

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE MATERIALES DE EDIFICACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

Autora: Patricia Sancho Cabrelles
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
5º curso

Tutores: M^a Juana Soriano Cubells
Santiago Tormo Esteve



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

RESUMEN

El presente estudio trata sobre la termografía infrarroja, profundizando en el estudio de la transmisión de calor de diversos materiales de utilización habitual en la edificación.

En primer lugar se realiza un estudio teórico sobre la termografía, sus fundamentos y aplicaciones, que aporta los conocimientos necesarios para entender y llevar a cabo la segunda parte de este TFG.

La segunda parte de este trabajo consta de un estudio práctico de 4 materiales distintos. Estos materiales son: piedra arenisca, panel composite, tablero aglomerado de madera y panel de policarbonato alveolado. Se realizan dos tipos de ensayos, uno en condiciones controladas de laboratorio y otro en exterior. En ambos se mide la evolución de la radiación emitida por el material a lo largo de 45 minutos aplicando calor durante los primeros 30 minutos.

Finalmente se realiza un análisis individual y comparativo de los resultados obtenidos para interpretar y extraer las conclusiones posibles sobre el comportamiento de las distintas muestras.

Palabras clave: Termografía, Infrarrojo, Radiación, Transmisión, Calor.

RESUM

El present estudi tracta sobre la termografia infraroja, aprofundint en l'estudi de la transmissió de calor de diversos materials d'utilització habitual en l'edificació."

"En primer lloc es realitza un estudi teòric sobre la termografia, els seus fonaments i aplicacions, que aporta els coneixements necessaris per a entendre i dur a terme la segona part d'aquest TFG.

La segona part d'aquest treball consta d'un estudi pràctic de 4 materials distints. Els materials són: pedra arenosa, panell composite, tauler aglomerat de fusta i panell de policarbonat alveolado. Es realitzen dos tipus d'assajos, un en condicions controlades de laboratori i un altre en exterior. En ambdós es mesura l'evolució de la radiació emesa pel material al llarg de 45 minuts aplicant calor durant els primers 30 minuts

Finalment es realitza una anàlisi individual i comparatiu dels resultats obtinguts per a interpretar i extraure les conclusions possibles sobre el comportament de les distintes mostres.

Palabras clave: Termografa, Infrarroig, Radiació, Transmissió, Calor.

ABSTRACT

This study deals with infrared thermography, focussing in the study of heat transfer of various materials commonly used in construction.

First, we carry out a theoretical study about thermography, its foundations and applications, which provide the necessary knowledge to understand and carry out the second part of this TFG.

The second part of this work consists of a practical study of four different materials. These materials are: sandstone, composite panel, wood chipboard and honeycomb polycarbonate panel. Two types of testing are carried out, the first one under controlled laboratory conditions, and the other one outside. In both cases it is measured the evolution of the radiation emitted by the materials along 45 minutes, having applied heat during the first 30 minutes.

Finally is performed an individual and comparative analysis of the results obtained to interpret and draw any conclusions about the behaviour of different samples.

Keywords: Thermography, Infrared, Radiation, Transmission, Heat.

ÍNDICE

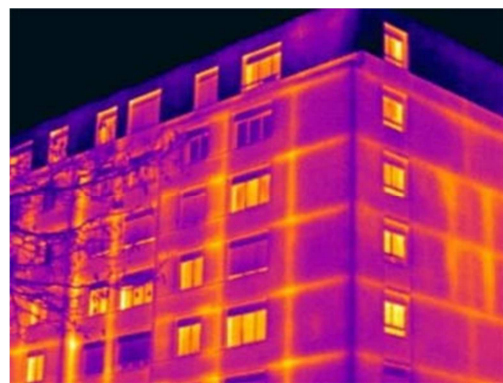
1. Introducción	1
2. Objetivos y metodología	3
3. Estudio teórico	4
3.1. Conceptos básicos	4
3.1.1. ¿Qué es la termografía?	4
3.1.2. Fundamentos de la termografía	5
3.1.3. La cámara termográfica	6
3.1.4. El análisis termográfico	7
3.2. Aplicaciones de la termografía	8
4. Estudio práctico	9
4.1. Materiales	9
4.2. Equipos	13
4.2.1. Cámara termográfica B335 FLIR	13
4.2.2. Equipos complementarios	14
4.3. Procedimiento	15
4.3.1. Preparación de muestras	15
4.3.2. Condiciones ambientales	16
4.3.3. Variables	16
4.3.4. Funcionamiento cámara termográfica	16
4.3.5. Recogida de datos	18
4.4. Resultados	19
4.4.1. Ensayo en laboratorio	19
4.4.2. Ensayo en exterior	34
5. Conclusiones	48
6. Bibliografía y fuentes	50
7. Índice de imágenes	51

· Anexos

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector de la Construcción es responsable de la utilización del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados. Por esa razón es importante tomar conciencia sobre aspectos como el ahorro de agua, la eficiencia energética, el uso de energías renovables o la conservación de materiales y recursos (Arenas, 2007).

En lo referente a los edificios, las pérdidas de mayor importancia se producen a través de la envolvente exterior, formada por las fachadas y cubiertas. Por ello es importante detectar la presencia de puentes térmicos, filtraciones de aire, deficiencias en los materiales, y demás problemas que puedan afectar a la eficiencia del edificio.

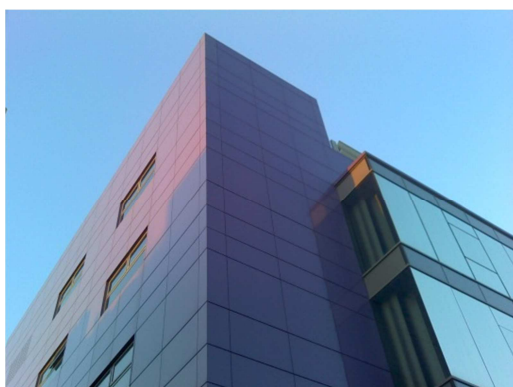


Puentes térmicos en frentes de forjados.

Figura nº 1. Enrique Alario Catalá. (2011). *Termografía aplicada a la edificación*.

Figura nº 2. Mirafutura Ingeniería. (2014). *Termografía*.

La Termografía puede proporcionar esta información de una forma rápida y mediante procedimientos no destructivos, contribuyendo al ahorro económico y a un comportamiento eficiente del edificio.

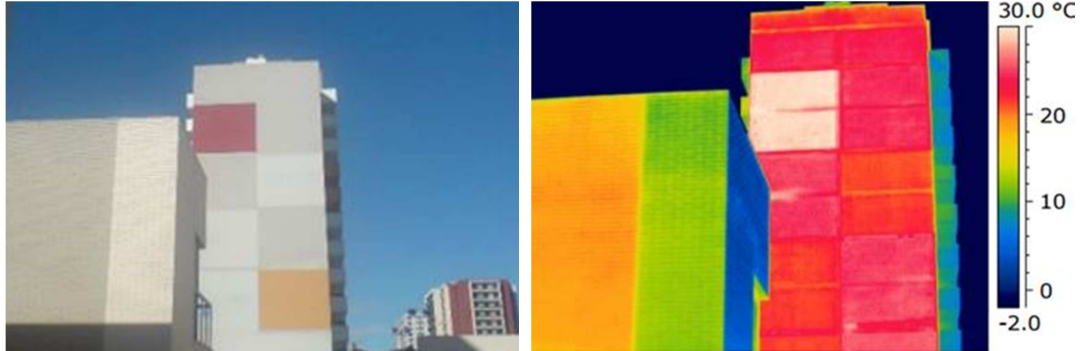


Figuras nº 3 y 4. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Elaboración propia.

La elección de los materiales de la envolvente del edificio es una fase fundamental del proyecto a la hora de buscar una mayor eficiencia energética. Cada material tiene unas propiedades distintas y se comporta de forma diferente en el entorno en el que se encuentra.

Este proyecto tiene como base observar el comportamiento de la transmisión de calor de distintos materiales considerando diversas variables, con el fin de obtener unas referencias básicas a la hora de realizar una correcta elección de la materialidad en futuros proyectos.



Figuras nº 5 y 6. Imagen que muestra la diferencia de radiación emitida provocada por el color. Santiago Tormo Esteve.

La variable en la que se va a centrar este trabajo principalmente es el color. En las imágenes superiores se observa como el cuadrado de color rojo de la medianera es el que mayor temperatura alcanza en la imagen termográfica. Se ve de color blanco que, según la escala de temperaturas de la derecha, corresponde a la máxima temperatura medida (30°C).

Los otros cuadrados que componen la medianera son de color gris y blanco (el cuadrado amarillo no aparece en la imagen termográfica). A pesar de no haber una diferencia notable de color entre el gris y el blanco, en la termografía se aprecia como el color gris alcanza más temperatura que el blanco, que aparece en un tono más anaranjado.

En la termografía el color azul oscuro, que corresponde a la temperatura baja, aparece en la parte lateral del edificio más cercano. Aquí no se debe al color sino a que esa cara del edificio está en la sombra.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo de este TFG es adquirir conocimiento sobre el comportamiento de distintos materiales de construcción, en concreto de la capacidad de transmisión de calor, y de la influencia de cuatro variables (cambio de color, aplicación de distintos tratamientos superficiales, grado de humedad y reflectividad) en esta propiedad. Los datos obtenidos han sido objeto también de un análisis comparativo.

Además, este estudio ha permitido lograr otro objetivo que es el aprendizaje práctico del uso con cámaras termográficas y de los procedimientos adecuados para llevar a cabo este tipo de ensayos con aplicación en Arquitectura.

_Metodología

La primera parte del ensayo se ha llevado a cabo en laboratorio de Materiales de Construcción de la ETSA, en condiciones controladas y estacionarias.

En primer lugar se ha realizado una toma de imágenes termográficas de las distintas muestras elegidas sobre materiales diversos. Las muestras elegidas son:

1. Piedra arenisca
2. Panel composite de aluminio
3. Tablero transformado de madera aglomerado.
4. Panel de policarbonato alveolar

Estas muestras han sido elegidas por ser materiales habituales y de uso común en la construcción arquitectónica actual, de fácil disponibilidad y que constituyen una elección representativa de cuatro comportamientos diferentes con respecto a la transmitancia térmica de los materiales aplicados en los edificios.

Posteriormente se ha realizado otra toma de imágenes termográficas de las mismas muestras mencionadas en condiciones de exterior

3. ESTUDIO TEÓRICO

El estudio práctico conlleva de forma necesaria adquirir previamente unos conocimientos básicos sobre los fundamentos de la termografía, y su aplicación en el campo de la arquitectura.

3.1._ CONCEPTOS BÁSICOS

3.1.1._ ¿QUÉ ES LA TERMOGRAFÍA?

La termografía es una técnica no destructiva que permite cuantificar la radiación de calor que emite la superficie de un material como respuesta a las condiciones térmicas del entorno. Las ventajas de esta técnica no destructiva son la rapidez de la toma de datos, la precisión, la ausencia de manipulación directa de la muestras.

Gracias a las cámaras termográficas es posible captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético y de esta manera, obtener termogramas (imágenes térmicas) de la superficie de los objetos que se examinan.

Al contrario que el ser humano, que no es sensible a la radiación emitida por los objetos, las cámaras termográficas pueden medir esta radiación gracias a sus sensores infrarrojos, que pueden captar estas longitudes de onda y medir la energía radiante emitida. Esto nos permite convertir en datos de temperatura las mediciones de radiación obtenidas, siempre y cuando se conozcan las características de la superficie que se está estudiando y las condiciones del entorno (humedad, temperatura del aire, temperatura reflejada, radiación incidente, distancia al objeto termografiado).

En la imagen termográfica, cada pixel se corresponde con un valor de temperatura asignado a la radiación. La cámara termográfica genera una imagen de un espectro de colores, en el que cada color se asigna a una temperatura distinta, dependiendo de la escala utilizada, de modo que el color blanco se corresponde con la temperatura medida más elevada, y el negro con la más baja.

