



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE UN EDIFICIO HISTÓRICO CON MUSEO Y CLAUSTRO



GRADO DE INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

ALUMNA: CECILIA VALENCIANO FELIPE

DIRECTORES ACADÉMICOS: JOSE LUIS VIVANCOS BONO
CAROLINA APARICIO FERNÁNDEZ

MODALIDAD: CIENTÍFICO-TÉCNICO

JUNIO 2011

INDICE

1. Objetivos.....	2
2. Historia del Real Colegio Seminario del Corpus Cristi.....	3
2.1. Emplazamiento.....	3
2.2. Referencia Histórica.....	4
2.2.1. Fundación.....	4
2.2.2. Construcción del edificio.....	5
3. Modelos flujos de energía de calor en cerramientos de fachadas.....	11
3.1. Transferencia de calor por Conducción.....	12
3.2. Transferencia de calor por Convección.....	14
3.3. Transferencia de calor por Radiación.....	15
3.4. Combinación de transferencia de calor.....	18
3.5. Modelos de transferencia de calor por Radiación Solar.....	20
3.5.1. Convección.....	23
3.5.1.1. Convección Natural o Libre.....	24
3.5.1.1.1. Superficie Exterior del Cerramiento..	25
3.6. Radiación solar sobre Cerramientos Verticales.....	26
4. Modelo. Circuito eléctrico con pérdidas y ganancias.....	31
4.1. Descripción de los parámetros empleados en el cálculo.....	36
4.1.1. Coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie exterior.....	37
5. Análisis de resultados.....	38
6. Conclusiones.....	51
Bibliografía.....	53

1. OBJETIVOS

Uno de los objetivos del presente trabajo ha sido la caracterización térmica de un edificio histórico con una fachada de tapial valenciano de 0,5 metros de espesor.

Se ha planteado un modelo térmico y se analizan los resultados de la simulación.

El modelo se establece para diversas orientaciones (Norte, Sur, Este y Oeste), centrándonos en este caso en particular en la fachada orientada al Este.

2. HISTORIA DE REAL COLEGIO SEMINARIO DEL CORPUS CRISTI

2.1. EMPLAZAMIENTO



Figura 1. Emplazamiento Colegio Seminario Corpus Cristi. [1]

El edificio, que consta de Capilla y Colegio, ocupa una manzana completa, de superficie casi cuadrangular (47,11m de este a oeste y 59,79m de norte a sur). En la parte oeste, la capilla, sacristía y varias piezas destinadas para la colocación y custodia de los ornamentos, alhajas y demás servicios de las mismas; al norte, los patios, cocinas y demás dependencias; al este, la biblioteca, estancia del rector, habitaciones de los colegios e instalaciones del museo, y al sur los pórticos o entradas del colegio y capilla, y la capilla especial de la Concepción, llamada también del Monumento por el fin al que se destina.

En la fachada principal recayente a la calle de la Nave, frente el edificio de la universidad, encontramos las dos portadas principales, una junto a la otra, la de la izquierda permite el acceso a un vestíbulo que a su vez da acceso a la capilla, y la de la derecha permite el paso al Colegio a través de otro vestíbulo.

La portada principal, la que da acceso a la capilla y la mayor decorada, está formada por una puerta con dobles columnas dóricas apoyadas sobre un alto basamento. Un frontón curvo partido en cuyo centro

encontramos el escudo del Patriarca y una fecha MDCIII, sobre este, otro frontón más pequeño y una inscripción CORPUS CHRISTI. En el centro de este pequeño frontón un diminuto óculo. Realzan las portadas algunos adornos de bolas.

La segunda portada que permite el paso al Colegio, es una sencilla puerta adintelada con escasa o nula decoración.

2.2. REFERENCIA HISTÓRICA

2.2.1. FUNDACIÓN

Fue levantado a instancias del patriarca San Juan de Ribera. Su construcción se comenzó en 1586 terminándose en 1615. Intervinieron maestros canteros como Gaspar Gregori, Guillem del Rey, Bartolomé Abril, Francisco Figuerola, entre otros.

Tiene su precedente en el Colegio del Patriarca actual Colegio de Santo Domingo (Orihuela), que fue fundado por el patriarca de Antioquía y Arzobispo de Valencia, el Cardenal Fernando de Loazes, oriolano de nacimiento, edificio que llegó a ser Universidad.

Fue declarado en 1962 Monumento histórico artístico nacional. En 2007 fue declarado Bien de interés cultural con categoría de monumento.

2.2.2. CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO

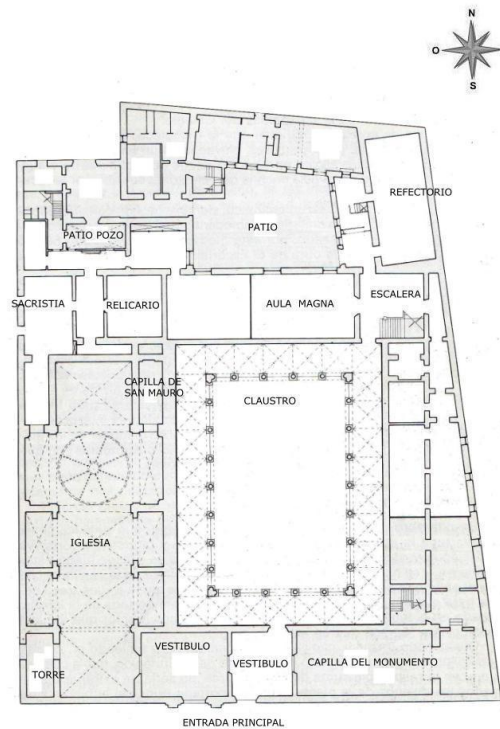


Figura 2. Planta edificio.

[1]

Todo el edificio fue construido entre 1586 y 1601. Consta de dos ámbitos diferenciado: la iglesia y la capilla de Monumento, separados por el vestíbulo; y el claustro alrededor del cual se estructuran las dependencias (refectorio, sala rectoral, biblioteca, sala de mapas). Dos torreones laterales que son cajas de escalera, sobresalen por su volumen cúbico: el más pequeño remata en una espadaña y contiene una escalera claustral de obra en baldosa, el más grande corresponde a la escalera monumental trabajada en piedra, y que después de la iglesia y el claustro es una de las piezas más notables del conjunto.

Perfectamente conservado en sus iniciales artísticas hasta nuestros días, el conjunto del Colegio ha seguido en buena medida las recomendaciones que el patriarca Ribera estableció en las Constituciones para que la capilla se preservase “perpetuamente en la misma forma y fábrica que la dejamos sin que se pueda acrecentar ni disminuir en ella”.

Las entradas adinteladas en el interior van provistas por pestillos, cerrojos y llaves. La iluminación del templo está constituida por cuerpos de luces, una linterna en la cúpula y con ventanas abocinadas; en cuanto a la elevación del pavimento en la capilla mayor y su acceso, realizado con calculadas gradas de mármol para resaltar la ceremonia religiosa. Igualmente, desde una estricta consideración arquitectónica, se puede afirmar que el Colegio del patriarca refleja con contundencia el particular acontecer arquitectónico que vive la ciudad de Valencia en las últimas décadas del siglo XVI. En los años en que se comenzó su construcción - 1586- la cultura arquitectónica valenciana había integrado plenamente el lenguaje renacentista basado en la comprensión de los órdenes, en el sistema de proporciones establecido por la lección del Antiguo y por los tratados de Vitrubio, Alberti o Serlio. Pero, a su vez, había logrado integrar, recrear o innovar tradiciones del abovedado de ladrillo.

IGLESIA

La iglesia es pieza de extraordinario interés tanto en sus intencionalidades como por sus resultados. Constituye uno de los elementos más destacables del Colegio y supone la instalación en Valencia de un nuevo modelo eclesial que rompía claramente con la característica de tipología medieval de iglesia parroquial, en esos momentos de evolución. Adoptaba planta de cruz latina no marcada con gran cúpula en el cruce –“la cruz que hace el cimborrio”, tempranamente comentada en 1571 por el humanista Palmireno, protegido del propio Ribera-, espaciosa nave central de dos tramos con capillas laterales igualmente amplias y poco profundas, y un tercer tramo correspondiente al coro alto a los pies, por donde se efectúa el ingreso desde un lateral. La capilla mayor, de cabecera recta, prescinde de la tradicional forma poligonal, modificación que ya ha sido introducida años antes en algunas auspiciadas por el propio Patriarca Ribera.



Figura 3. Iglesia

[1]

ESCALERA

En 1599, se capitulaba la escalera principal del Colegio, ubicada en el ángulo sureste del claustro y punto de unión de los dos pisos, la cual, en 1602, se ampliará conectándola con la biblioteca situada en un tercer nivel. Sin duda es la escalera monumental de la arquitectura valenciana y las capitulaciones de la misma se realizaron con el maestro Francisco Figueroa.

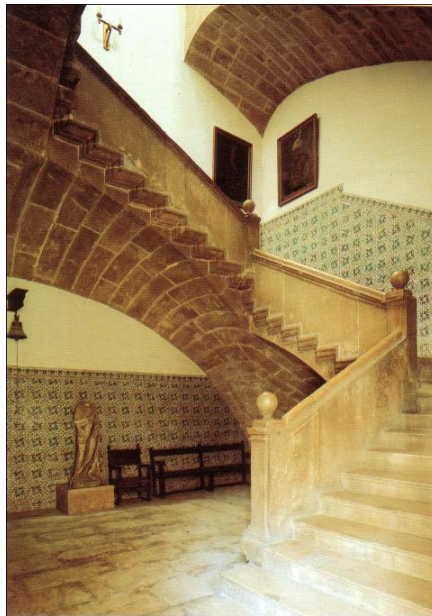


Figura 4. Escalera. [1]

CLAUSTRO

Diseñado en 1607 por Guillem del Rey. Consta de base rectangular, con dos arquerías señoriales superpuestas que se apoyan sobre setenta columnas de mármol Génova, mandadas labrar en Italia por los duques de Prastana y príncipes de Éboli para un palacio que proyectaban construir en Madrid. Queda así ordenado el conjunto por veintiséis arcos de medio punto en cada una de las galerías de los pisos inferior y superior; ocho arcos laterales y cinco arcadas en las galerías cortas, toda la obra construida en mármol blanco y con zocolada de azulejos de Talavera, dado como resultado una síntesis en que la sobriedad y la magnificencia se funden y culminan.

El claustro inferior se organiza con arcos de medio punto que descansan sobre columnas, mientras que el claustro superior lo hace sobre columnas jónicas. La galería superior está rodeada de una balaustrada, con pequeños óculos decorativo.



Figura 5. Claustro. [1]

CAPILLA

La capilla es de solo una nave y crucero, planta de cruz latina, bóvedas de medio cañón con tres tramos en la nave central; cúpula de media naranja, con linterna en la intersección de los brazos del crucero, cubierta en el exterior con tejas vidriadas, blancas y azules; capillas laterales: presbiterio y coro alto al pie de la nave, con bóveda rebajada y careciendo de pulpito fijo por disposición del fundador.

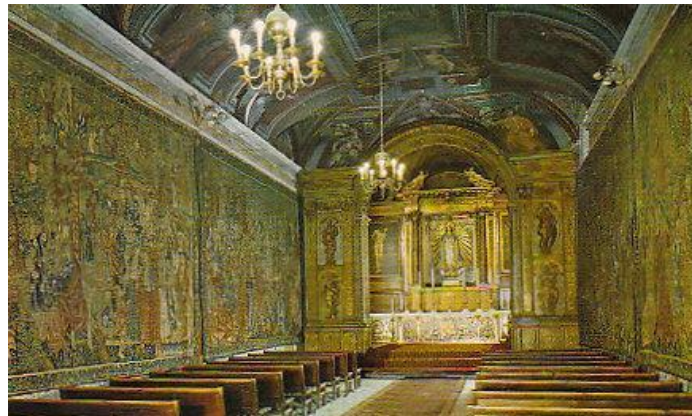


Figura 6. Capilla. [1]

3. MODELOS FLUJOS DE ENERGÍA DE CALOR EN CERRAMIENTOS DE FACHADAS

El calor tiene diferentes mecanismos de transmisión sobre la envolvente del edificio. Siempre que existe una diferencia de temperatura entre dos puntos, se producirá un flujo de calor desde la región más caliente hacia la más fría hasta que las temperaturas se igualen.

En una fachada habrá oscilaciones térmicas debidas a la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior. La temperatura exterior depende de la climatología, y la temperatura de la superficie exterior del cerramiento vertical depende también del color, la textura o la orientación. La temperatura interior en espacios habitables debe estar dentro de unos parámetros de confort, normalmente se supone una temperatura constante o con pequeñas oscilaciones.

