a Septiembre las demandas de refrigeración son menores con el acabado superficial blanco, en cambio para los meses de octubre a mayo son menores las demandas de calefacción para el caso del acabado superficial negro. Es por esto que el acabado superficial termocrómico en Madrid debería ser blanco de Junio a septiembre y Negro de octubre a mayo.

A pesar que en la ilustración 58 se muestre que en septiembre y mayo los % de ahorro son mayores al 88% sus demandas mensuales son valores muy pequeños respecto al global. Es por esto que finalmente donde la aplicación del termocrómico conseguiría el ahorro energético es en los meses de junio, julio y agosto con casi un 30 % cambiando su color a blanco. En los meses de Octubre a mayo actuaría con el acabado negro y sus ahorros varían entre el 2,86% en Octubre a un 13,72% en mayo.

4.2.- Temperatura superficial de la cubierta

En este tipo de materiales termocrómicos es muy importante la temperatura de transición, aquella temperatura en la que el material va a cambiar de un color a otro. Para ello es necesario hacer un zoom y analizar el comportamiento del edificio en el caso de un día.

Se consideran los casos de estudio de las simulaciones de Barcelona y Madrid para la normativa NBE 79 que son los que mayor % de ahorro energético. Al mismo tiempo solo se va a considerar la demanda horaria de 10:00 a 22:00 puesto que son las horas de funcionamiento del edificio de estudio.

Cabe mencionar que los días estudiados son los días con mayor radiación solar en los casos de invierno y verano, y en los meses intermedios días con demandas de calefacción y refrigeración al mismo tiempo. Al final es una extrapolación de un día respecto a un año, los datos y el % de ahorro puede cambiar dependiendo del día.

Para la simulación diaria se van a considerar 3 casos de estudio.

- 1.- Para el mes con mayor demanda de calefacción
- 2.- Para meses intermedios con demandas de refrigeración y calefacción.
- 3.- Para el mes con mayor demanda de refrigeración

Para el cálculo de la temperatura superficial se va a utilizar la fórmula de la modificación de la temperatura máxima media por la influencia de la Radiación solar, extraída del libro "Pesado versus ligero, la influencia de la inercia térmica de los cerramientos en el confort en diferentes zonas climáticas. Jordi Pagès Serra (2010)" explicada en el anejo II.

BARCELONA:

Para el caso de la ZC de Barcelona se han analizado los siguientes días del mes:

- 1.- Sábado 19 de Enero del 2002, día con mayor radiación solar del mes con mayor demanda de calefacción.
- 2.- Sábado 03 de Agosto del 2002, día con mayor radiación solar del mes con mayor demanda de refrigeración.

Los dos casos de estudio son sábado que es el día con más ocupación según el edificio de estudio. En el caso de la ZC de Barcelona los casos donde hay calefacción y refrigeración al mismo tiempo se han considerado demandas despreciables por su valor respecto al total.

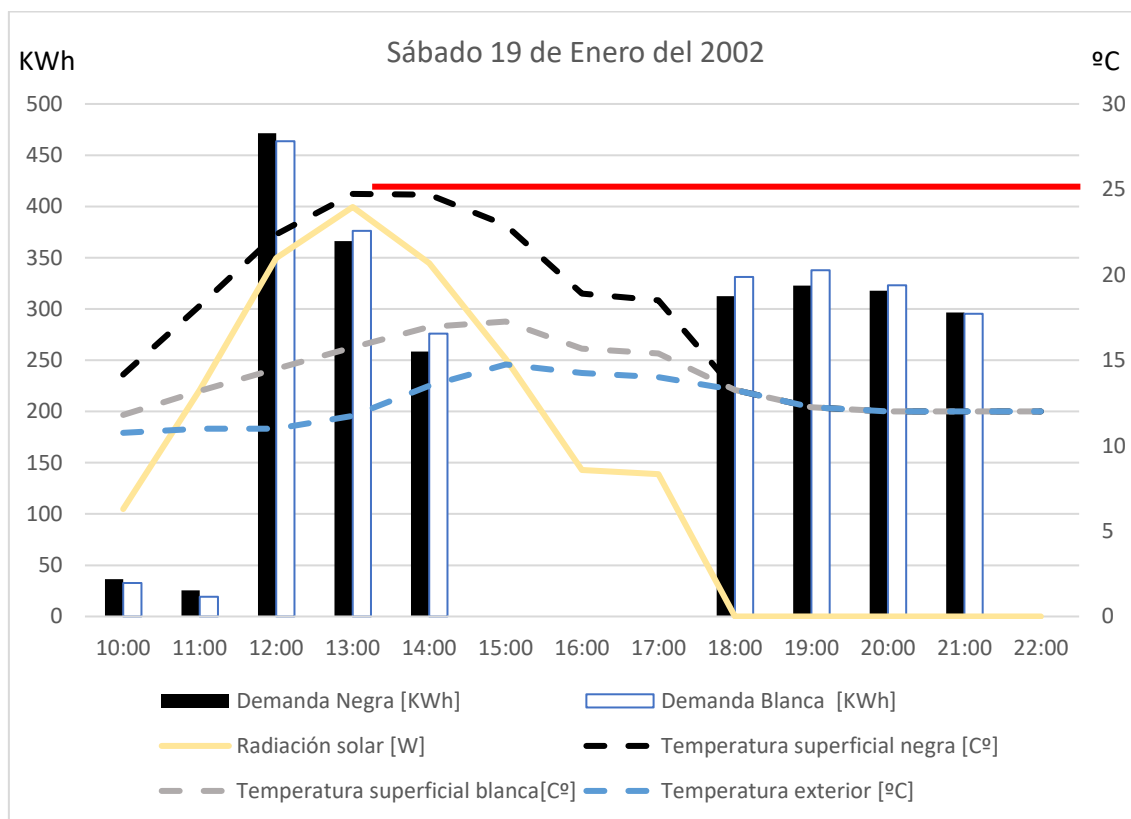
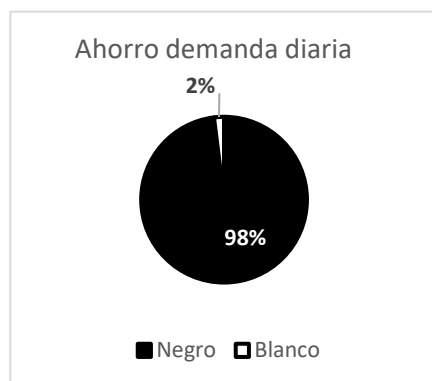
ENERO:

Ilustración 59: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 19 de Enero del 2002 en Barcelona. Ilustración: propia

En la ilustración 59, podemos observar que en el mes de Enero con más demanda de calefacción interesa que la cubierta sea negra para reducir esta demanda. Para valores de temperatura superficial inferiores a 25°C se quiere color negro.

A pesar que a partir de las 18:00h ya no hay incidencia solar, sigue habiendo un beneficio del color negro respecto al blanco debido a la inercia térmica.

También se puede observar que en las primeras horas de la mañana, de 10:00 a 12:00 la demanda es mayor en el caso del acabado superficial negro, esto es debido a que el color negro disipa más calor por la noche que el color blanco[14]. Aunque pudiera parecer que esto es un inconveniente ya que sería más eficiente una cubierta blanca por la noche, la diferencia de demandas es baja comparada con el resto de horas.



El ahorro energético de un acabado negro respecto uno blanco es del 2%.

Ilustración 60: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.

[14] TFM. G. Hernández, "Fachadas disipadoras de calor;," 2016.

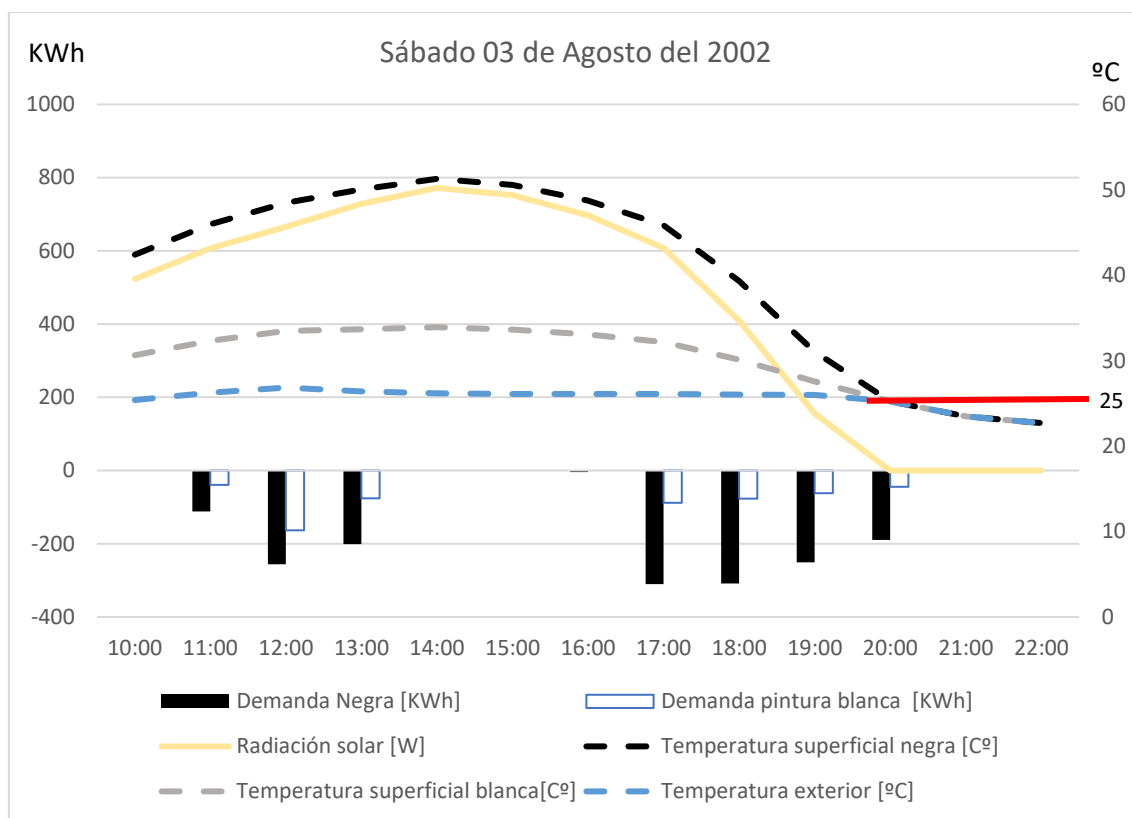
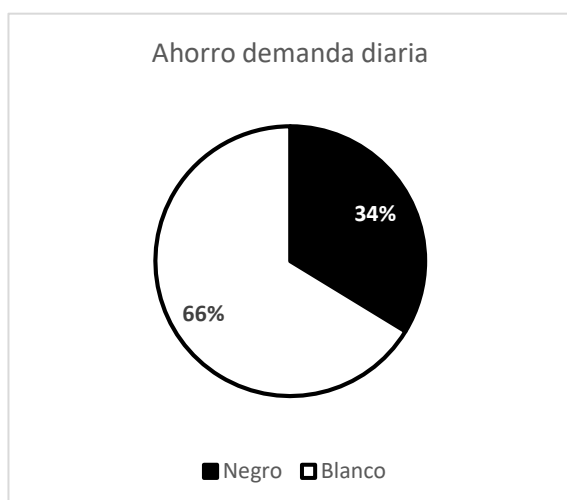
AGOSTO:

Ilustración 61: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 03 de Agosto del 2002 en Barcelona. Ilustración: propia

Durante el día de la simulación de Agosto y como ya se ha mencionado anteriormente, el objetivo es que el acabado superficial de la cubierta sea blanco. Para ello, como ya hemos comentado en la ilustración 59, si se produce un cambio de color de negro a blanco cuando la temperatura superficial aumenta de 25°C obtenemos un funcionamiento óptimo para el caso de demandas en verano.