En el ámbito de la edificación, la termografía puede clasificarse en dos categorías: cualitativa y cuantitativa. La termografía cualitativa requiere del conocimiento y la experiencia del termógrafo para identificar los posibles defectos que se pueden hallar en la envolvente del edificio. Este enfoque se basa en las diferencias de los niveles de radiación, es decir, la diferencia de color que vemos en la termografía, para determinar qué áreas de la imagen están perdiendo más calor del conveniente. Por otra parte, la termografía cuantitativa da un paso más y, además de localizar el defecto mediante cualitativamente, permite realizar la medición de temperatura y determinar la cantidad de calor que se pierde.

Es importante que el termógrafo conozca los fundamentos y principios de la radiación infrarroja, sepa entender el funcionamiento del equipo y sea capaz de determinar cuáles son las condiciones adecuadas para extraer la máxima información e interpretarla correctamente (*Tormo y Royo, 2014*).

Así pues, dependiendo de los objetivos a lograr se seguirá un método u otro. Si tan sólo buscamos identificar los defectos de la envolvente del edificio, el método cualitativo nos aportará la información necesaria. Si buscamos identificar posibles reducciones de CO₂, se necesitaría un método cuantitativo.

3.1.2._ FUNDAMENTOS DE LA TERMOGRAFÍA

Cualquier cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) emite radiación infrarroja. La radiación infrarroja tiene una longitud de onda que va desde 750nm a 1mm, por lo que no es visible para el ojo humano, que sólo cubre una gama muy pequeña de la región adyacente del espectro de longitudes de onda de 380 a 750 nm (Alario, 2011).

Dentro de la termografía se reconocen tres rangos espectrales: de onda larga (LW) que cubre una región alrededor de 7 a 14 μm , de onda media (MW) de 3 a 5 μm , y de onda corta (SW) de 0.9 a 1.7 μm . Existen cámaras disponibles para los tres rangos. En edificación se emplean cámaras que operan en una banda de onda larga puesto que la atmósfera es más transparente a la transmisión de ondas de esta longitud.

Espectro electromagnético (longitud de onda (λ) en metros):

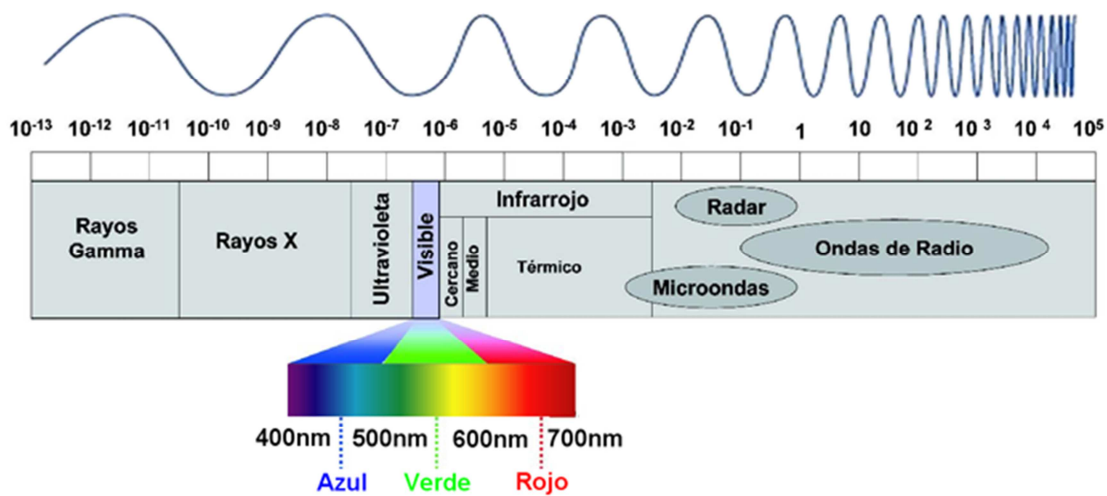


Figura nº 7. Espectro electromagnético. Recuperado de: <http://fisica.laguia2000.com/energia/escala-de-las-radiaciones-electromagneticas>

Las cámaras termográficas leen intensidades de radiación infrarroja, no temperaturas, y la radiación puede llegar de distintas fuentes. Es el termógrafo el encargado de determinar qué radiación procede del objeto según la emisividad y desechar aquella que viene reflejada de otras fuentes externas.

En la termografía aplicada a la edificación es fundamental tener en cuenta las condiciones ambientales para que la influencias de los factores climáticos (lluvia, viento, carga solar,...) en los resultados sean lo más reducidas posibles. Según el material que se esté analizando se puede obtener patrones térmicos diferentes, puesto que cada material absorbe el calor de forma distinta, por lo que hay que saber interpretar los patrones para evitar falsas lecturas.

Energéticamente, el valor más relevante es el coeficiente de transmisión térmica “U”, ya que caracteriza de forma global la transmisión de calor a través de las capas de un muro.

_ Coeficiente de transmisión térmica

El coeficiente de transmisión térmica (U) mide la cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo y superficie a través de un sistema constructivo, que puede estar formado por una o más capas de un material, de caras planas y paralelas, cuando el gradiente térmico es de 1°C entre los dos ambientes que separa el sistema. Las unidades de medida según el Sistema Internacional son W/m²K o en W/m²°C.

Este coeficiente sirve para expresar la capacidad aislante que tiene un elemento constructivo. Se trata del valor inverso a la resistencia térmica, que es la resistencia interna que ofrece un material al paso de calor, y que depende del espesor y la conductividad térmica propia del material. Cuanto mayor sea el valor U, mayor será el paso de energía de una cara a otra del material, por lo tanto menor será la capacidad aislante del elemento constructivo. (Mas, 2011)

En construcción el coeficiente de transmisión térmica se utiliza para calcular las ganancias (en verano) y las pérdidas (en invierno) de energía calorífica a través de los elementos constructivos. Para realizar este cálculo se parte de la determinación de la cantidad de energía necesaria en cada espacio habitado por unidad de tiempo (potencia) para mantener una temperatura adecuada, de confort. La potencia proporcionada debe compensar las pérdidas de calor que se produzcan a través de los elementos constructivos que separen los espacios calefactados del exterior o de otros ambientes que estén a menor temperatura. Estas pérdidas dependen de la transmitancia de cada uno de los elementos que separan los ambientes y de la diferencia de temperatura entre estos, es decir, del aislamiento del elemento constructivo.

3.1.3._ LA CÁMARA TERMOGRÁFICA

La función principal de una cámara de infrarrojos es la de transformar la radiación infrarroja en una imagen visual de colores falsos. Esta imagen representa la distribución de la radiación infrarroja en dos dimensiones.

Los elementos principales que componen una cámara termográfica son la pantalla de visualización de la imagen, el sistema óptico, el detector, el sistema de enfriamiento o estabilización de la temperatura, el sistema electrónico para la señal y el procesamiento de imágenes, la interfaz de usuario con puertos de salida y los puertos de control.

_ ¿Cómo funciona?

A través del sistema óptico, se hace converger en el detector de infrarrojos toda la energía de infrarrojos emitida por el objeto analizado. El detector envía esta información al sistema electrónico, que analiza la información y la transforma en una imagen que se puede ver en la pantalla de visualización. Los distintos colores que se observan en la imagen corresponden a la distinta radiación infrarroja emitida por la superficie del objeto estudiado.

3.1.4._ EL ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

La base del análisis termográfico es el estudio y la interpretación de imágenes infrarrojas. Preferiblemente, se deben realizar en unas condiciones conocidas que faciliten el análisis del comportamiento de las muestras. De esta forma será posible conocer la radiación de la superficie estudiada y así estimar la temperatura.

Para poder realizar una correcta interpretación de las imágenes termográficas se requieren unos conocimientos básicos acerca de los factores que limitan e influyen en sus prestaciones, así como de parámetros de la cámara como la resolución o la precisión de la medida de temperatura.

_Parámetros y factores que influyen en la interpretación de las imágenes termográficas:

- Emisividad del objeto
- Radiación emitida por la propia atmosfera debido a su temperatura
- Humedad relativa
- Reflexión adicional por los objetos calientes de los alrededores
- Distancia de la cámara al objeto y tamaño de éste

_Otros factores que pueden dificultar la inspección son:

- Viento
- Lluvia o nieve
- Campos magnéticos

_Emisividad

El factor de la emisividad presenta gran importancia a la hora de la toma y análisis de las imágenes termográficas.

Este valor es una propiedad del material esencial en la termografía. Cualquier medición de temperatura con cámaras termográficas requiere el conocimiento de esta magnitud.

La emisividad mide la capacidad de los objetos para emitir energía infrarroja. Un objeto emitirá más energía infrarroja cuanto más caliente esté. El valor de emisividad va de 0 (reflector perfecto) a 1 (emisor perfecto). Para realizar análisis cualitativos aplicados en la edificación lo adecuado es fijar la emisividad entre valores de 0.9 a 1. Si lo que se requiere es medir los valores reales de la temperatura (nuestro caso) se debe buscar el valor de emisividad que corresponda a la muestra a estudiar antes de empezar la medición.

3.2._ APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA

El campo de aplicación de la termografía infrarroja es muy amplio. Abarca desde aplicaciones más simples como la toma de medidas de temperatura hasta aplicaciones industriales centradas en la investigación y el desarrollo. Dentro de la industria se emplea en una amplia variedad de campos tales como ensayos no destructivos o la monitorización de condiciones para el mantenimiento predictivo, lo que consigue reducir costes energéticos.

_Termografía en la edificación

A pesar de tener tantas aplicaciones, es en la edificación donde más popular se ha hecho la termografía infrarroja. Sin embargo, en lo que respecta al análisis cuantitativo no es la más sencilla, puesto que no es fácil obtener información cuantitativa útil. Esto es debido a la importancia que tienen diversos factores externos como el viento y la humedad en los resultados obtenidos.

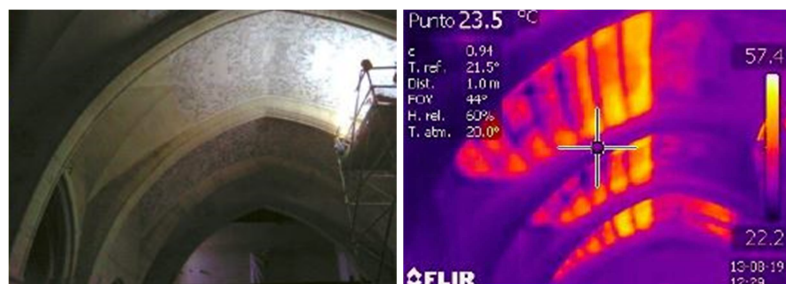
La termografía infrarroja es considerada como una excelente técnica de inspección no invasiva que se puede utilizar para el seguimiento y diagnóstico de edificios mediante el análisis y la medición de la temperatura de la envolvente del edificio, tanto desde fuera como desde dentro.

En los edificios encontramos tres factores básicos a la hora de medir las temperaturas de las superficies. Estos son el flujo de calor, flujo de aire y la humedad a través de la envolvente. Estos factores influyen en la durabilidad y eficiencia energética de la construcción y en aspectos tan importantes como la sensación de confort, la seguridad y la salud de los habitantes del edificio.

Gracias a la termografía infrarroja se puede distinguir desde las zonas donde se producen corrientes o fugas de aire, que son una causa fundamental de pérdida de calor en los edificios, hasta determinar el sistema constructivo empleado e identificar los puentes térmicos (Tormo y Royo, 2014)



Figuras nº 8 y 9. Entrada por filtración de aire en las ventanas de la planta segunda del Castillo-Palacio Ducal de Cocentaina, Alicante. Tormo Esteve, S., Royo Pastor, R. *La aplicación de la termografía en el ámbito de la rehabilitación y Conservación arquitectónica.*



Figuras nº 10 y 11. Imágenes del interior de la Iglesia parroquial de Nuestra Señora de la Asunción en Catí (Castellón). Tormo Esteve, S., Royo Pastor, R. *La aplicación de la termografía en el ámbito de la rehabilitación y Conservación arquitectónica.*

4. ESTUDIO PRÁCTICO

El objetivo de este trabajo ha sido realizar un estudio de ciertos aspectos del comportamiento térmico, de cuatro materiales que pueden ser utilizados como revestimientos en la edificación, entre otros usos.