La diferencia de temperaturas entre cuerpos da lugar a la transferencia de calor de las zonas con más alta temperatura hacia las de menor temperatura.

Los procesos de transmisión de calor se clasifican en tres tipos en función del mecanismo a través del que la energía es transportada por el medio.

Los mecanismos básicos son tres aunque normalmente se presentan mezclados:

- CONDUCCIÓN
- CONVECCIÓN
- RADIACIÓN

Además del uso de modelos de transferencia de calor se ha tenido en cuenta los factores externos que varían a lo largo del día. Tales como el viento y la radiación solar, que evidentemente afectan al cálculo pero a la vez permiten obtener un resultado más exacto. [2]

3.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por conducción es un modo de transmisión térmica, básicamente vibracional, a través del contacto directo entre los átomos o moléculas del material que atraviesa. La relación entre la velocidad de transferencia térmica por conducción y la distribución de temperaturas en el cerramiento depende de las características geométricas del mismo y de las propiedades de los materiales que lo conforman (λ : Conductividad térmica del material), reflejado en la ley de Fourier de conducción de calor:

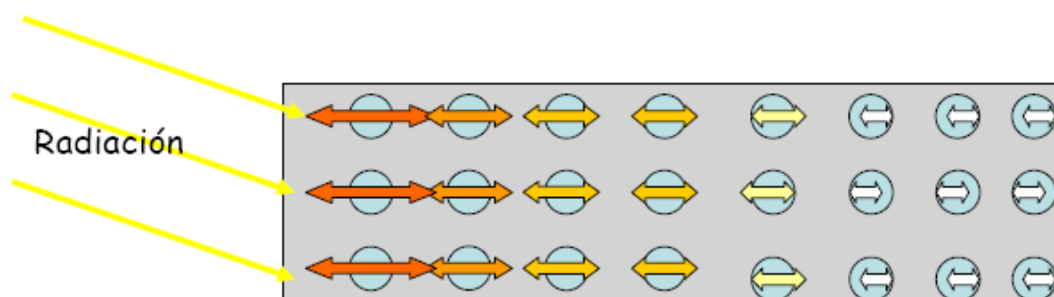


Figura 7. Transferencia de calor. (Área 2011) [3]

$$\Phi = \frac{dQ_x}{dt} = -\lambda \cdot S \cdot \left(\frac{dT}{dx}\right) \quad (1)$$

λ : Conductividad térmica: Cantidad de calor que en un segundo atraviesa en la dirección x un metro de espesor de material, cuando existe una diferencia de 1°C entre las dos superficies.

$\left(\frac{dT}{dx}\right)$ Gradiente de temperatura respecto al eje x en grados/metro.

S : Superficie (m^2) a través de la que se produce el paso del calor

Φ : Flujo de calor

El signo negativo responde a la segunda ley de la termodinámica donde el calor debe fluir hacia menos temperatura. Si el cerramiento no experimenta cambios de temperatura con el tiempo, ya que esta permanece constante, se denomina transmisión térmica en régimen estacionario y el flujo de calor es función directa de la conductividad térmica de los materiales.

Si no existe equilibrio, bien porque el cerramiento no ha tenido tiempo de estabilizarse o porque las condiciones de entorno varían con el tiempo, se denomina transmisión en régimen transitorio y se caracteriza porque la temperatura en cada punto del cerramiento varía con el tiempo. Una consecuencia de la variación de temperatura en el interior del cerramiento es la acumulación de calor, esta capacidad de almacenar calor está relacionada con el calor específico del material. [2]

3.2. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se produce a través de un medio fluido que puede ser gaseoso o líquido (aire o agua), el fluido transporta el calor a las zonas con diferentes temperaturas generando corrientes ascendentes y descendentes del fluido.

En el caso en que el movimiento del fluido se produzca únicamente por la diferencia de temperatura de dos superficies, se genera un movimiento del flujo hasta conseguir el equilibrio, es lo que se llama *convección natural* o libre.

Si existe una fuerza exterior que mueve el aire sobre la superficie, como puede ser el viento, se denomina *convección forzada*, que debido al incremento de la velocidad del aire se transmitirá una mayor cantidad de calor que en la convección libre o natural para una determinada diferencia de temperaturas.

La transferencia de calor en los procesos de convección puede estudiarse mediante la ecuación de Newton:

$$\Phi = h \cdot S \cdot \Delta T \quad (2)$$

Donde Φ es la potencia disipada (energía transportada por unidad de tiempo), h es el coeficiente de convección, S la superficie de contacto y ΔT la diferencia de temperaturas entre la placa caliente y el seno del fluido. [2]

3.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

Se produce transmisión por radiación cuando hay intercambio de calor con el entorno mediante absorción o emisión de energía por ondas electromagnéticas.

Mientras que en la conducción y convección se precisa de un medio material para poder transportar la energía, la transmisión de ondas electromagnéticas se produce a través del vacío o atravesando un medio transparente como el aire.

Todas las superficies opacas emiten energía en forma de radiación en una magnitud proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta T y de la superficie radiante A . Los cerramientos opacos emiten radiaciones de onda larga, correspondiente al infrarrojo lejano, procedente de sus superficies a temperaturas típicas del ambiente, en función de una propiedad superficial denominada *emitancia*, y de forma simultánea absorben radiaciones similares emitidas por las superficies visibles de su entorno, en un proceso denominado *irradiación*, donde se determina según la *Ley de Planck*:

$$Q_{emitida} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad (3)$$

Donde

- $Q_{emitida}$: es la *emitancia* superficial del cerramiento (w),
- ε : es la emisividad del material,
- σ : es la constante de Stefan-Boltzmann en W/m^2K^4 ; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m^2K^4)
- T es la temperatura superficial del objeto y
- A es el área del objeto analizado en m^2

Un cuerpo negro ideal emite de forma continua energía de todas las longitudes de onda, siguiendo el modelo de emisión de Planck, que además demuestra que la longitud de onda dominante es proporcional a la temperatura absorbente de la superficie radiante, obteniendo. Para un cuerpo de emisividad ε :

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (4)$$

Siendo: ε = emisividad de la superficie

$$\varepsilon = \frac{E}{E_b} = \frac{\text{energía emitida por el cuerpo considerado}}{\text{energía emitida por el cuerpo negro}} \quad (5)$$

Su valor es 1 para un cuerpo negro. *Para el cuerpo gris la radiación incidente (también llamada irradiación), bien se refleja, se absorbe o bien se transmite en parte. Los valores del coeficiente de emisividad van de 0 a 1, dependen del material y de la temperatura de la superficie del material analizado.*

Evidentemente, la emisividad de los materiales es adimensional.

En un cerramiento respecto al exterior también se debe considerar la presencia de radiación de onda corta, correspondiente al espectro de radiación visible e infrarrojo cercano, procedente de fuentes con temperatura elevada como el sol o el alumbrado artificial. En este caso los cerramientos son cuerpos absorbentes y su capacidad absorbente depende de la *absorbancia*.

$$Q_{\text{absorbida}} = \alpha \cdot Q_{\text{incidente}} \quad (6)$$

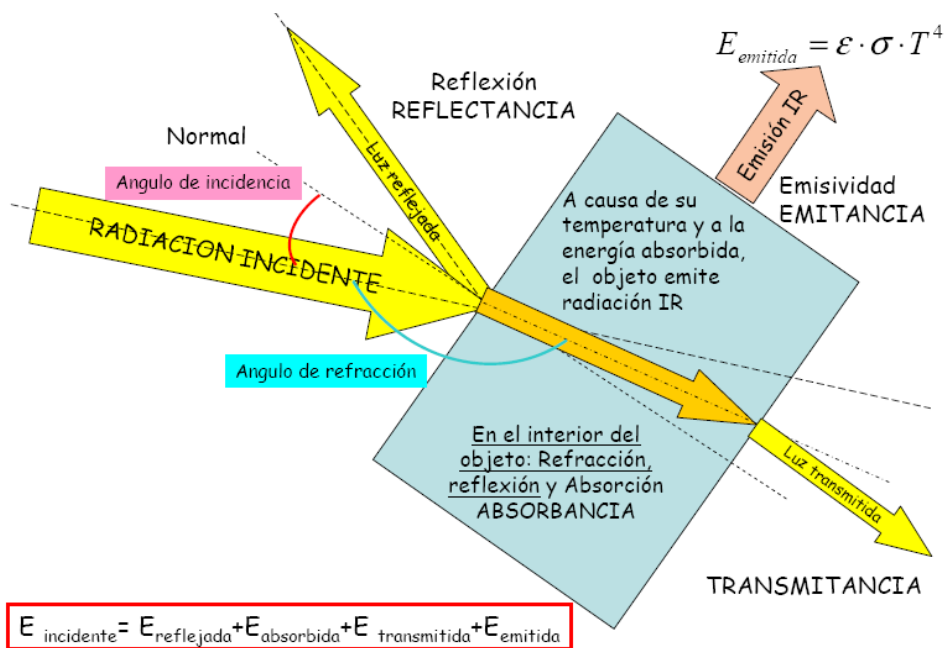


Figura 8. Interacción de la radiación con los cuerpos. (Área 2011) [3]

3.4. COMBINACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Cuando se solapan los distintos medios de transmisión térmica por *conducción*, *radiación* y *convección*, es difícil saber con exactitud la contribución de cada uno de ellos. También habrá que tener en cuenta la acumulación de calor por parte del material analizado que a su vez también afectará a la transmisión global del cerramiento.

La radiación solar incidente en la superficie terrestre o en un cuerpo opaco en forma de onda corta se transforma en onda larga en forma de calor, solapando los efectos de *radiación* y *convección*.

A su vez, el flujo de *convección* dependerá de la velocidad del aire que combina con la *radiación*. La simultaneidad del efecto de radiación y convección ha permitido definir el *Coeficiente de transferencia de calor superficial*, **h**, valor difícil de cuantificar con métodos analíticos, por lo que se proponen gran variedad de modelos simplificados. Calcular flujos con convección y radiación combinados nos permite el cálculo del calor de un cerramiento con trasferencias combinadas:

$$Q = h \cdot \Delta T = (h_{convección} + h_{radiación}) \cdot \Delta T \quad (7)$$




Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal 	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente 	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente 	0,04	0,17

Figura 9. Anexo E del CTE. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²·K/W

Dirección de flujo de calor	R_{si} (20°C)	$1/R_{si} = h_{si}$
Ascendente	0,1	10,00
Horizontal	0,13	7,69
Descendente	0,17	5,88

Figura 10. Valores calculados de h_{si}

[2]

3.5. MODELOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN SOLAR

El sol es la fuente de energía más económica, inagotable y no contaminante, por lo que debemos conocerla para poder aprovecharla al máximo. En edificación es imprescindible tener en cuenta la incidencia de la radiación solar sobre los cerramientos o sobre los locales habitables. En climas fríos para conseguir el máximo de aprovechamiento de horas con radiación solar y en zonas cálidas para proponer medidas eficaces de protección solar.

El movimiento elíptico de la tierra alrededor del sol y el giro de la tierra sobre si misma produce distintos estados de radiación que definen el día, la noche y las cuatro estaciones. La distancia al sol y las horas de radiación diaria sobre la superficie terrestre es lo que define en gran medida la climatología, y el clima es lo que debe definir el tipo constructivo. Definiremos algunos conceptos básicos para explicar cómo se ha trabajado con la radiación solar incidente en los paramentos verticales.

La radiación solar que incide sobre la capa superior de la atmósfera G_0 es sensiblemente inferior a la que llega a la superficie terrestre ya que los gases de la atmósfera producen un efecto de reflexión, refracción y dispersión sobre la radiación. La radiación solar que llega a la superficie terrestre después de atravesar la atmósfera, es lo que se denomina radiación solar global (G). La radiación global se divide en tres tipos de radiación: directa, difusa y reflejada.

La *radiación directa* es, como su propio nombre indica, la que proviene directamente del sol.

La *radiación difusa* es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo "ven" la mitad de la semiesfera celeste.

La *radiación reflejada* es, como su propio nombre indica, la parte de radiación que llega al suelo y no es absorbida sino reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben. Dependiendo del grado de inclinación con respecto al plano vertical reciben más o menos radiación reflejada.

Para los casos analizados en este trabajo, por ser paramentos verticales, tendremos en cuenta los tres tipos de radiación ya que la diferencia entre cada tipo radiación y la hora de mayor incidencia de radiación directa tiene mucho peso sobre los datos analizados.