Se ha mencionado en un apartado anterior que hay un ahorro energético mensual del mes de agosto al cambiar de blanco a negro es de un 77,26% (ver ilustración 53 página 46). Para este caso del día 3 de agosto del 2012 el ahorro total de la demanda al cambiar de un acabado blanco a negro es de un 66%.

Ilustración 62: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.

MADRID:

Para el caso de la ZC de Madrid se han analizado los siguientes días del mes:

- 1.- Sábado 12 de Enero del 2002, día con mayor radiación solar del mes con mayor demanda de calefacción.
- 2.- Sábado 27 de Abril del 2002, día con demanda de refrigeración y calefacción.
- 3.- Sábado 12 de Julio del 2002, día con mayor radiación solar del mes con mayor demanda de refrigeración.

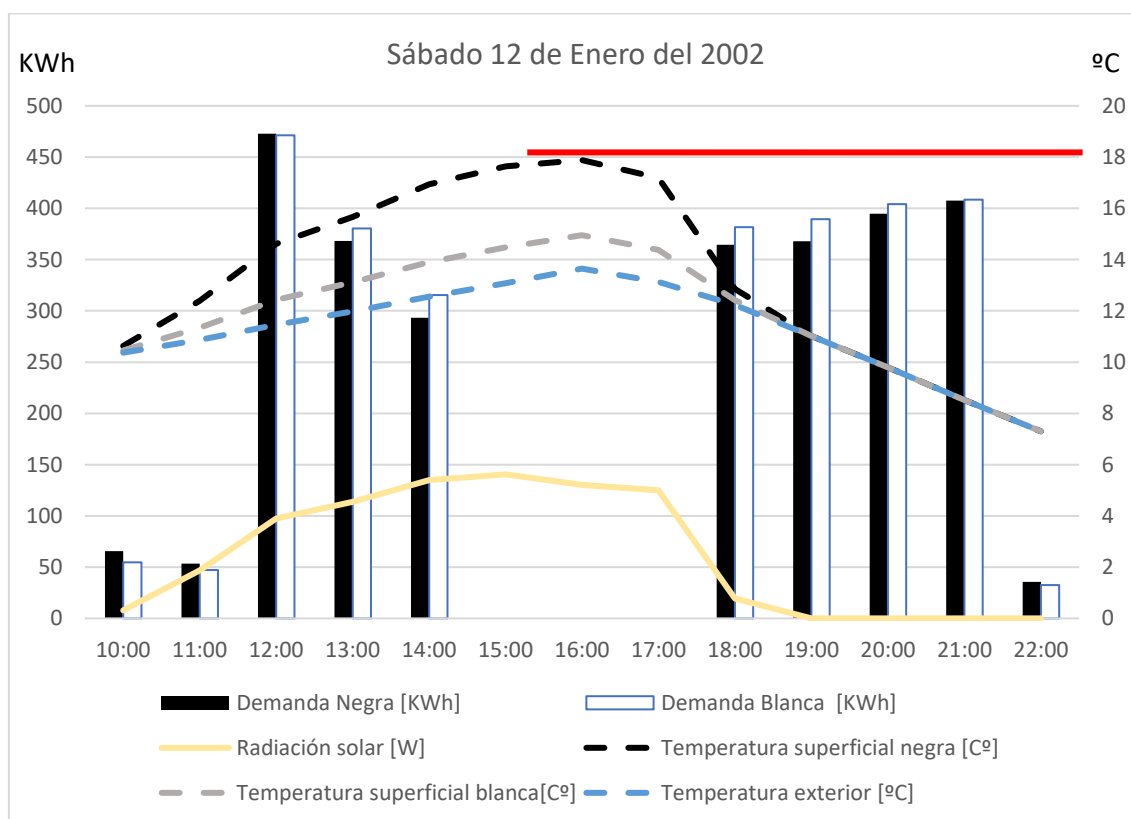
ENERO:

Ilustración 63 : Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 12 de Enero del 2002 en Madrid. Ilustración: propia

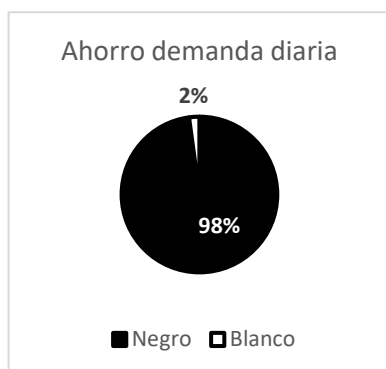


Ilustración 64: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.

En la ilustración 63, se observa que en el mes de Enero la cubierta tiene menor demanda excepto en las primeras horas de la mañana de 10:00 a 11:00 y es debido a que el negro disipa más calor por la noche.

Los valores máximos de temperatura superficial negra es de 18°C, a partir de este valor puede cambiar de negro a blanco.

El ahorro energético de un acabado negro respecto uno blanco es del 2%.

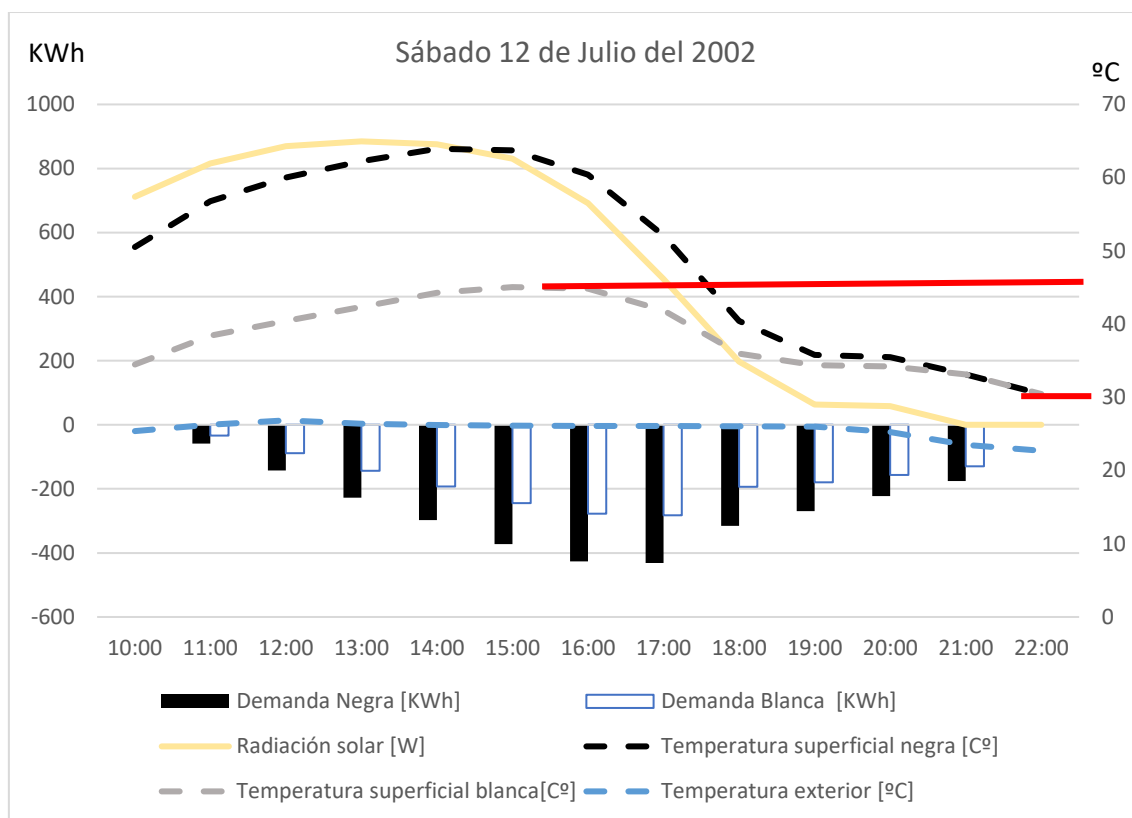
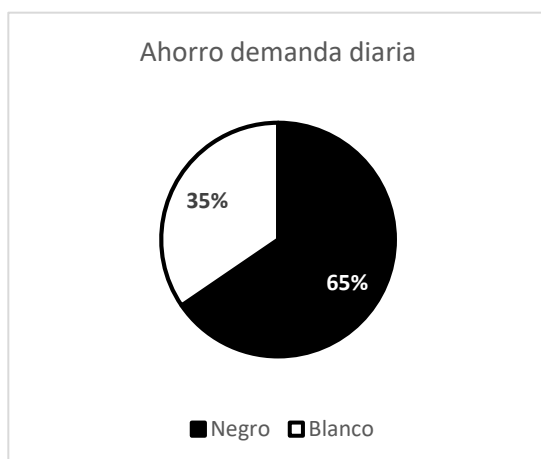
JULIO:

Ilustración 65: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 03 de Julio del 2002 en Madrid. Ilustración: propia

Durante el día de la simulación de Julio y como ya se ha mencionado anteriormente, el objetivo es que el acabado superficial de la cubierta sea blanco. Se extrae como conclusión de la ilustración 65 que la cubierta blanca trabajaría con valores de temperaturas superficiales de 46°C máximo y 30 °C mínimo.