Se introdujeron en el estudio analítico, algunas variables como el color, la humedad o la aplicación de algún tratamiento, el grado de reflectividad, para determinar la influencia que éstas tienen en la transferencia de calor a través del material.

Con el fin de controlar los parámetros ambientales se decidió realizar parte de las mediciones en condiciones de laboratorio.

4.1._MATERIALES

Se han elegido para el estudio cuatro materiales de distinta naturaleza para obtener una mayor variedad en los resultados. Estos materiales o productos estudiados han sido:

- Piedra arenisca.
- Panel composite de aluminio.
- Tablero transformado de madera aglomerada.
- Panel de policarbonato alveolado.

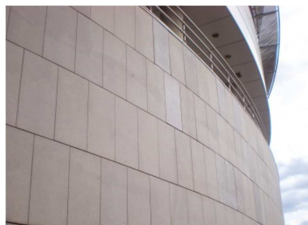
Se describen a continuación sus características más relevantes.

_Piedra arenisca

Muestras



Aplicación



Figuras nº 12 y 13. Imágenes de las muestras de piedra arenisca gris y beige.
Figura nº14. Centro de Turismo. Valencia.

La arenisca es una roca sedimentaria de origen detrítico. Se compone de granos muy pequeños de sílice cementados con materiales naturales cementantes diversos. Cada grano suele tener un tamaño inferior a los 2 mm. Aprox. Tiene un origen mecánico-agregado, es decir, están formadas a partir de rocas disgregadas por compactación de fragmentos y cementación.

Esta piedra destaca en que tanto sus propiedades mecánicas como su aspecto y color mantienen un alto grado de homogeneidad, además de por su buen comportamiento en ciclos de hielo-deshielo.

Ficha técnica

		unidades
Propiedades físicas		
Espesor	23	mm
Densidad real	2260	kg/m ³
Porosidad abierta	15,6	(%)
Absorción de agua a presión atmosférica	5,7	(%)
Propiedades mecánicas		
Resistencia a compresión	68	Mpa
Resistencia a flexión bajo carga concentrada	9,5	Mpa
Propiedades térmicas		
Conductividad térmica	2200 - 2600	W/mK

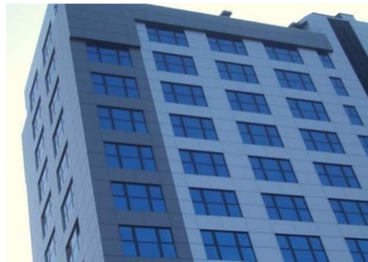
Tabla 1.1. Fichas técnicas. Propiedades de la piedra arenisca. Elaboración propia.

_Panel composite

Muestras



Aplicación



Figuras nº 15 y 16. Imágenes de las muestras de panel composite blanco y negro. Elaboración propia.
Figura nº17. Lineplas. (2004). Fachada Géminis Center.

En panel composite está compuesto de dos chapas de una aleación de aluminio-manganeso y núcleo de resina termoplástica de 3mm o de compuesto mineral. Es un material ligero, de alta rigidez y con una superficie plana lacada.

Ficha técnica

Ficha técnica

unidades

Propiedades físicas		
Espesor	4	mm
Chapa de aluminio frontal	0,50	mm
Chapa de aluminio reverso	0,50	mm
Núcleo (polietileno)	3	mm
Peso	5,50	kg/m2
Propiedades mecánicas		
Rigidez	2400	kNcm2/m
Módulo de Elasticidad	7000	N/mm2
Dilatación térmica lineal	2,4mm/m a 100°C de diferencia térmica	
Propiedades térmicas		
Resistencia térmica	0,0090	m2K/W
Coeficiente de transmisión térmica	5,59	W/m2K
Resistencia a la temperatura	entre -50°C y 80°C	

Tabla 1.2. Fichas técnicas. Propiedades del panel composite. Elaboración propia.

Tablero transformado de madera aglomerada

Muestras



Figuras nº 18 y 19. Imágenes de las muestras del tablero aglomerado de madera. Elaboración propia.

Estos tableros aglomerados o tableros de partículas están formados por pequeñas virutas de madera u otro material leñoso, aglomerados mediante adhesivo y a presión mediante prensado plano a alta temperatura y lijado.

Ficha técnica

		unidades
Propiedades físicas		
Espesor	17	mm
Densidad	600	kg/m3
Propiedades mecánicas		
Resistencia a flexión	13	N/mm2
Módulo de Elasticidad	1600	N/mm2
Resistencia a tracción	0,35	N/mm2
Propiedades térmicas		
Coefficiente de transmisión térmica	0,12	W/m2K

Tabla 1.3. Fichas técnicas. Tablero transformado de madera aglomerada. Elaboración propia.

Panel de policarbonato alveolado

Muestra



Aplicación



Figura nº 20. Imágen de la muestra de panel de policarbonato alveolado. Elaboración propia.

Figura nº21. Estación Joaquín Sorolla, Valencia.

El policarbonato (PC) es un grupo de termoplásticos fácil de trabajar, moldear y termoformar, y es utilizado ampliamente en la manufactura moderna. El nombre "policarbonato" se basa en que se trata de polímeros que presentan grupos funcionales unidos por grupos carbonato en una larga cadena molecular. Los anillos de benceno proporcionan a este material buena estabilidad dimensional y una alta temperatura de fusión. Gracias a su estructura amorfa molecular los policarbonatos son transparentes y pueden usarse como sustitutos del vidrio (Engelsmann, Spalding, y Peters, 2010).

Ficha técnica

unidades		
Propiedades físicas		
Espesor	26	mm
Densidad	1200	kg/m ³
Absorción de agua - Equilibrio	0,35	(%)
Propiedades mecánicas		
Dureza - Rockwell	M70	
Módulo de Tracción	2,3-2,4	Gpa
Relación de Poisson	0,37	
Resistencia a compresión	>80	Mpa
Resistencia a tracción	55-75	Mpa
Resistencia al impacto Izod	600-850	Jm-1
Propiedades térmicas		
Calor específico	aprox. 1200	J K-1 kg-1
Coefficiente de Expansión Térmica	66-70	x10-6 K-1
Conductividad térmica	0,19-0,22 a 23 C	W m-1 K-1

Tabla 1.4. Fichas técnicas. Panel de policarbonato alveolado. Elaboración propia.

4.2._EQUIPOS

4.2.1._ CÁMARA TERMOGRÁFICA B335 FLIR

La cámara infrarroja de la serie Flir B ha sido desarrollada especialmente para aplicaciones en edificios. Dispone de funciones como alarma del punto de rocío y aislamiento, lo que facilita mucho el trabajo a los profesionales. Todas las cámaras infrarrojas de la serie B de Flir integran una cámara digital de 3,1 megapíxeles, esto permite documentar de forma sencilla y rápida las observaciones e inspecciones. Además, permite sobreponer la imagen real con la imagen térmica (PCE Inst. Cámara Infrarroja Serie FLIR B).



Figura nº22. Cámara Infrarroja Serie FLIR B.

Modelo	Flir B335
Sensibilidad térmica / NETD	50mK a 30°C
Resolución infrarroja	320 x 240 píxeles
Rango de temperatura	de -20°C a +120°C
Zoom	1-2 aumentos continuo, incluido vista panorámica
Campo visual / distancia focal mín.	Campo visual / distancia focal mín.
Rango espectral	7,5... 13µm
Frecuencia de imagen	9Hz o 30Hz
Enfoque	Automático o manual
Pantalla	Pantalla táctil incorporada, LCD de color 3,5"
Precisión	±2°C o ±2% de lectura
Punto de medición	5
Isoterma	Detección de temperatura alta/baja/intervalo
Formato	JPG estándar, incluye 14 bit de datos de medición
Cámara digital	3,1 megapíxeles (2048 x 1536) y LED
Láser	Láser semiconductor de diodos AlGaInP, clase 2
Alineación láser	Se indica la posición automáticamente sobre la imagen infrarroja
Tipo de acumulador	Ión litio (sustituible in situ)
Duración del acumulador	4 horas
Rango de temperatura operativa	de -15°C a +50°C
Vibraciones	2g (IEC 60068-2-6)
Tipo de protección de la carcasa y objetivo	IP 54 (IEC 60529)
Dimensiones	106 x 201 x 125 mm
Peso	880 g

Tabla 2.1. Equipos. Características Cámara B335 FLIR. Elaboración propia.

4.2.1._ EQUIPOS COMPLEMENTARIOS

_Termoventilador Ufesa TV2610. 2000W.



Se emplea como foco de calor durante el ensayo. Se regula a una potencia de 1000w, con el termostato de temperatura al mínimo.

Figura nº23. Imagen del termoventilador. Elaboración propia.

Ufesa TV-2610. Información técnica.	
Descripción del fabricante del producto	Termoventilador - 2000W - con termostato
Características técnicas	
Termoventilador	Horizontal
Termostato	con termostato
Vatios	2000
Niveles de calor	2 (1000w /2000w)

Tabla 2.2. Equipos. Características Termoventilador Ufesa. Elaboración propia.

_Higrosicrómetro sin clavija con Termómetro de infrarrojos y Bluetooth MeterLink.



Se emplea en el ensayo de exterior para medir la temperatura y humedad del ambiente al principio de la toma de datos de cada muestra.

Figura nº24. Imagen del higrosicrómetro. Elaboración propia.

Higrosicrómetro sin clavija con Termómetro de infrarrojos y Bluetooth MeterLink. Información técnica.	
Descripción del fabricante del producto	Medidor 8 en 1 con memoria, termómetro de infrarrojos incorporado y función inalámbrica
Características técnicas	
Sonda	Remota tipo clavija para lecturas de humedad de contacto
Cable	longitud de 3ft/0.9 m
Almacenamiento	Hasta 20 lecturas etiquetadas
Pantalla	Dual grande con retroiluminación automática
Profundidad de medición sin clavija	Hasta 0,75 in (19 mm) debajo de la superficie

Tabla 2.3. Equipos. Características Higrosicrómetro MeterLink. Elaboración propia.

4.3._PROCEDIMIENTO

4.3.1._PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Antes del ensayo propiamente dicho se deben preparar las superficies de las muestras que deben estar limpias y libres de polvo. La manipulación de las muestras se debe realizar con cuidado ya que con el contacto se les transmite una cantidad de calor que modificará la imagen obtenida con la cámara termográfica y que por tanto afectará a los resultados.



Figuras nº 25y 26. Muestran la transmisión de calor por contacto con la superficie de la muestra. Elaboración propia.

Para el ensayo de laboratorio se debe colocar la muestra en la mesa de trabajo en posición vertical y según el grosor de la muestra se necesitarán o no tacos de apoyo en los laterales. En este estudio se colocaron tacos de apoyo en las muestras del panel composite y de la madera.

La muestra se coloca a una distancia de 40 cm de la lente de la cámara termográfica y a 30cm del foco de calor. La cámara termográfica se coloca a una altura de 12cm medidos desde la mesa hasta el punto medio de la lente.

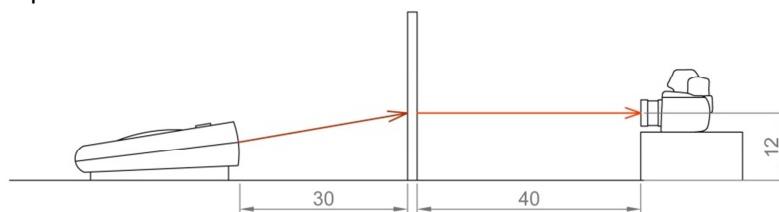


Figura nº 27. Se muestra la ubicación del termoventilador y de la cámara termográfica con respecto a la muestra en el ensayo de laboratorio. Elaboración propia.

El ensayo de exterior se realiza con unas condiciones similares, con la diferencia de que la fuente de calor en este caso es el sol. Por lo tanto la muestra se coloca con una leve inclinación para mejorar la incidencia de los rayos del sol sobre la superficie del material.