Los datos de radiación con los que se ha trabajado son los datos de la Agencia Estatal de Meteorología que tiene su base de toma de datos de radiación en Nou Campanar, como se muestra en la lectura de datos de la imagen siguiente:

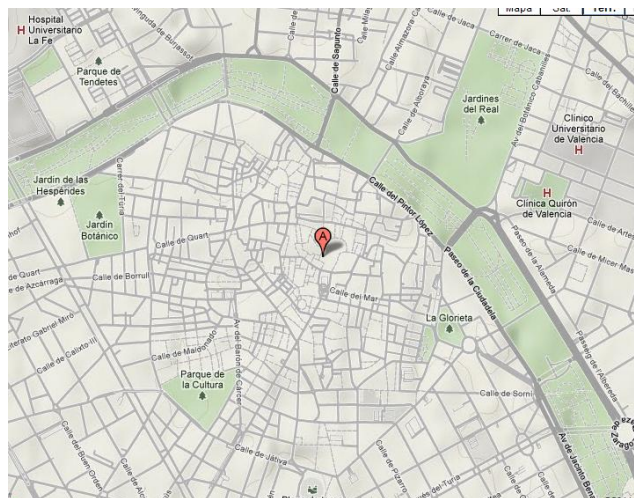


Figura 11. Situación Estación Meteorológica Nou Campanar, Valencia.

Capital: Valencia (altitud: 16 m)

Latitud: 39° 28' 31" N - **Longitud:** 0° 22' 32" O



Figura 12. Meteo Valencia. [4]

La Agencia Estatal de Meteorología (AEM) mide la radiación global incidente sobre una superficie horizontal con un piranómetro.

Con los datos de radiación diaria obtenidos en esta estación se han calculado la radiación solar incidente en los planos verticales de las fachadas analizadas. Los datos proporcionados por la AEM es la radiación global sobre plano horizontal medida cada diez minutos las 24 horas del día.

El piranómetro mide la radiación global horizontal incidente sobre una superficie. Generalmente se monta sobre una superficie horizontal, midiendo la radiación global incidente en un plano horizontal, compuesta por la suma de la directa y la difusa en plano horizontal.

Date	Time	Temp. Ext.	Temp. Máx.	Temp. Mín.	Hum. Ext.	Pto. Rocío	Vel. Viento	Dir. Viento	Rec. Viento	Vel. Máx.	Dir. Max.	Sens. Term.
18/06/11	0:10	22.9	22.9	22.9	77	18.7	3.2	NE	0.54	8.0	NE	22.9
18/06/11	0:20	22.9	22.9	22.8	76	18.4	3.2	NE	0.54	6.4	NE	22.9
18/06/11	0:30	22.9	22.9	22.9	75	18.3	3.2	NE	0.54	6.4	NE	22.9
18/06/11	0:40	22.9	22.9	22.9	76	18.5	0.0	NE	0.00	1.6	NE	22.9
18/06/11	0:50	22.9	22.9	22.9	75	18.3	1.6	NE	0.27	4.8	NE	22.9
18/06/11	1:00	22.9	22.9	22.9	77	18.7	1.6	NE	0.27	4.8	NE	22.9
18/06/11	1:10	22.9	22.9	22.9	77	18.6	0.0	NE	0.00	1.6	NE	22.9
18/06/11	1:20	22.8	22.8	22.8	77	18.5	0.0	---	0.00	0.0	---	22.8
18/06/11	1:30	22.8	22.8	22.8	77	18.5	0.0	NE	0.00	1.6	NE	22.8
18/06/11	1:40	22.7	22.8	22.7	78	18.6	1.6	NE	0.27	3.2	NE	22.7
18/06/11	1:50	22.7	22.7	22.7	79	18.8	1.6	NE	0.27	4.8	NE	22.7
18/06/11	2:00	22.6	22.6	22.6	79	18.8	0.0	NE	0.00	1.6	NE	22.6
18/06/11	2:10	22.4	22.6	22.4	79	18.6	0.0	---	0.00	0.0	---	22.4
18/06/11	2:20	22.4	22.4	22.4	78	18.4	0.0	---	0.00	0.0	---	22.4
18/06/11	2:30	22.4	22.4	22.4	78	18.4	0.0	---	0.00	0.0	---	22.4
18/06/11	2:40	22.1	22.4	22.1	80	18.5	1.6	NE	0.27	4.8	NE	22.1
18/06/11	2:50	21.7	22.1	21.7	80	18.1	0.0	NE	0.00	3.2	NE	21.7

Figura 13. Datos 8 dias Meteo Valencia. [4]

3.5.1. CONVECCIÓN

Definir la estrecha lámina de aire adosada a una superficie es lo que calcula la *convección natural*. Es la única capa que por ser un fluido modifica sus condiciones de temperatura y densidad, haciendo de intercambiador con el resto del fluido del ambiente interior o exterior. Por tener una densidad y temperatura distinta y ser un fluido se mueve por efecto de la gravedad de forma que cuando se calienta asciende. El movimiento de esta película de aire se ve afectado también por la inclinación de la superficie en contacto, la rugosidad y la viscosidad del flujo o aire adyacente. Esta fina capa que circula alrededor de los cerramientos intercambiando temperatura entre el material sólido del cerramiento y el fluido del aire de una estancia habitada, produce un efecto de cambio de temperatura superficial. La diferencia de temperatura entre la superficie del cerramiento y el ambiente interior es lo que provoca la convección natural en el interior de una estancia. [2]

3.5.1.1. CONVECCIÓN NATURAL O LIBRE

La estimación analítica de la convección natural ha sido desarrollada por distintos modelos para determinar lo que denominamos *coeficiente de convección natural*, que se expresa en $W/m^2\text{°C}$ y se designa con h .

En el campo de la mecánica de fluidos utilizan los parámetros adimensionales como son el Número de Nusselt, de Grashof y de Prandtl.

En función de la dirección del flujo de calor, el salto térmico, el tamaño de la superficie de intercambio, la rugosidad de la superficie y del régimen del fluido si es laminar o turbulento tendremos distintos valores para estas constantes. Hay diversas referencias sobre el cálculo de estos Números desarrollados para el cálculo de conductos en instalaciones o para superficies planas.

Se pueden utilizar varios métodos para obtener los valores de los coeficientes superficiales de transmisión utilizando convección y radiación.

[2]

3.5.1.1.1. SUPERFICIE EXTERIOR DEL CERRAMIENTO

Hay gran variedad de modelos que se complican según aumenta la velocidad del viento, llegando a desprejarse la convección por radiación cuando el viento supera los 5 m/s.

Aplicando la misma fórmula simplificada con los valores de velocidad obtenida según la normativa vigente, obtenemos los siguientes resultados con el coeficiente superficial exterior:

$$\text{Si } v = 4,04\text{m/s} \quad h = 5,62 + 3,91 \cdot v$$

$h_{se} = 21,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$ frente a los $25 \text{ W/m}^2\text{°C}$ que nos aplica el CTE.

Obtenemos valores similares que no alteran demasiado los resultados finales de resistencia térmica del cerramiento.

Ante la imposibilidad de contrastar la fórmula que aplica la norma UNE EN ISO 6946:1996 por ninguno de los modelos simplificados habitualmente empleados en termodinámica y puesto que no se ha podido demostrar su obtención no hemos considerado su aplicación en el modelo analizado.

Así, los valores para el cálculo del coeficiente superficial exterior en los cerramientos verticales, se han utilizado los propuestos en el modelo de Jurgens.

	$v < 5\text{m/s}$	$v > 5\text{m/s}$
Jurgens	$h = 5,62 + 3,91 \cdot v$	$h = 7,34 \cdot v^{0,8}$

Figura 14. Modelo simplificado para el cálculo de conveccion según Jurgens. [2]

3.6. RADIACIÓN SOLAR SOBRE CERRAMIENTOS VERTICALES

La obtención de la radiación sobre cada uno de los planos verticales o fachadas se ha realizado a partir de los datos de radiación global obtenidos con el piranómetro (global horizontal: directa y difusa). Sobre los planos verticales la radiación total incidente se puede descomponer en tres tipos (directa, difusa y reflejada) y depende de la inclinación y orientación de cada plano vertical.

Para convertir la radiación global horizontal en global sobre los planos analizados, se ha creado un programa que calcula la radiación directa, difusa y reflejada en los planos verticales analizados para todos los días del periodo analizado con datos de radiación cada 10 minutos.

Para el análisis de la radiación solar incidente en planos verticales se han tenido en cuenta la inclinación y orientación concreta de cada fachada.

Aquí calculamos de PVGIS el promedio del mes de Abril. De analizar estos datos obtenemos que, en Valencia durante el mes de Abril, se recibe radiación solar desde las 7,50 horas cuando sale el sol a las 20,10 horas cuando se pone (12 horas de radiación solar). Se ha confeccionado un programa que nos permite convertir la radiación solar medida con piranómetro a cualquier plano inclinado y para cualquier orientación, así como su descomposición en tres tipos de radiación directa, difusa y reflejada.

De la base de datos PVGIS se obtienen valores en tabla con la estimación de radiación solar cada 15 minutos.

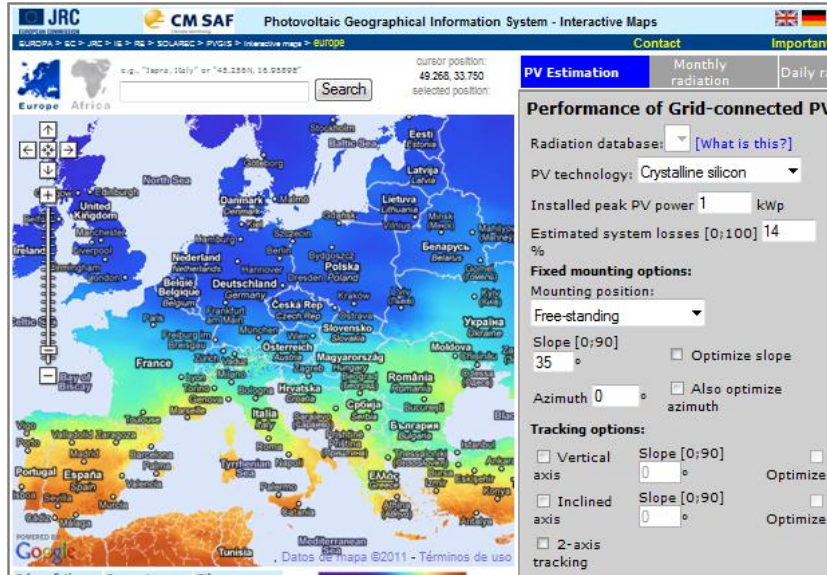


Figura 15. PVGIS

Hora		Irradiancia global para cielo (W/m2)	Irradiancia global (W/m2)	Irradiancia directa (W/m2)	Irradiancia difusa (W/m2)	Irradiancia reflejada (W/m2)
5.62	5:37	9	11	0	9	2
5.88	5:53	15	19	0	16	3
6.12	6:07	21	27	0	22	5
6.38	6:23	27	35	0	29	6
6.62	6:37	32	41	0	34	7
6.88	6:53	37	48	0	39	8
7.12	7:07	42	54	0	44	9
7.38	7:23	46	59	0	49	10
7.62	7:37	50	64	0	53	11
7.88	7:53	53	68	0	56	12
8.12	8:07	104	113	7	80	26
8.38	8:23	142	137	23	87	28
8.62	8:37	180	161	38	93	30
8.88	8:53	219	186	55	98	32
9.12	9:07	258	209	71	104	34
9.38	9:23	295	232	88	108	36
9.62	9:37	332	254	104	112	38
9.88	9:53	367	275	120	116	39
10.12	10:07	401	295	135	119	40
10.38	10:23	433	313	150	122	41
10.62	10:37	462	330	163	125	42
10.88	10:53	489	346	176	127	43
11.12	11:07	514	360	187	129	44
11.38	11:23	536	372	197	131	44
11.62	11:37	554	383	206	132	45
11.88	11:53	570	392	214	133	45
12.12	12:07	583	399	220	135	45
12.38	12:23	592	404	224	135	45
12.62	12:37	598	408	227	136	44
12.88	12:53	600	409	228	136	44
13.12	13:07	599	408	228	137	43

Figura 16. Tabla Irradiancia vertical. Abril. [5]

De estos datos y de forma visual se desprenden datos elementales de radiación para cada orientación:

- En Abril se considera 12 horas y 40 minutos al día a efectos de cálculo de radiación.
- Al norte la radiación global máxima se obtiene al medio día y al sur también. En la fachada sur llega a 610 W/m^2 sobre las 15:10 pm.
- La radiación global a este y oeste en ambos casos supera los 610 W/m^2 , aunque al este se produce a las 11:30 am y al oeste a las 17:30 pm.

Debemos tener en cuenta que en los programas que analizan y miden la radiación solar en distintas zonas del globo terráqueo lo suelen hacer con respecto al Tiempo Universal (TU) o tiempo medido en el meridiano de Greenwich (GMT).