Como se ha observado anteriormente (ver ilustración 63 pág. 53) en el mes de invierno la temperatura superficial máxima para el color negro es de 18°C. Para el caso de un día de verano, la temperatura de la cubierta blanca está entre 30 y 45°C.



También ha mencionado en un apartado anterior que el ahorro energético mensual del mes de julio al cambiar de blanco a negro es de un 28,06% (ver ilustración 56 pagina 48). Para este caso del día 12 de Julio del 2012 el ahorro total de la demanda al cambiar de un acabado blanco al negro es de un 35%, un 7% mayor al ahorro medio mensual.

Ilustración 66: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.

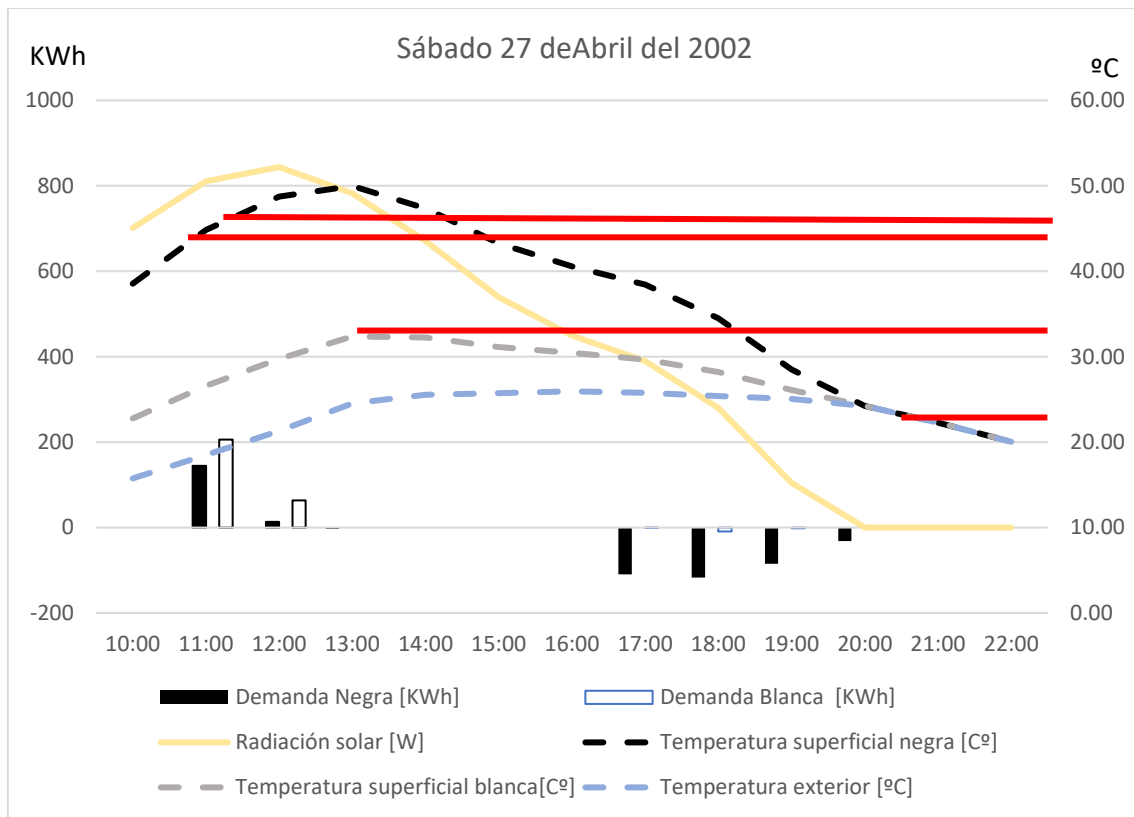
ABRIL:

Ilustración 67: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 27 de Abril del 2002 en Madrid. Ilustración: propia

Se observa en la ilustración 67 que para el mes de Abril en un día donde hay demanda de refrigeración y calefacción al mismo tiempo interesa que de 10:00 a 12:00 de la mañana el color del acabado superficial sea negro, que es donde hay menor demanda. Que de 13:00 a 16:00 da igual el valor porque no hay demandas y a partir de las 17:00 de la tarde debería ser blanco.

Así pues, si de 10:00 a 12:00 la temperatura superficial negra esta entre los 44 y 45°C y que de 13:00 en adelante con el acabado superficial blanco nos encontramos en un rango de temperatura 32 a 20°C. Pero como ya se ha mencionado anteriormente en el mes de enero (más restrictivo por cuestiones de demanda de calefacción) ya se ha concluido que el cambio de temperatura de negro a blanco es de temperaturas superiores a 18°C por esto nunca se va a llegar a una temperatura superficial de 44°C del mes de Abril. Así pues, en el día 27 de Abril del 2002 la cubierta estaría de color blanco todo el día. Se limita así la temperatura de transición a 25°C para el caso de Madrid por los meses intermedios.

4.3.- Cálculo del coste óptimo

Como se ha mencionado anteriormente, el ahorro de la demanda al aplicar un cambio de color en cubierta se consigue en tres casos:

1. Caso 1: pasando de negro a blanco,
2. Caso 2: pasando de negro a termocrómico
3. Caso 3: de blanco a termocrómico

La evaluación del coste óptimo se va a usar comparando la aplicación de pintura en los 3 casos para el caso de NBE-97, que es donde hay más ahorro de la demanda energética. Se ha considerado la pintura para hacer el comparativo porque es el termocrómico más al alcance y comercializado. Por lo tanto, se va a aplicar:

1. Caso 1: Se aplica pintura blanca sobre cubierta existente negra
2. Caso 2: Se aplica una pintura termocrómica sobre una cubierta existente negra
3. Caso 3: Se aplica una pintura termocrómica sobre una cubierta existente blanca

Según datos de Red eléctrica de España, el precio de la energía para consumidores no domésticos es de **0,1137 €/KWh** (precio consultado el 18/07/2019).

Al mismo tiempo, según datos extraídos de Eurostat[15] , se muestra que la evolución de los precios de la electricidad para los consumidores no domésticos del 2008 al 2014 sufrió un incremento aproximadamente un 23% mientras que del 2014 al 2017 sufre un leve decrecimiento.

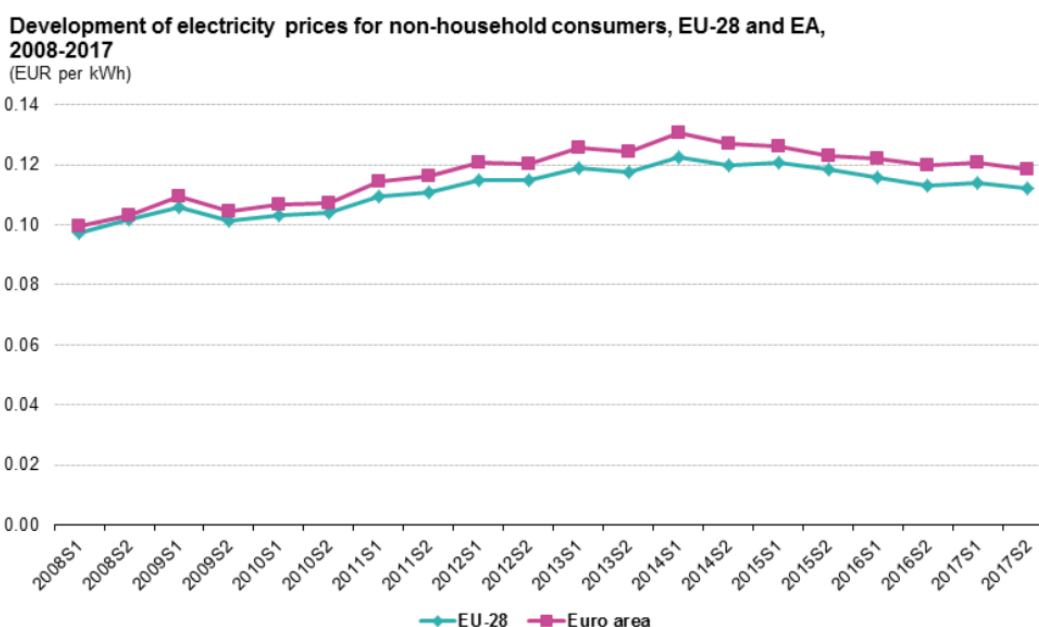


Ilustración 68: Evolución del precio de la electricidad para consumidores no domésticos en miembros de la unión Europea y miembros de área europea. Fuente: [15]

[15] "Estadísticas de los precios de la electricidad - Statistics Explained." [Online]. [Accessed: 01-Oct-2019].

Para realizar el cálculo del coste óptimo de la aplicación de un acabado superficial de pintura termocrómica, se va a considerar un intervalo de tiempo de 30 años. Como no se puede prever el precio de mercado de la energía a 30 años, según datos extraídos de la ilustración 71 se va a considerar un incremento del 3% anual sobre el precio de la energía eléctrica.

Al aplicar el intervalo de tiempo de 30 años, la cubierta también va a tener un cierto mantenimiento. Este se va a considerar con un incremento del 0,5% anual sobre el precio total.

<i>Precio pintura</i>				
	Superficie cubierta [m ²]	Precio [€/l]	Poder de cubrimiento [m ² /l]	Precio final cubierta [€]
<i>Pintura blanca</i>	2800	4,83	8,7	1.554,48
<i>Pintura termocrómica</i>	2800	115,01	4	87.507,00

Tabla 15: Precio de pintura termocrómica y pintura blanca Fuente: Precios consultados en AMAZON (18-07-2019)

Se puede apreciar que la pintura termocrómica que hay actualmente en el mercado tiene dos factores en contra comparado con una pintura blanca. El primero es el precio, pues es un elemento que todavía no está muy comercializado y segundo es el poder de recubrimiento, que una pintura termocrómica tiene la mitad de poder de recubrimiento respecto una pintura normal.

Para el cálculo se ha considerado la mano de obra según base de datos de ITeC BEDEC (2019), se considera el coste de pintar con un acabado termocrómico el doble, ya que su poder de recubrimiento es la mitad.

ZONA CLIMÁTICA BARCELONA:

Para el caso de los termocrómicos (caso 2 y 3) su precio actual de mercado no puede competir contra el de una pintura convencional, por eso la inversión inicial llega a los 80.000€. Como se aprecia en la ilustración 69, para el caso 2, no es hasta el año 29 que se empieza a amortizar la inversión inicial. Es por esto que en la actualidad para el caso de Barcelona sale más a cuenta el caso 1, pintar una cubierta negra existente de blanco.