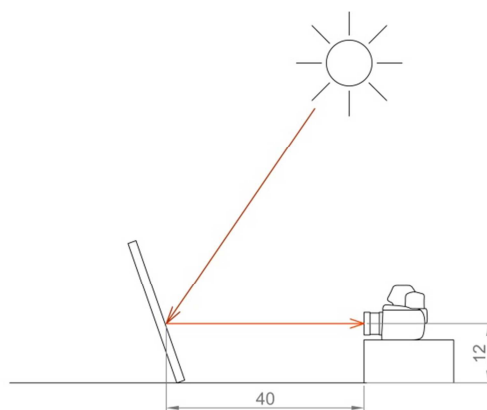


Figura nº 28. Se muestra la ubicación de la cámara termográfica y la posición de la muestra en el ensayo de exterior. Elaboración propia.

4.3.2._CONDICIONES AMBIENTALES

_Ensayo de laboratorio

Al realizarse el ensayo en el interior del laboratorio, las condiciones son controladas y estacionarias. La temperatura en el interior del aula es de 23°C. La humedad es del 63,2%.

_Ensayo de exterior

Al realizarse en exterior las condiciones son variables dependiendo del día y la hora. Los ensayos se efectúan por la mañana en un intervalo de hora que va desde las 10.00am hasta las 14.00pm.

Previamente a comenzar el ensayo se toma la temperatura y la humedad del ambiente, obteniendo de media una temperatura de 29'4°C y una humedad del 72%.

4.3.3._VARIABLES

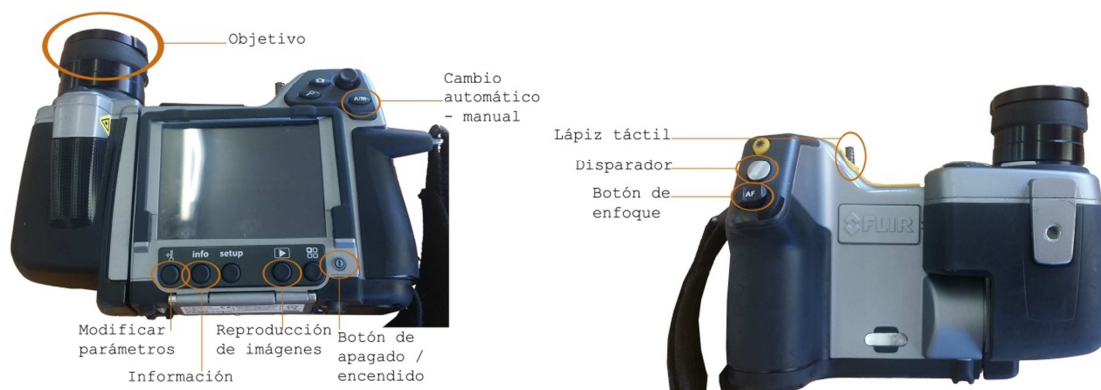
En este trabajo, y debido a la limitación en la extensión de sus contenidos, la única variable que se ha considerado como factor de influencia en el comportamiento de las muestras, ha sido el color. En trabajos posteriores, se determinarán también la influencia de tratamientos superficiales, de la humedad y la reflectividad, entre otros.

4.3.4._FUNCIONAMIENTO CÁMARA TERMOGRÁFICA

Para comenzar con el ensayo es necesario entender el funcionamiento de la cámara termográfica para utilizarla correctamente y poder modificar sus parámetros básicos.

Lo primero, y más importante, que hay que saber a la hora de manejar una cámara termográfica es que el objetivo es extremadamente sensible y no se puede tocar, por lo tanto siempre que no se esté usando la cámara la tapa del objetivo debe estar puesta.

En las siguientes imágenes se indican las partes principales de la cámara y su funcionamiento.



Figuras nº 29 y 30. Partes de la cámara termográfica. Elaboración propia.

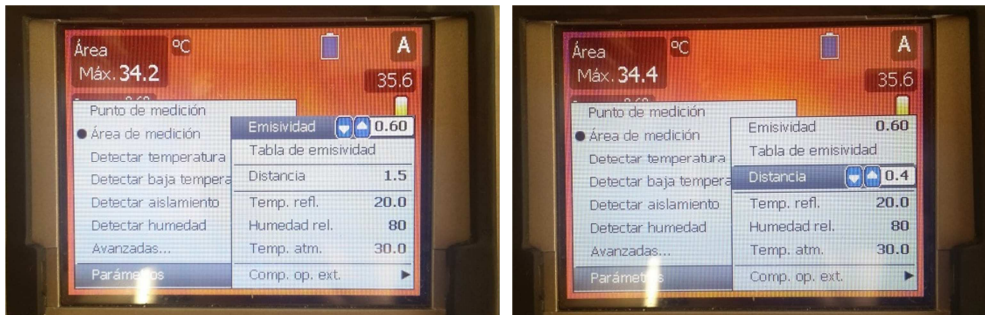
Botón de modificar parámetros:

Se puede seleccionar que la cámara mida la temperatura de un punto en concreto o de un área. Dentro del área se puede elegir entre medir la temperatura media máxima del área o la mínima.



Figuras nº 31 y 32. Funciones de la cámara termográfica. Elaboración propia

También permite modificar la emisividad y la distancia a la que se encuentra el objeto termografiado, entre otros parámetros.



Figuras nº 33 y 34. Funciones de la cámara termográfica. Elaboración propia.

Información en pantalla:

Con el botón de información se puede elegir que aparezca o desaparezca de la pantalla esta información.



Figura nº 35. Pantalla de la cámara termográfica. Elaboración propia.

- 1_ Este cuadro muestra la información sobre los parámetros establecidos previamente.
- 2_ En este caso el cuadro muestra como se ha escogido un área de medición de la temperatura media máxima.
- 3_ Indicador de batería.
- 4_ Indicador de espacio en la tarjeta SD.
- 5_ Indicador de modo automático (A) o manual (M).

6_ Escala de temperatura. El color blanco corresponde, en este caso a 36,8°C y el azul oscuro a 32,7°C. Se puede ajustar la escala según el rango de temperatura que se desea medir.

4.3.5._RECOGIDA DE DATOS

Una vez preparadas las muestras y el entorno de trabajo se procede a recoger los datos.

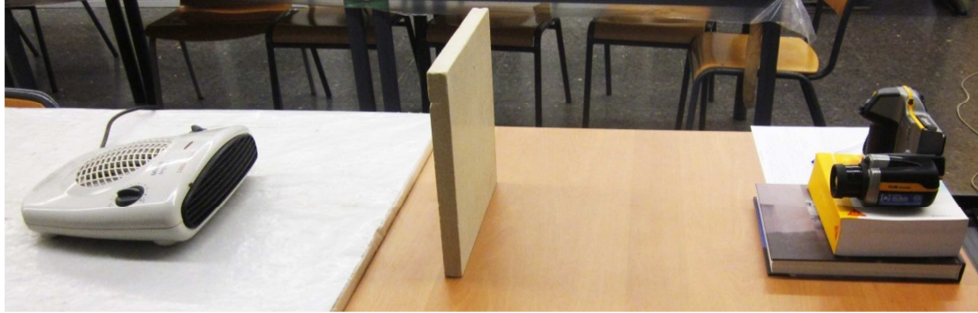


Figura nº 36. Muestra la ubicación del termoventilador y de la cámara termográfica con respecto a la muestra durante las sesiones de recogida de datos de laboratorio.

El procedimiento es el mismo tanto para el ensayo de laboratorio como para el realizado en exterior.

La primera imagen tomada se obtiene antes de encender el termoventilador y de esta forma se determina la temperatura inicial de la muestra a ensayar.

Una vez se enciende el foco se obtuvieron imágenes cada 30 segundos durante media hora mientras se fue calentando el material. A la media hora se apagó el termoventilador y se continuó haciendo fotos cada 30 segundos durante otros 15 minutos, observando el enfriamiento de la muestra. Pasados los 15 minutos se trasladó la muestra a otra mesa auxiliar mientras continua el enfriamiento y se fueron tomando imágenes cada cierto tiempo hasta alcanzar la temperatura de la imagen inicial.

4.4._RESULTADOS

Los resultados obtenidos se clasifican en dos grupos. Por una parte se dispone de una familia de imágenes obtenidas en el interior, en las condiciones ambientales del laboratorio y por otra parte, se dispone de las imágenes tomadas en el exterior.

A continuación se muestran según el siguiente orden, los resultados obtenidos.

En primer lugar se presentan los termogramas de cada muestra que mejor permiten apreciar la evolución termográfica de cada una. Se han elegido los termogramas con un intervalo de 1 minuto, durante los 5 primeros minutos, ya que es la fase en la que mayor cambio de temperatura se ha apreciado, y a partir de ahí, por tener una evolución más constante, se ha pasado a un intervalo de 5 minutos. Los termogramas realizados con intervalos de 1 minuto se adjuntarán en los anexos.

Posteriormente se han comparado los resultados obtenidos para las muestras ensayadas y se han presentado en tablas y gráficas para cada material. Se ha procedido a comparar el comportamiento conjunto de todas las muestras en el ensayo. Los resultados que se presentan en tablas y gráficas se completan con unas conclusiones parciales que servirán de apoyo para redactar las conclusiones finales.

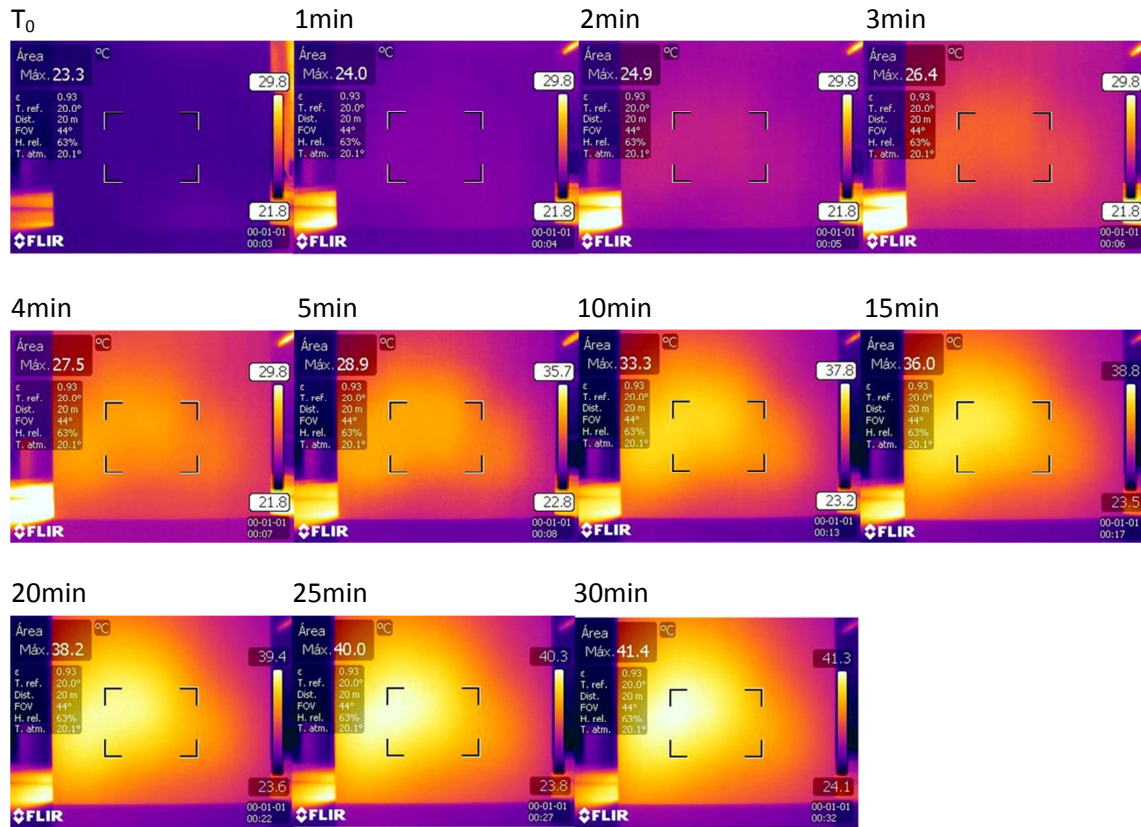
4.4.1._RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS EN ENSAYO EN LABORATORIO

Realizado en el interior del laboratorio en condiciones controladas y estacionarias.