Según la distancia al meridiano 0, se calcula la hora local (HL) con respecto al tiempo universal. Además, desde hace décadas, se añade una hora en verano para aprovechar mejor las horas solares en horario laboral reduciendo. Debido a que los datos obtenidos en PVGIS están con respecto al TU se debe corregir la hora para realizar el cálculo con respecto al HL. Así, en España nos sumamos al horario de Europa central, quedando corregidas las horas:

Horario de verano: $HL = TU + 2h$

Horario de invierno: $HL = TU + 1h$

Aplicando las correcciones anteriormente señaladas y para la radiación diaria medida en Nou Campanar, se comparan los datos de radiación obtenidos. Para la obtención de la radiación global a partir de los datos recogidos, se ha realizado un promedio en cada orientación por lo que en los datos y gráficas de días reales calculados aparece una gráfica más denominada *pronóstico*, los valores son los obtenidos a partir del promedio de radiación global cada 15 minutos, reduciendo así el impacto de las variaciones diarias debidas a accidentes casuales, como puedan ser pequeñas nubosidades.

Los datos obtenidos son de radiación diarios, en este caso sobre el día soleado analizado, obtenemos la radiación global sobre los cuatro planos verticales orientados con exactitud hacia el norte, según las gráficas adjuntas sobre las que se puede apreciar que la radiación se adapta al momento concreto y real gracias a que los datos analizados de radiación son cada diez minutos. Cabe destacar la diferencia de radiación entre las mediciones y la previsión, ya que la radiación global está bastante por encima de la previsión. También se puede apreciar la adaptación de la radiación al momento concreto variando a lo largo del día y no consiguiendo la simetría perfecta del día tipo.

En las abscisas están las horas de radiación solar a lo largo del día. En la base de datos de radiación el horario está con respecto al TU mientras que en los datos obtenidos en la estación *Meteovalencia* es la hora local. Es necesario tenerlo en cuenta para convertir la radiación en las zonas de cada franja horaria tal y como se ha comentado anteriormente.

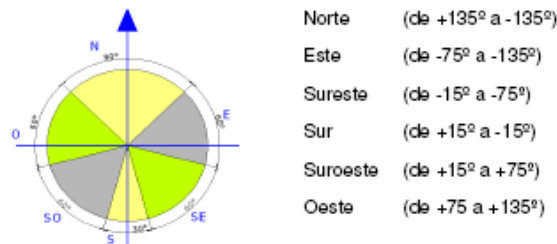


Figura 17. Orientaciones de las fachadas con respecto al norte.

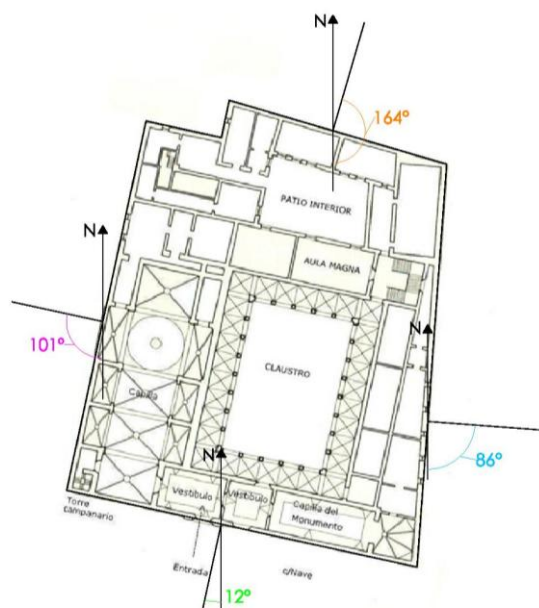
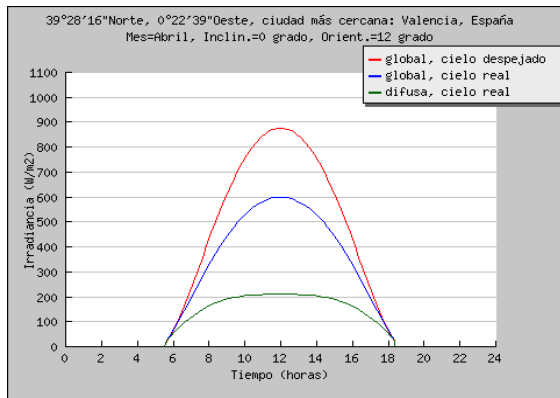


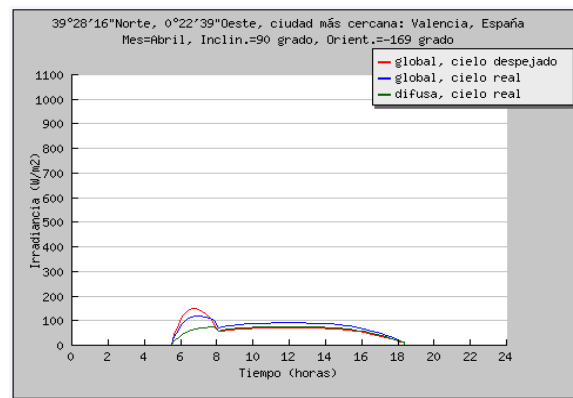
Figura 18. Orientaciones de las fachadas con respecto al norte.

La orientación de un edificio se relaciona con su respuesta climática. Los cerramientos verticales se clasifican según la incidencia de la radiación solar sobre ellos. Son seis las orientaciones de los cerramientos verticales con distinta respuesta climática debida a la incidencia de la radiación solar sobre estos. Las orientaciones son las que se representan:

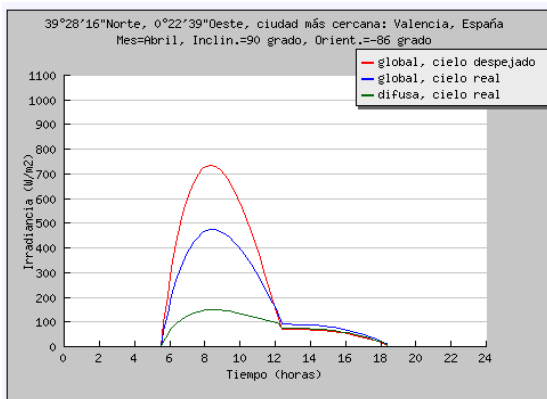
SUR



NORTE



ESTE



OESTE

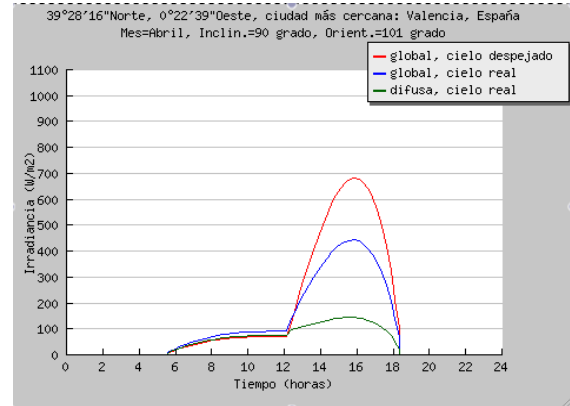


Figura 19. Radiación solar incidente sobre paramento vertical para distintas orientaciones en el mes de Abril en W/m^2 . [5]

4. MODELO. CIRCUITO ELÉCTRICO CON PÉRDIDAS Y GANANCIAS.

Aplicando el principio de la termodinámica que afirma que la cantidad de energía de un sistema permanece invariable a lo largo del tiempo, aunque dicha energía se puede transformar en otra forma de energía. Esto nos permite considerar la transformación de la energía solar en energía calorífica.

Se plantea un circuito eléctrico en el que se pretende controlar o conocer las ganancias y pérdidas caloríficas, considerando las condiciones externas que pueden hacer variar el comportamiento del cerramiento:

Temperatura exterior. Nou Campanar. Valencia.

Radiación solar. Nou Campanar .Valencia.

Viento. Velocidad y dirección. Nou Campanar .Valencia.

Se va a simular la temperatura a lo largo del muro. Es difícil de validar el modelo porque es complicado medir la temperatura dentro del muro, ya que haría falta poner una sonda dentro de este, con lo cual esto crearía un puente térmico.

El modelo ha evolucionado con el trabajo realizado, hasta conseguir un ajuste adecuado.

Teniendo en cuenta:

Radiación solar

T exterior

T interior

Sobre un dV tenemos:

$$\text{Flujodeentrada} = q_x + q_y + q_z \quad (8)$$

$$\text{Flujodesalida} = q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz} \quad (9)$$

$$\text{Generación} = G \cdot dV \quad (10)$$

$$\text{Acumulación} = \rho \cdot C_p \cdot dV \cdot \frac{dT}{\delta t} \quad (11)$$

Puesto que una fachada no genera energía consideramos G con valor 0, quedando el balance energético como:

Velocidad de acumulación de energía =
Flujo de entrada de energía + Flujo de salida de energía

Balance de energía según la Ley de Fourier para un dV :

$$\Phi_x = \frac{dQ_x}{dt} = -k \cdot dS \cdot \left[\frac{dT}{dx} \right]_x = -k_x \cdot d_y \cdot d_z \cdot \left[\frac{dT}{dx} \right]_x \quad (12)$$

Balance de energía. Diferencia de flujo entre la entrada y la salida.
Para el eje x_ podemos escribir que:

$$d\Phi_x = d \left[\frac{dQ_x}{dt} - \frac{dQ_{x+dx}}{dt} \right] = \frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \cdot d_x \cdot d_y \cdot d_z \cdot \left(\frac{dT}{dx} \right) \right] \quad (13)$$

Sustituyendo la ecuación en el balance de energía general:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \cdot dV \cdot \frac{dT}{dx} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y \cdot dV \cdot \frac{dT}{dy} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \cdot dV \cdot \frac{dT}{dz} \right] = \rho \cdot C_p \cdot dV \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (14)$$

Eliminando el diferencial de volumen por considerarlo despreciable, obtenemos la siguiente ecuación de calor:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \cdot \frac{dT}{dx} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y \cdot \frac{dT}{dy} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \cdot \frac{dT}{dz} \right] = \rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (15)$$

Consideramos que el calor sólo se conduce en la coordenada x , por lo que sólo tendremos en cuenta el dx , pudiendo escribir:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \cdot dV \cdot \frac{dT}{dx} \right] = \rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (16)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \cdot \frac{dT}{dx} \right] = \frac{\rho \cdot C_p}{k_x} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (17)$$

Balance de energía según la Ley de Fourier para una placa plana (asimilable a una fachada):

$$\Phi = \frac{dQ_x}{dt} = k \cdot dS \cdot \left[\frac{dT}{dx} \right]_x \quad (18)$$

Integrando la ecuación de Fourier tenemos:

$$\frac{Q}{t} = W = k \cdot S \cdot \frac{T_1 - T_2}{l} \quad (19)$$

[2]

Existe una similitud formal entre las formulaciones de la ley de Fourier y la ley de Ohm por lo que es habitual representar sobre el modelo las pérdidas como resistencias.

El modelo se calcula por diferencias finitas siendo el intervalo de tiempo considerado de 10 minutos, por lo que:

$\Delta t = 10$ minutos = 600 segundos. El incremento de tiempo es de 600 segundos.

En los casos analizados, el Δt de 10 minutos es suficiente para obtener resultados que se aproximan a la realidad. Los cálculos se realizan por aproximación respecto al valor anterior.

Siguiendo el principio sobre la conservación de energía se plantean las siguientes ecuaciones:

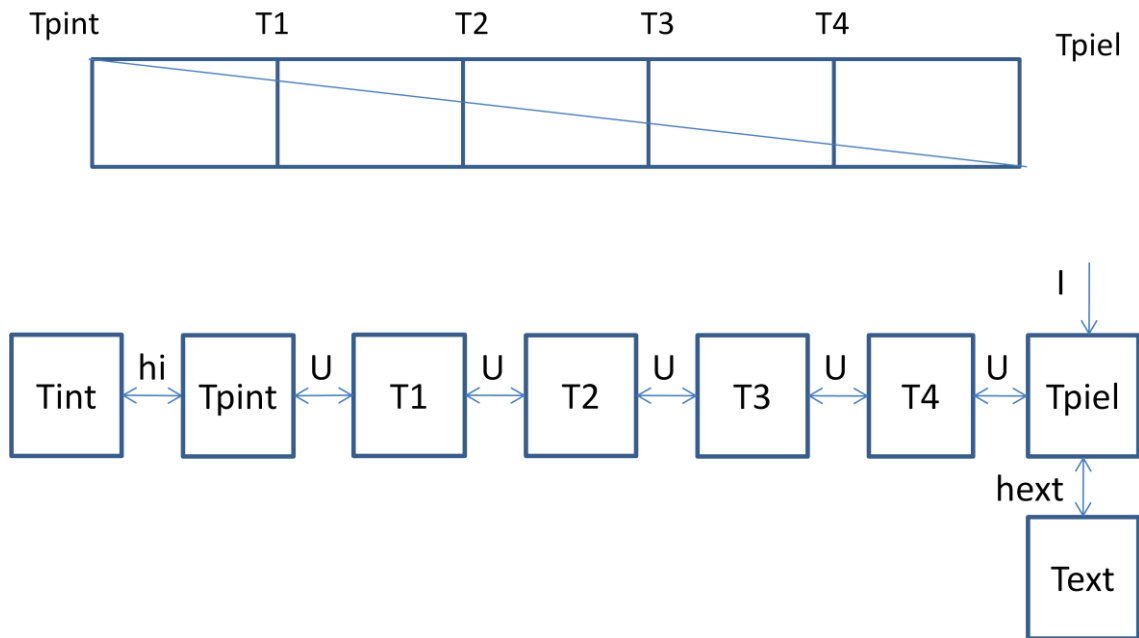


Figura 20. Analogía termoeléctrica.