Para el caso 3, en 30 años no habría retorno económico, así que sale más a cuenta dejar la cubierta existente blanca a pintarla con termocrómico.

A pesar de que se haya considerado un % de mantenimiento para el cálculo, el fabricante no especifica la durabilidad del material, ni si su funcionamiento sigue igual al paso del tiempo, es por esto que, en el intervalo de tiempo de los 30 años posiblemente la cubierta se tenga que pintar otra vez, y el retorno económico no se llegue a generar.

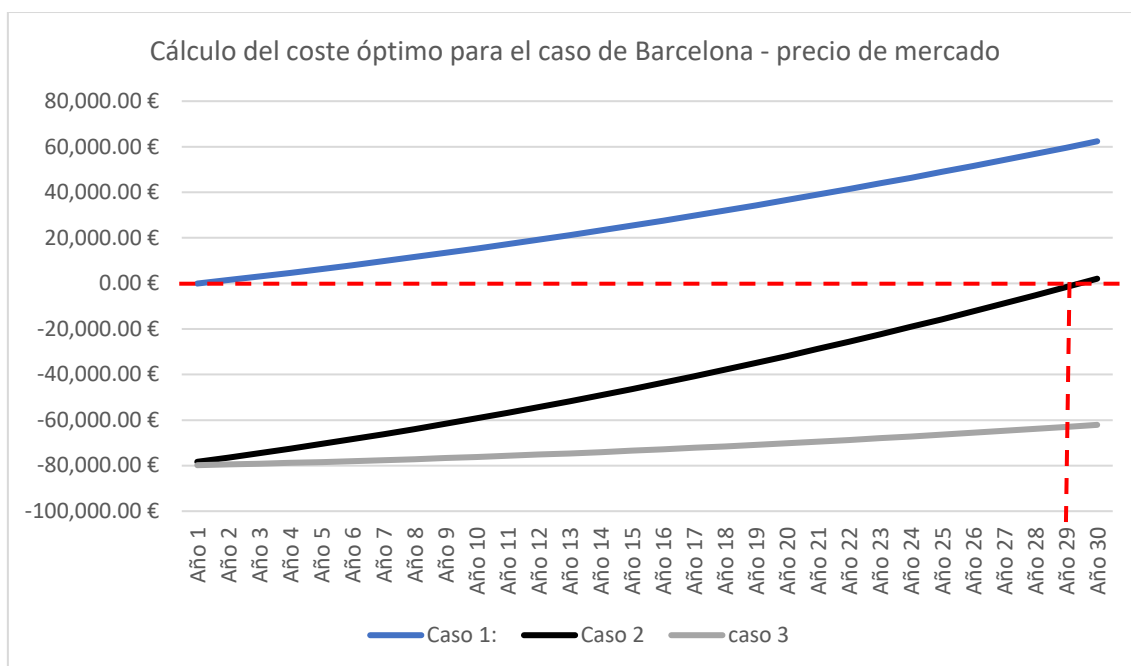


Ilustración 69: Cálculo del coste óptimo para el caso de Barcelona con la pintura termocrómica al precio de mercado. Fuente: propia

Si la demanda del material termocrómico se globaliza, los retornos económicos serían más competitivos. En la ilustración 70 se iguala el precio de la pintura termocrómica al precio de la pintura blanca actual y vemos que el retorno económico se genera des del año 1 de su aplicación.

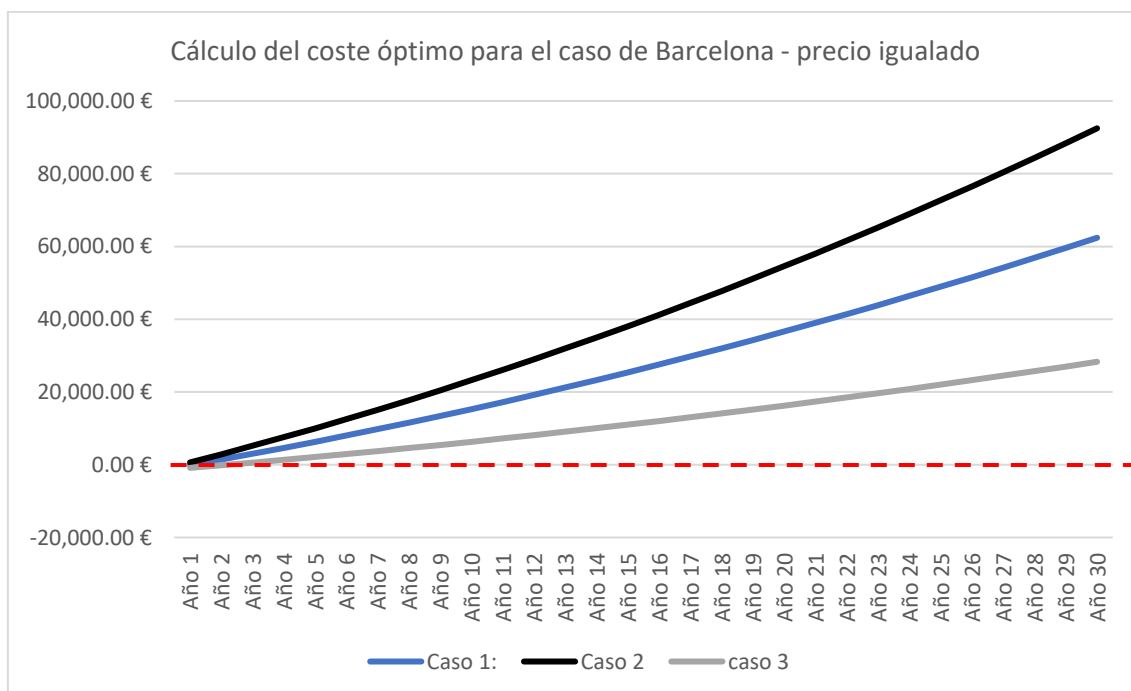


Ilustración 70: Cálculo del coste óptimo para el caso de Barcelona con la pintura termocrómica al mismo precio que una pintura blanca. Fuente: propia

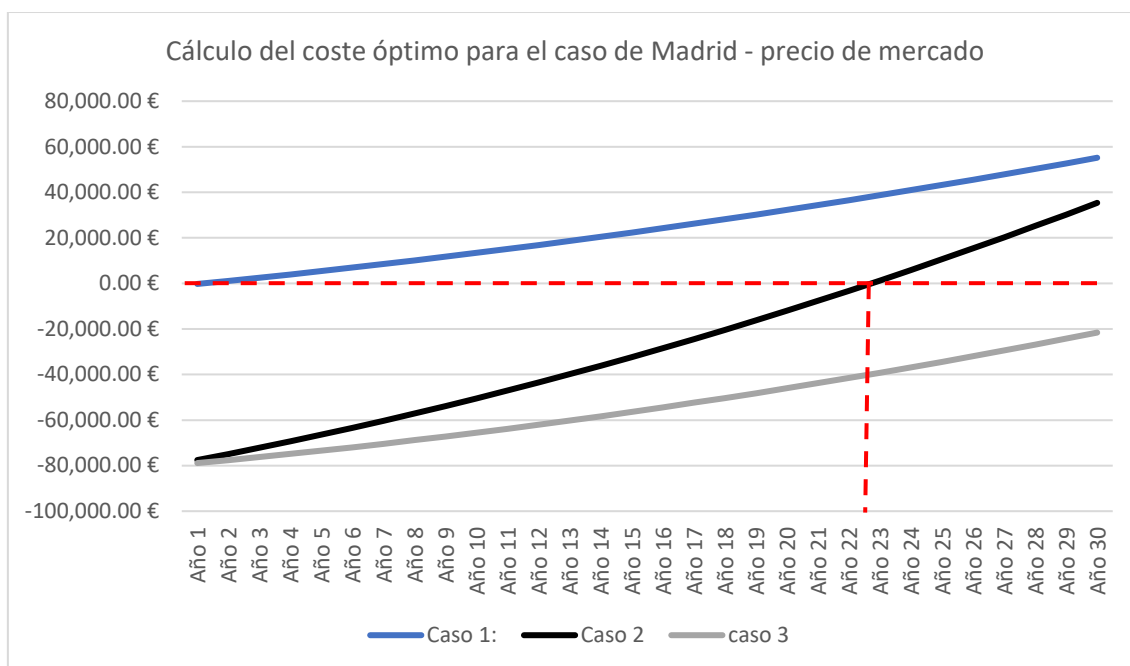
ZONA CLIMÁTICA MADRID:

Ilustración 71: Cálculo del coste óptimo para el caso de Madrid con la pintura termocrómica al precio de mercado. Fuente: propia

Para el caso de los Madrid pasa algo parecido que al de Barcelona como se muestra en la ilustración 71, el caso 1 sigue siendo el más rentable. Para el caso 2, se llega a tener un retorno económico a partir del año 22. Comparándolo con Barcelona, el % de ahorro energético en Barcelona es mayor que en Madrid, pero en Madrid se llega al retorno económico antes que en Barcelona porque las demandas son mucho mayores.