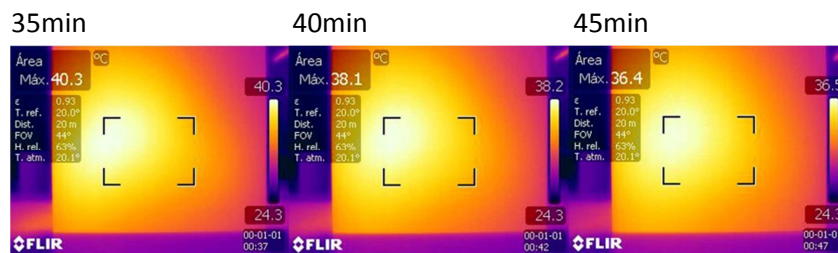
4.4.1.1._TERMOGRAMAS PIEDRA ARENISCA

_PIEDRA ARENISCA GRIS

• Fase de calentamiento

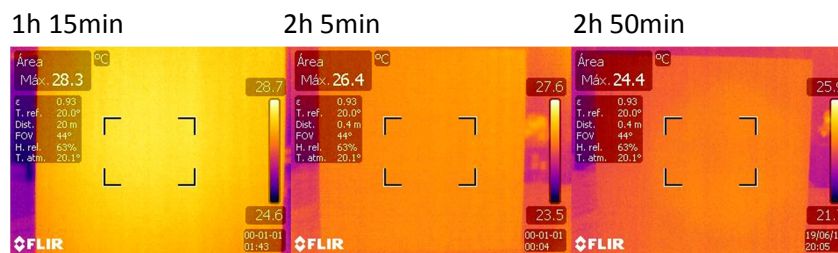


• Fase de enfriamiento



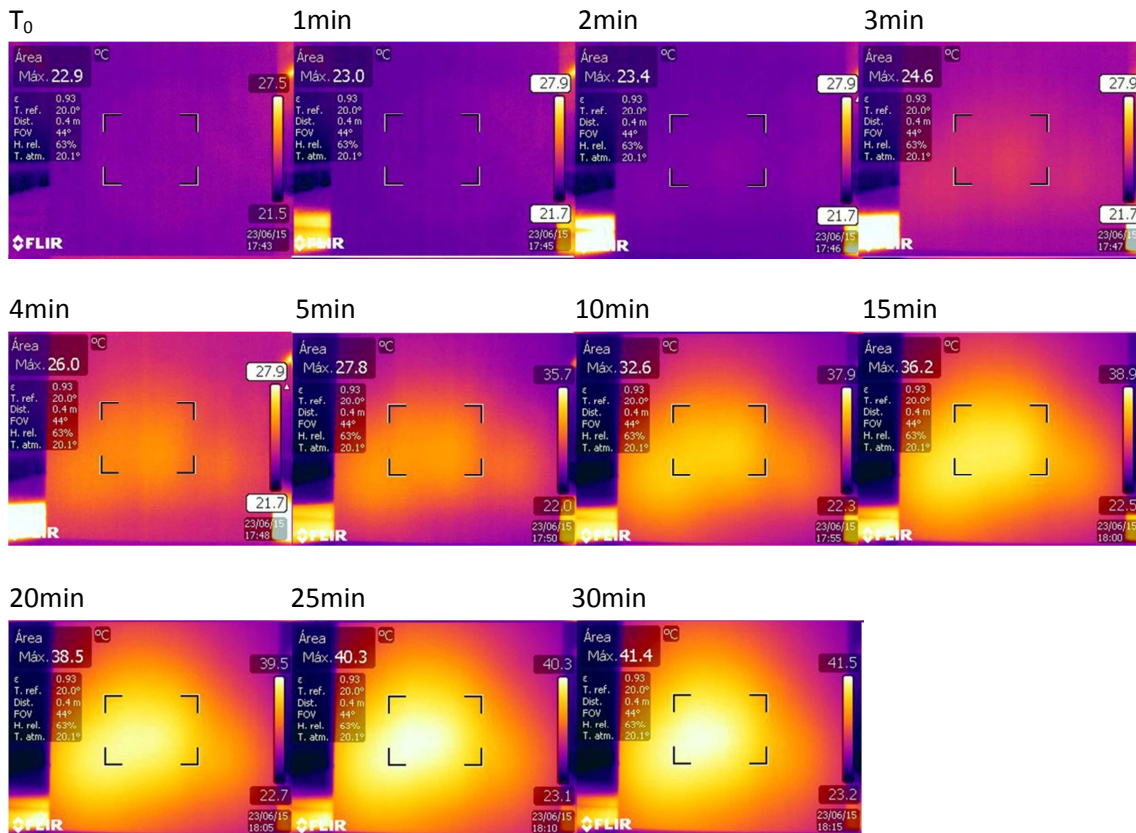
• Termogramas de enfriamiento final

Tiempo desde inicio enfriamiento

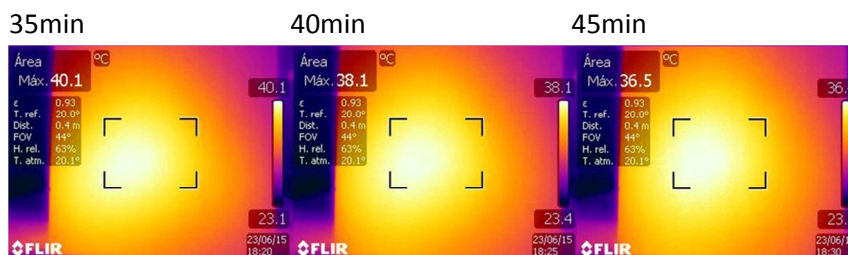


_PIEDRA ARENISCA BEIGE

• Fase de calentamiento

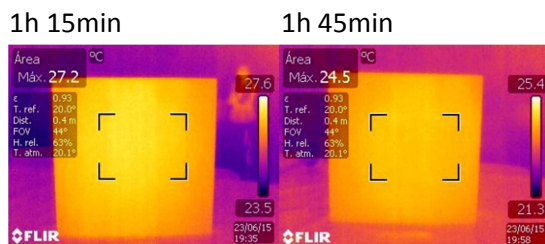


• Fase de enfriamiento



• Termogramas de enfriamiento final

Tiempo desde inicio enfriamiento



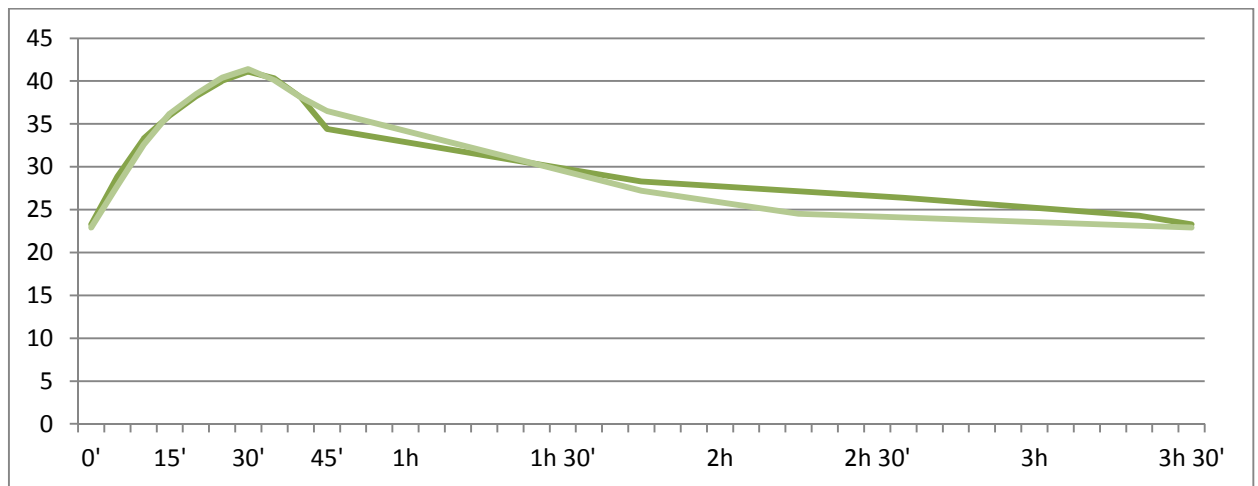
Tablas y gráficas comparativas:

	Tiempo	Fase de calentamiento							Fase de enfriamiento		
		0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'
Gris	Temperatura promedio	23.3	28.9	33.3	36	38.2	40	41.1	40.3	38.1	34.4
Beige	máxima del área	22.9	27.8	32.6	36.2	38.5	40.4	41.4	40.1	38.1	36.5

Tabla 3.1. Resultados obtenidos de las muestras de piedra arenisca gris y beige en ensayo de interior. Elaboración propia.

	Diferencia de temperatura máxima alcanzada	Tiempo necesario para alcanzar una diferencia de temperatura de 10°C	Tiempo de enfriamiento necesario para recuperar la temperatura inicial
Gris	18.1 °C	10min.	3h
Beige	18.5 °C	10min.	3h

Tabla 3.2. Resultados obtenidos de las muestras de piedra arenisca gris y beige en ensayo de interior. Elaboración propia.



Gráfica 1.1. Estudio comparativo del comportamiento de las muestras de piedra arenisca gris y beige en ensayo de interior.
Elaboración propia.

— Piedra Gris
— Piedra Beige

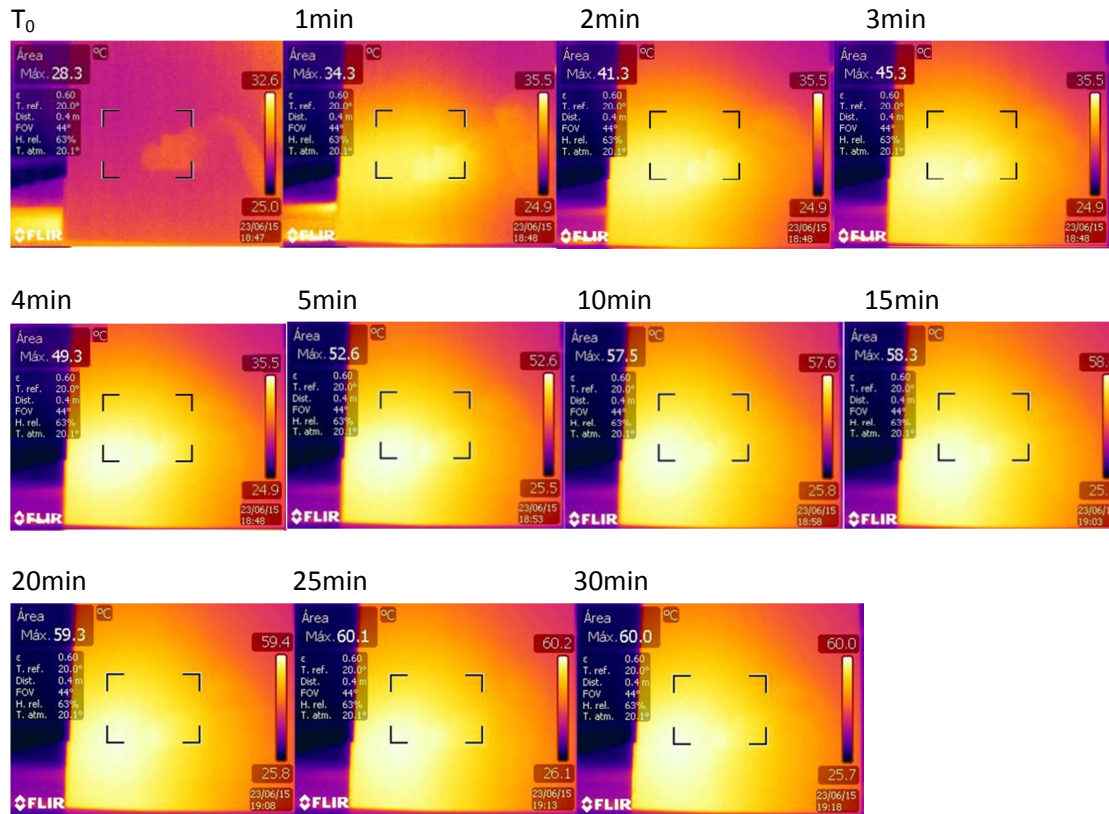
Conclusiones:

- Las dos muestras tienen un comportamiento muy similar.
- El color no produce ninguna diferencia significativa en los resultados.
- El tiempo de enfriamiento es mucho mayor que el de calentamiento. (Tarda 3h en perder el calor que gana en 30 minutos)
- En el enfriamiento se distingue una primera fase más rápida y después un enfriamiento más lento.
- La fase de enfriamiento a largo plazo presenta un comportamiento algo más diferente entre ambas muestras. La causa podría ser, los mayores intervalos de tiempo en la obtención de los termogramas lo que podría haber provocado una menor precisión en los resultados.