Para obtener la temperatura T_4 :

$$\frac{m * dT_4}{dt} = -U * (T_4 - T_{piel}) - U * (T_4 - T_3) = U * (T_{piel} - T_4) + U * (T_3 - T_4) = U * (T_{piel} + T_3 - 2 * T_4)$$

$$\frac{m * \Delta T_4}{\Delta t} = U * (T_{piel} + T_3 - 2 * T_4)$$

$$T_4^{t+\Delta t} - T_4^t = \frac{\Delta t}{m} * U * (T_{piel}^t + T_3^t - 2 * T_4^t)$$

$$T_4^{t+\Delta t} = T_4^t + \frac{\Delta t}{m} * U * (T_{piel}^t + T_3^t - 2 * T_4^t) \quad (20)$$

Para obtener T_1, T_2 y T_3 :

$$\begin{aligned}
 T_3^{t+\Delta t} &= T_3^t + \frac{\Delta t}{m} * U * (T_4^t + T_2^t - 2 * T_3^t) \\
 T_2^{t+\Delta t} &= T_2^t + \frac{\Delta t}{m} * U * (T_3^t + T_1^t - 2 * T_2^t) \\
 T_1^{t+\Delta t} &= T_1^t + \frac{\Delta t}{m} * U * (T_2^t + T_{pint}^t - 2 * T_1^t)
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

Para obtener T_{pint} :

$$\begin{aligned}
 \frac{m * dT_{pint}}{dt} &= -U * (T_{pint} - T_1) - hi * (T_1 - T_{int}) \\
 \frac{m * \Delta T_{pint}}{\Delta t} &= -U * (T_{pint} - T_1) - hi * (T_{pint} - T_{int}) \\
 T_{pint}^{t+\Delta t} - T_{pint}^t &= \frac{\Delta t}{m} * (-U * (T_{pint}^t - T_1^t) - hi * (T_{pint}^t - T_{int})) \\
 T_{pint}^{t+\Delta t} &= T_{pint}^t + \frac{\Delta t}{m} * (U * (T_{pint}^t - T_1^t) - hi * (T_{pint}^t - T_{int}))
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

Para obtener T_{pext} :

$$T_{pext} = I - U * (T_{pext} - T_4) - h_{ext} * (T_{pext} - T_{ext})
 \tag{23}$$

4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS EMPLEADOS EN EL CÁLCULO

MASA TÉRMICA DE LA CAPA DEL CERRAMIENTO

La masa del cerramiento por m^2 se calcula como:

$$m = \frac{C_e \cdot \text{espesor}}{2} = \frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C} \cdot m = \frac{J}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad (24)$$

Donde:

e = espesor de las capas en m

C_e = calor específico $J/m^3 \cdot ^\circ C$

La mitad de la masa del cerramiento se considera como tal en cada una de las capas de este. Esto implica que en cada capa se considere que la mitad de la masa afecta al interior y la otra al exterior.

CALOR ESPECÍFICO

c_e = calor específico de cada uno de los materiales que conforman el cerramiento en $J/m^3 \cdot ^\circ C$. [2]

4.1.1. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR SOBRE LA SUPERFICIE EXTERIOR (HEXT)

En la capa límite entre un fluido y un sólido, tendremos en cuenta la convección mixta de la hoja exterior. Se ha utilizado el modelo de Mc Adams que nos permite calcular h según la velocidad del viento, y varía la ecuación a partir de los 5m/s.

	$v < 5\text{m/s}$	$v > 5\text{m/s}$
Jurgens	$h = 5,62 + 3,91 \cdot v$	$h = 7,34 \cdot v^{0,8}$

Figura 14. Modelo simplificado para el cálculo de conveccion según Jurgens.

Este valor de coeficiente superficial contempla el coeficiente de radiación y el de convección en función de la velocidad del aire exterior. En el modelo lo hemos nombrado como *hext*.

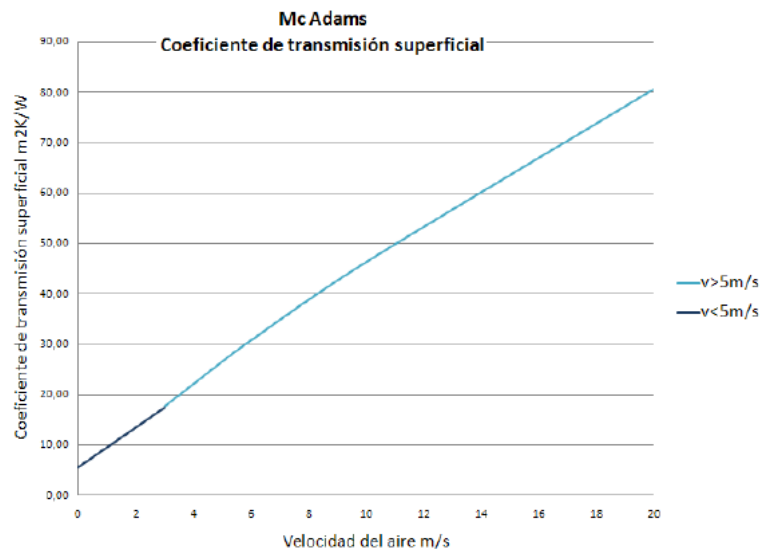


Figura 21. Gráfica con los valores de convección mixta sobre una superficie propuestos por Mc Adams. [2]

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Como se observa en las siguientes gráficas, éstas describen cada una de las capas del cerramiento existiendo un máximo y un mínimo representativo para cada día.

Si nos centramos en la temperatura interior de la estancia, comprobamos que se ha fijado una temperatura promedio de la misma de 15°C, aunque en ningún momento la piel interior alcanza dicha temperatura. Esto es debido a que en la simulación que hemos realizado se ha tomado h_i (coeficiente de convección) como una constante (referenciado en la figura 9 y 10) y a que existe una aportación de calor, desde el exterior al interior del cerramiento. Este aporte de calor está siendo acumulado en las diferentes capas durante varios días, y por tanto no deja que estas se lleguen a enfriar lo suficiente para alcanzar los 15°C.

En referencia a la figura 22, observamos que la temperatura de la piel interior oscila entre 16°C y 18°C, siendo la máxima 17,81 °C el día 12 y la mínima 16,5°C el día 1.

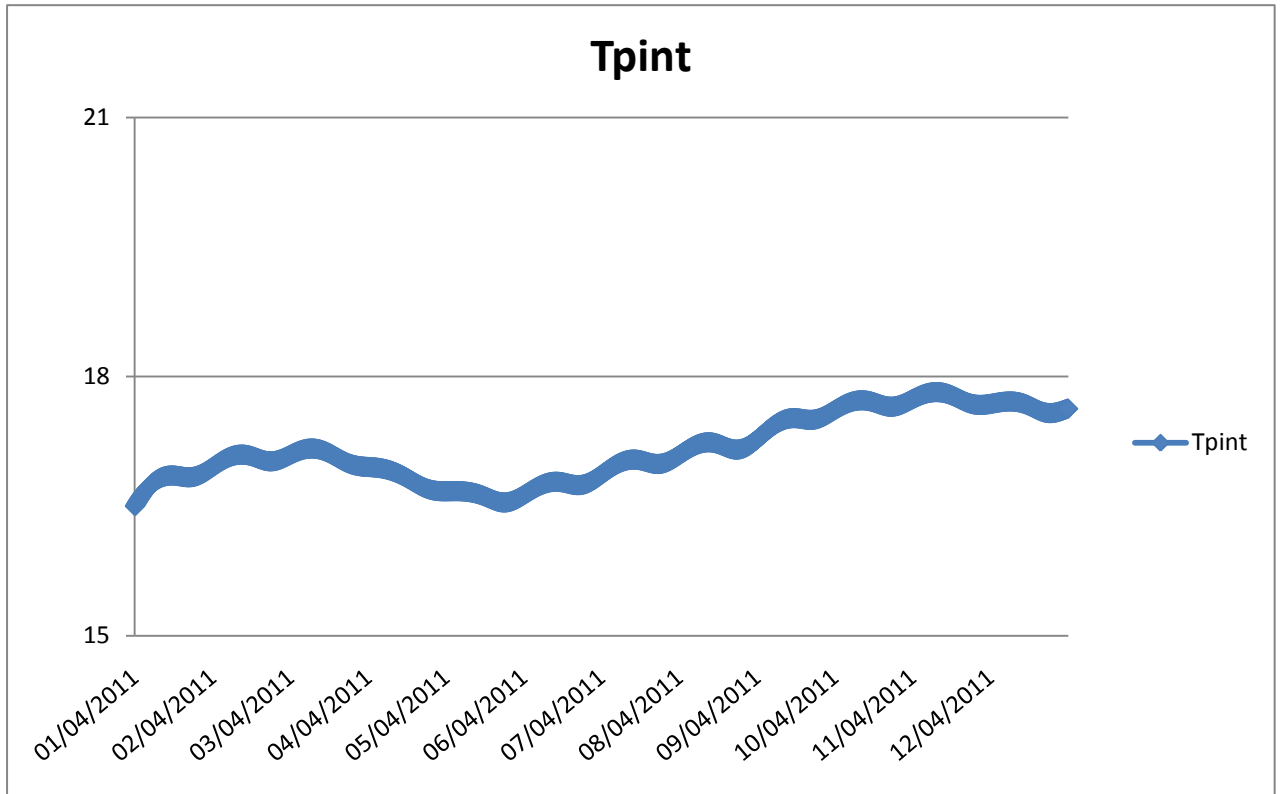


Figura 22. Gráfica de la temperatura de la capa de la piel interior del muro.

En la figura 23, apreciamos una variación de la temperatura de la capa 1 entre 17°C y 20°C, siendo en este caso la máxima 19,83°C el día 11 y la mínima 17,56°C el día 5.

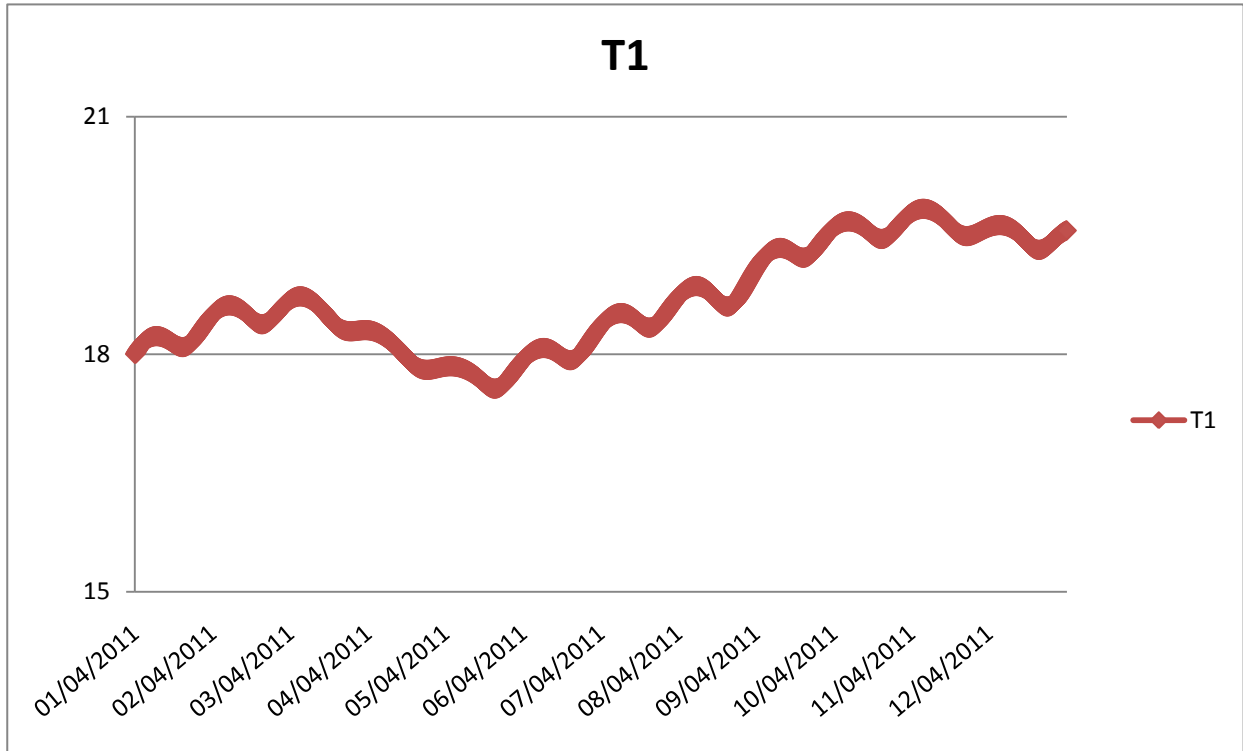


Figura 23. Gráfica de la temperatura de la capa 1.