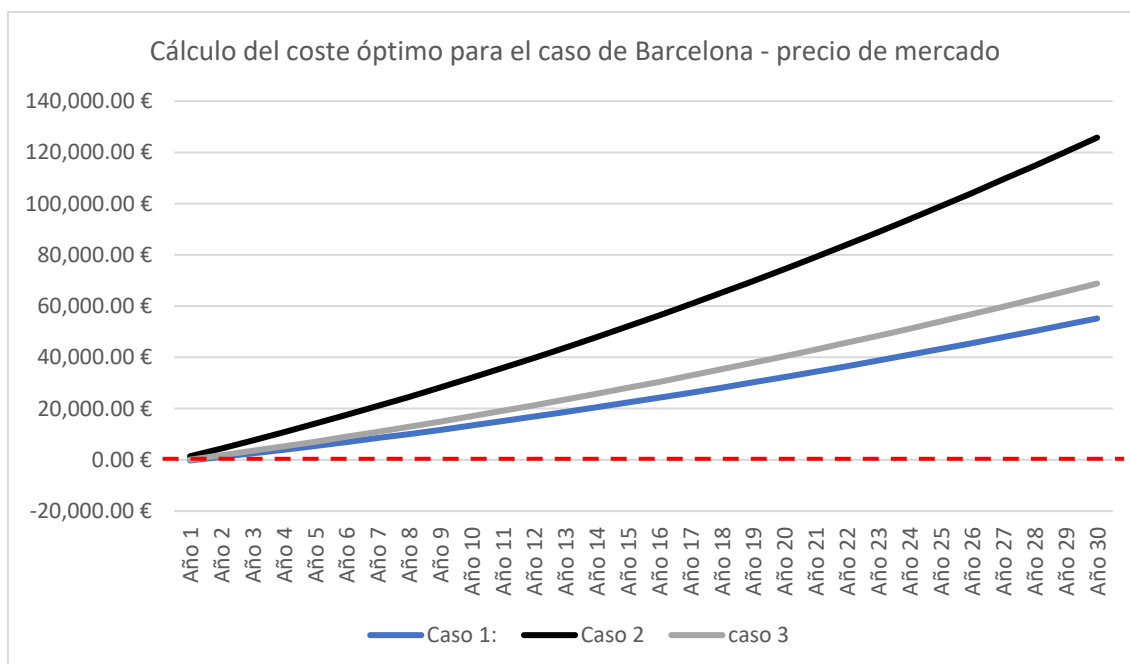


Ilustración 72: Cálculo del coste óptimo para el caso de Madrid con la pintura termocrómica al mismo precio que una pintura blanca Fuente: Propia

Como en la zona climática de Barcelona, si el precio de la pintura termocrómica fuera el mismo que el de la pintura blanca los retornos se generan desde el año 1. Al mismo tiempo, comparando la ilustración 70 y 72 podemos apreciar que, para la zona climática de Barcelona, el caso 3 (pasar de una cubierta blanca a una termocrómica) tiene menor retorno económico, esto es debido a que el ahorro energético es menor, en cambio como para la zona climática de Madrid las demandas son mayores, el termocrómico para ambos casos se amortiza antes.

Aunque se aprecia que los retornos económicos hoy en día no se amortizan hasta un largo periodo de tiempo se va a hacer una comparativa con los Kg de Co2 que se ahorran anualmente.

Conversión del ahorro anual de KWh a kg de CO₂ Barcelona

	Demanda en KW	Demanda en Kg de Co2*	Árboles para compensar la demanda**
Caso 1	12.421,66	4.596,01	230
Caso 2	18.245,16	6.750,71	338
Caso 3	5.823,5	2.154,7	108

Tabla 16: Conversión del ahorro anual de Kwh a Kg de CO₂ para el caso de Barcelona con la normativa NBE-79 Fuente: CeroCo2 conversor online [13] *considerando que 1kWh = 0,37 Kg de CO₂ ** considerando que un árbol absorbe aproximadamente entre 10-30 kg de CO₂ al año.

Conversión del ahorro anual de KWh a kg de CO₂ Madrid

	Demanda en KWh	Demanda en Kg de Co2*	Árboles para compensar la demanda**
Caso 1	13.664,19	5.055,75	253
Caso 2	24.689,53	9.135,13	457
Caso 3	11.664,19	4.315,75	215

Tabla 17 : Conversión del ahorro anual de Kwh a Kg de Co2 para el caso de Madrid con la normativa NBE-79 Fuente: CeroCo2 conversor online [13] *considerando que 1kWh = 0,37 Kg de CO₂ ** considerando que un árbol absorbe aproximadamente entre 10-30 kg de CO₂ al año

A priori estos valores de kg de CO₂ pueden no ser significantes, para ello se han comparado con los kg de CO₂ que puede absorber un árbol al año. En la tabla 35 vemos que para el caso 2, que es el que tiene más ahorro energético, la aplicación de una pintura termocrómica sobre una cubierta negra compensaría 9.135,13 Kg de CO₂ que equivale a lo que absorberían 457 árboles en un año que equivale a 3 hectáreas de bosque español (Según datos de INE el año 2017 el inventario forestal nacional era de 7500 millones, una media de 14.880 árboles por km² es decir, 148,8 árboles por hectárea, aunque las medidas de la densidad arbórea son difíciles de calcular, puesto que depende del tipo de árbol y de la ubicación, ayuda a tener unas dimensiones métricas del ahorro energético nacional)

Aunque los retornos económicos hoy en día no se amortizan hasta un largo periodo de tiempo, se considera que se debería invertir en esta tecnología, pues es un buen método para reducir las emisiones de CO₂.

No se ha contabilizado la huella de carbono que tiene implícita el propio material termocrómico, pues no se han encontrado datos.

[13] "Calculo electrico - Calculo GEI CeroCO2." [Online]. Available: <https://www.ceroco2.org/calculadoras/electrico>. [Accessed: 05-Oct-2019].

5.- Conclusiones

5.1.- Conclusiones sobre la demanda anual en dos zonas climáticas.

Se concluye que para la ZC de Barcelona:

- Se consiguen ahorros energéticos del 1% al 4% de un acabado termocrómico vs un acabado blanco y ahorros del 2% al 12% de un termocrómico vs un acabado negro.
- A mayor transmitancia térmica menor es la demanda de calefacción y por lo contrario a menores transmitancias menor es la demanda de refrigeración en ambos colores.

Se concluye que para la ZC de Madrid:

- Se consiguen ahorros energéticos del 1% al 4% de un acabado termocrómico vs un acabado blanco y ahorros del 2% al 8% de un termocrómico vs un acabado negro.
- Las demandas totales son el doble respecto ZC de Barcelona y aunque el % de ahorro energético sea menor que el caso de Barcelona, el ahorro en KWh es mayor.
- A mayor transmitancia térmica menor es la demanda de calefacción y de refrigeración, excepto en los casos de acabado superficial negro que la demanda de refrigeración aumenta.

Conclusiones comunes para las dos ZC:

- el ámbito de aplicación más óptimo es para el caso de transmitancias térmicas elevadas (NBE 79), por esto el ámbito de aplicación podría ser para rehabilitaciones energéticas.
- Aunque en el caso de Madrid los % de ahorros energéticos son menores, la cantidad de KWh de ahorro es mayor que en Barcelona.

5.2.- Conclusiones sobre la demanda mensual en dos zonas climáticas

Se concluye que para la ZC de Barcelona:

- para obtener un mayor ahorro energético los meses de Junio a Agosto el termocrómico debería tener un acabado superficial blanco, y de Septiembre a Mayo negro.

Se concluye que para la ZC de Madrid:

- para los meses de Mayo a Septiembre debería ser blanco y de Octubre a Abril negro.

Conclusiones comunes para las dos ZC:

El mayor % de ahorro energético se produce en los meses de demanda energética mixta y de refrigeración, es decir primavera, verano y otoño.

5.3.- Conclusiones sobre la temperatura superficial en dos ZC.

Se concluye que:

- Para el caso de la ZC de Barcelona la temperatura de transición de un estado original negro a uno blanco es de unos 25°C.
- Para el caso de la ZC de Madrid la temperatura de transición de un estado original negro a uno blanco es de unos 25°C.

5.4.- Conclusiones sobre el coste óptimo de aplicar pintura termocrómica

Se concluye que para el caso de la normativa NBE 79 con mayores transmitancias:

Para la ZC de Barcelona con el precio de mercado actual de la pintura termocrómica:

- pasar de una cubierta negra a una blanca se amortiza el coste des del año 1 la inversión
- pasar de una negra a una termocrómica se amortizaría la inversión económica en 29 años.
- pasar de una cubierta blanca a una termocrómica no se amortizaría la inversión en 30 años.

Por lo tanto, actualmente es más óptimo pintar la cubierta de color blanco.

Para la ZC de Madrid con el precio de mercado actual de la pintura termocrómica :

- pasar de una cubierta negra a una blanca se amortiza el coste des del año 1 la inversión
- pasar de una negra a una termocrómica se amortizaría la inversión económica en 22 años.
- pasar de una cubierta blanca a una termocrómica no se amortizaría la inversión en 30 años.

Por lo tanto, actualmente el coste óptimo se da en una la cubierta de color blanco.

Si los precios de mercado se igualaran a la pintura convencional, los retornos se generarían des del año 1.

Aunque los retornos económicos hoy en día no se amortizarían hasta un largo periodo de tiempo, se considera que se debería invertir en esta tecnología, puesto que es un buen método para reducir las emisiones de CO2 y por lo tanto contribuir a la mitigación del cambio climático.

6.- Futuras líneas de investigación

A continuación, se plantean una serie de preguntas e ideas que conllevarían posibles líneas de investigación futuras.

1. Qué repercusión tiene la utilización de estos acabados para los elementos constructivos, en cuanto a sus propiedades técnicas, por ejemplo, pensar en las dilataciones térmicas pueden ser constantes durante todo el año.
2. ¿Qué hubiera pasado si el sistema constructivo hubiera sido pensado con inercia térmica?
3. ¿Qué pasaría si la relación %superficie - % cubierta fuera distinto?
4. ¿Qué pasaría en otro uso u otro tipo de edificación?
5. ¿Qué pasaría en zonas climáticas distintas como Sevilla o Almería?
6. ¿Qué cantidad de aislamiento térmico se puede llegar a ahorrar al aplicar un acabado termocrómico?
7. ¿Está el mercado preparado para ofrecer distintas gamas de temperatura de transición por cada ubicación? Pues, aunque en CTE clasifica ciertas zonas climáticas las irradiancias solares en cada ubicación son distintas.

7.- Referencias bibliográficas:

- [1] "Clean energy for all Europeans | Energy." [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>. [Accessed: 05-Aug-2019].
- [2] Hamilton Matt, *Tasmania: extraña y sorprendente*. Austria, 2017.
- [3] C. G. Granqvist, "Recent progress in thermochromics and electrochromics: A brief survey," *Thin Solid Films*, vol. 614, pp. 90–96, Sep. 2016.
- [4] M. J. Gavira-Galocha, G. Pérez-Álvarez-Quiñones, and C. Acha-Román, "Estudio comparativo del efecto de las propiedades ópticas del revestimiento exterior de fachada sobre la demanda energética de un edificio," *Dyna*, vol. 94, no. 2, pp. 216–220, 2018.
- [5] A. L. Pisello, "State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities," *Sol. Energy*, vol. 144, pp. 660–680, Mar. 2017.
- [6] S. Zheng, Y. Xu, Q. Shen, and H. Yang, "Preparation of thermochromic coatings and their energy saving analysis," *Sol. Energy*, vol. 112, pp. 263–271, Feb. 2015.
- [7] T. Karlessi, M. Santamouris, K. Apostolakis, A. Synnefa, and I. Livada, "Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures," *Sol. Energy*, vol. 83, no. 4, pp. 538–551, Apr. 2009.
- [8] G. Perez, V. R. Allegro, M. Corroto, A. Pons, and A. Guerrero, "Smart reversible thermochromic mortar for improvement of energy efficiency in buildings," *Constr. Build. Mater.*, vol. 186, pp. 884–891, 2018.
- [9] "Centro de materiales de Barcelona - Materfad." [Online]. Available: <http://es.materfad.com/>. [Accessed: 22-Sep-2019].
- [10] J. de Isabel, M. García, and C. Egido, "Guía de auditorías energéticas en centros comerciales," p. 164, 2010.
- [11] "ADRASE - Acceso a datos de radiación solar de España - Inicio." [Online]. Available: <http://www.adrase.com/>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [12] "Design Builder." .
- [13] "Calculo electrico - Calculo GEI CeroCO2." [Online]. Available: <https://www.ceroco2.org/calculadoras/electrico>. [Accessed: 05-Oct-2019].
- [14] G. Hernández, "Fachadas disipadoras de calor:," 2016.
- [15] "Estadísticas de los precios de la electricidad - Statistics Explained." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/es#Precios_de_la_electricidad_para_los_consumidores_no_dom.C3.A9sticos. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [16] D. Kula, E. Ternaux, Q. Hirsinger, M. Jannelle, B. Gomez, and MatériO (Firm), *Materiology : the creatives guide to materials and technologies*. Amsterdam : Frame, 2014.

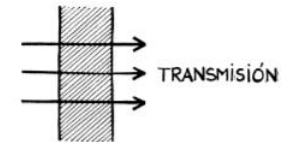
- [17] “Cemento termocrómico, el futuro de los materiales de construcción - EADIC - Cursos y Master para Ingenieros y Arquitectos.” [Online]. Available: <https://www.eadic.com/cemento-termocromico-el-futuro-de-los-materiales-de-construccion/>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [18] R. Sastre i Sastre, *Propietats dels materials i elements de construcció [Recurs electrònic] / Ramon Sastre Sastre*. Barcelona : Edicions UPC, 2000.
- [19] O. Muntané, “Análisis técnicas i físiques del comportament de les cobertes ‘fresques’ (Cool roofs) el cas de catalunya,” 2016.

8.- ANEXO:

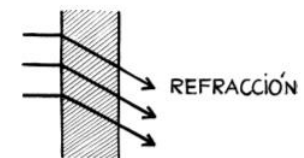
8.1.- Anexo I: Conceptos

A continuación, se exponen ciertas definiciones para entender y analizar ciertos conceptos que se irán nombrando a lo largo de la tesina. Estos conceptos están extraídos de distintas fuentes como el libro "Propietats dels materials i elements de construcció"[18] o del CTE DB HE.

Transmitancia: Acción por la cual la superficie de un objeto deja pasar, totalmente o parcialmente, la energía de una onda que le incide.



Reflectancia: Acción por la cual la superficie de un cuerpo hace que la energía de una onda que le incide, totalmente o parcialmente, no penetre y se aleje tomando una nueva dirección. Es decir, capacidad de reflejar luz de un cuerpo.

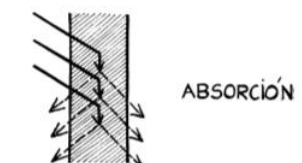


Absortancia: Valor numérico de la absorción que se produce cuando la luz o cualquier otra energía radiante atraviesa un material o un elemento constructivo. Es decir, capacidad de absorber luz de un cuerpo.



Unidad de medida: %

Emisividad: Relación entre el poder emisivo total de un cuerpo y el poder emisivo total de un cuerpo negro perfecto a la misma temperatura.



Es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura.

Unidad de medida: %

Es decir:

Una baja reflectancia => indica una alta absorptancia solar. El recubrimiento absorbe casi toda la luz que incide en él (color negro)

Una baja reflectancia => muy baja emittancia térmica (color blanco)

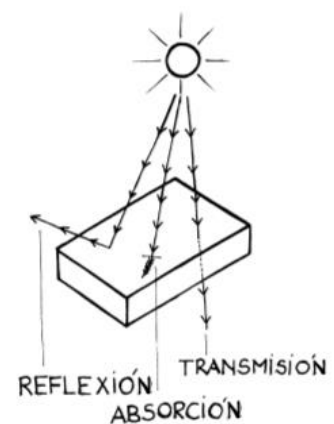


Ilustración 73: Descripción gráfica de transmisión, refracción, reflexión y absorción.
Fuente: Propietats dels materials i elements de construcció, Ramón Sastre.

[18] R. Sastre i Sastre, Propietats dels materials i elements de construcció [Recurs electrònic] / Ramon Sastre Sastre. Barcelona : Edicions UPC, 2000.

En resumen, un recubrimiento ideal tendría una baja reflectancia en el rango solar (invierno) y alta reflectancia en el rango infrarojo(IR) (verano). El color negro tiene como propiedad una alta absorción solar y una baja reflectancia, en cambio el blanco tiene una alta reflectancia y una baja emitancia térmica.

Irradiancia solar: Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en kW/m²

Irradiación solar: Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia solar durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se mide en kWh/m².

Se define el significado de "cool roofs" como aquellas cubiertas, las cuales son capaces de mantener su capa superficial a temperatura parecida a la temperatura del aire a pesar de la radiación incidente. Las "cool roofs" se pueden lograr con la técnica de las cubiertas inundables, las ajardinadas y evidentemente con cubiertas con altos índices de reflexión y emisividad.[19]

[19] O.Muntané, "Análisis técnicas i físiques del comportament de les cobertes 'fresques' (Cool roofs) el cas de catalunya," 2016.

8.2.- Anexo II: Temperatura superficial

En este tipo de materiales termocrómicos es muy importante la temperatura de transición, aquella temperatura en la que el material va a cambiar de un color a otro. Para poder cuantificar la temperatura de la superficie de cubierta del caso de estudio se ha usado de Referencia libro *“Pesado versus ligero, la influencia de la inercia térmica de los cerramientos en el confort en diferentes zonas climáticas. Jordi Pagès Serra (2010)”* donde se muestra la fórmula de la modificación de la temperatura máxima media por la influencia de la Radiación solar:

$$T_{sa} = T_{ext} + [I \times a \times R_{se}]$$

I: Irradiancia, radiación solar incidente en W/m²

T_{sa}: Temperatura media mensual de la superficie de la cubierta. Temperatura sol – aire

T_{ext}: Temperatura media mensual del aire exterior.

A: Coeficiente de absorción superficial (para colores claros y materiales lisos: 0,2 , para colores oscuros y materiales rugosos: 0,65)

R_{se}: Resistencia del aire exterior: 0,05 m² °C/W

(suponiendo que la temperatura máxima media se produce en el momento de máxima irradiancia)

Se necesitan los datos de irradiancia y temperatura media mensual para poder aplicar la fórmula. Para ello se ha consultado en la base de datos de ADRASE[11] que proporciona los datos de la radiación solar sobre el plano horizontal en cada zona climática.

[11] “ADRASE - Acceso a datos de radiación solar de España - Inicio.” [Online]. Available: <http://www.adrase.com/>. [Accessed: 26-Sep-2019].

8.3.- Anexo III: Tipología edificatoria



A continuación, se muestra un pequeño análisis de los edificios terciarios comerciales de una cadena conocida como es "Decathlon". Se ha escogido esta tipología porque se considera que puede ser un modelo replicable de edificación. Esta tipología edificatoria está caracterizada por encontrarse en zonas industriales alejadas de los núcleos urbanos evitando así una afectación de sombra sobre las cubiertas.


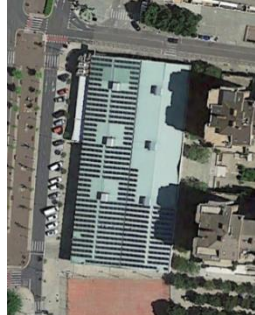




Este análisis sirve para extraer unas premisas de trabajo, que van a servir para definir un patrón edificatorio para el modelo de calculo de esta tesina.

Ilustración 74: Ubicación centros comerciales Decathlon en catalunya. Fuente: Decathlon

Tabla edificios Decathlon Catalunya



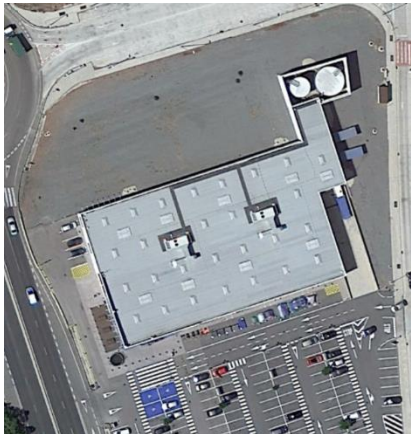

En las tablas que se muestran a continuación se clasifican ciertos parámetros que definen el modelo edificatorio de edificio terciario a analizar. Los datos se han extraído de Google Earth.


Edificio 1		
	Ubicación:	Avinguda de Miquel Batllori, 6, 25001 Lleida
	Dimensiones:	50x60m
	Altura:	9m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 18x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 4x4m
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> negra <u>Fachadas:</u> blancas <u>Fachada acceso:</u> marrón
	Año construcción:	2010-2011
	Orientación acceso:	Nor-este

Edificio 2		
 	Ubicación:	Carrer del Bisbe Irurita, 25, 25006 Lleida
	Dimensiones:	80x40m
	Altura:	7m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 30x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 6,5x4m
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Verde pastel <u>Fachadas:</u> Marrón pastel <u>Fachada acceso:</u> marrón
	Año construcción:	Anterior al 2004
	Orientación acceso:	Norte
Edificio 3		
 	Ubicación:	P.I. Creu del Batlle Ctra N-II, km. 459, 25194 Lleida
	Dimensiones:	80x50m
	Altura:	10m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 10x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 6,5x4m
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Blanca <u>Fachadas:</u> gris
	Año construcción:	Anterior al 2004
	Orientación acceso:	Sur-este
Edificio 4		
 	Ubicación:	Poligon Les Salines, Carrer de la Riera Roja, 33, 35, 08830 Sant Boi de Llobregat, Barcelona
	Dimensiones:	40x75m
	Altura:	8m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 20x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 8x4m
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> negra <u>Fachadas:</u> Azul
	Año construcción:	Anterior al 2004
	Orientación acceso:	Nor-este

Edificio 5		
 	Ubicación:	Poligon Les Salines, Carrer de la Riera Roja, 33, 35, 08830 Sant Boi de Llobregat, Barcelona
	Dimensiones:	65x85m
	Altura:	8m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 22x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 6x4m
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> blanca <u>Fachadas:</u> blanca <u>Fachada acceso:</u> marrón
	Año construcción:	Anterior al 2001
	Orientación acceso:	Nor-este
Edificio 6		
 	Ubicación:	Av. Tèxtil, 1, 08223 Terrassa, Barcelona
	Dimensiones:	50x100m
	Altura:	8m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 15x4 m <u>Puerta carga y descarga:</u> 6x4m
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Blanca <u>Fachadas:</u> Blanca
	Año construcción:	Original 2001 Ampliación 2014
	Orientación acceso:	Nor-oeste
Edificio 7		
 	Ubicación:	Poligon, Rotonda Mas Gri, s/n, 17003, Girona
	Dimensiones:	80x60m
	Altura:	8m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 16x4 <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Blanca <u>Fachadas:</u> Blanca
	Año construcción:	Anterior al 2002
	Orientación acceso:	Este

Edificio 8															
 	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación:</td> <td>Carrer Vitòria-Gasteiz, 8, 17003 Girona</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones:</td> <td>90x40m</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>7m</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones Aberturas:</td> <td><u>Acceso:</u> 25x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 4x4m</td> </tr> <tr> <td>Color acabado:</td> <td><u>Cubierta:</u> Negra <u>Fachadas:</u> Gris</td> </tr> <tr> <td>Año construcción:</td> <td>Anterior al 2002</td> </tr> <tr> <td>Orientación acceso:</td> <td>Este</td> </tr> </table>	Ubicación:	Carrer Vitòria-Gasteiz, 8, 17003 Girona	Dimensiones:	90x40m	Altura:	7m	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 25x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 4x4m	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Negra <u>Fachadas:</u> Gris	Año construcción:	Anterior al 2002	Orientación acceso:	Este
	Ubicación:	Carrer Vitòria-Gasteiz, 8, 17003 Girona													
	Dimensiones:	90x40m													
	Altura:	7m													
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 25x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 4x4m													
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Negra <u>Fachadas:</u> Gris													
Año construcción:	Anterior al 2002														
Orientación acceso:	Este														
Edificio 9															
 	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación:</td> <td>Carrer de Santiago Rusiñol, 5, 17250 Platja d'Aro, Girona</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones:</td> <td>60x27m</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>7m</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones Aberturas:</td> <td><u>Acceso:</u> 35x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m</td> </tr> <tr> <td>Color acabado:</td> <td><u>Cubierta:</u> Blanca <u>Fachadas:</u> Marrón y blanca</td> </tr> <tr> <td>Año construcción:</td> <td>2006</td> </tr> <tr> <td>Orientación acceso:</td> <td>Norte</td> </tr> </table>	Ubicación:	Carrer de Santiago Rusiñol, 5, 17250 Platja d'Aro, Girona	Dimensiones:	60x27m	Altura:	7m	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 35x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Blanca <u>Fachadas:</u> Marrón y blanca	Año construcción:	2006	Orientación acceso:	Norte
	Ubicación:	Carrer de Santiago Rusiñol, 5, 17250 Platja d'Aro, Girona													
	Dimensiones:	60x27m													
	Altura:	7m													
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 35x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m													
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Blanca <u>Fachadas:</u> Marrón y blanca													
Año construcción:	2006														
Orientación acceso:	Norte														
Edificio 10															
 	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación:</td> <td>Carrer 3, 4, Polígono Comercial, 43006 Gavarres, Tarragona</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones:</td> <td>85x50m</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>8m</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones Aberturas:</td> <td><u>Acceso:</u> 22x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m</td> </tr> <tr> <td>Color acabado:</td> <td><u>Cubierta:</u> negra <u>Fachadas:</u> blanca</td> </tr> <tr> <td>Año construcción:</td> <td>Original anterior al 2004 Ampliación 2014</td> </tr> <tr> <td>Orientación acceso:</td> <td>Nor-oeste</td> </tr> </table>	Ubicación:	Carrer 3, 4, Polígono Comercial, 43006 Gavarres, Tarragona	Dimensiones:	85x50m	Altura:	8m	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 22x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> negra <u>Fachadas:</u> blanca	Año construcción:	Original anterior al 2004 Ampliación 2014	Orientación acceso:	Nor-oeste
	Ubicación:	Carrer 3, 4, Polígono Comercial, 43006 Gavarres, Tarragona													
	Dimensiones:	85x50m													
	Altura:	8m													
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 22x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m													
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> negra <u>Fachadas:</u> blanca													
Año construcción:	Original anterior al 2004 Ampliación 2014														
Orientación acceso:	Nor-oeste														

Edificio 11															
 	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación:</td> <td>Carretera de Bellisens a, Carrer de Nicaragua, 2, 43204 Reus, Tarragona</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones:</td> <td>50x40m</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>9m</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones Aberturas:</td> <td><u>Acceso:</u> 8x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m</td> </tr> <tr> <td>Color acabado:</td> <td><u>Cubierta:</u> Gris <u>Fachadas:</u> blanca <u>Fachada acceso:</u> marrón</td> </tr> <tr> <td>Año construcción:</td> <td>Anterior al 2009</td> </tr> <tr> <td>Orientación acceso:</td> <td>Sur-este</td> </tr> </table>	Ubicación:	Carretera de Bellisens a, Carrer de Nicaragua, 2, 43204 Reus , Tarragona	Dimensiones:	50x40m	Altura:	9m	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 8x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Gris <u>Fachadas:</u> blanca <u>Fachada acceso:</u> marrón	Año construcción:	Anterior al 2009	Orientación acceso:	Sur-este
	Ubicación:	Carretera de Bellisens a, Carrer de Nicaragua, 2, 43204 Reus , Tarragona													
	Dimensiones:	50x40m													
	Altura:	9m													
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 8x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m													
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Gris <u>Fachadas:</u> blanca <u>Fachada acceso:</u> marrón													
Año construcción:	Anterior al 2009														
Orientación acceso:	Sur-este														
Edificio 12															
	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación:</td> <td>Carretera de Tortosa a L'Aldea, C-42, 43500 Tortosa, Tarragona</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones:</td> <td>60x40m</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>7m</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones Aberturas:</td> <td><u>Acceso:</u> 10x4 m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m</td> </tr> <tr> <td>Color acabado:</td> <td><u>Cubierta:</u> Gris <u>Fachadas:</u> Blanca</td> </tr> <tr> <td>Año construcción:</td> <td>Entre 2010 y 2014</td> </tr> <tr> <td>Orientación acceso:</td> <td>Sur</td> </tr> </table>	Ubicación:	Carretera de Tortosa a L'Aldea, C-42, 43500 Tortosa , Tarragona	Dimensiones:	60x40m	Altura:	7m	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 10x4 m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Gris <u>Fachadas:</u> Blanca	Año construcción:	Entre 2010 y 2014	Orientación acceso:	Sur
	Ubicación:	Carretera de Tortosa a L'Aldea, C-42, 43500 Tortosa , Tarragona													
	Dimensiones:	60x40m													
	Altura:	7m													
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 10x4 m <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4m													
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Gris <u>Fachadas:</u> Blanca													
Año construcción:	Entre 2010 y 2014														
Orientación acceso:	Sur														
Edificio 13															
	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación:</td> <td>Carretera de Manlleu, 76, 90, 08500 Vic, Barcelona</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones:</td> <td>45x50m</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>8m</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones Aberturas:</td> <td><u>Acceso:</u> 5x4 <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4</td> </tr> <tr> <td>Color acabado:</td> <td><u>Cubierta:</u> Negra <u>Fachadas:</u> Blanca</td> </tr> <tr> <td>Año construcción:</td> <td>Entre 2006 y 2008</td> </tr> <tr> <td>Orientación acceso:</td> <td>Sur</td> </tr> </table>	Ubicación:	Carretera de Manlleu, 76, 90, 08500 Vic , Barcelona	Dimensiones:	45x50m	Altura:	8m	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 5x4 <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Negra <u>Fachadas:</u> Blanca	Año construcción:	Entre 2006 y 2008	Orientación acceso:	Sur
	Ubicación:	Carretera de Manlleu, 76, 90, 08500 Vic , Barcelona													
	Dimensiones:	45x50m													
	Altura:	8m													
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 5x4 <u>Puerta carga y descarga:</u> 5x4													
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> Negra <u>Fachadas:</u> Blanca													
Año construcción:	Entre 2006 y 2008														
Orientación acceso:	Sur														

Edificio 14		
	Ubicación:	C.Cial Polígono Vilatenim Sud, 17484 Figueres, Girona
	Dimensiones:	50x48m
	Altura:	7m
	Dimensiones Aberturas:	<u>Acceso:</u> 10x4m <u>Puerta carga y descarga:</u> 6x4m
	Color acabado:	<u>Cubierta:</u> negra <u>Fachadas:</u> blancas
	Año construcción:	2006 o anterior
	Orientación acceso:	Norte

Conclusión:

En cuanto a la ubicación, vemos que el edificio se adapta a la morfología del polígono industrial o la parcela en la que se encuentra para aprovechar al máximo la superficie útil de supermercado.



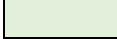


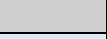


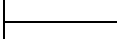
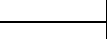
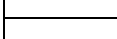
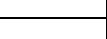

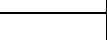







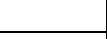

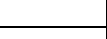

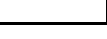




Edificio.	Dimensiones			Dimensiones aberturas				Orientación	Color acabado		Año de construcción
	A	B	H	Acceso	Puerta carga		Acceso		Cubierta	Fachada	
		B	H	B	H	B	H				
1	60	50	9	18	4	4	4	Norte			2010
2	80	40	7	30	4	6,5	5	Norte			2004
3	80	50	10	30	4	6,5	5	Sur-este			2004
4	75	40	8	20	4	8	4	Nor-este			2004
5	68	65	8	22	4	6	4	Nor-este			2001
6	100	50	8	15	4	6	4	Nor-este			2001
7	80	60	8	16	4	5	4	Este			2002
8	90	40	7	25	4	4	4	Este			2002
9	60	27	7	35	4	5	4	Norte			2006
10	85	50	8	22	4	5	4	Nor-Oeste			2004
11	50	40	9	8	4	5	4	Sur-este			2009
12	60	40	7	10	4	5	4	Sur-este			2010
13	45	50	8	5	4	5	4	Sur-este			2006
14	50	48	7	10	4	6	4	Norte			2006
Edificio de referencia											
	70	46	8	19	4	6	4	Norte			anterior 2006
											Después del 2008
											8
											6

Tabla 18: Tabla resumen edificios Decathlon en Catalunya. Fuente: propia

9.- Índice de ilustraciones y tablas:

Índice de ilustraciones:

Ilustración 1: Consumo energético de los edificios vs Industria y transporte. Fuente: Acciona eficiencia energética según datos USGBC (United states Green building Council) ASMT	1
Ilustración 2: Tazas personalizables con aplicación de acabado termocrómico. Fuente: Hofmann.....	1
Ilustración 3: Hormigas saltadoras cambiando piedras de color oscuro a color claro. Fuente: documental Tasmania: extraña y sorprendente	2
Ilustración 4: Valores de la temperatura superficial Negra y blanca en cubierta para Barcelona y temperatura media mensual. Fuente: propia	3
Ilustración 5: Valores de la temperatura superficial Negra y blanca en cubierta para Madrid y temperatura media mensual. Fuente: propia	3
Ilustración 6: Tipo de materiales cromogénicos. Ilustración: propia	6
Ilustración 7: Reacción de superficie termocrómica a temperatura 36°C Ilustración: propia	7
Ilustración 8: Muestra de materiales de revestimiento: ladrillo y cemento belético Fuente: Artículo [4].....	8
Ilustración 9: Revestimiento termocrómico en distintas temperaturas Fuente: Artículo [6]	9
Ilustración 10: Diferencia de temperaturas de pinturas termocrómicas, frías y convencionales. Fuente: T.Karlessi,2009.	11
Ilustración 11: Vidrio electrocrómico opaco y transparente. Fuente: iTecvision	11
Ilustración 12: Aspecto de la reversibilidad termocrómica del mortero. Fuente: G.Perez et al./ Construction and Building materials 186 (2018).....	12
Ilustración 13: Pintura termocrómica. Fuente: Materfad	13
Ilustración 14: Live Colors. Fuente: Materfad	13
Ilustración 15: Filamento termocrómico para impresión 3D. Fuente: Materfad	14
Ilustración 16: Silicona termocromica Fuente: Materfad	14
Ilustración 17: Tinta termocrómica. Fuente: Materfad	15
Ilustración 18: Consumo de energía en centros comerciales. Fuente: Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, 2010. Ilustración: propia	16
Ilustración 19: Gráfica % ocupación / hora lunes a viernes. Fuente: Google Maps Ilustración: Propia	17
Ilustración 20: Gráfica % ocupación / hora sábados. Fuente: Google Maps Ilustración: Propia	18
Ilustración 21: Esquema de períodos de distintas normativas en la edificación en España. Ilustración: Propia	20
Ilustración 22: Construcciones comerciales en España del 2003-2017 Fuente: Instituto Nacional de estadística (INE).....	20
Ilustración 23: Detalle del panel sandwich. Fuente: Panelesandwich.com	23
Ilustración 24: Mapa de zonas climáticas en España. Fuente: CTE-DB-HE	25
Ilustración 25: Axonometría en solsticio de invierno en Barcelona. Fuente: Revit Ilustración: propia	25
Ilustración 26: : Axonometría en solsticio de primavera/otoño en Barcelona. Fuente: Revit Ilustración: propia	26
Ilustración 27: : Axonometría en solsticio de verano en Barcelona. Fuente: Revit Ilustración: propia	26

Ilustración 28: Datos de temperatura media y horas de sol diarias en Barcelona Fuente: Climate data.org	27
Ilustración 29: Datos de temperatura media y horas de sol diarias en Madrid Fuente: Climate data.org	27
Ilustración 30: Mapa de radiación solar [KWh/m ²] en España Fuente: ADRASE.....	28
Ilustración 31: Modelo 3D de la simulación en DesignBuilder de la cubierta negra.	31
Ilustración 32: Modelo 3D de la simulación en DesignBuilder de la cubierta Blanca.	31
Ilustración 33: Resumen de la demanda anual para cada caso de estudio en Barcelona y el % de ahorro energético al cambiar de negro a blanco. Fuente: simulación con DesignBuilder Ilustración propia.	32
Ilustración 34: Resumen de la demanda anual para cada caso de estudio en Madrid y el % de ahorro energético al cambiar de negro a blanco. Fuente: simulación con DesignBuilder Ilustración propia.	32
Ilustración 35: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Barcelona CTE 2017. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia.....	34
Ilustración 36: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Barcelona CTE 2006. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia.....	34
Ilustración 37: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Barcelona NBE 79. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia.....	35
Ilustración 38: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Madrid CTE 2017. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia.....	36
Ilustración 39: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Madrid CTE 2006. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia.....	36
Ilustración 40: Gráficas de demanda energética total, de calefacción y refrigeración para el caso de Madrid NBE 79. Gráfica de ahorro energético de Termocrómico vs acabado negro y blanco. Ilustración: propia.....	37
Ilustración 41: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	38
Ilustración 42: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	38
Ilustración 43: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	39
Ilustración 44: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	40
Ilustración 45: : Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	40

Ilustración 46: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2017 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	41
Ilustración 47: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	42
Ilustración 48: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	42
Ilustración 49: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	43
Ilustración 50: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	44
Ilustración 51: Gráfica de demanda mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial termocrómico en Madrid Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	44
Ilustración 52: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso CTE-2006 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	45
Ilustración 53: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	46
Ilustración 54: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial termocrómico en Barcelona Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	46
Ilustración 55: Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Barcelona. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	47
Ilustración 56: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra y blanca en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	48
Ilustración 57: Gráfica de demanda mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial termocrómico en Madrid Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	48
Ilustración 58 : Gráfica de % ahorro energético mensual para el caso NBE 79 con acabado superficial de cubierta negra, blanca y termocrómico en Madrid. Fuente: Datos extraídos de la simulación con DesignBuilder Ilustración: Propia	49
Ilustración 59: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 19 de Enero del 2002 en Barcelona. Ilustración: propia	51
Ilustración 60: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.	51
Ilustración 61: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 03 de Agosto del 2002 en Barcelona. Ilustración: propia	52
Ilustración 62: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.	52

Ilustración 63 : Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 12 de Enero del 2002 en Madrid. Ilustración: propia.....	53
Ilustración 64: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.	53
Ilustración 65: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 03 de Julio del 2002 en Madrid. Ilustración: propia.....	54
Ilustración 66: Gráfica del % de ahorro energético del blanco vs negro.	54
Ilustración 67: Gráfico horario de la temperatura superficial y demanda energética de un acabado en cubierta negro y blanco junto con la Radiación Solar del 27 de Abril del 2002 en Madrid. Ilustración: propia.....	55
Ilustración 68: Evolución del precio de la electricidad para consumidores no domésticos en miembros de la unión Europea y miembros de área europea. Fuente: [15].....	56
Ilustración 69: Cálculo del coste óptimo para el caso de Barcelona con la pintura termocrómica al precio de mercado. Fuente: propia.....	58
Ilustración 70: Cálculo del coste óptimo para el caso de Barcelona con la pintura termocrómica al mismo precio que una pintura blanca. Fuente: propia.....	58
Ilustración 71: Cálculo del coste óptimo para el caso de Madrid con la pintura termocrómica al precio de mercado. Fuente: propia.....	59
Ilustración 72: Cálculo del coste óptimo para el caso de Madrid con la pintura termocrómica al mismo precio que una pintura blanca Fuente: Propia.....	59
Ilustración 73: Descripción gráfica de transmisión, refracción, reflexión y absorción. Fuente: Propietats dels materials i elements de construcció, Ramón sastre.	66
Ilustración 74: Ubicación centros comerciales Decathlon en catalunya. Fuente: Decathlon.....	69

Índice de tablas:

Tabla 1: Tabla de transmitancias térmicas según el año de aplicación de la normativa. Fuente. CTE.....	5
Tabla 2: Ganancias térmicas de Lunes a viernes en W/m ² . Fuente: Ocupación Goggle maps, * Tabla para cálculo de ganancias interiores. Fuente Carrier. Pág I-69, I- 70, I71 (se han considerado 131 W por persona).....	18
Tabla 3: Ganancias térmicas para Sábado en W/m ² . Fuente: Ocupación Goggle maps, * Tabla para cálculo de ganancias interiores. Fuente Carrier. Pág I-69, I- 70, I71 (se han considerado 131 W por persona).....	19
Tabla 4: Ganancias térmicas por maquinaria en W/m ² . Fuente: * Tabla para cálculo de ganancias interiores. Fuente Carrier. Pág I-69, I- 70, I71.	19
Tabla 5: Condiciones interiores de diseño para actividades metabólicas sedentarias. Fuente: RITE.....	19
Tabla 6: Tabla de Transmitancia térmica segun NBE-CT-79.....	21
Tabla 7: Tabla de Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica CTE 2006	21
Tabla 8: Tabla de Transmitancia térmica máxima y permeabilidad del aire de los elementos de la envolvente térmica CTE 2017.....	22
Tabla 9: Factores de conversión para electricidad. Fuente: IDAE datos del año 2009. Publicado el noviembre de 2010	24
Tabla 10: Irradiación solar global sobre plano horizontal en Barcelona Fuente ADRASE.....	28
Tabla 11: Irradiación solar global sobre plano horizontal en Madrdr Fuente ADRASE.....	29
Tabla 12: Tabla de irradiancia solar en Barcelona y madrid W/m ² Fuente: ADRASE.....	29
Tabla 13: Valores de potencia según el año de aplicación Fuente: CTE y NBE-79.....	30
Tabla 14: Valores de Renovación/hora a 50 Pa según año de aplicación Fuente: Según valores contrastados a Toni Gassó Bolowrdoor Test	30
Tabla 15: Precio de pintura termocrómica y pintura blanca Fuente: Precios consultados en AMAZON (18-07-2019).....	57
Tabla 16: Conversión del ahorro anual de Kwh a Kg de Co2 para el caso de Barcelona con la normativa NBE-79 Fuente: CeroCo2 conversor online [15] *considerando que 1kWh = 0,37 Kg de Co2 ** considerando que un árbol absorbe aproximadamente entre 10-30 kg de Co2 al año.....	60
Tabla 17 : Conversión del ahorro anual de Kwh a Kg de Co2 para el caso de Madrid con la normativa NBE-79 Fuente: CeroCo2 conversor online [15] *considerando que 1kWh = 0,37 Kg de Co2 ** considerando que un árbol absorbe aproximadamente entre 10-30 kg de Co	60
Tabla 18: Tabla resumen edificios Decathlon en Catalunya. Fuente: propia.....	74