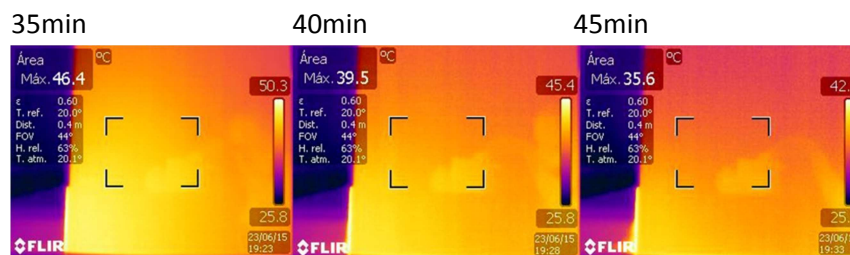
4.4.1.2._TERMOGRAMAS PANEL COMPOSITE¹

_PANEL COMPOSITE BLANCO

· Fase de calentamiento

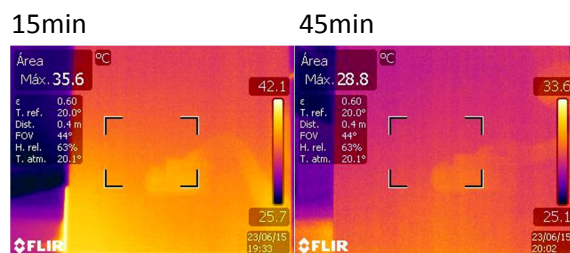


· Fase de enfriamiento



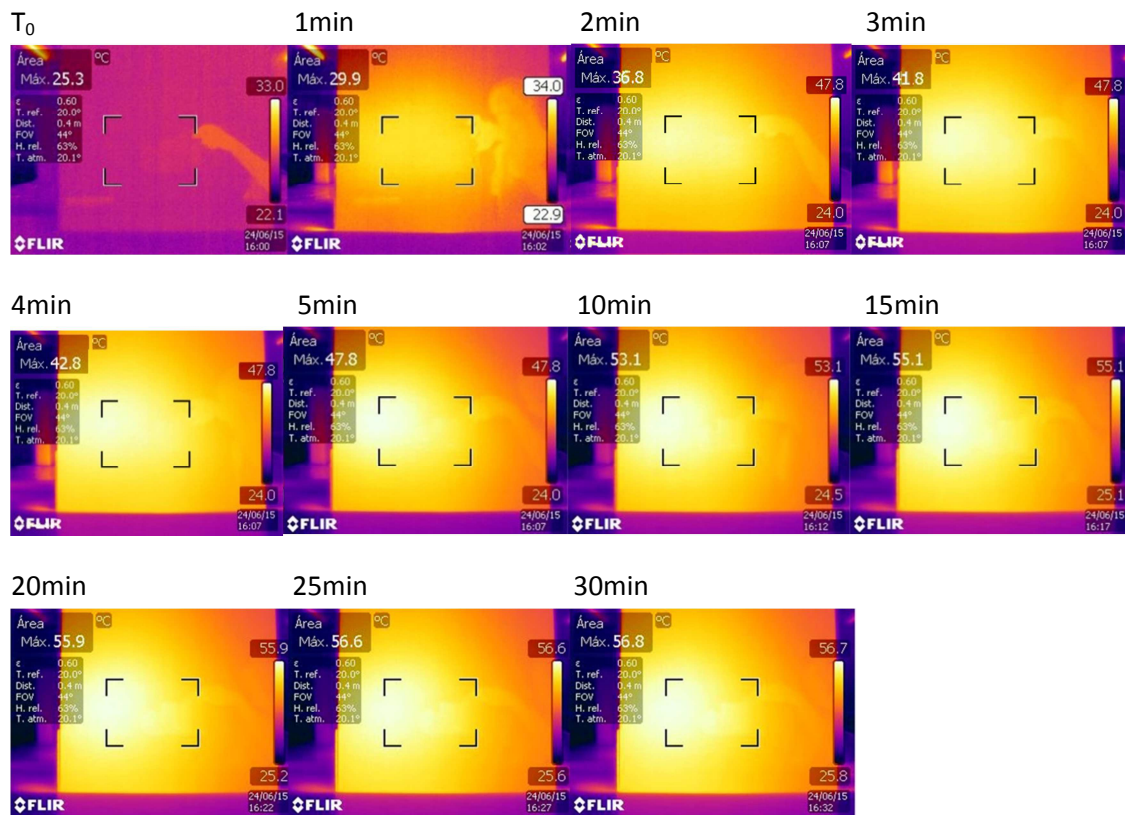
· Termogramas de enfriamiento final

Tiempo desde inicio enfriamiento

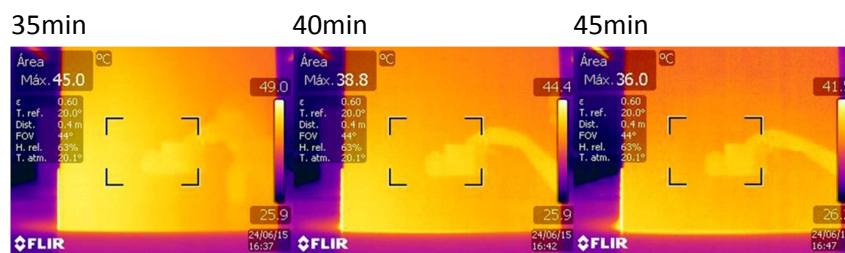


_PANEL COMPOSITE NEGRO

• Fase de calentamiento

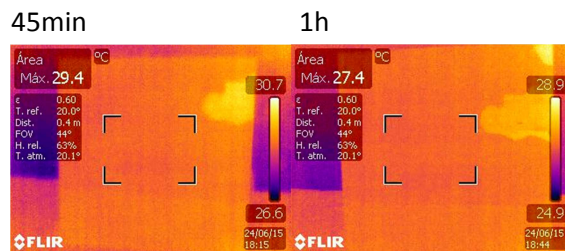


• Fase de enfriamiento



• Termogramas de enfriamiento final

Tiempo desde inicio enfriamiento



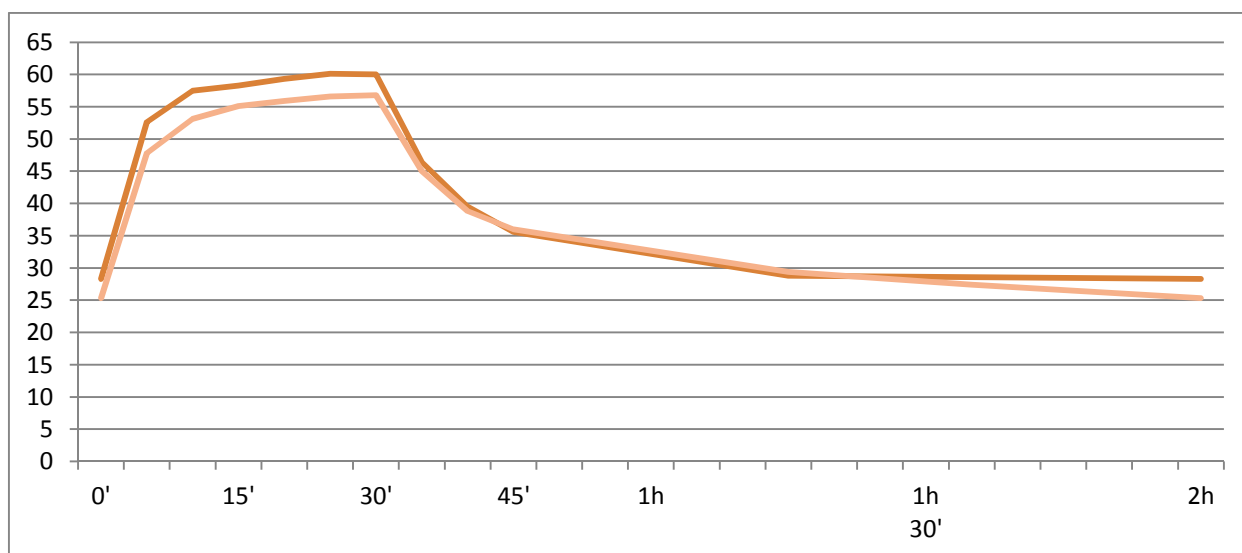
Tablas y gráficas comparativas:

	Tiempo	Fase de calentamiento							Fase de enfriamiento		
		0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'
Blanco	Temperatura promedio	28.3	52.6	57.5	58.3	59.3	60.1	60	46.4	39.5	35.6
Negro	máxima del área	25.3	47.8	53.1	55.1	55.9	56.6	56.8	45	38.8	36

Tabla 3.3. Resultados obtenidos de las muestras de panel composite blanco y negro en ensayo de interior. Elaboración propia.

	Diferencia de temperatura máxima alcanzada	Tiempo necesario para alcanzar una diferencia de temperatura de 10°C	Tiempo de enfriamiento necesario para recuperar la temperatura inicial
Blanco	31.7 °C	1-2min.	1h 30min.
Negro	31.5 °C	1-2min.	1h 30min.

Tabla 3.4. Resultados obtenidos de las muestras de panel composite blanco y negro en ensayo de interior. Elaboración propia.



Gráfica 1.2. Estudio comparativo del comportamiento de las muestras de panel composite blanco y negro en ensayo de interior. Elaboración propia.

- Panel composite blanco
- Panel composite negro

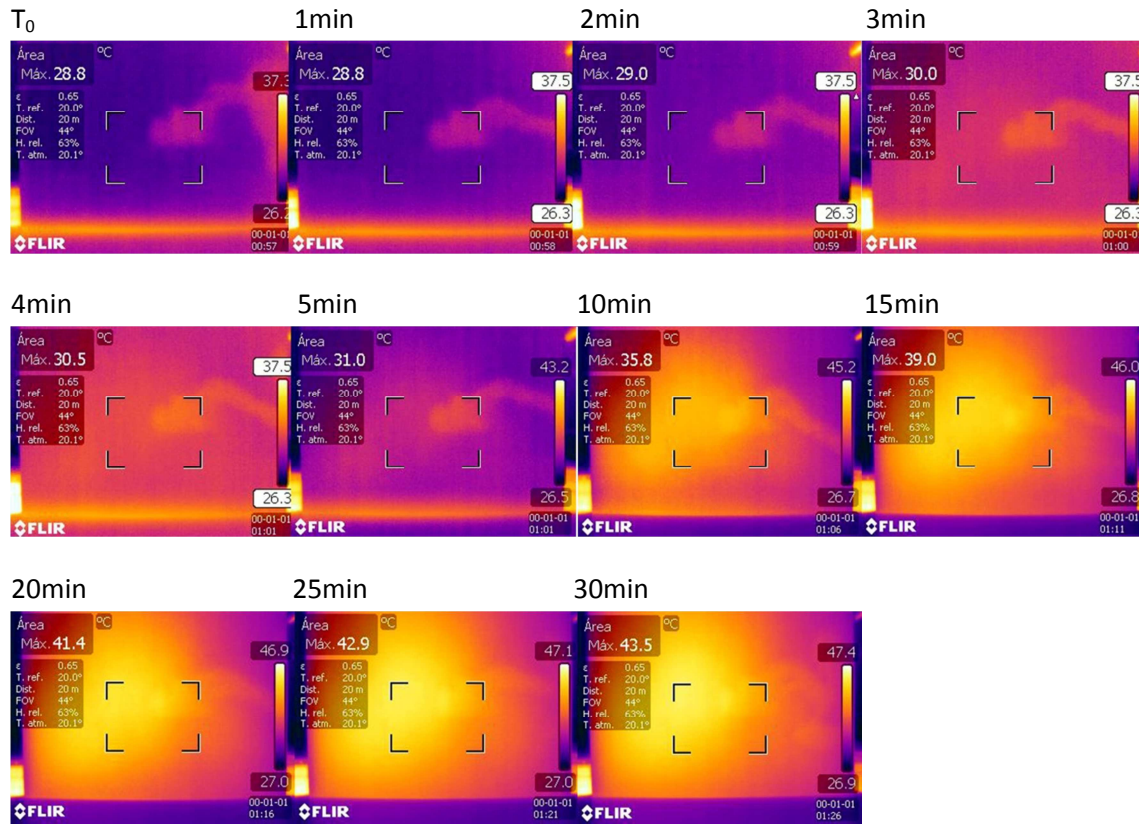
Conclusiones:

- Ambas muestras presentan el mismo comportamiento.
- Se aprecia un ligera diferencia de temperatura debida al color.
- Se produce un cambio de temperatura muy elevado en los 5 primeros minutos del calentamiento, que poco a poco se va reduciendo hasta convertirse en una pendiente más o menos horizontal en los últimos 20 minutos.
- Al igual que en la fase de calentamiento, en el enfriamiento el mayor cambio se produce en los primeros 5 minutos, y se va estabilizando poco a poco.