En la figura 24, la temperatura de la capa 2 fluctúa entre 18°C y 23°C, siendo la máxima 22,02°C el día 10 y la mínima 18,39°C el día 5.

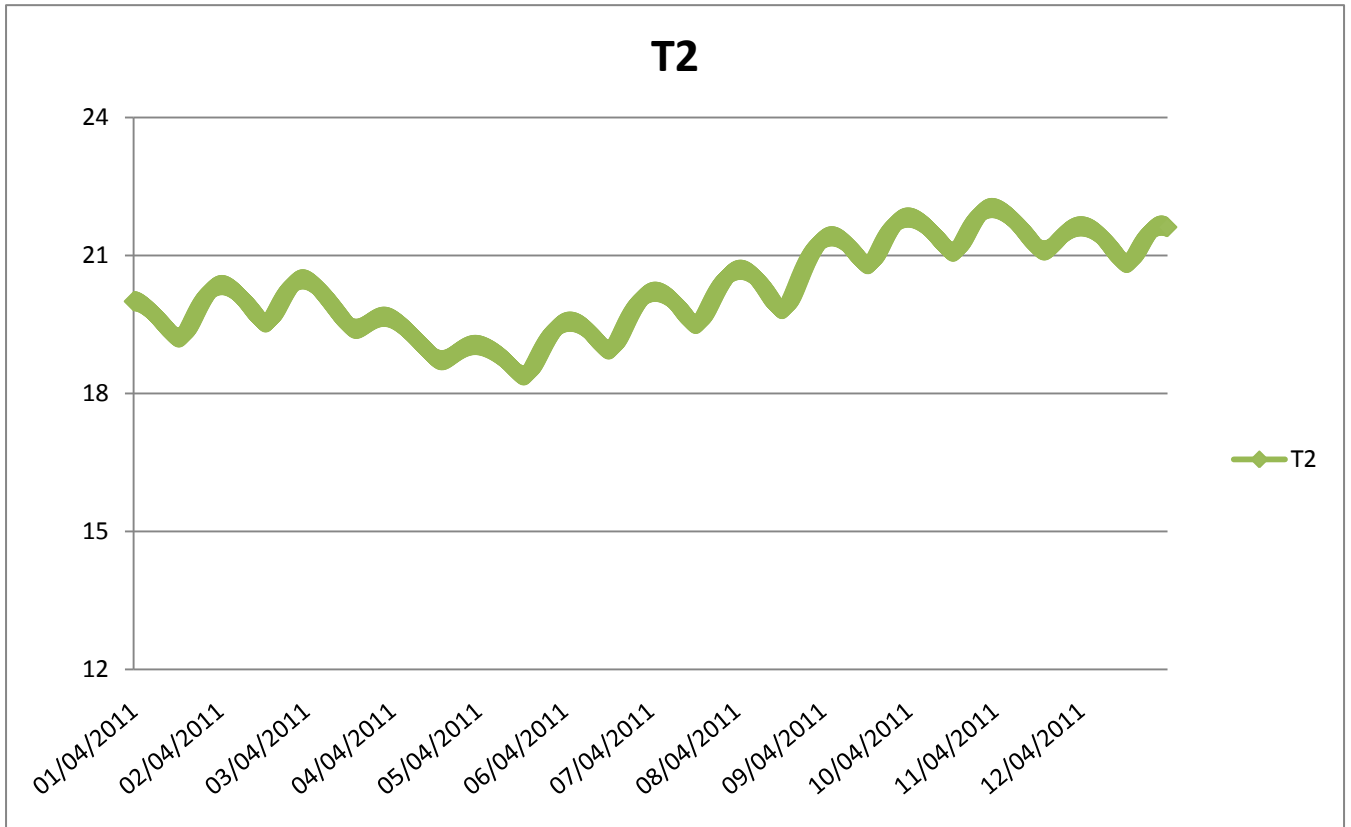


Figura 24. Gráfica de la temperatura de la capa 2

En cambio, la temperatura de la capa 3 oscila entre 18°C y 25°C en la figura 25, siendo la máxima 24,76°C el día 10 y la mínima 18,76°C el día 5.

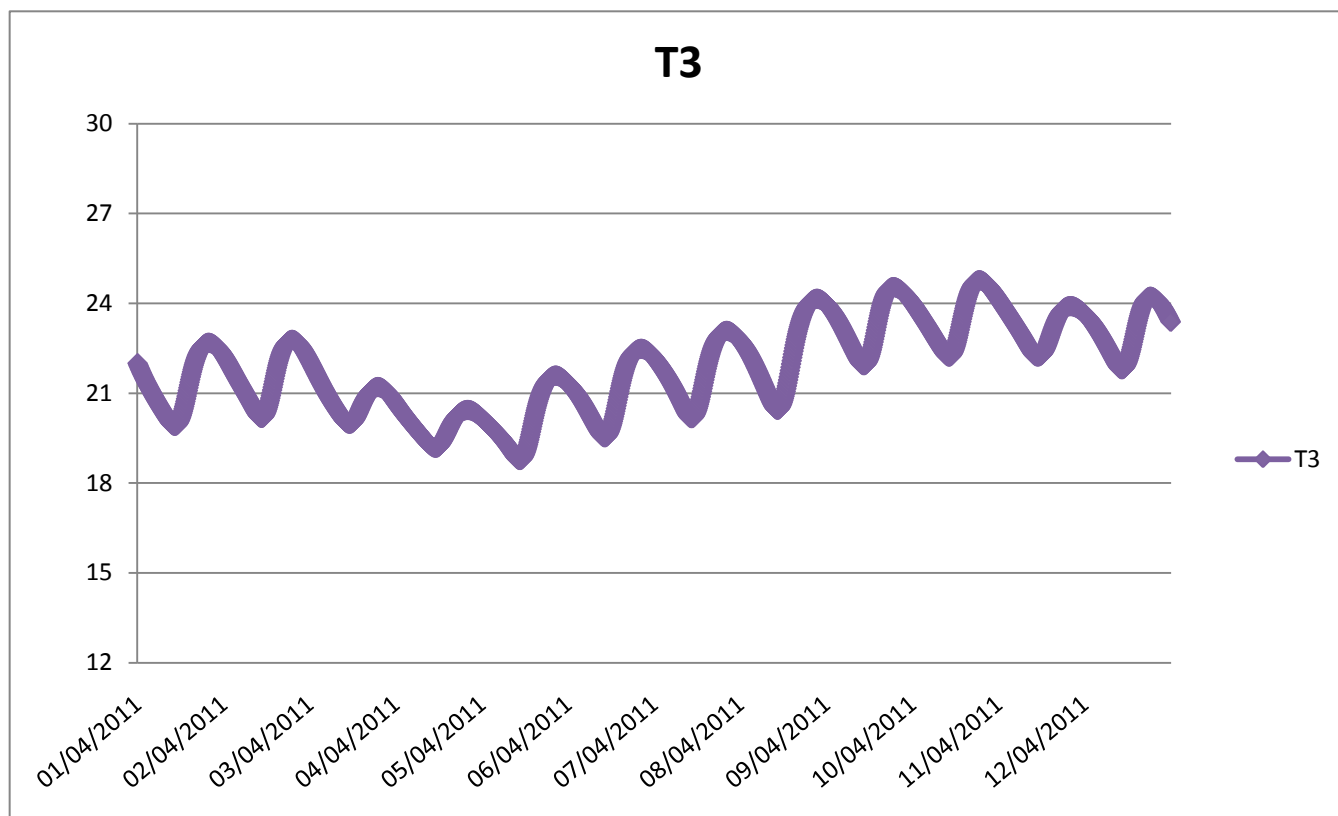


Figura 25. Gráfica de la Temperatura de la capa 3.

Se aprecia en la figura 26, una oscilación de la temperatura de la capa 4 entre 17°C y 30°C, siendo la máxima 29,98°C el día 9 y la mínima 18,09°C el día 5.

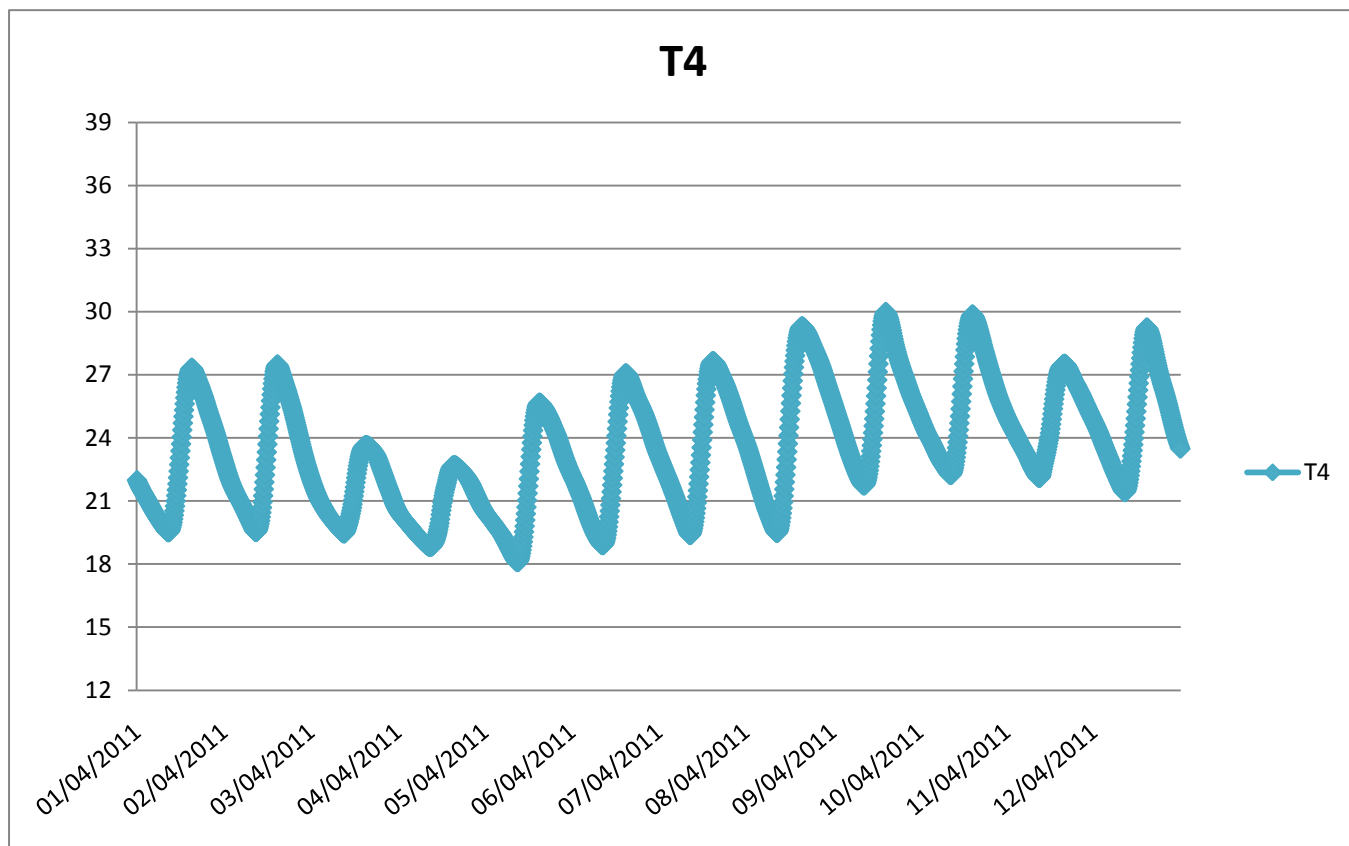


Figura 26. Gráfica de la Temperatura de la capa 4.

En la figura 27, observamos que la temperatura de la piel exterior fluctúa a entre 15°C y 46°C, siendo la máxima 48,36°C el día 9 y la mínima 15,29°C el día 5.

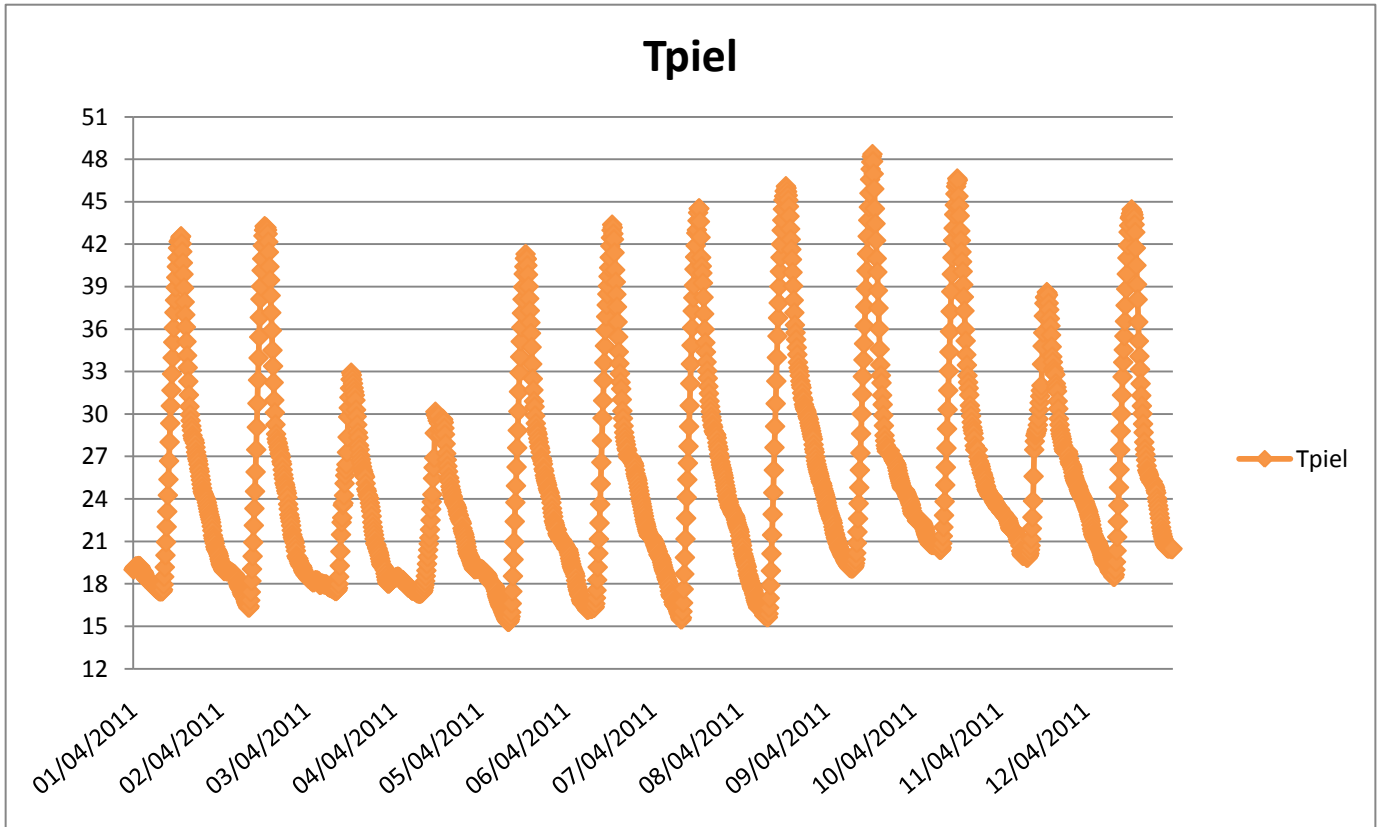


Figura 27. Gráfica de la temperatura de la capa de la piel exterior del muro.

Los días que muestran las figuras de la 28 y 29, han sido elegidos ya que son los más soleados y nublados del periodo objeto de estudio y por tanto los más interesantes a la hora de realizar un análisis. Podemos observar en conjunto las temperaturas de las diferentes capas, el desfase que existe entre ellas para un mismo día y la amplitud térmica. Entendiendo como amplitud térmica la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima de cada una de las capas en el espacio de tiempo estudiado.

Los datos mostrados en la tabla 1 y la figura 28 hacen referencia a los días 3, 4 y 5, siendo el 4 el más nublado del periodo objeto de estudio.

Para realizar este cálculo, hemos tomado como referencia el máximo de la Temperatura de la piel ya que es la que recibe el calor directamente y la que lo cede al resto de capas.

Los máximos en las temperaturas de la piel exterior, T4, T3 y T2 se encuentran en el día 4, el que estamos analizando, pero a medida que nos adentramos en el cerramiento este máximo se da más tarde, encontrándose así los de las temperaturas 1 y la temperatura de la piel interior en el día 5. Los mínimos, sin embargo los encontramos todos en el día 5.

Centrandonos en la amplitud térmica, observamos que disminuye a medida que nos adentramos en el cerramiento, siendo en la piel interior de apenas 0,13 °C.

	Tpint	T1	T2	T3	T4	Tpiel
Máximo	16,67159	17,84400	19,05048	20,43769	22,69941	30,15791
Mínimo	16,54073	17,56060	18,39037	18,76575	18,09012	15,29493
A. Térmica	0,130862	0,28340	0,66010	1,67194	4,60929	14,86298

Tabla 1. De máximos, mínimos y amplitud térmica del día 3 al 5.

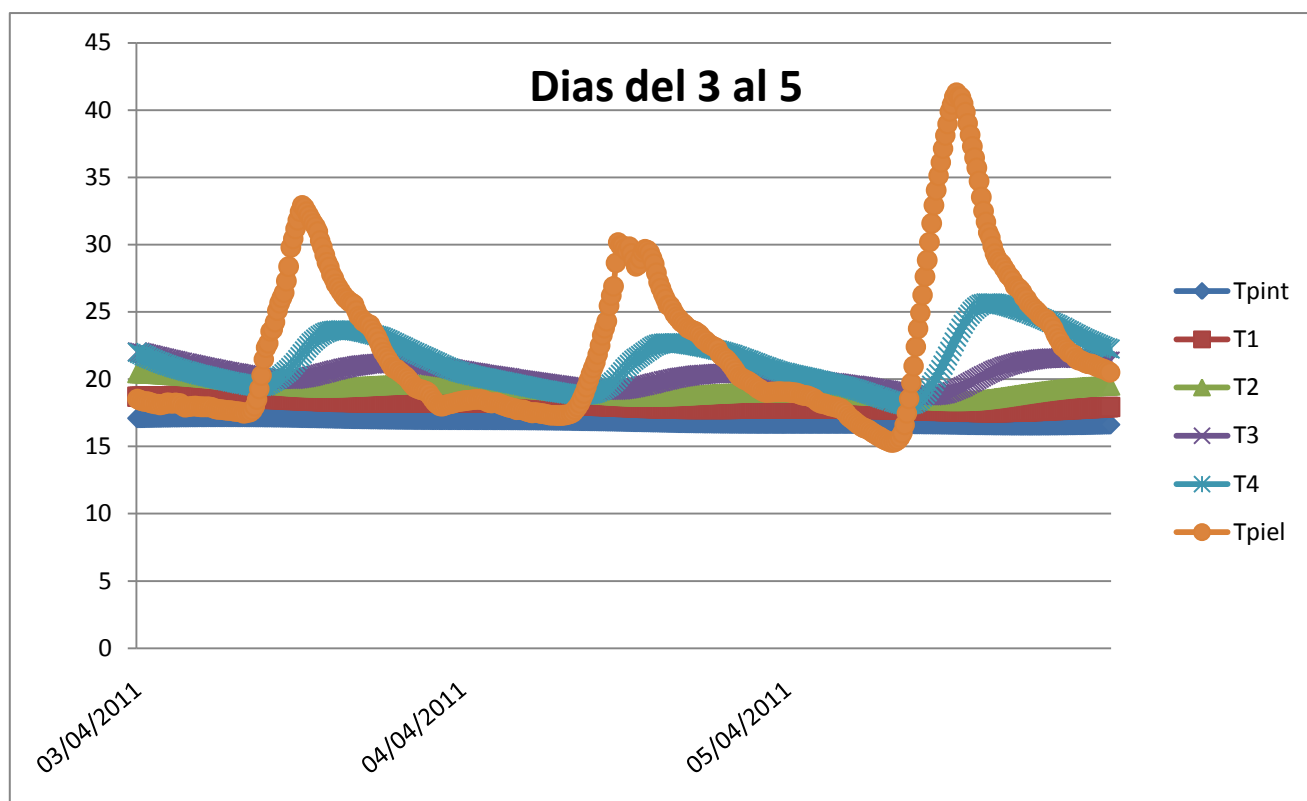


Figura 28. Gráfica de las temperaturas de todas las capas del cerramiento conjuntas del día 3 al 5.

Los datos mostrados en la tabla 2 y la figura 29 hacen referencia a los días 8, 9 y 10, siendo el 9 el más soleado del periodo objeto de estudio.

Igual que en el caso anterior, para realizar este cálculo, hemos tomado como referencia el máximo de la Temperatura de la piel ya que es la que recibe el calor directamente y la que lo cede al resto de capas.

Los máximos en las temperaturas de la piel exterior, T4, T3 y T2 se encuentran aquí en el día 9, encontrándose los de las temperaturas 1 y la temperatura de la piel interior en el día 10. Los mínimos, los encontramos todos en el día 10.

Al haber tomado el día más soleado para realizar el análisis tanto el máximo de la temperatura de la piel exterior como el de la temperatura 4 de este día, será también el máximo de los 12 días estudiados.

	Tpint	T1	T2	T3	T4	Tpiel
Máximo	17,72428	19,67565	21,81795	24,53795	29,98851	48,36327
Mínimo	17,65010	19,45283	21,07734	22,21766	22,23711	20,38280
A. Térmica	0,07418	0,22282	0,74061	2,32029	7,75140	27,98047

Tabla 2. De máximos, mínimos y amplitud térmica del día 8 al 10.

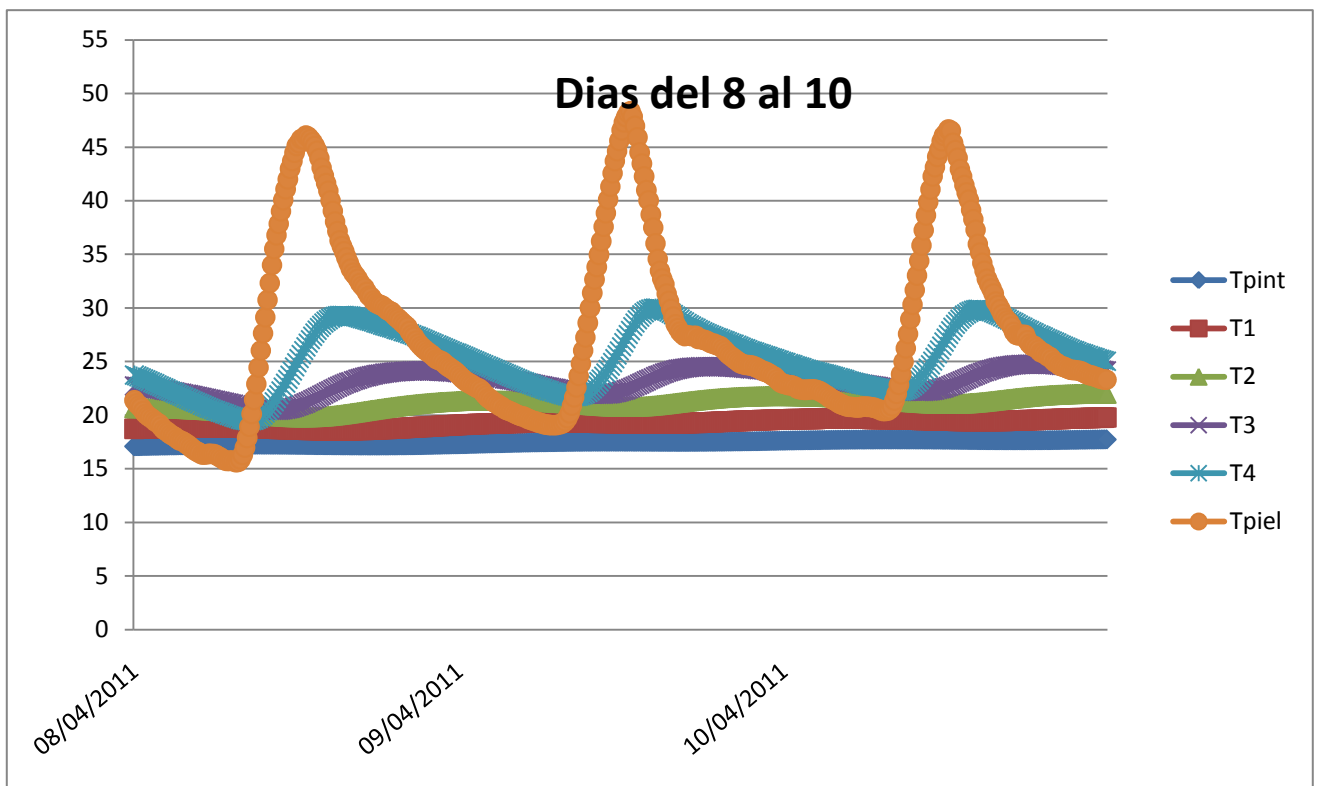


Figura 29. Gráfica de las temperaturas de todas las capas del cerramiento conjuntas del día 8 al 10.

PERFIL TERMICO

En las figuras 30 y 31 nos centramos en las diferentes capas del cerramiento a lo largo de un día, en particular hemos cogido el día más soleado, el día 9, y el más nublado, el día 4.

Las gráficas muestran el desfase entre las diferentes capas del muro, teniendo el punto máximo de cada una de ellas a una hora diferente lo que nos permite observar el perfil térmico de nuestro cerramiento.

Analizando la figura 30, observamos que hay un desfase entre la temperatura de la capa de la piel exterior y las capas posteriores.

Tomando como referencia la hora a la que se produce el máximo en la temperatura de la piel exterior, las 11:30 del día 4, calcularemos el desfase de los máximos del resto de capas.

El máximo de T4 se produce a las 15:30h del día 4, por lo tanto el desfase respecto a T piel exterior es de 4 horas. En la T3, es a las 19:50h cuando se produce, siendo el desfase de 8 horas y 20 minutos. En la T2 el máximo lo encontramos a las 23:00h, por lo que el desfase aumenta hasta 11 horas y media. El de la T1 ya se encuentra dentro del día 5, a la 01:20h, con un desfase de 13 horas y 50 minutos. Y por último la temperatura de la piel interior tiene su máximo a las 02:50h y el desfase es de 15 horas y 20 minutos.

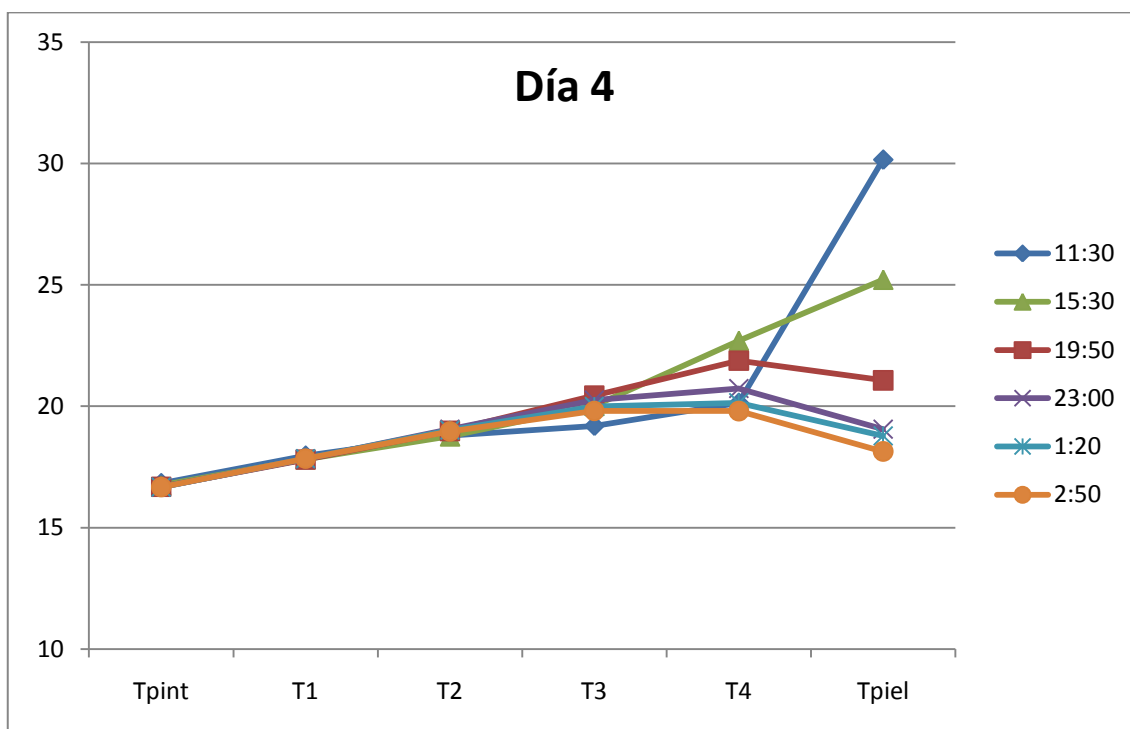


Figura 30. Gráfica del perfil térmico del cerramiento del día 4.

La figura 31 nos muestra el perfil térmico del día 9 a partir del cual analizaremos los desfases igual que hemos hecho con la figura 30.

El máximo de la temperatura de la piel exterior se produce a las 12:30. En la T4 el máximo se encuentra a las 14:30h del día 9, por lo que el desfase respecto a la T piel exterior es de 1 hora y 50 minutos. El de la T3 lo encontramos a las 18:30h por lo que el desfase aumenta hasta 5 horas y 50 minutos. El máximo de la T2 se produce a las 23:40h, siendo el desfase de 11 horas. El de la T1 ya se encuentra a las 04:20h del día 10, con un desfase de 15 horas y 40 minutos. Por último la temperatura de la piel interior tiene su máximo a las 08:10h y el desfase es de 19 horas y 30 minutos.

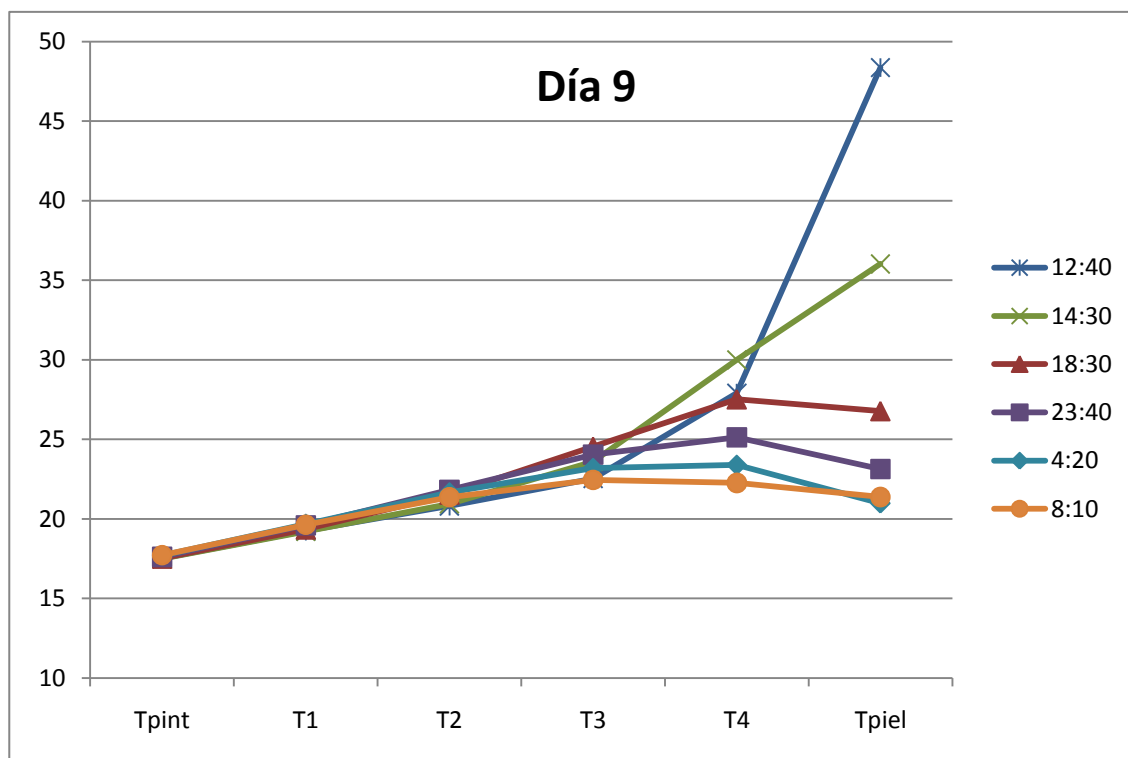


Figura 31. Gráfica del perfil térmico del cerramiento del día 9.

6. CONCLUSIONES

Mediante el modelo utilizado, apreciamos cómo se van calentando y enfriando las diferentes capas que conforman el cerramiento, pudiendo realizar tantas como se deseen y así ver las variaciones de temperatura entre unas y otras. Se trata de un modelo muy exacto, ya que se divide el muro y se analiza capa a capa.

Comprobamos cómo la temperatura de la piel exterior es la que más variación presenta, de $32,97^{\circ}\text{C}$, ya que nos encontramos ante la capa más caliente y al mismo tiempo la más fría, obteniendo como temperatura máxima $48,36^{\circ}\text{C}$ en el día 9 y mínima $15,29^{\circ}\text{C}$ en el día 5. Mientras tanto la temperatura de la piel interior es la que presenta menor fluctuación, siendo la máxima de $17,81^{\circ}\text{C}$ y la mínima de $16,51^{\circ}\text{C}$.

Fijándonos en la amplitud térmica, observamos que aumenta a medida que nos vamos acercando hacia el exterior del cerramiento, por lo que la piel exterior es la que mayores valores alcanza, seguida de la capa 4, la 3, la 2, la 1 y por último la piel interior. En esta última la amplitud es muy pequeña, llegando a estar en algunos casos por debajo de $0,1^{\circ}\text{C}$, esto es debido a que es la capa más fría del cerramiento y por lo tanto no llega a calentarse tanto como el resto.

Siendo la orientación estudiada en este proyecto la Este, concluimos que el máximo aporte de calor lo tenemos sobre las 12 del medio día.

A esta hora es cuando más calor absorbe nuestro cerramiento, por lo que la pendiente del perfil térmico entre la Temperatura de la piel exterior y la T4 es muy pronunciada. Conforme avanza el día dicha pendiente disminuye, pasando de ser descendente a ascendente. Esto ocurre porque la T4 sigue absorbiendo calor de la Tpiel exterior aunque esta ya no lo reciba directamente, alcanzando en algunos puntos temperaturas superiores a la misma.

Comprobamos que alrededor de las 12 del medio día, cuando más calor absorbe nuestro cerramiento, la temperatura de la capa 4 es inferior a

la que tendrá dicha capa durante el resto del día. Esto ocurre porque al no recibir aporte directo de calor, el cerramiento se va enfriando por la noche, sobre todo en las capas más exteriores, y por la mañana el calor recibido se tiene que encargar de calentarlo de nuevo.

Analizando las temperaturas de los días más soleado y nublado observamos que existe una gran variación entre las máximas que alcanza la piel exterior del cerramiento para esos días, siendo de 48,36°C en un día soleado y 30,15°C en un día nublado. Sin embargo en la capa más interior del cerramiento este hecho es prácticamente inapreciable, alcanzando unas máximas temperaturas de 17,72°C y 16,52°C.

Cómo ya hemos mencionado, el calor circula por el cerramiento desde la capa más exterior hasta las interiores, y puesto que este calor tarda en cederse, podemos apreciar que los máximos que alcanza cada capa no se producen a la misma hora, sino a lo largo del día. En el día soleado estudiado anteriormente, por ejemplo, la máxima temperatura de la piel exterior se alcanza a las 12:40 h, mientras que la de la piel interior no se alcanzará hasta la mañana del día siguiente.

Por todo lo expuesto anteriormente, concluiremos diciendo que las construcciones llevadas a cabo por el método del tapial valenciano, mantienen unas temperaturas relativamente estables en el interior de la estancia durante todo el año, ya sea verano o invierno, como se ha podido observar en el análisis de los días más soleado y nublado. Posee por tanto una gran inercia térmica, lo que lo convierte en un buen aislante y le permite estar fresco durante el día y soltar el calor acumulado durante la noche.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.jdiezarnal.com/valenciacorpuscristi.html>
- [2] Carolina Sabina Aparicio Fernández. Revestimientos ventilados en la arquitectura contemporánea. Influencia del diseño constructivo y su entorno en el comportamiento térmico. Tesis.
- [3] Juan Soto. Apuntes Área Eficiencia Energética 2010-2011.
- [4] Estación Meteorológica Meteovalencia. www.meteovalencia.es
- [5] PVGI'S <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>