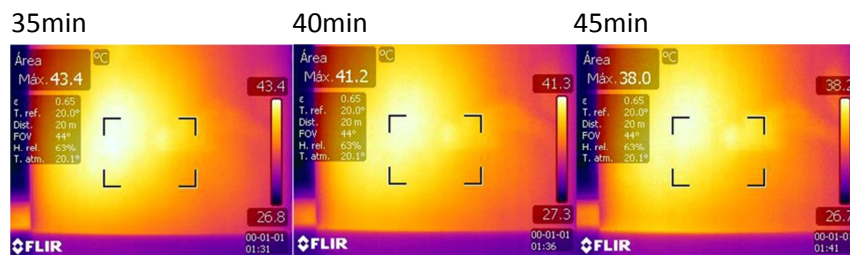
4.4.1.3._TERMOGRAMAS TABLERO DE MADERA DE PINO¹

_TABLERO DE MADERA TONO CLARO

· Fase de calentamiento

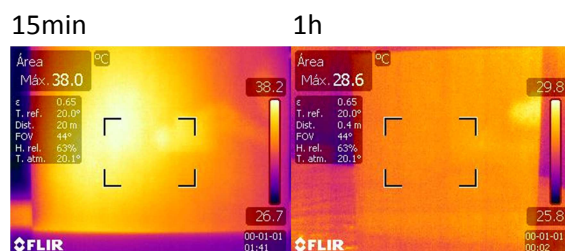


· Fase de enfriamiento



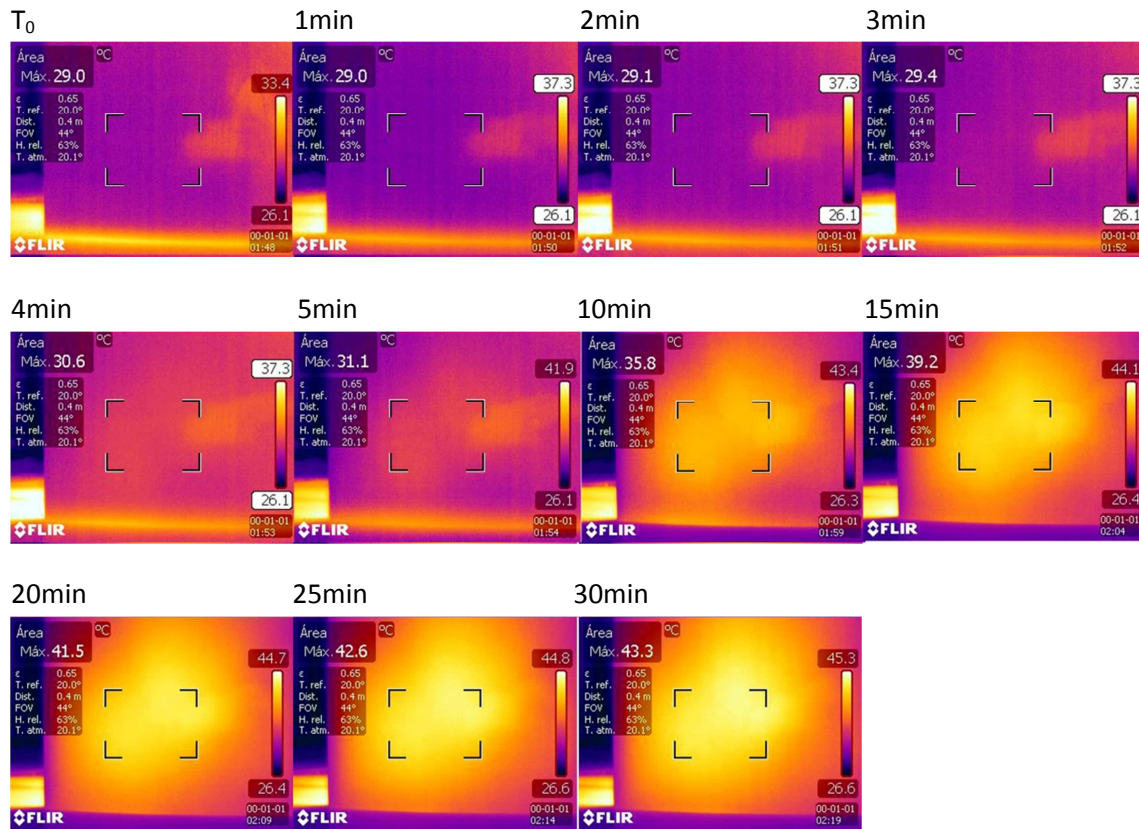
· Termogramas de enfriamiento final

Tiempo desde inicio enfriamiento

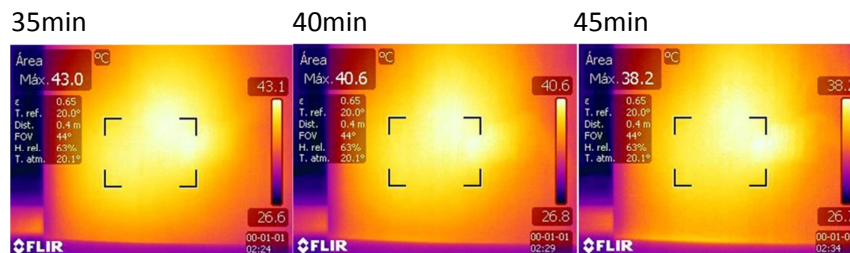


_TABLERO DE MADERA TONO OSCURO

• Fase de calentamiento

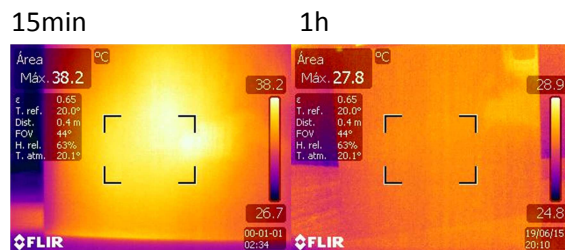


• Fase de enfriamiento



• Termogramas de enfriamiento final

Tiempo desde inicio enfriamiento



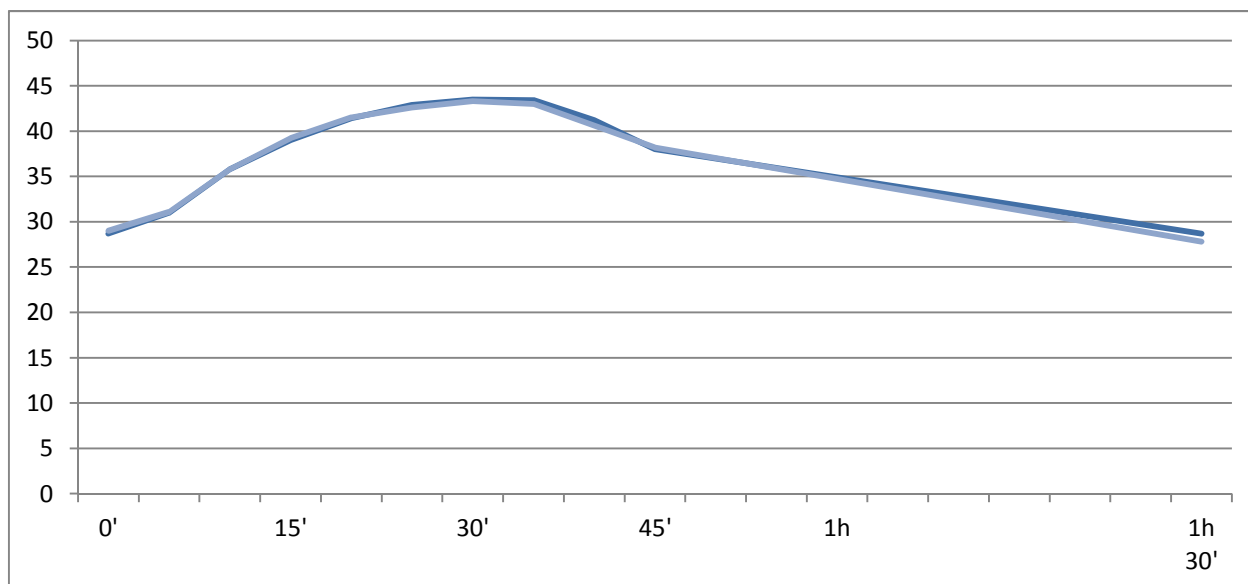
Tablas y gráficas comparativas:

	Tiempo	Fase de calentamiento							Fase de enfriamiento		
		0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'
Claro	Temperatura promedio	28.7	31	35.8	39	41.4	42.9	43.5	43.4	41.2	38
Oscuro	máxima del área	29	31.1	35.8	39.2	41.5	42.6	43.3	43	40.6	38.2

Tabla 3.5. Resultados obtenidos de las muestras de tableros de madera en ensayo de interior. Elaboración propia.

	Diferencia de temperatura máxima alcanzada	Tiempo necesario para alcanzar una diferencia de temperatura de 10°C	Tiempo de enfriamiento necesario para recuperar la temperatura inicial
Claro	14.8 °C	15min.	1h
Oscuro	14.3 °C	15min.	1h

Tabla 3.6. Resultados obtenidos de las muestras de tableros de madera en ensayo de interior. Elaboración propia.



Gráfica 1.3. Estudio comparativo del comportamiento de las muestras de tableros de madera en ensayo de interior. Elaboración propia.

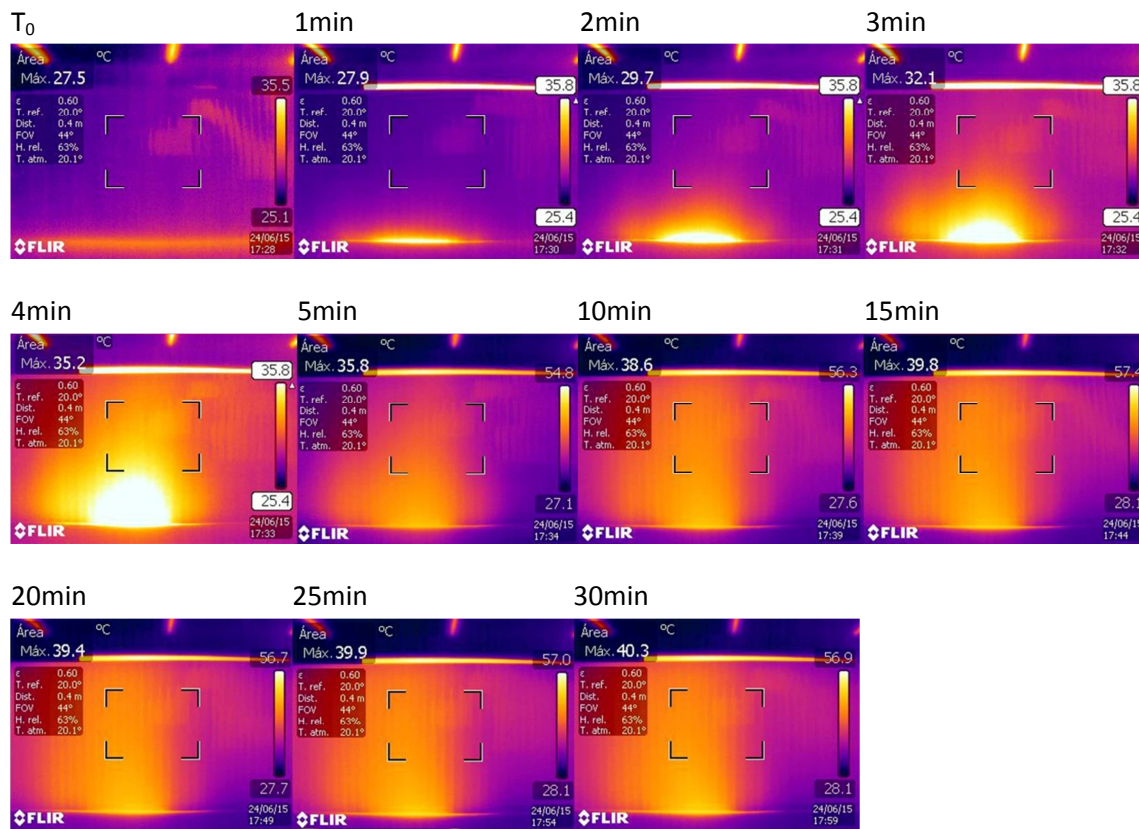
- Tablero de madera claro
- Tablero de madera oscuro

Conclusiones:

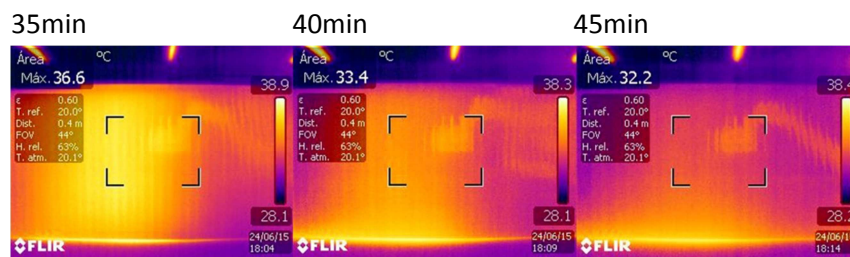
- Ambas muestras tienen el mismo comportamiento, no apreciándose influencia del color.
- En ninguna de las fases se produce un cambio brusco de temperatura en pocos minutos, sino que define una pendiente casi constante.
- Tarda aproximadamente el mismo tiempo en ganar y en perder el calor.
- Se aprecia un pequeño cambio al inicio del calentamiento. Durante los 5 primeros minutos le cuesta más ganar calor.

4.4.1.4._TERMOGRAMAS PANEL DE POLICARBONATO ALVEOLAR ^{1,2}

• Fase de calentamiento

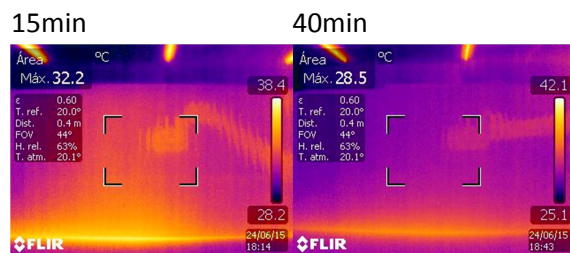


• Fase de enfriamiento



• Termogramas de enfriamiento final

Tiempo desde inicio enfriamiento



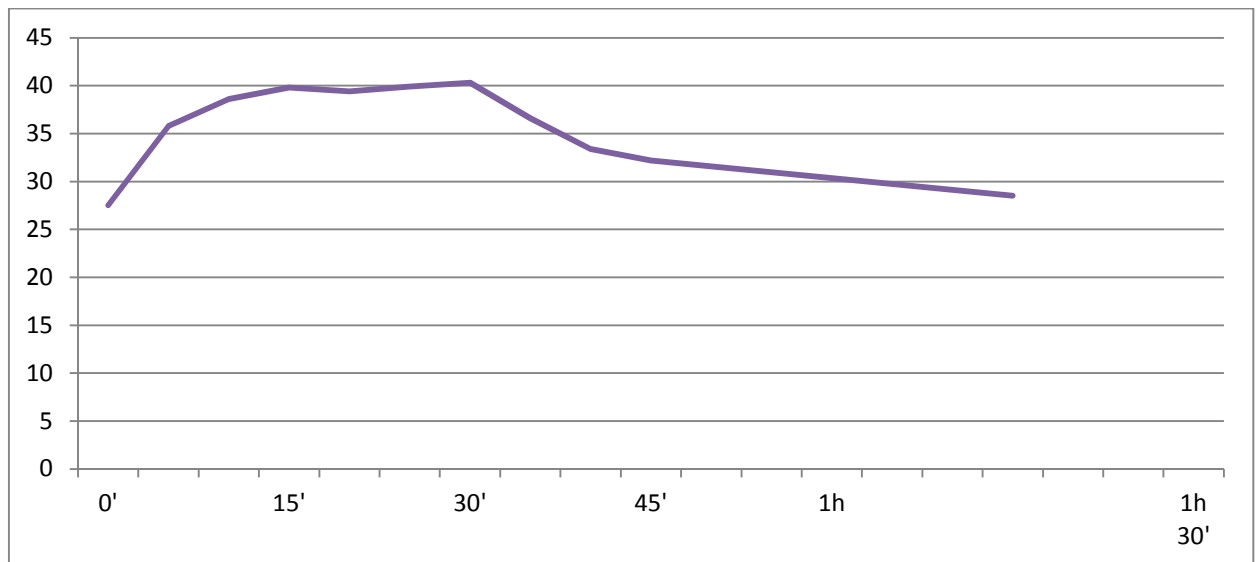
Tablas y gráficas comparativas:

	Tiempo	Fase de calentamiento							Fase de enfriamiento		
		0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'
Blanco	Temperatura promedio máxima del área	27.5	35.8	38.6	39.8	39.4	39.9	40.3	36.6	33.4	32.2

Tabla 3.7. Resultados obtenidos de la muestra de policarbonato alveolado en ensayo de interior. Elaboración propia.

	Diferencia de temperatura máxima alcanzada	Tiempo necesario para alcanzar una diferencia de temperatura de 10°C	Tiempo de enfriamiento necesario para recuperar la temperatura inicial
Blanco	12.8 °C	6min.	45min.

Tabla 3.8. Resultados obtenidos de la muestra de policarbonato alveolado en ensayo de interior. Elaboración propia.



Gráfica 3.9. Evolución térmica del panel de policarbonato alveolado en ensayo de interior. Elaboración propia.

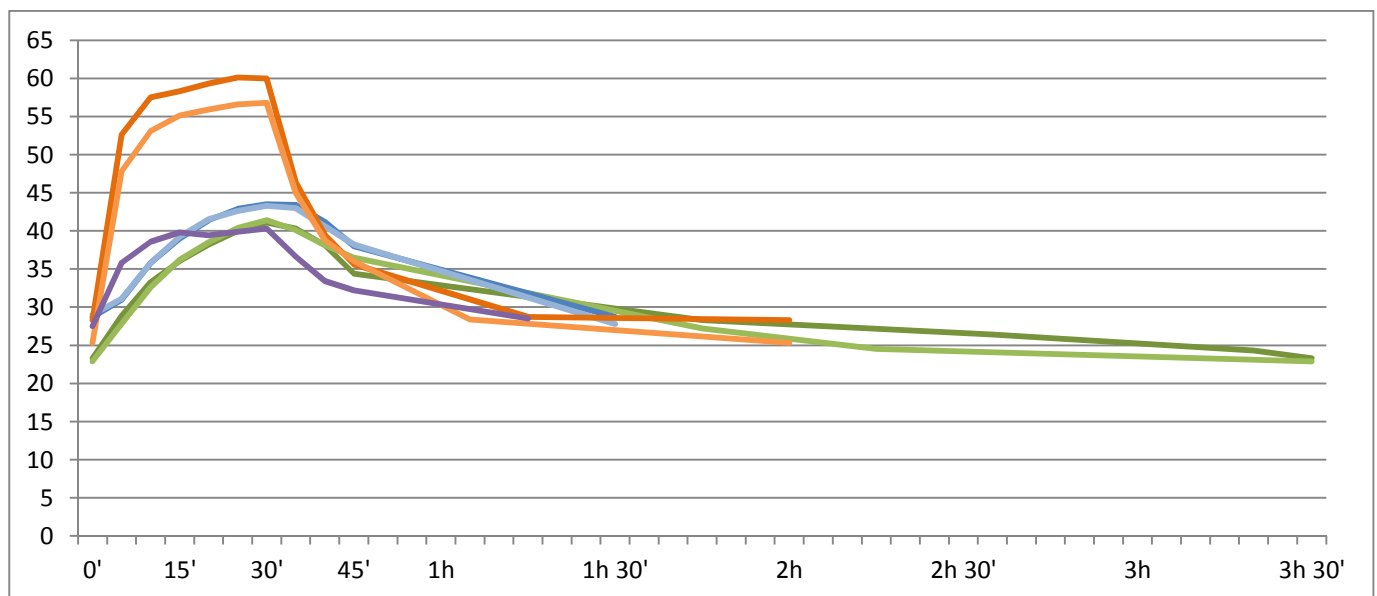
Conclusiones:

- Los cambios de temperatura más significativos se producen en los 5 primeros minutos tanto de calentamiento como de enfriamiento.
- Pasados los primeros 5 minutos de calentamiento, la temperatura se estabiliza y no se produce mucho aumento.
- Tarda poco tiempo en recuperar la temperatura inicial.

4.4.1.5._ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MUESTRAS EN EL INTERIOR

		Diferencia de temperatura máxima alcanzada	Tiempo necesario para alcanzar una diferencia de temperatura de 10°C	Tiempo de enfriamiento necesario para recuperar la temperatura inicial
Piedra	Gris	18.1 °C	10min.	3h
	Beige	18.5 °C	10min.	3h
Tablero de madera	Claro	14.8 °C	15min.	1h
	Oscuro	14.3 °C	15min.	1h
Panel composite	Blanco	31.7 °C	1-2min.	1h 30min.
	Negro	31.5 °C	1-2min.	1h 30min.
Policarbonato	Blanco	12.8 °C	6min.	45min.

Tabla 3.9. Resultados obtenidos de todas las muestras en ensayo de interior. Elaboración propia.



Gráfica 1.5. Estudio comparativo del comportamiento de todas las muestras ensayadas en interior. Elaboración propia.

- Piedra Gris
- Piedra Beige
- Tablero de madera claro
- Tablero de madera oscuro
- Panel composite blanco
- Panel composite negro
- Policarbonato alveolado

Conclusiones:

- El panel composite es el material que alcanza una mayor diferencia de temperatura ($31{'}7^{\circ}\text{C}$). En contraste, la piedra alcanza a una diferencia de $18{'}1^{\circ}\text{C}$. El resto de materiales se comportan de forma más similar a la piedra que el composite.
- Además, se observa que el panel composite es también el más rápido en alcanzar las temperaturas más altas, ya que ha llegado a alcanzar una diferencia de temperatura de 10°C en tan solo 2 minutos.
- Se observa también que, a pesar de ser el panel de policarbonato el que menos temperatura alcanza, es después del panel composite el más rápido en alcanzar una diferencia de 10°C , en 6 minutos. Es también el más rápido en la recuperación de la temperatura inicial.
- La piedra es el material que más tarda en recuperar la temperatura inicial, y el segundo que más tarda en alcanzar la diferencia de 10°C , por detrás de la madera que tarda 15 minutos.

¹ En las imágenes termográficas del panel composite, el tablero de madera y el panel de policarbonato se observa el reflejo de la cámara y de mi brazo al tomar las fotos debido a las superficies reflectantes de los materiales.

² En el caso del panel de policarbonato no se ha podido encontrar otra muestra del mismo material en distinto color por lo que el ensayo se realiza con una única muestra.

Composición de las imágenes termográficas:

