

# Comportamiento termodinámico de Cubiertas Vegetales en climas *Mediterráneos.*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura.  
Grado en Fundamentos de la Arquitectura.

**Autora: Miranda Medina Carrión**

**Tutor: Ignacio Enrique Guillén Guillamón**

**2018/2019**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA



A mi madre, mi padre y mi hermano, por compartir la carrera conmigo.

A mi tutor, Ignacio Guillen, por la disposición y las dudas resueltas.

A M, por el apoyo absoluto, siempre.

Resum.

La construcció de cobertes vegetals i el seu desenvolupament no són de recent creació, no obstant això, augmenta en aquests últims anys l'interés en aquest tipus de propostes, com a conseqüència de la importància que tenen en aspectes ambientals i energètics.

S'exposa inicialment en aquest document les diverses varietats que existeixen de cobertes vegetals. A continuació, es tria una varietat concreta a la qual es canvien diferents variables i s'observa el comportament que té en funció dels codis establerts per a l'eficiència energètica.

Si aquestes cobertes estan composades bàsicament d'una base resistent, de material aïllant i del substrat juntament amb el mantell vegetal, les variables amb les quals es duu a terme l'estudi són la capa d'aïllament i la capa de substrat, independentment de la resta de capes. S'obtenen diferents resultats augmentant o disminuint la grossària de les capes que componen la coberta.

D'altra banda, per a l'estudi del comportament energètic d'aquesta coberta, s'apliquen altres variables que depenen de l'ambient exterior que envolta l'edifici. Es compara el seu comportament depenent de la seua situació geogràfica, tant amb el clima Mediterrani de costa de la ciutat de València, com amb el clima Mediterrani de zones de l'interior, com per exemple, la ciutat de Cuenca.

Aquest comportament energètic respecte a les diferents combinacions de variables, s'obté interpretant els càlculs resultants amb el programa informàtic oficial del Codi Tècnic de l'Edificació per a certificació de l'Eficiència Energètica, HULC. Així, se sap si s'ha obtingut una solució de coberta vegetal eficient o no.

Una vegada s'obtenen els resultats, per a saber si les cobertes vegetals són prou competitives en l'àmbit de l'energia i de les cobertes planes en general, es comparen els resultats amb un Cas Ø de coberta plana tradicional (sense ser vegetal) que compleix tots els requisits del Codi Tècnic de l'Edificació.

Finalment, es compara entre totes les variables i cobertes (vegetal i convencional) per a obtenir informació sobre els efectes de les cobertes vegetals en l'eficiència energètica dels edificis i la seua contribució a la sostenibilitat de l'edificació.

[Eficiència Energètica.Cobertes Vegetals.Simulació.Sostenibilitat.Climes Mediterranis.](#)

Resumen.

La construcción de cubiertas vegetales y su desarrollo no son de reciente creación, sin embargo, aumenta en estos últimos años el interés en este tipo de propuestas, debido a la importancia que tienen en aspectos ambientales y energéticos.

Se expone inicialmente en este documento las diversas variedades que existen de cubiertas vegetales. A continuación, se elige una variedad concreta a la que se cambian diferentes variables y se observa el comportamiento que tiene en función de los códigos establecidos para la eficiencia energética.

Si estas cubiertas están compuestas básicamente de una base resistente, de material aislante y del sustrato junto con el manto vegetal, las variables con las que se lleva a cabo el estudio son la capa de aislamiento y la capa de sustrato, independientemente del resto de capas. Se obtienen distintos resultados aumentando o disminuyendo el espesor de las capas que componen la cubierta.

Por otra parte, para el estudio del comportamiento energético de esta cubierta, se aplican otras variables que dependen del ambiente exterior que rodea el edificio. Se compara su comportamiento dependiendo de su situación geográfica, tanto con el clima Mediterráneo de costa de la ciudad de València, como con el clima Mediterráneo de zonas del interior, como por ejemplo, la ciudad de Cuenca.

Este comportamiento energético con respecto a las diferentes combinaciones de variables, se obtiene interpretando los cálculos resultantes con el programa informático oficial del Código Técnico de la Edificación para certificación de la Eficiencia Energética, HULC. Así, se sabe si se ha obtenido una solución de cubierta vegetal eficiente o no.

Una vez se obtienen los resultados, para saber si las cubiertas vegetales son lo suficientemente competitivas en el ámbito de la energía y de las cubiertas planas en general, se comparan los resultados con un Caso Ø de cubierta plana tradicional (sin ser vegetal) que cumple todos los requisitos del Código Técnico de la Edificación.

Finalmente, se compara entre todas las variables y cubiertas (vegetal y convencional) para obtener información sobre los efectos de las cubiertas vegetales en la eficiencia energética de los edificios y su contribución a la sostenibilidad de la edificación.

Abstract.

The construction of vegetal covers and its development is not of recent creation. However, interest on this kind of proposals has risen in the last years due to their importance in environmental and energetic aspects.

Firstly, this document exposes the different varieties that exist of vegetal covers. Next, a specific variety to which different variables are modified is chosen, and its behaviour according to the established codes for the energetic efficiency is observed.

If these covers are composed basically by a resistant basis, of insulating material and of substrate with the vegetal mantle, the variables the study is accomplished with are the insulating layer and the substrate one, regardless the rest of the layers. Different results are obtained, increasing or reducing the thickness of the layers that compose the cover.

On the other hand, for the study of the energetic behaviour of this cover, other variables that depend on the exterior environment that surrounds the building have been applied. Its behaviour is been compared depending on its geographic situation, both in the Mediterranean coast climate of the city of Valencia and in inland Mediterranean climates such as the one in the city of Cuenca.

This energetic behaviour with regards to the different combination of varieties is obtained reading the resulting calculations with the official informatic program of the Technical Building Code for the certification of the Energetic Efficiency, HULC. Thus, it is known if an efficient or non-efficient solution of vegetal cover has been obtained.

In order to know if the vegetal covers are competitive enough in the field of energy and of flat covers in general, once obtained the results, they are compared with a  $\emptyset$  case of a traditional flat cover (not being vegetal) that fulfils all the requirements of the Technical Building Code.

Finally, all the variables and covers (vegetal and conventional) are compared to obtain information about the effects of vegetal covers in the energetic efficiency of the buildings and its contribution to sustainability in construction.

[EnergyEfficiency.GreenRoofs.BuildingSimulation.Sustainability.MediterraneanClimates.](#)

Índice.

<b>1. Introducción.</b>	<b>12</b>
1.1 Antecedentes.	14
1.2 Consecuentes.	22
<b>2. Objetivos.</b>	<b>28</b>
<b>3. Metodología.</b>	<b>30</b>
<b>4. Caso de estudio.</b>	<b>32</b>
4.1 Caso Ø.	34
4.2 Comparativa climática.	46
4.3 Modelos de cubierta vegetal.	58
4.4 Modelos de cálculo.	64
<b>5. Análisis de resultados.</b>	<b>70</b>
<b>6. Conclusiones.</b>	<b>78</b>
<b>7. Bibliografía.</b>	<b>80</b>
<b>8. Índice de figuras.</b>	<b>84</b>
-	
<b>Anexo.</b>	

# 1. Introducción.

La convicción por la necesaria apuesta social en materia de sostenibilidad, junto a la motivación personal en la búsqueda de respuestas con respecto a la demanda de eficiencia energética, decanta la elección del tema propuesto por el tutor para la investigación: el comportamiento termodinámico de las cubiertas vegetales en los climas mediterráneos. Una ilusión que se centra en la búsqueda de soluciones tangibles e inmediatas a los grandes retos medioambientales de la actualidad.

Se considera un necesario paso previo al análisis en sí mismo, el estudio de los orígenes de las actualmente denominadas cubiertas ajardinadas. Esto se remonta decenas de siglos en la historia, de lo que se deduce que el consecuente actual proviene de una evolución histórica y no de una reciente creación. El sistema constructivo de las cubiertas vegetales antepasadas, dista mucho de las actuales, aunque el hilo conductor hasta nuestros días propicia la necesidad de su conocimiento.

A continuación, el desarrollo de la investigación se realiza a través de un estudio comparativo entre distintos tipos de cubiertas, desde la no vegetal hasta diversos tipos de vegetales y a su vez, en dos condiciones climatológicas distintas. Las conclusiones, fruto de la comparativa, determinan la influencia de las cubiertas vegetales en la demanda energética del edificio.

## 1.1. Antecedentes.

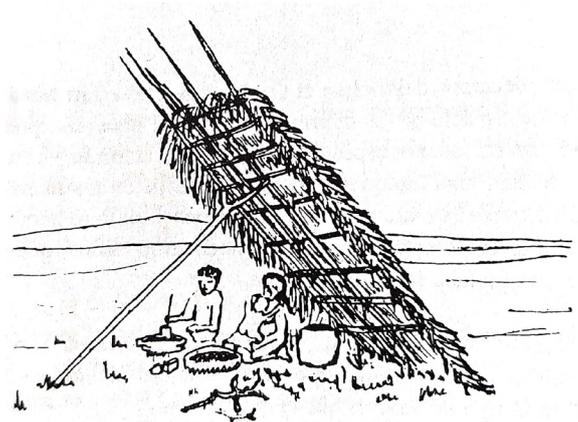
*“La crisis es la mejor bendición que puede sucederle a personas y países, porque la crisis trae progresos. La creatividad nace de la angustia como el día nace de la noche. Es en la crisis que nace la inventiva, los descubrimientos y las grandes estrategias.”* Albert Einstein.

Con la interpretación de las palabras del excelente científico que precede estas líneas, se deduce que cualquier innovación o avance decisivo en la historia está determinado en gran medida, si no en su totalidad, por un momento de crisis o necesidad imperiosa. Las cubiertas, por tanto, no quedan exentas a esta afirmación.

Cabe un retroceso cronológico en la historia, más allá de la edad antigua, a la etapa prehistórica. Allí se encuentra la necesidad del ser humano de dotarse de capacidad de protección ante las inclemencias climáticas, entre otras cuestiones. Siguiendo la interpretación de las palabras de Einstein, ese es el momento de crisis que lleva al ser humano al desarrollo de ingenios técnicos en esta dirección.

Una vez el ser humano inicia el desarrollo de su vida en pequeñas agrupaciones, comienza la búsqueda de cuevas y grutas en las que poder habitar y refugiarse. Progresivamente, se protege de las variables climáticas de forma individual con pieles de animales y de forma colectiva construyendo las primeras viviendas fuera de las cavernas: refugios elementales en forma de chozas o cabañas.

El descubrimiento y dominio del fuego, junto a las primeras viviendas refugio, dota al ser humano de un control ambiental que, interpretándose de nuevo las palabras de Einstein, le permiten salir de la crisis: control ambiental estructural (cabaña) y control ambiental energético (fuego). (Serra y Coch, 1995)

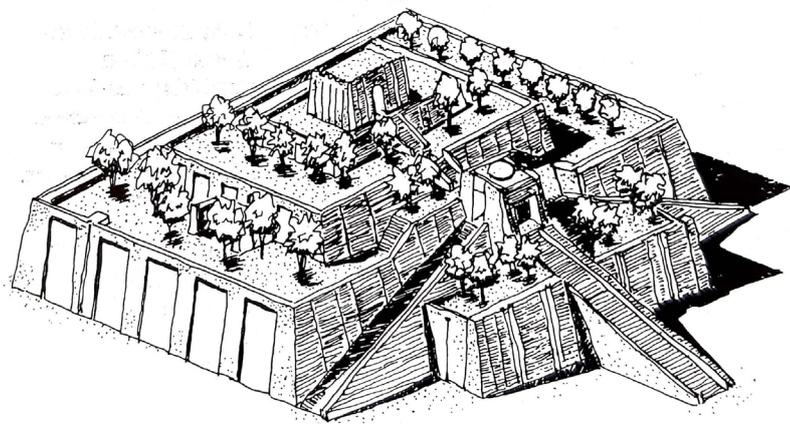


*Fig. 1. Refugio elemental.*

Emerge la Edad Antigua de esta etapa prehistórica, significada en esencia por el dominio de la escritura como un elemento de control más, en este caso comunicativo. Se certifican en esta etapa histórica las primeras cubiertas planas, concretamente en la antigua Mesopotamia, zona situada en el Oriente próximo, entre los ríos Tigris y Éufrates. Las ciudades mesopotámicas caracterizan su arquitectura en el uso de muros de adobe de gran espesor para la protección de los fuertes saltos térmicos y ante la escasez de madera como material constructivo. Además, en la Baja Mesopotamia, en la ciudad de Babilonia, es donde se encuentran las primeras cubiertas vegetales. Hasta ese lugar y mo-

mento histórico, no se tienen evidencias de cubiertas vegetales tal y como se entienden actualmente; existen techados de paja, palma y similares, reforzados con barro, siendo un concepto muy distinto del referido actualmente.

Estas primeras cubiertas vegetales acaban, siglos después, convirtiéndose en una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo: los Jardines Colgantes de Babilonia. Unas construcciones que se cree que datan del año 600 a.C. en los zigurats y palacios, los cuales disponen de una arquitectura predispuesta a ello. Se plantan, además de arbustos y otras especies, palmeras y árboles frutales como el dátil o el coco. Estas plantaciones, ubicadas principalmente en los descansos de las torres escalonadas, constituyen terrazas planas que suavizan la subida y ofrecen alivio del calor, es decir, que además del componente estético y del característico como muestra de amor del Rey Nabucodonosor II a la Reina Amytis, que anhela la vegetación de su tierra, tiene un componente tan importante para el estudio como lo es el control energético o climático. (Serra y Coch, 1995)



*Fig. 2. Zigurat de Ur. Versión ajardinada.*

Se sigue con la cronología histórica para encontrar nuevas cubiertas vegetales en la antigua Roma, como por ejemplo en los mausoleos de Augusto y Adriano, que datan alrededor del año 30 a.C. La antigua Roma presenta árboles en la cima de muchos edificios, principalmente institucionales. Estas son las primeras evidencias de cubiertas vegetales en Europa. (D. Magill, Midden, Croninger y Therrell, 2011)



*Fig. 3. Torre Giunigi, Lucca, Italia. Árboles en lo alto de una torre defensiva.*

Son muy pocas las evidencias posteriores de estos elementos vegetales y no es hasta la Edad Media y el Renacimiento cuando se observa un relanzamiento de ello en las azoteas de las propiedades de la burguesía y el clero.

Durante el barroco, no puede pasar desapercibida la Villa de los Misterios, en Pompeya, la cual se mantiene intacta gracias a petrificación propiciada por la lava volcánica. Esta Villa posee un atrio central, el cual deja de tener un papel protagonista en la vida cotidiana que es ocupado por la terraza. Dicha terraza es confirmada como un jardín de paseo y reposo a la sombra, gracias a los moldes obtenidos en los estudios arqueológicos, que identifican raíces.

Así mismo, a partir de los años posteriores a 1600, destaca la técnica empleada a lo largo de la Península Escandinava, que se caracteriza por utilizar extractos del propio suelo en los techos a modo de aislamiento. Esta técnica también está presente en las grandes llanuras estadounidenses a finales del siglo XIX.

A partir de la Edad Moderna, se ubica en Alemania la cuna de los sistemas de techo verde tal y como se conocen en la actualidad. Tras la Revolución Francesa, en torno al año 1800, Alemania experimenta una rápida industrialización y urbanización. Este impulso económico lleva consigo, entre otras cosas, a Samuel Haüsler, en 1839, como el impulsor de los primeros experimentos de cubierta plana transitable que se tiene constancia. La Gran Depresión y la Segunda Guerra Mundial disminuyen las posibilidades para ecologizar del techo, pero no pueden borrar el legado característico de estas, las cuales se distinguen por la impermeabilización, empleando una base de cartón impregnado en alquitrán sobre una base resistente de madera, a la que le sigue una lámina de arena o grava como paso previo necesario a las cubiertas vegetales convencionales. No obstante, todavía está lejos de futuros sistemas constructivos como el hormigón armado, que facilita la instalación de cubiertas vegetales de mayor envergadura. (Martínez, 2005)



Fig. 4. Casa de Carl Rabitz (1860). Berlín, Alemania. Primeros indicios de impermeabilización con cartón.

Sin embargo, la Gran Depresión no supone un obstáculo insalvable para la construcción en el año 1931 del edificio Rockefeller Center en Nueva York. Está considerado como el primer techo verde moderno y destacado en los Estados Unidos de América.

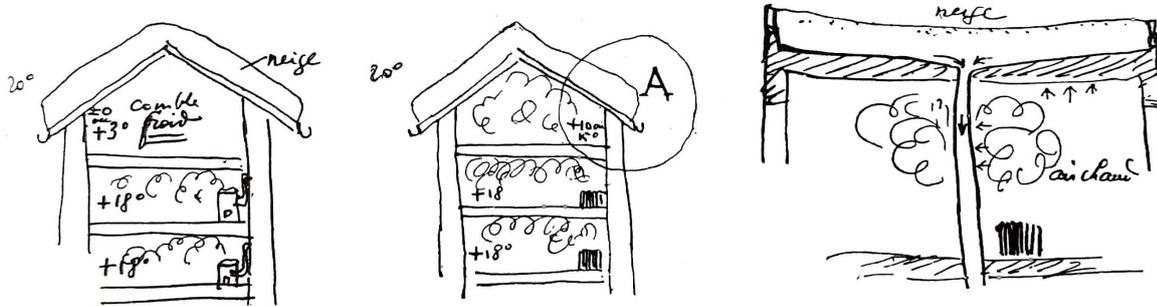


Fig. 5. Le Corbusier (1927), bocetos de la Teoría de la cubierta-jardín.

Acontecimientos paralelos. El arquitecto y teórico de la arquitectura, suizo nacionalizado francés, Le Corbusier, publica en 1927 el manifiesto arquitectónico: “Los cinco puntos para una nueva arquitectura”. Se destaca aquí el punto que aborda la idea de renunciar al techo tradicional inclinado para habitar la cubierta con una terraza jardín. Propone así un nuevo espacio entre el interior y el exterior, desahogando el cada vez más ajustado espacio de las viviendas. Narra en la revista L’Architecture Vivante con su escrito Théorie du toit-jardin (Teoría de la cubierta jardín) el levantamiento de las tres primeras villas en su ciudad natal. Ahí detecta la conveniencia de construir cubiertas terraza en cubeta con evacuación interior del agua, ya que las cubiertas inclinadas en climas fríos con calefacción central, no son óptimas, debido a la congelación del agua en los canalones de evacuación. Otras razones de índole técnico, económico, de confort e incluso sentimentales, determinan la conveniencia de las cubiertas terraza en cualquier tipo de clima, incluso templados o cálidos (Martínez, 2005). La base fundamental del legado de Le Corbusier en este ámbito se concentra en la importancia que otorga al Roof-garden (cubierta jardín) como espacio para cultivar el ser humano la mente y el cuerpo en relación con la naturaleza.

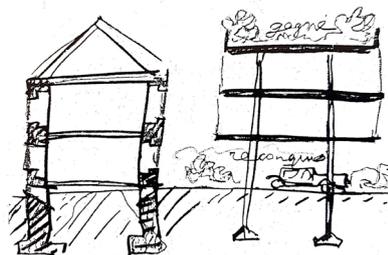


Fig. 6. Le Corbusier (1930). Reconquis-gagné. Se reconquista el suelo y se gana el espacio de la terraza.



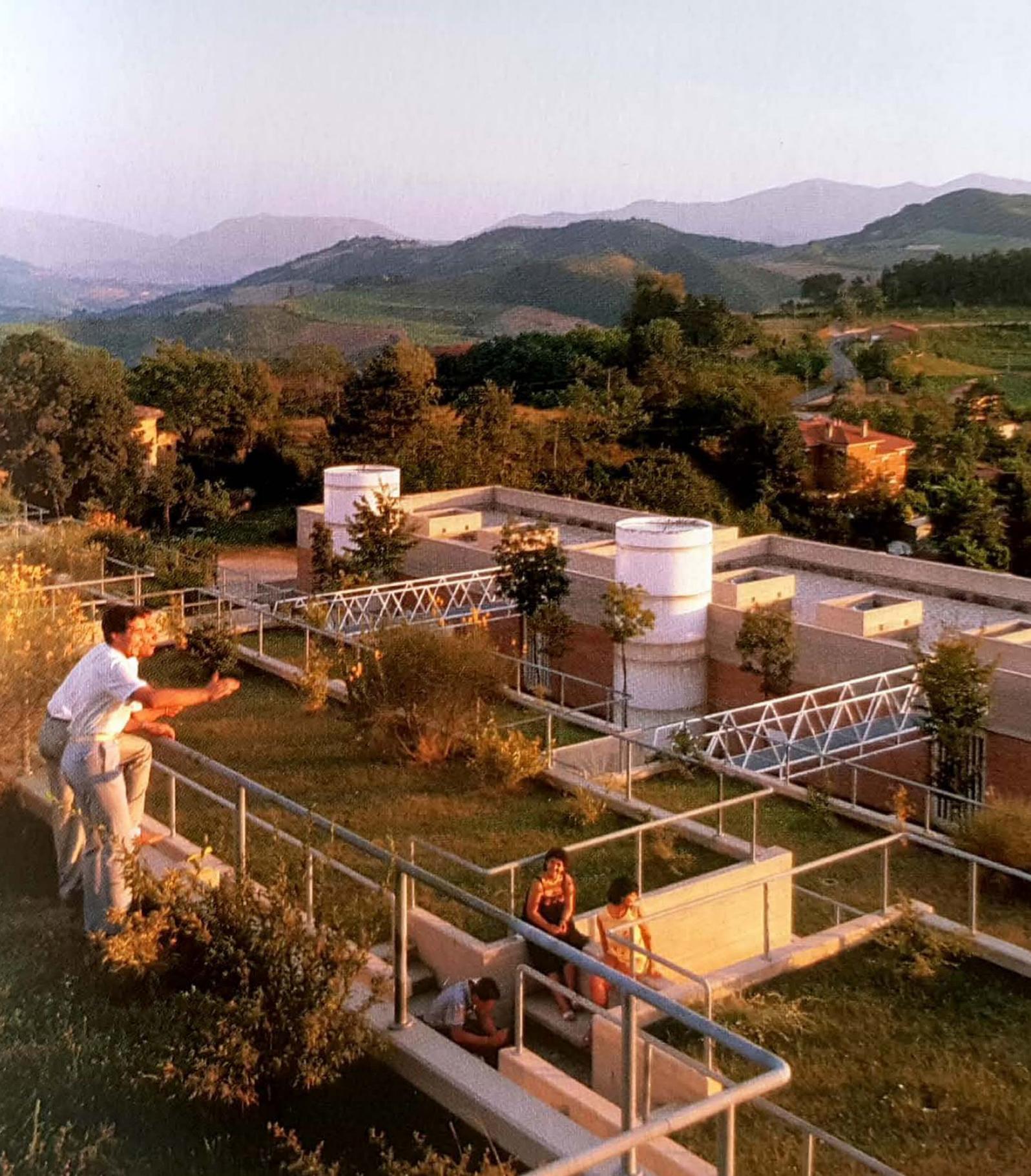
*Fig. 7. Edificio Clarté (1930). Ginebra, Suiza. La nueva forma de tratar la cubierta.*

Finaliza la segunda Guerra Mundial y la postguerra. Ya en la década de 1960, se retoma en diversos países europeos, principalmente Alemania, Suiza y la Península Escandinava, el estudio sobre tecnologías de techos verdes, tales como, agentes repelentes de raíces, impermeables, membranas, drenajes, cultivos livianos, etc. Ya en la década de los ochenta, Alemania lidera el sector gracias al desarrollo de los mercados y el aliento gubernamental a través de subvenciones.

El desarrollo en el área mediterránea es reciente y nada sencillo. Se debe combinar la tolerancia a la sequía y los estreses térmicos, así como, baja capacidad alergógena o el albergue de insectos y aves comunes (Vestrella, 2016). La finalidad es siempre ornamental y estética, cuidando la selección de plantas para que la cubierta dure todo el año.

Es por todo ello que las transformaciones climáticas actuales, la sensibilización creciente con el Medio Ambiente y la demanda de un modelo de vida más sostenible, hacen que en estudios e investigaciones como esta, se remonte a la Edad Antigua para conocer el origen de las cubiertas vegetales, sus usos, variantes y objetivos, con el fin de acertar en la creación de nuevos modelos constructivos que se sitúen a la altura de los retos sociales contemporáneos.

*Fig. 8. Giancarlo de Carlo, Colegios  
Mayores universitarios (1962-1983).  
Urbino, Italia.*



## 1.2. Consecuentes.

Poner plantas en el techo: la definición más simple de una cubierta vegetal, aunque implica mucho más que eso, dados los condicionantes y factores a tener en cuenta para su instalación. Cubierta vegetal, techo verde, cubierta ajardinada, manto vegetal o Green Roofs en inglés, son algunas de las denominaciones más comunes.

En la actualidad, los techos verdes generan fragmentos de hábitat. Poseen biodiversidad y multitud de especies vegetales (Vestrella, 2016). La composición principal se basa en varias capas de membranas sobre una base resistente rematada finalmente por un sustrato que es la base de cultivo.

La extensa bibliografía con la que se desarrolla esta investigación, determina que las cubiertas vegetales presentan numerosas ventajas que las cubiertas planas tradicionales o no vegetales no poseen. A nivel interno, se genera en la vivienda un confort interior que incrementa la eficiencia energética, ya que la protege en todas las estaciones del año; la presencia del sustrato y la evotranspiración vegetal, disminuye el flujo energético. Absorbe hasta un 80% de radiación en verano, con lo que evita el efecto “isla de calor” en las grandes ciudades; mientras que en invierno evita en gran medida la pérdida de calor de la vivienda debido a su acumulación térmica. Otro elemento a destacar es la buena gestión del agua de lluvia, que en lugar de perderse por el alcantarillado, se retiene en la cubierta vegetal. No se olvida también la mejora del microclima y la calidad del aire gracias al proceso renovador ambiental de las plantas a través de la fotosíntesis. Un nicho ecológico que facilita la diversidad de especies, la biodiversidad.



**Fig. 9. Bungalow (2019). Mont Saint Michel, Francia.**

La innovación en los materiales de construcción favorece que aparezcan techos verdes, desarrollándose nuevas técnicas de diseño e ideas para sostenibilizar y humanizar el entorno.

El arquitecto alemán Neufert (1936) establece las siguientes características para las cubiertas ajardinadas:

1. Aislamiento térmico a través de la cámara de aire existente entre el césped y a través de la capa de tierra con raíces (acumulación de calor).
2. Aislamiento acústico y acumulación térmica.
3. Mejora de la composición del aire en los barrios residenciales.
4. Mejoras en el microclima.
5. Se mejora la escorrentía de las ciudades y el contenido en agua del paisaje.
6. Ventajas físico-constructivas. Se reducen las radiaciones ultravioletas y las grandes oscilaciones de temperatura, gracias a la capa protectora de césped y de tierra.
7. Sedimentación de polvo.
8. Elemento de configuración formal y mejora de las condiciones de vida.
9. Recuperación de superficies verdes.

Todas las cubiertas vegetales tienen la misma estructura, salvo modificaciones excepcionales por razones de colocación o fabricante. Esta estructura se compone por una serie de capas que están ordenadas desde el exterior hasta el interior.

**Manto vegetal.** Capa superior en contacto directo con el medioambiente. Se propone el uso de especies vegetales autóctonas para mayor adaptabilidad al clima.

**Sustrato.** Capa con la función de proporcionar nutrientes al manto vegetal. Puede ser orgánico o inorgánico. Su espesor y tipología depende del tipo de vegetación escogida.

**Membrana filtrante.** Se coloca bajo el sustrato para evitar que sus partículas más finas sean arrastradas por el agua de lluvia o riego y alcancen las capas inferiores de la cubierta, en concreto la capa drenante, colmatándolas e impidiendo la evacuación del agua. Suele ser fieltro geotextil de unos 150 g/m<sup>2</sup> de polipropileno o poliéster.

**Capa drenante.** Facilita la evacuación del exceso de agua del sustrato, evitando su encharcamiento y la posible pudrición de las raíces de las plantas. Su objetivo principal es que dicha agua alcance lo antes posible la lámina impermeable, para así ser reconducida a los sumideros. Suele ser una capa a base de cantos rodados o grava, una lámina sintética diseñada específicamente para ello en forma de huevera y perforada (en ocasiones este sistema de lámina tipo huevera también puede retener un poco de agua para un aporte mínimo de humedad al manto vegetal, sin interrumpir su función drenante), o una losa preformada de hormigón poroso.

**Capa protectora de raíces.** Su función, evidenciada por su propio nombre, es impedir que las raíces de las especies vegetales dañen la lámina impermeabilizante o las capas inferiores.

res. Suele ser una lámina de alquitrán impregnada con un aditivo herbicida que inhibe el contacto y la perforación de las raíces, desviando su crecimiento. También es resistente a microorganismos generados por la humedad del sustrato.

**Lámina impermeabilizante.** Es la única capa que puede alterarse en el orden de instalación; puede estar tanto por encima del aislamiento térmico (cubierta convencional) como por debajo (cubierta invertida). Es la capa que garantiza la estanqueidad al agua. La durabilidad de la cubierta depende en gran medida de la calidad de esta capa y su sellado. Se utilizan sistemas flexibles que se adapten a la geometría de la cubierta, siendo los más habituales el PVC o EPDM.

**Capa separadora.** Normalmente sirve para evitar la adherencia entre la lámina impermeabilizante con otras láminas y a modo de protección frente a posibles situaciones que pueden dañar la lámina impermeabilizante.

**Aislamiento térmico.** Suelen ser placas de poliestireno extruido, ya que tiene la suficiente resistencia a compresión para soportar las cargas del sustrato y de las capas superiores, también puede soportar el tránsito de personas. Es importante mantener en buen estado esta capa para no poner en riesgo el confort interior del edificio. Su espesor depende de la transmitancia térmica mínima exigida en el CTE, en función de la ubicación geográfica.

**Capa de regularización y capa de formación de pendientes.** Estas dos capas normalmente están unidas ya que constan de una base de hormigón aligerado rematado con un fratasado de mortero de cemento, el cual alisa la superficie para evitar problemas en otras capas. Su función es la de aportar una pequeña pendiente entre el 1% y el 5% para facilitar la evacuación de agua por los sumideros, además de mejorar mínimamente el comportamiento del aislamiento térmico.

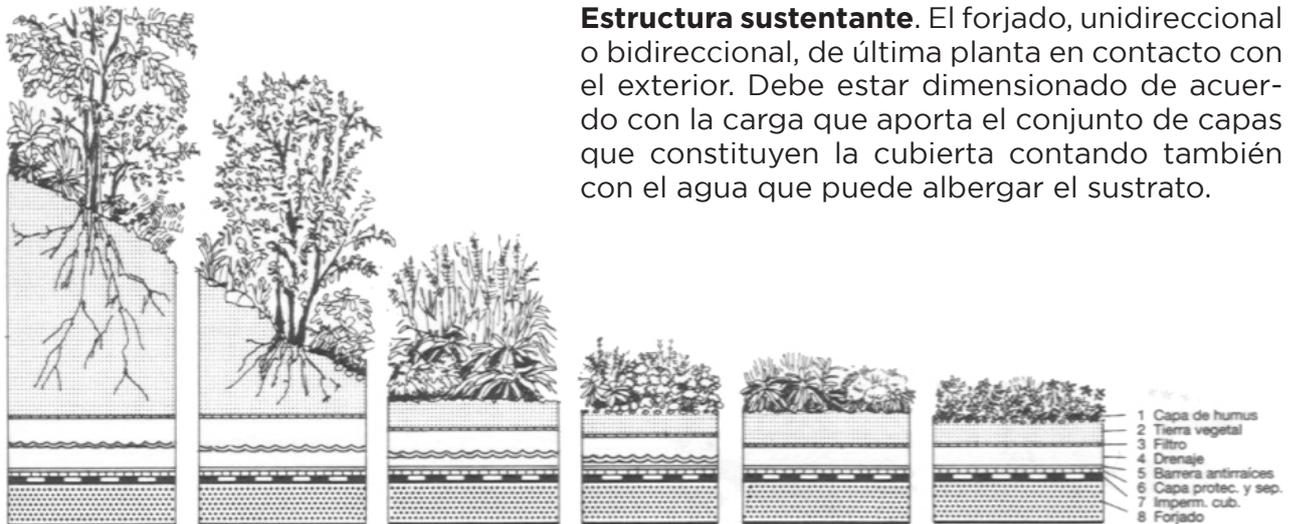


Fig. 10. Diferentes tipos de ajardinamiento. Capas de la cubierta vegetal.

Habiendo diferenciado las capas que componen una cubierta vegetal, pueden distinguirse ahora las dos categorías de techos verdes en función de la espesor del sustrato: intensivos y extensivos.

**Techos extensivos.** Contienen plantas herbáceas, suculentas y arbustivas pequeñas. Su mantenimiento es mínimo, con estructuras sencillas y económicas. Actúan como amortiguadores térmicos, siendo a nivel ambiental más eficaces que los intensivos. Su espesor oscila entre los 5 y los 25 centímetros.

**Techos intensivos.** Contienen plantas como árboles y arbustos, dada su profundidad, superior a los 25 centímetros. Este gran espesor de suelo y la altura de sus plantas, genera también mayor carga estructural, más riesgos asociados al viento y mayor coste de mantenimiento (riego, poda, abonado...). Con todo ello, la selección vegetal y el diseño del jardín responde a criterios estéticos.

Estos dos tipos de cubiertas vegetales pueden ser tanto convencionales como invertidas, depende en qué posición se encuentre la lámina impermeabilizante. A su vez, este tipo de cubiertas tienen la opción de distintos sistemas constructivos. Hay más variaciones de techos vegetales extensivos que intensivos, se muestra a continuación algunos de ellos.

**Sistema Baobab.** Su nombre hace referencia a esta especie arbórea de tronco hueco en el que almacena el agua de la lluvia para resistir las épocas de sequía, es decir, que es un sistema con una gran capacidad de retención de agua. Esto es posible con unas bandejas de polipropileno entre la capa filtrante y el aislamiento térmico, de forma que el agua asciende progresivamente al sustrato. Esto, además, propicia que no se requiera de riego, con el consiguiente ahorro. Se utiliza vegetación de tipo extensivo como crasas o sedums. Si el clima requiere de especies cespitosas, es necesario el riego por goteo.

**Sistema Cántir.** Caracterizado por el aprovechamiento del sistema propio de refrigeración que utilizan las plantas, este sistema emplea riego hidroporoso tipo aljibe creando evotranspiración en la capa vegetal, aislando así en invierno y refrigerando en verano. Se trata de un tipo de cubierta ligera que no almacena gran cantidad de agua con la combinación de la membrana de HDPE y el sustrato de alta absorción. Se propone una vegetación de tipo extensivo, tales como, sedums, herbáceas, gramíneas y vivaces. Esta vegetación supone muy poco mantenimiento y un bajo coste.

**Sistema Epífita.** Está enfocado directamente para cubiertas de difícil acceso y/o con una sobrecarga de uso limitada dado su reducido peso, facilitando además si se busca una cobertura vegetal de forma inmediata, ya que se coloca vegetación ya desarrollada. Está compuesto por bandejas de plantas con especies sedum y un sustrato de nueve centímetros de espesor, instaladas de forma individual directamente sobre la impermeabilización o el aislamiento. Las especies son seleccionadas en función del clima de cada lugar, presentando un mantenimiento mínimo.

**Sistema Fitum.** Posiblemente sea el sistema más convencional, ya que es el más sencillo

y económico. La membrana de polietileno de alta densidad (HDPE) es combinada con el sustrato de alta absorción, lo que propicia una pequeña retención de agua. Se usan especies vegetales de tipo extensivo, como crasas o sedums, para garantizar un mantenimiento muy mínimo. Se instala riego por goteo únicamente si se añade especies aromáticas.

**Sistema Garoé.** Su nombre también responde a una especie arbórea que capta el agua de la humedad de la niebla para no depender de la lluvia, es el sistema destacado para la máxima exigencia en sostenibilidad y eficiencia energética. La acumulación de agua mediante aljibe abastece las plantas por conductos de capilaridad y lo hace idóneo para climas mediterráneos, que presentan esporádicas lluvias intensas y largas sequías. Además, se emplean cajas de fruta de HDPE recicladas, permite la instalación de un aljibe complementario a modo de reserva de agua y presenta un mejor comportamiento térmico, que disminuye el contraste entre el día y la noche. Cualquier tipo de vegetación sin necesidad de riego es válida.

**Sistema Rizoma.** Ligero y sencillo. Compuesto por sustratos sintéticos, paneles de espuma de poliuretano y sedums o césped. Los paneles ejercen función retenedora de agua y drenante a su vez. Un total de siete centímetros y medio de espesor que permite obtener una cubierta vegetal desde el momento de su instalación.

**Sistema Viscum.** Ideado para instalarse en tejados de teja curva sin necesidad de retirarlas. Presenta muy poco peso y un sistema de biorrollos de fibra vegetal compactada que combinan un sistema de riego por exudación con una gran capacidad de drenaje, siendo suficiente la capacidad impermeable de la que ya dispone el tejado. Su colocación depende de factores como la inclinación o la exposición al viento, para garantizar la estabilidad del conjunto. Se recomiendan especies vegetales sedum y plantas crasas.

Sistema	Pendiente (%)	Cap. Almacenamiento de agua (litros/m <sup>2</sup> )	Peso saturado (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor sustrato (cm)	Resistencia a compresión (kN/m <sup>2</sup> )	Mantenimiento
<b>Baobab</b>	0 a 15	18	120	6 a 100	100	Mínimo. Limpieza anual. Riego escaso
<b>Cantir</b>	1 a 15	4	100	7 a 50	150	Limpieza anual. Revisión periódica del sistema de riego
<b>Epífita</b>	0 a 100	15	50	10	-	Mínimo. Limpieza anual
<b>Fitum</b>	1 a 15	3	150	10 a 50	150	Mínimo. Limpieza anual. Riego escaso
<b>Garoé</b>	0	120	230	6 a 300	5	Mínimo. Limpieza anual
<b>Rizoma</b>	1 a 5	31 (en espuma de poliuretano)	35 (en espuma de poliuretano)	Sin sustrato	-	Mínimo. Limpieza anual
<b>Viscum</b>	0 a 100	0	50	10	600	Mínimo. Limpieza anual

Fig. 11. Tabla resumen de las características de los sistemas.

## 2. Objetivos.

Los objetivos de la investigación son diversos y se presentan en diferentes fases, todas ellas necesarias entre sí. Se empieza con la determinación del objetivo principal, estableciendo a continuación los objetivos previos para su consecución.

La investigación tiene como objetivo principal el estudio del comportamiento termodinámico de las cubiertas vegetales en climas mediterráneos.

El estudio se desarrolla con el objetivo también de analizar la diferencia entre las cubiertas vegetales convencionales e invertidas y las cubiertas planas de grava. Se realiza en un mismo clima, el Mediterráneo, analizando dos variantes: la costa y el interior.

Así mismo, el objetivo principal se produce analizando la influencia de las cubiertas vegetales mediante distintas variables, tales como, la demanda energética, la carga punta y el confort térmico.

### 3. Metodología.

Una vez se escoge el tema que va a ocupar la investigación, como primer paso necesario y previo a cualquier otro, se procede a la recopilación de libros, revistas e información para la formación y el desarrollo de la parte teórica. Por tanto, se lleva a cabo en primera instancia multitud de lecturas relacionadas con las cubiertas vegetales, como método para adentrarse en este mundo, en la búsqueda de resolver las demandas de energía eficiente y sostenible.

Tratándose de un proyecto de investigación, se lleva a cabo mediante el desarrollo del Caso de Estudio, con un punto inicial o de partida denominado Caso  $\emptyset$ . Los planos, la forma y su constitución constructiva, cumplen con el mínimo establecido en el Código Técnico de la Edificación y en el DC-09, Decreto de las condiciones de diseño y calidad. Se describe este Caso  $\emptyset$  con cerramiento exterior vertical, suelo en contacto con el terreno, partición interior, huecos con ventanas y cubierta plana tradicional con acabado de gravas.

Se introduce la geometría del Caso  $\emptyset$  para desarrollar la volumetría junto con todos sus atributos en la herramienta unificada *Lider-Calener*; este es el programa empleado para calcular la demanda energética.

El estudio se lleva a cabo con dos variantes diferentes de un clima, para así contrastar datos y obtener mejores conclusiones. Por tanto, se dispone un Caso  $\emptyset$  en València (clima Mediterráneo de costa) y un Caso  $\emptyset$  en Cuenca (clima Mediterráneo de interior). La diferenciación climática propicia la variación en los espesores de los aislamientos, tanto en cubierta como en suelo y cerramiento, cumpliendo así las exigencias del CTE. Así se obtienen los resultados de demanda, tanto de calefacción como de refrigeración, para su contraste con los modelos de cálculo que más adelante se obtienen del mismo programa.

Una vez desarrollada la geometría en HULC de los Casos  $\emptyset$ , llega el momento de desarrollar los modelos de cálculo. Sin variar fachada, particiones y suelo, se transforma la cubierta tradicional en una cubierta vegetal.

Se desarrollan dos tipos de cubierta: convencional e invertida. Se obtienen 162 tipos distintos de cubierta entre la variación tanto del sustrato como del aislamiento.

Una vez se desarrollan todos los cálculos y se recogen en tablas, se procede a comparar los resultados de los modelos de cálculo con el Caso  $\emptyset$ , llegando a las conclusiones que procedan, además de toda la información recopilada para llevar a cabo el conjunto de la investigación.

## 4. Caso de Estudio.

Dado el creciente interés social por el medio ambiente y el enfoque particular en la vida cotidiana para contribuir a su sostenibilidad, se considera de utilidad el estudio de la influencia de las cubiertas vegetales en el comportamiento termodinámico de los edificios como elemento central del trabajo, analizando así la demanda energética, tanto en invierno como en verano.

A lo largo de este apartado, se parte de un Caso Ø sin cubierta vegetal que, a su vez, tiene dos ubicaciones distintas, València y Cuenca. Estas dos variantes geográficas proporcionan una comparativa de comportamiento en base al condicionante climático, junto a las comparativas de cubiertas, desde la no vegetal hasta los diferentes tipos de cubiertas vegetales que se someten a estudio.

## 4.1. Caso $\emptyset$ .

Vista la metodología de investigación, el supuesto escogido sirve para disponer de una referencia para contrastar la influencia de las cubiertas vegetales en la demanda energética del edificio.

Se trata, como punto de partida o Caso Ø, de una vivienda unifamiliar, rectangular, con una superficie construida de 168,80m, ordenada por una retícula de un módulo de 5,75m x 5,25m y otro módulo de 5,75m x 3,25m. Tiene una altura y está dividida en dos zonas: noche y día. Cocina y dos baños al Norte; salón-comedor y dos habitaciones al Sur; una tercera habitación también al Norte, aunque vuelca al Este. No obstante, se destaca la dirección Sur - la más óptima - del mayor porcentaje de huecos. Y para su protección solar, esta parte de la vivienda está cubierta por un voladizo de 1,80 metros.

La altura total de la vivienda asciende a 3,65 metros. La altura libre de la zona de día (cocina, salón-comedor y hall) se sitúa en los 2,85 metros, mientras que la zona de noche (habitaciones y baños) desciende a los 2,55 metros. Se observa una diferenciación de alturas por zonas, basadas en el nivel de privacidad de cada espacio. Así pues, se relaciona la zona diurna con un ámbito más público y activo, mientras que la nocturna evidencia privacidad, cobijo y descanso.

Dado que se trata de un objeto de estudio y, por tanto, de un caso hipotético, no se hace ninguna referencia al emplazamiento, entendiendo el emplazamiento como parcela concreta, ya que no tiene ningún efecto, ni positivo ni negativo, en la demanda de energía; a diferencia de la orientación, que sí influye en la misma.

## Descripción gráfica.

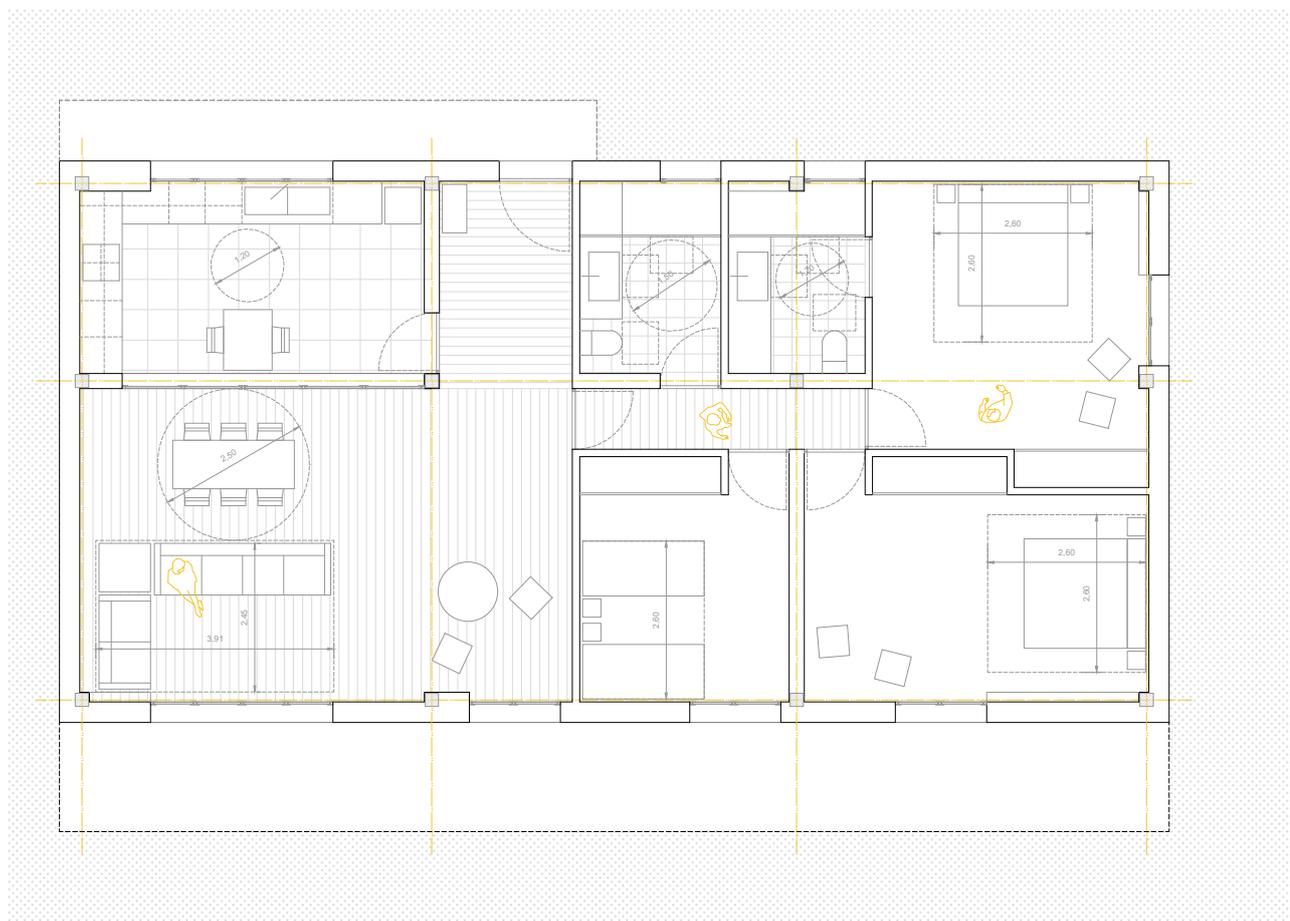


Fig. 12. Plano de Planta del edificio Caso Ø. e 1/125.

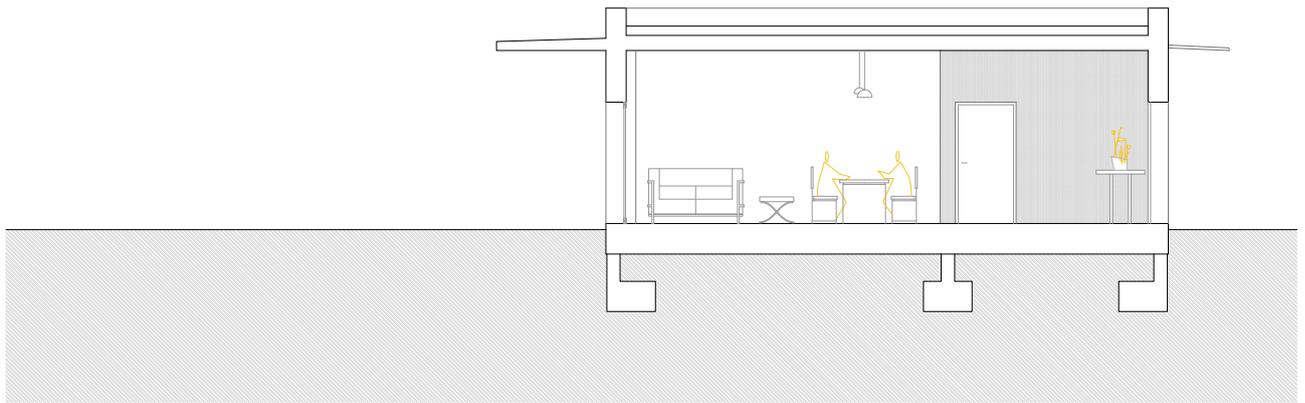


Fig. 13. Plano de Sección transversal. e 1/125.

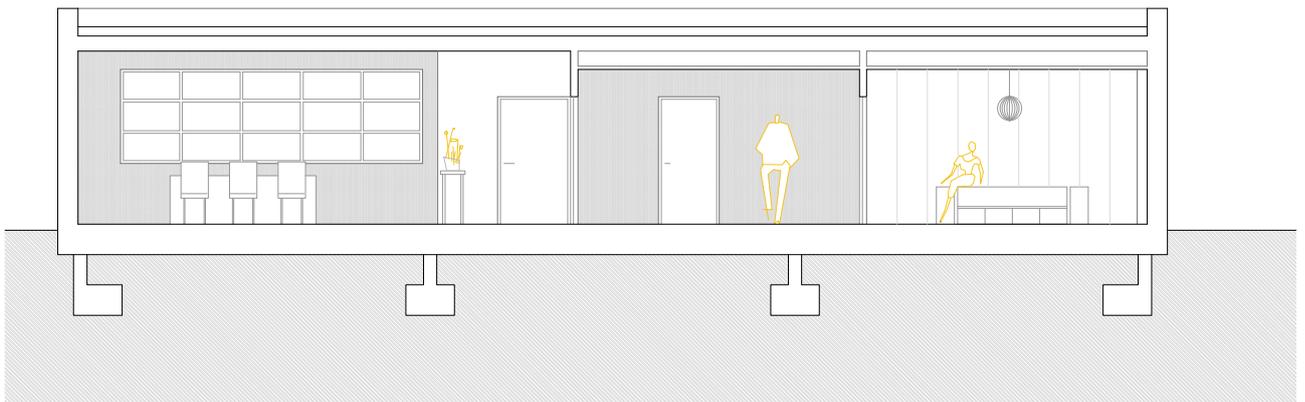


Fig. 14. Plano de Sección longitudinal. e 1/125.

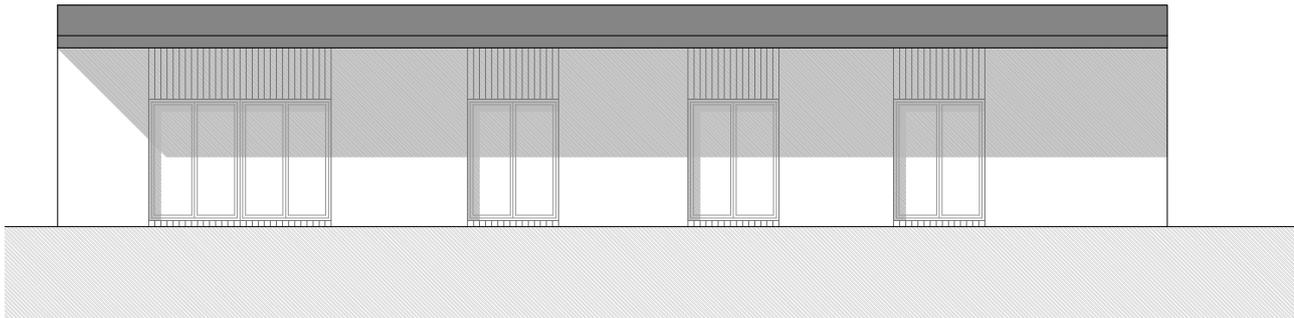


Fig. 15. Plano de Alzado Sur. e 1/125.

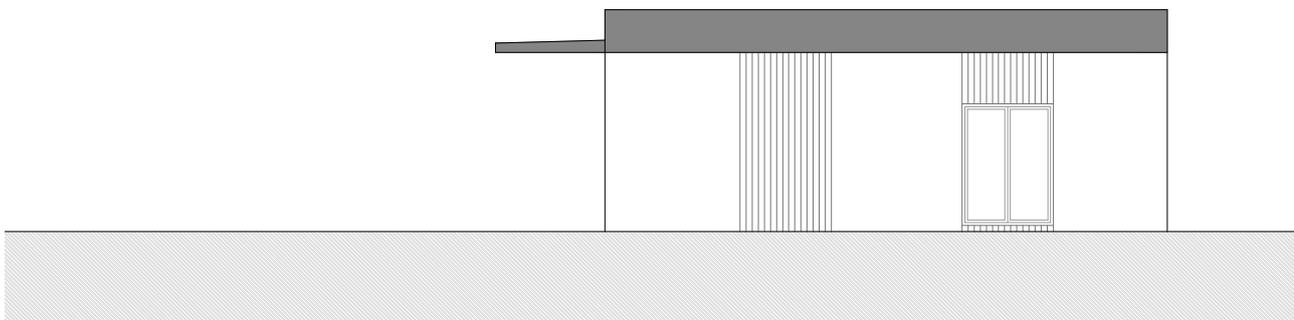


Fig. 16. Plano de Alzado Este. e 1/125.

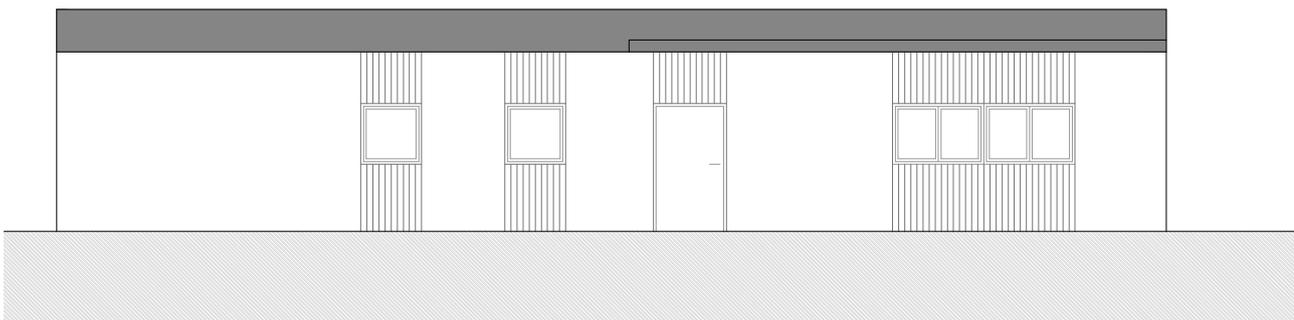


Fig. 17. Plano de Alzado Norte. e 1/125.

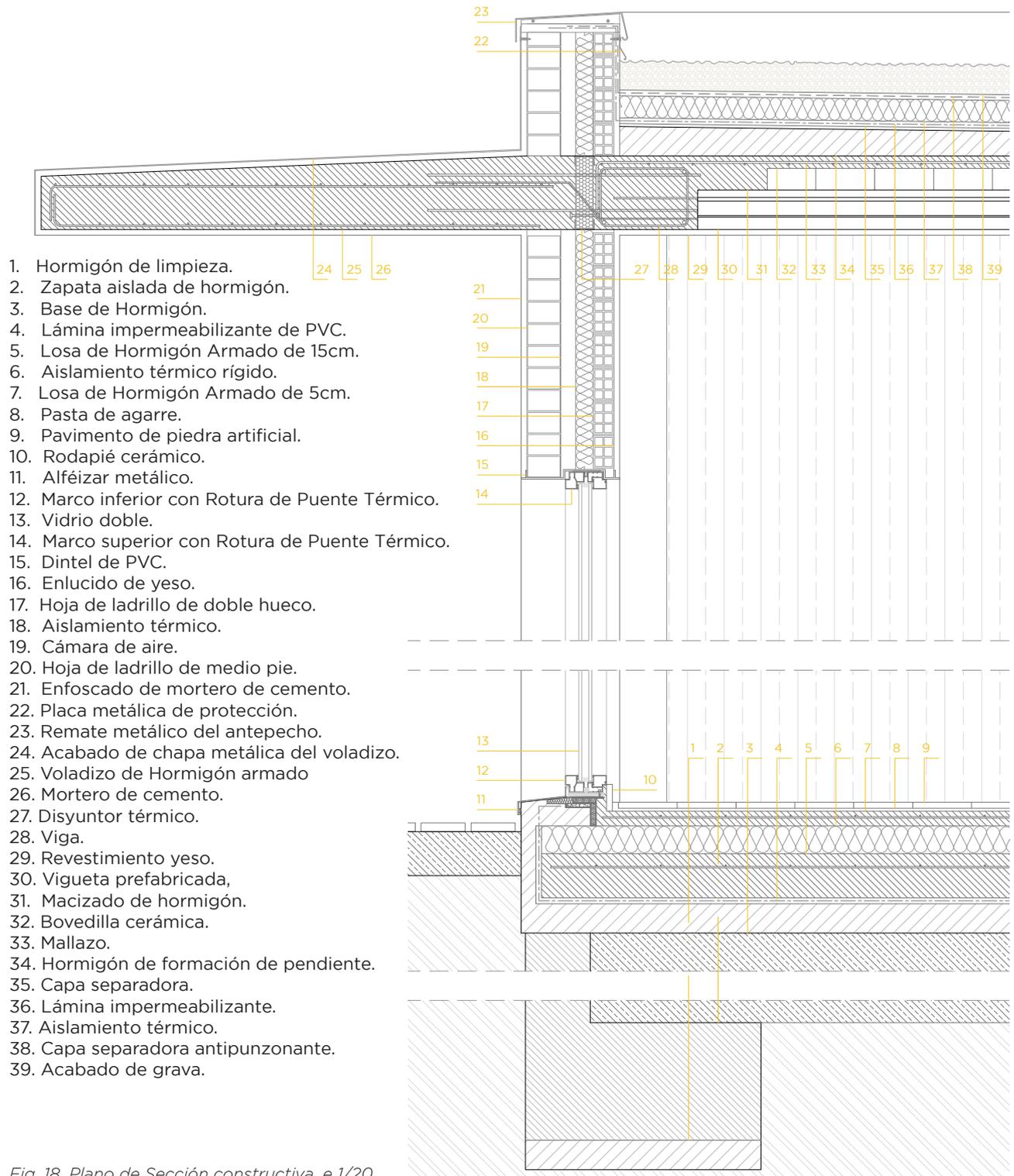


Fig. 18. Plano de Sección constructiva. e 1/20.

Para el desarrollo del Caso Ø, se construye la envolvente de la vivienda de forma que cumpla con el Código Técnico de la Edificación, según el Documento Básico HE 1 Limitación de la demanda energética. En primer lugar, se detecta la zona climática en la que nos situamos. Se desarrollan dos variantes del clima Mediterráneo. Se crea tanto un Caso Ø para el clima Mediterráneo de costa como un Caso Ø para el clima Mediterráneo de interior, pudiéndolos comparar para la obtención de mayores conclusiones. Se elige la ciudad de Valencia, que se ubica en la Zona Climática B3. La ciudad de referencia del clima Mediterráneo de interior es Cuenca, que se sitúa en la Zona Climática D2.

Tabla E.1. Transmitancia del elemento [W/m<sup>2</sup> K]

Transmitancia del elemento [W/m <sup>2</sup> K]	Zona Climática					
	α	A	B	C	D	E
U <sub>M</sub>	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U <sub>S</sub>	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U <sub>C</sub>	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U<sub>M</sub>: Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

U<sub>S</sub>: Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

U<sub>C</sub>: Transmitancia térmica de cubiertas

Fig. 19. Tabla de Transmitancias de elementos.

Se utiliza la Herramienta Unificada *Lider Calener*, la cual permite saber si la envolvente térmica cumple con los valores de Transmitancia térmica exigidos por el DB-HE. La demanda energética de calefacción y refrigeración se establece con dicha herramienta en función de los elementos constructivos, su geometría y las condiciones según la Zona Climática.

The screenshot shows the 'Definición del caso' (Case Definition) section of the Lider Calener software. It is divided into several panels:

- Verificación CTE-HE y Certificación de Eficiencia Energética:** Includes radio buttons for 'Edificio NUEVO', 'Edificio EXISTENTE: Ampliación', 'Edificio EXISTENTE: Intervención importante', and 'Edificio EXISTENTE: Cambio de uso característico'. Below this is the 'Solo Certificación de Eficiencia Energética' section with a radio button for 'Edificio EXISTENTE: Solo Certificación'.
- Tipo de edificio:** Includes radio buttons for 'Vivienda unifamiliar', 'Viviendas en bloque' (with a sub-option 'Una Vivienda de un bloque'), 'Edificio Terciario Pequeño o Mediano (PMT)' (with sub-options 'Un local de un Edificio PMT' and 'Gran Edificio Terciario (GT)'), and 'Un local de un Edificio GT'.
- Localidad, Datos Climáticos:** Includes text input fields for 'Comunidad autónoma' (Community Valenciana), 'Provincia' (Valencia), and 'Localidad' (Valencia). It also has a text input for 'Altitud' (10,00 m) and a dropdown for 'Zona climática' (B3). Below this is a section for 'Peninsular' (selected) and 'Extraperinsular'.
- Ventilación del edificio residencial:** Includes a checked checkbox 'Se acepta el valor de ventilación por defecto (0,63 renovaciones por hora)'.
- Valores por defecto de los espacios habitables:** Includes a dropdown for 'Tipo de Uso' (Residencial).

Fig. 20. Lider Calener. Datos Generales en clima Mediterráneo de costa. València.

Definición del caso

**Verificación CTE-HE y Certificación de Eficiencia Energética**

Edificio NUEVO

Edificio EXISTENTE: Ampliación

Edificio EXISTENTE: Intervención importante

Edificio EXISTENTE: Cambio de uso característico

**Solo Certificación de Eficiencia Energética**

Edificio EXISTENTE: Solo Certificación

Tipo de edificio

Vivienda unifamiliar

Viviendas en bloque

Una Vivienda de un bloque

Edificio Terciario Pequeño o Mediano (PMT)

Un local de un Edificio PMT

Gran Edificio Terciario (GT)

Un local de un Edificio GT

Localidad, Datos Climáticos

Comunidad autónoma: Comunidad Valenciana

Provincia: Valencia

Localidad: Valencia

Altitud: 946,00 m

Zona climática: D2

Peninsular

Extrapeninsular

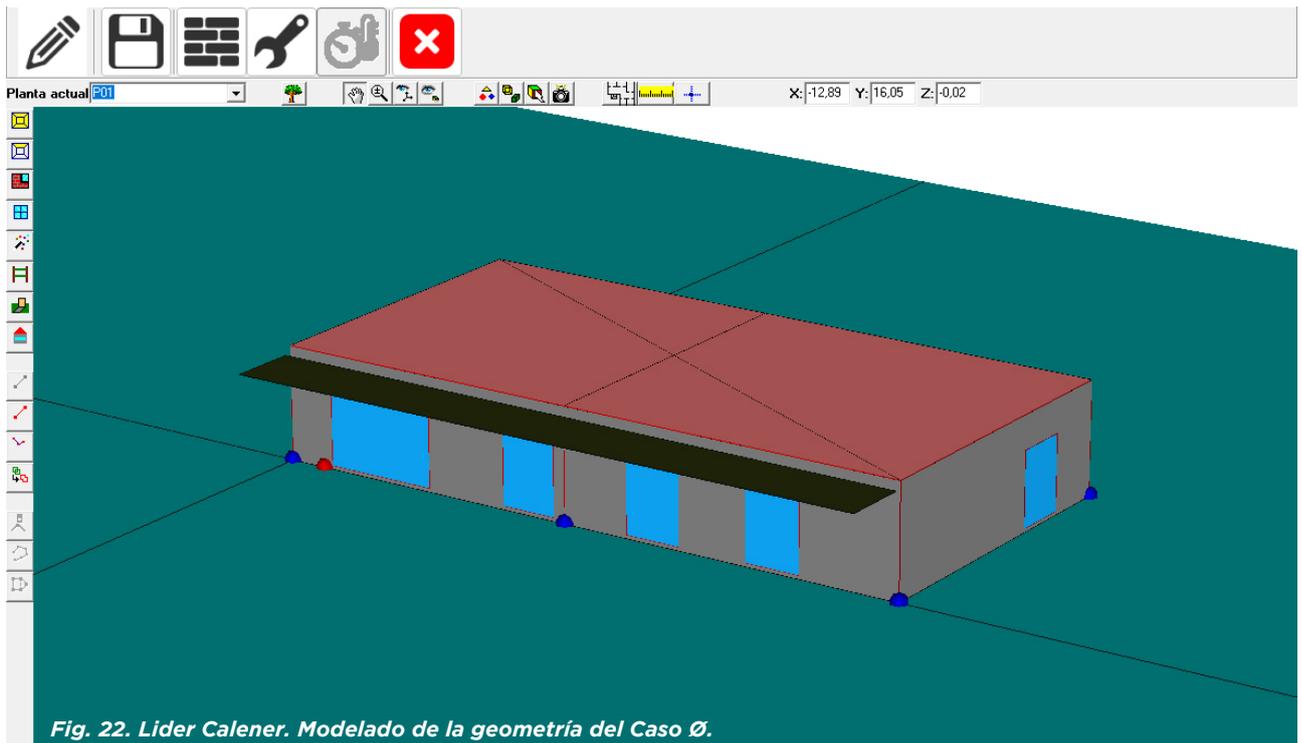
Ventilación del edificio residencial

Se acepta el valor de ventilación por defecto (0,63 renovaciones por hora)

Valores por defecto de los espacios habitables

Tipo de Uso: Residencial

Fig. 21. Lider Calener. Datos Generales en clima Mediterráneo de interior. Cuenca.



Según el DB-HE Ahorro de Energía, “La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.” A continuación se desarrolla cada elemento que compone la envolvente térmica.

## Cerramiento.

Grupo Fachadas  
Nombre: F 3.02

Composición del Cerramiento:  
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería v.	0,020	1,300	1900	1000	
2	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60	0,115	0,667	1140	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm					0,180
4	MW Lana mineral [0.031 W/(mK)]	0,060	0,031	40	1000	
5	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070	0,432	930	1000	
6	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020	0,570	1150	1000	
7						

Grupo Material: Morteros  
Material: Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 20 | 0,020 Espesor (m)  
U: 0,37 W/(m²K)

Grupo Fachadas  
Nombre: F 3.02

Composición del Cerramiento:  
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería v.	0,020	1,300	1900	1000	
2	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60	0,115	0,667	1140	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm					0,180
4	MW Lana mineral [0.031 W/(mK)]	0,095	0,031	40	1000	
5	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070	0,432	930	1000	
6	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020	0,570	1150	1000	
7						

Grupo Material: Morteros  
Material: Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 20 | 0,020 Espesor (m)  
U: 0,26 W/(m²K)

Fig. 23. Detalle de cerramiento del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.

Fig. 24. Detalle de cerramiento del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.

## Cerramiento en clima Mediterráneo de costa.

1. 2cm: Mortero de cemento.
2. 11,50cm: Hoja de ladrillo de 1/2 pie.
3. 5cm: Cámara de aire no ventilada.
4. 6cm: Aislamiento térmico de lana de roca.
5. 7cm: Hoja de ladrillo de hueco doble.
6. 2cm: Enlucido de yeso.

## Cerramiento en clima Mediterráneo de interior.

1. 2cm: Mortero de cemento.
2. 11,50cm: Hoja de ladrillo de 1/2 pie.
3. 5cm: Cámara de aire no ventilada.
4. 9,50cm: Aislamiento térmico de lana de roca.
5. 7cm: Hoja de ladrillo de hueco doble.
6. 2cm: Enlucido de yeso.

## Suelo en contacto con el terreno.

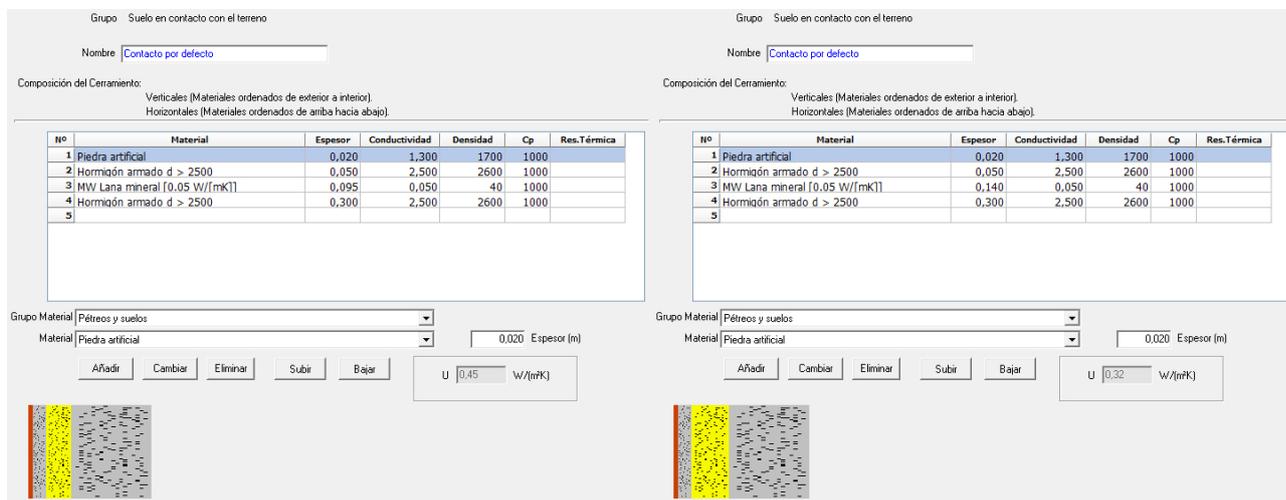


Fig. 25. Detalle de suelo del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.

Fig. 26. Detalle de suelo del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.

### Suelo en contacto con el terreno en clima Mediterráneo de costa.

1. 2cm: Pavimento de piedra artificial.
2. 5cm: Solera de Hormigón armado.
3. 9,50cm: Aislamiento térmico de lana de roca.
4. 15cm: Solera de Hormigón armado.
5. 2cm: Lámina impermeabilizante.
6. 15cm: Solera de Hormigón.

### Suelo en contacto con el terreno en clima Mediterráneo de interior.

1. 2cm: Pavimento de piedra artificial.
2. 5cm: Solera de Hormigón armado.
3. 14cm: Aislamiento térmico de lana de roca.
4. 15cm: Solera de Hormigón armado.
5. 2cm: Lámina impermeabilizante.
6. 15cm: Solera de Hormigón.

## Cubierta plana tradicional.

Grupo Cubiertas

Nombre

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,100	2,000	1450	1050	
2	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0,075	0,029	38	1000	
3	Cloruro de polivinilo [PVC]	0,002	0,170	1390	900	
4	Hormigón con áridos ligeros 1800 < d < 2000	0,070	1,350	1900	1000	
5	FU Entrevigado cerámico -Canto 250 mm	0,250	0,908	1220	1000	
6	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000	
7						

Grupo Material

Material   Espesor (m)

W/(m²K)

Grupo Cubiertas

Nombre

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,100	2,000	1450	1050	
2	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0,120	0,029	38	1000	
3	Cloruro de polivinilo [PVC]	0,002	0,170	1390	900	
4	Hormigón con áridos ligeros 1800 < d < 2000	0,070	1,350	1900	1000	
5	FU Entrevigado cerámico -Canto 250 mm	0,250	0,908	1220	1000	
6	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000	
7						

Grupo Material

Material   Espesor (m)

W/(m²K)

Fig. 27. Detalle de cubierta del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.

Fig. 28. Detalle de cubierta del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.

### Cubierta plana tradicional en clima Mediterráneo de costa.

- 10cm: Acabado de grava.
- 7,50cm: Aislamiento térmico XPS.
- 2cm: Lámina impermeabilizante de PVC.
- 7cm: Hormigón aligerado para formación de pendientes.
- 25cm: Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.
- 2cm: Enlucido de yeso.

### Cubierta plana tradicional en clima Mediterráneo de interior.

- 10cm: Acabado de grava.
- 12cm: Aislamiento térmico XPS.
- 2cm: Lámina impermeabilizante de PVC.
- 7cm: Hormigón aligerado para formación de pendientes.
- 25cm: Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.
- 2cm: Enlucido de yeso.

## Huecos.

The image shows two side-by-side screenshots of a software interface for defining window properties. The left window is titled 'HUECO MED' (Group HM) and the right is 'HUECO INTERIOR' (Group HI). Both windows have the same configuration: 'Grupo Vidrio' is 'Dobles bajo emisivos 0.03-0.1 en posición vertic', 'Vidrio' is 'VER\_DB2\_4-12-331', 'Grupo Marco' is 'De PVC en posición vertical', and 'Marco' is 'VER\_PVC dos cámaras'. Both have a frame coverage of 10.00% and an air permeability of 27.00 m²/hm² a 100 Pa. The '¿Es una puerta?' checkbox is unchecked in both.

Fig. 29. Detalle de hueco del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.

Fig. 30. Detalle de hueco del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.

### Hueco en clima Mediterráneo de costa.

1. Vidrio doble, bajo emisivo.
2. Marco de PVC con rotura de puente térmico.

### Hueco en clima Mediterráneo de interior.

1. Vidrio doble, bajo emisivo.
2. Marco de PVC con rotura de puente térmico.

### Puerta principal ambos climas.

1. Puerta de madera maciza.

The image shows a screenshot of a software interface for defining door properties. The door is titled 'PUERTA PPAL' (Group PUERTA PPAL) and named 'Puerta'. The 'Grupo Vidrio' is 'Dobles bajo emisivos <0.03 en posición vertical' and 'Vidrio' is 'VER\_DB3\_4-12-331'. The 'Grupo Marco' is 'De Madera en posición vertical' and 'Marco' is 'VER\_Madera de densidad media alta'. The frame coverage is 100.00% and the air permeability is 60 m²/hm² a 100 Pa. The '¿Es una puerta?' checkbox is checked.

Fig. 31. Detalle de puerta principal de madera del Caso Ø.

## 4.2. Comparativa climática.

Existe una relación directa entre la demanda energética de un edificio y el clima exterior del lugar en el que está ubicado. Los parámetros entre un clima y otro varían en el cálculo de ésta. Por ello, se realiza un análisis de las condiciones climatológicas gracias al cual se detecta en qué momentos del año se necesita más o menos calefacción o refrigeración.

El estudio se realiza con dos variantes de clima Mediterráneo, el de costa en la ciudad de València y el de interior en la ciudad de Cuenca. El objetivo es obtener una investigación más completa y con unas conclusiones más acotadas.

Se emplea, para el análisis de ambos climas, el software *Climate Consultant*, que proporciona información detallada de muchos aspectos climáticos para las localizaciones deseadas. Entre las diferentes bases de datos con las que dicho software trabaja, se seleccionan dos: SWEC (*Spanish Weather for Energy Calculations*) e IWEC (*International Weather for Energy Calculations*).

En primer lugar se obtienen los archivos .epw (*Energy Plus Weather*) que necesitan tanto SWEC (València y Cuenca), como IWEC (solo València).

Se hace una comparación de ambas variantes del clima, obteniendo los archivos de datos SWEC, los cuales se generan con velocidades de viento constantes a 6,70 m/s. A su vez, entre el conjunto de datos IWEC se encuentra València, pero no se encuentra Cuenca. Por tanto, la ciudad de costa dispone de mayor información detallada sobre todo lo relacionado con el estudio de vientos, puesto que el software con .epw (IWEC) desarrolla detalladamente la rosa de los vientos y no utiliza una velocidad de viento constante como la anterior.

Previamente se elige un Modelo de confort basado en la temperatura de bulbo seco, el nivel de ropa (*clo*), la actividad metabólica (*met*), la velocidad del aire, la humedad y la temperatura radiante media. Los parámetros automáticamente seleccionados se eligen mediante el PMV (*Predicted Mean Vote / Voto Medio Estimado*) que, tal y como se describe en el artículo "*Bienestar térmico en un espacio climatizado*" publicado por Ángel Sánchez de Vera Quintero en la página web del IDAE: "*es el resultado de haber sometido a ensayo y recogido la opinión de colectivos de personas que fueron sometidas, en un local cerrado, a variaciones de las condiciones térmicas del ambiente, y su opinión sobre la sensación que iban experimentando, en una escala desde mucho calor, calor, bien, frío, mucho frío*". Los parámetros de confort son: *clo* invierno = 1/ temperatura invierno = 21 a 23°C/ humedad relativa invierno = 40 a 50%; *clo* verano = 0.5/ temperatura verano = 23 a 25 °C/ humedad relativa verano = 45 a 60%.

Los aspectos climáticos más importantes que se analizan en ambas ciudades son las temperaturas, la humedad relativa, la radiación y trayectoria solar. Los vientos se analizan únicamente en el caso de València por las razones anteriormente expuestas.

## Temperatura seca y temperatura del suelo.

Se prosigue con los parámetros de confort establecidos, que ubican la temperatura del invierno entre 21 y 23°C, mientras que entre 23 y 25°C se encuadra el verano. Todas aquellas temperaturas que se alejen de este valor indican que se necesita calefacción o refrigeración para llegar al punto de confort térmico.

Los datos para el análisis se extraen de las Figuras 32 y 33. En el eje vertical de la derecha se sitúa la Temperatura en °C y en el eje vertical de la izquierda se sitúa la Radiación solar en Wh/m. En el eje horizontal se sitúan todos los meses del año. La línea roja representa la temperatura seca exterior (*Dry Bulb*) y la línea granate la temperatura húmeda exterior (*Wet Bulb*); en estas líneas se recogen las medias diarias de temperatura a lo largo de todo el año. En las zonas grises, oscura y clara, se observa el rango de temperatura de confort entre 21 y 25°C. La radiación solar global, la radiación solar directa y la radiación solar difusa se observan en la parte inferior de la gráfica, en colores verde, amarillo y cian respectivamente.

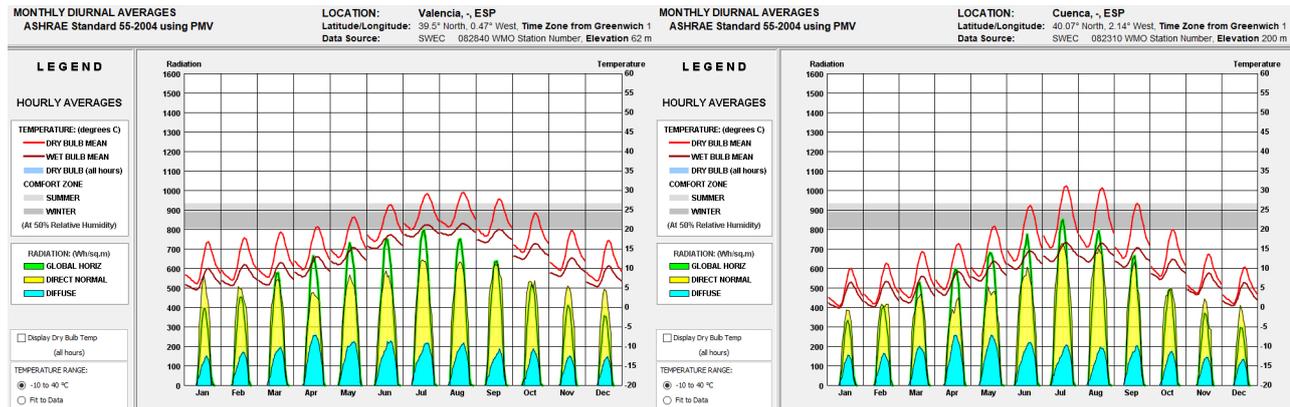


Fig. 32. Climate Consultant. Temperatura y radiación para clima Mediterráneo de València.

Fig. 33. Climate Consultant. Temperatura y radiación para clima Mediterráneo de Cuenca.

Para un estudio comparativo más detallado de la temperatura seca exterior, ya que ésta aporta unos datos más fieles a la realidad, se elaboran dos gráficas, Figura 34 y 35, con la temperatura diaria media anual en València y Cuenca.

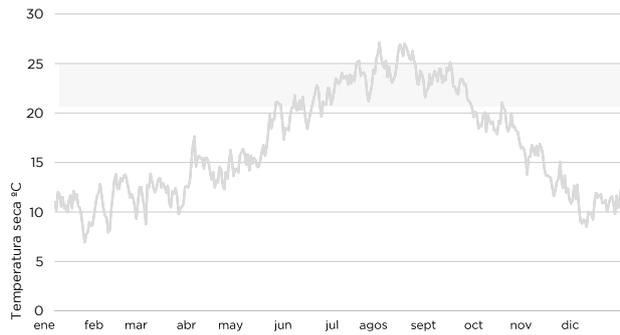


Fig. 34. Gráfica de Temperatura seca del clima Mediterráneo de València.



Fig. 35. Gráfica de Temperatura seca del clima Mediterráneo de Cuenca.

Se observa a primera vista una temperatura media estable en València a lo largo de todo el año, sin grandes contrastes estacionales, oscilando desde los 5°C hasta los 30, a diferencia de la ciudad de Cuenca, que presenta unos inviernos significativamente más fríos que descienden hasta los 0°C, mientras que el verano se acerca a niveles de calor mediterráneo aunque sin alcanzarlos, puesto que se mantienen en la zona de confort con una máxima de 25°C. Se extrae, por tanto, la necesidad de unos niveles de demanda similares de calefacción y refrigeración en la ciudad mediterránea, mientras que en la zona interior únicamente se demanda calefacción.

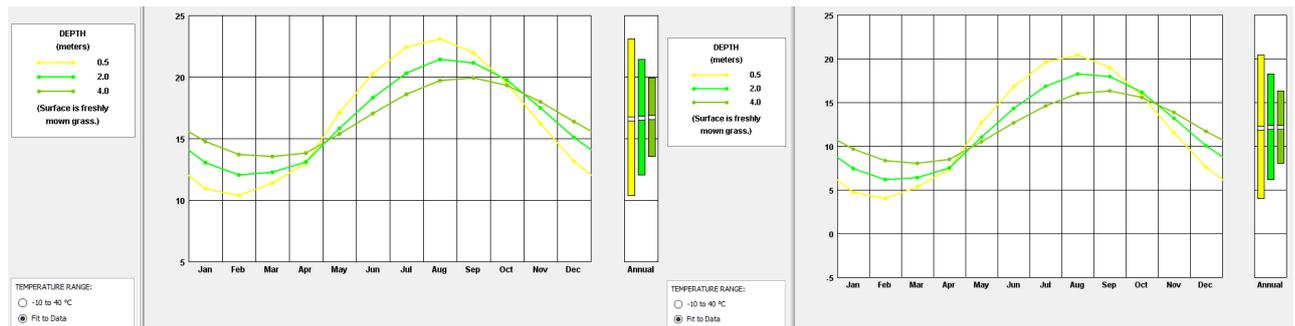


Fig. 36. Climate Consultant. Temperatura del suelo de clima Mediterráneo de València.

Fig. 37. Climate Consultant. Temperatura del suelo de clima Mediterráneo de Cuenca.

La temperatura del suelo se obtiene desde tres profundidades distintas: 4, 2 y 0,5 metros. La muestra más superficial, con medio metro de profundidad, presenta los mayores contrastes dada su proximidad al clima exterior y sitúa al suelo mediterráneo con 5°C más que al suelo interior durante todo el año. Se observa una equiparación de temperaturas en las tres profundidades y en ambas ciudades, tanto en el centro de la primavera como en el centro del otoño.

## Radiación solar.

Para conseguir una arquitectura eficiente, es muy importante llevar a cabo el estudio de la orientación del Sol, ya que influye en la elección de la orientación del edificio para proteger/aprovechar el calor lo mejor posible. La orientación más óptima en el clima Mediterráneo es la orientación sur, ya que se aprovechan las máximas horas de Sol en invierno y disminuye así la demanda de calefacción. Sin embargo, en verano, es necesario disponer de un sistema de protección solar para evitar el sobrecalentamiento interior producido por todas las horas de exposición solar.

El Caso de Estudio que rige este proyecto no está sujeto a invariantes que impidan utilizar la mejor posición, por lo que se orienta de la forma más óptima. Los huecos existentes de mayor tamaño se encuentran en la fachada sur, por lo que se estudia el recorrido del Sol respecto a la posición de estos huecos; esta es la posición que mayor información aporta.

*Climate Consultant* genera una carta solar muy detallada, en la que se ve el recorrido del Sol según la hora del día, el acimut y la altitud durante todos los meses del año, aunque muestra por separado cada medio año entre diciembre y junio. El acimut es el ángulo que recorre el Sol en un plano horizontal y la altitud es el ángulo que lo recorre en uno vertical. También se muestra una nube de puntos. El punto azul representa las horas en las que se necesita más incidencia de Sol. El punto amarillo son las horas en las que la sombra puede ayudar para llegar al punto de confort. Y el punto rojo determina las horas que se necesitan de sombra obligatoriamente.

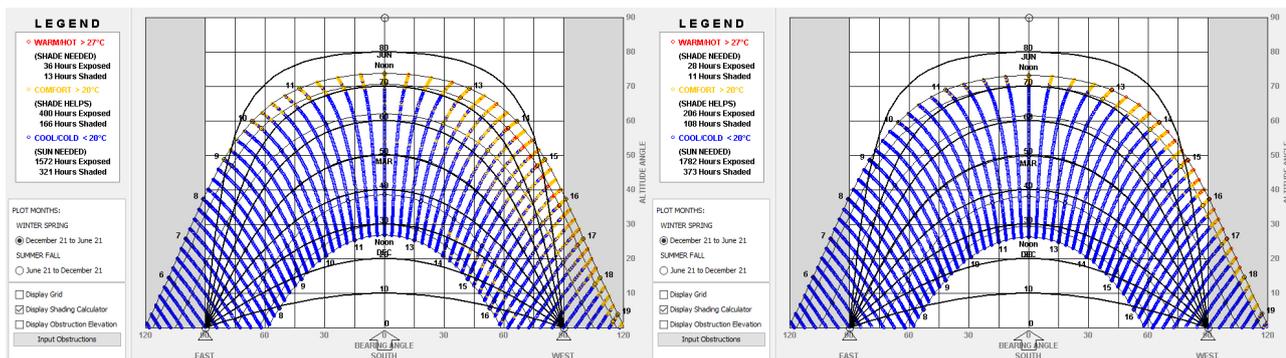


Fig. 38. *Climate Consultant*. Carta solar de los meses fríos del clima Mediterráneo de València.

Fig. 39. *Climate Consultant*. Carta solar de los meses fríos del clima Mediterráneo de Cuenca.

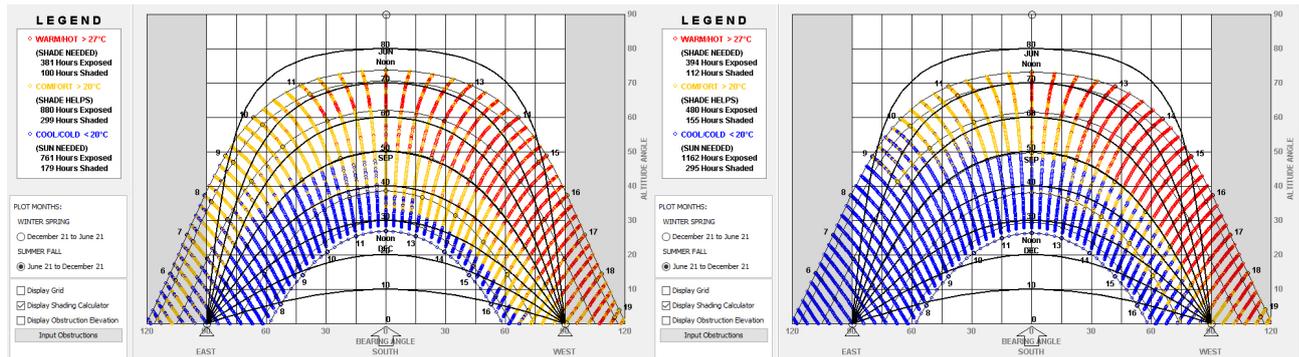


Fig. 40. Climate Consultant. Carta solar de los meses calurosos del clima Mediterráneo de València.

Fig. 41. Climate Consultant. Carta solar de los meses calurosos del clima Mediterráneo de Cuenca.

La vivienda vuelca a Sur. El software contiene una opción en la que el fondo blanco representa lo que se ve por una ventana orientada según la posición de la flecha inferior. Por lo tanto, la flecha se sitúa en 0° coincidiendo con el Sur, teniendo a la izquierda el Este y a la derecha el Oeste, para ver una simulación real del recorrido del Sol, así como, las horas expuestas y las horas de sombra, cuantificadas en la Leyenda.

En primer lugar se compara el recorrido del Sol en clima Mediterráneo de costa y en clima Mediterráneo de interior durante los meses más fríos, entre diciembre y junio. Posteriormente se compara la costa con el interior durante los meses más calurosos, entre diciembre y junio.

Durante los meses de diciembre, enero y febrero no se encuentran cambios notables entre la costa y el interior, ya que se muestra que en prácticamente todas las horas se necesita mayor incidencia de radiación solar, puesto que las temperaturas durante esta época del año son bajas. Entre marzo, abril, mayo y junio ya se empiezan a ver diferencias con incidencias de Sol más altas, que generan mayores temperaturas. En València, entre marzo y mayo se ve una mayor incidencia durante las horas de la tarde, lo que acerca más al estado de confort que se busca, al contrario que en Cuenca. A partir de junio, en la costa y el interior, durante la mayor parte de las horas del día, se nota un aumento de la incidencia de radiación solar y en algunas horas incluso sobrepasa la temperatura de confort.

Si se observan de forma superficial las cartas solares de los meses más calurosos, se aprecia que en la costa existe mucha mayor incidencia de radiación solar que en el interior. En las dos variantes de clima, los meses de julio y agosto llevan consigo la máxima incidencia de radiación solar, sobre todo a partir del mediodía, por ello es estrictamente necesario colocar un sistema de protección solar para que una persona pueda estar en condiciones de confort térmico; en este Caso de Estudio se construye un voladizo de 1,80m en la fachada Sur. A partir de septiembre, con la incidencia de radiación solar, el clima de costa es mucho más cálido/templado que el clima de interior. En Cuenca hay una reducción importante de la radiación, que hace disminuir la temperatura bruscamente a partir de

septiembre. Durante los meses calurosos, el confort es mucho más difícil de alcanzar en el clima de costa que en el clima de interior, debido a que la incidencia del Sol es más fuerte.

Desde el software también se recoge información relativa sobre radiación global, directa y difusa. Esta información ayuda a cuantificar las ganancias de la vivienda a través de los cerramientos.

La radiación que un metro cuadrado de una superficie horizontal recibe es conocida como radiación global y es el resultado de la suma de la radiación directa, de la radiación difusa y de la radiación reflejada. La radiación directa es la que llega directamente del Sol, mientras que la radiación difusa es el efecto generado cuando la radiación solar que alcanza la superficie de la atmósfera de la Tierra se dispersa de su dirección original. La radiación que interesa y que se estudia es la radiación directa.

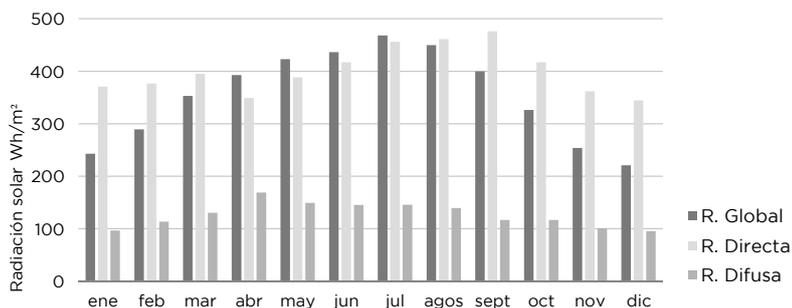


Fig. 42. Gráfica de Radiación solar del clima Mediterráneo de València.

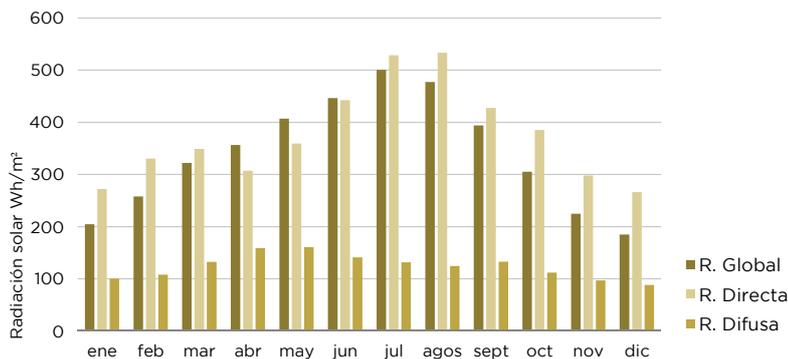


Fig. 43. Gráfica de Radiación solar del clima Mediterráneo de Cuenca.

Tanto en el clima Mediterráneo de costa como en el clima Mediterráneo interior, los meses de mayor radiación coinciden con los meses más calurosos. A pesar de que la incidencia solar es mayor en el caso de la costa, los valores más altos de radiación ocurren en el clima de interior, por lo tanto las temperaturas altas en verano tampoco distan mucho entre los dos climas. Durante los primeros meses del año se observa que la radiación solar es considerable, siendo beneficioso para mantener el confort interior y a su vez para obtener una menor demanda en calefacción. Para aprovechar de la mejor forma posible la radiación directa, se hace caso de las indicaciones del principio de orientación. Su correcta resolución o no, es determinante en su efecto.

## Humedad relativa.

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener. Este parámetro influye en gran medida al confort en el interior de la vivienda. En general, las temperaturas más altas requieren humedades relativas más bajas para lograr el confort térmico.

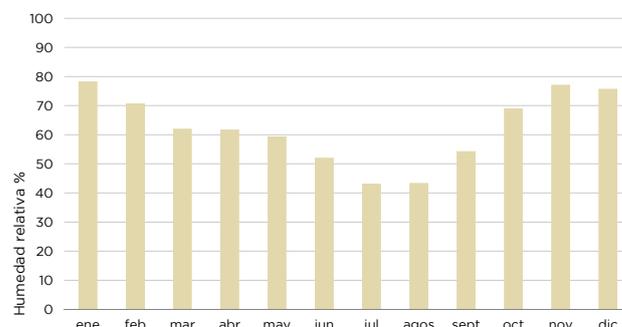
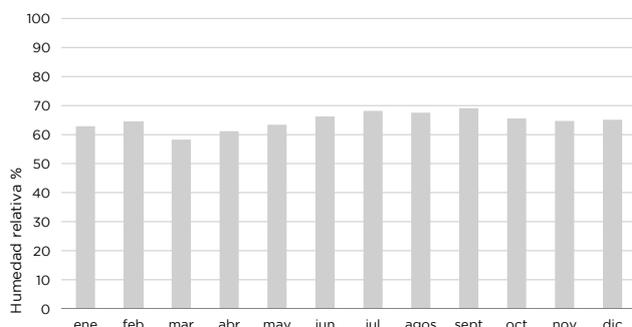


Fig. 44. Gráfica de Humedad relativa del clima Mediterráneo de València.

Fig. 45. Gráfica de Humedad relativa del clima Mediterráneo de Cuenca.

Según las figuras 44 y 45, la humedad relativa en València es bastante constante. Ésta se encuentra entre el 60% y el 70% durante todos los meses del año, excepto en marzo que se acerca pero no sobrepasa el 60%. Ello supone un problema, ya que la humedad relativa de confort, tanto en invierno como en verano, no supera el 60% siendo este el máximo. Esta humedad relativa junto con el hándicap de una temperatura elevada constante, debe ser controlada durante todo el año con un gran esfuerzo.

En Cuenca ocurre lo contrario, hay una variación de la humedad relativa entre los meses de invierno y los meses de verano, por lo tanto el confort térmico se consigue con menor esfuerzo. Se observa que en los meses de mayor temperatura la humedad relativa disminuye, siendo esto muy positivo y ayudando al confort interior. En los meses más fríos, la humedad relativa se encuentra muy por encima del 50% (temperatura máxima de confort en invierno), por lo tanto debe controlarse para que no afecte al control del confort.

Así pues, como València es una ciudad costera, se observa la influencia del mar en la humedad relativa y a su vez en el confort térmico. Se debe tener más cuidado en los climas Mediterráneos de costa que en los climas Mediterráneos de interior, vista la diferencia entre las diversas humedades relativas.

## Diagrama psicométrico.

*Climate Consultant* genera, a parte de todos los parámetros climáticos, el climograma de bienestar que se representa con un diagrama psicométrico. En el diagrama se ve un grupo de puntos, en el que cada punto es una hora del año, contando 8760 puntos y por consiguiente horas.

El diagrama relaciona la temperatura seca, la temperatura húmeda, la humedad relativa y la humedad específica, junto con el punto de rocío. El software proporciona 16 herramientas, que pueden seleccionarse para saber lo que se necesita para que durante todo el año se dé una situación de confort térmico. Al estudiarse cómo influye el clima en la demanda, se marca sólo la herramienta de Confort (1), la cual aporta información del confort térmico que se da en el interior del edificio sin ningún mecanismo, activo o pasivo, añadido. Esto significa que las condiciones climáticas exteriores, en esas horas en concreto, producen el confort suficiente para cubrir las necesidades de una persona.

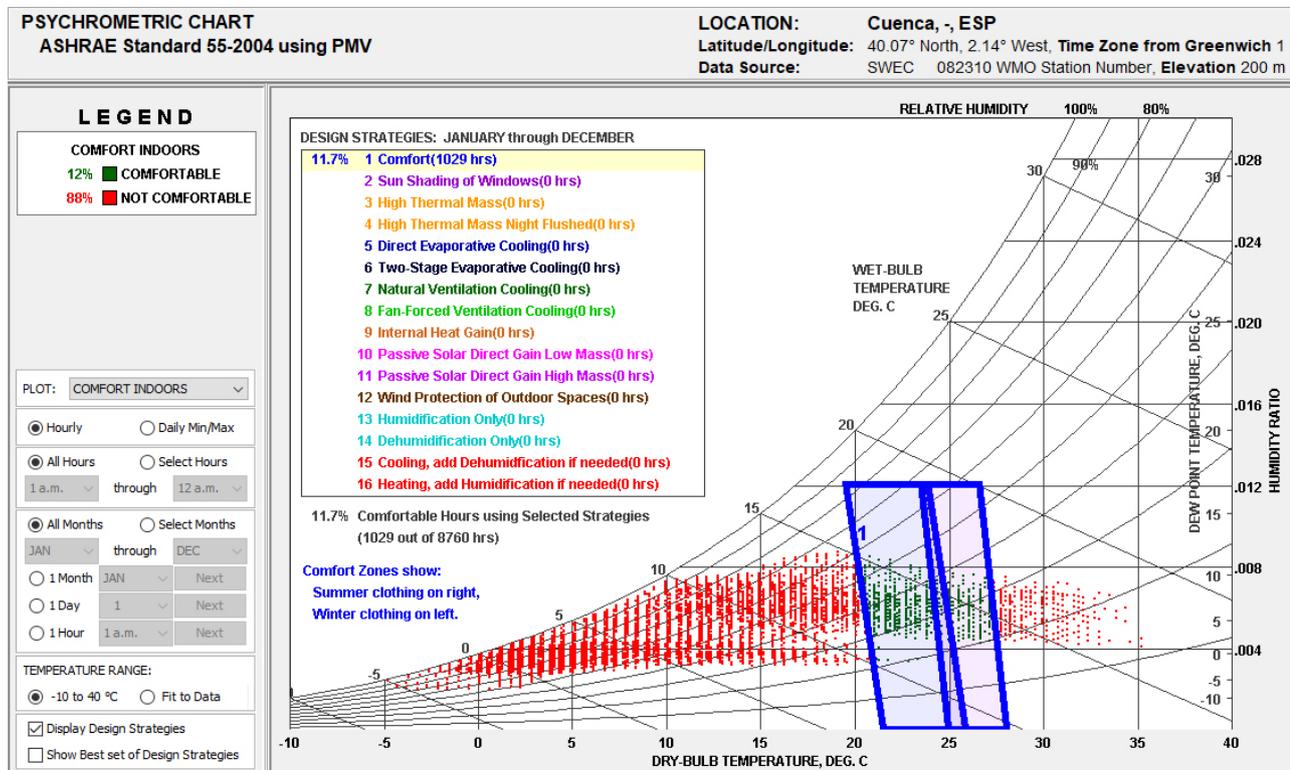


Fig. 46. *Climate Consultant*. Diagrama psicométrico del clima Mediterráneo de Valencia.

Los puntos se dividen en dos; rojos los desfavorables y verdes los favorables. Los puntos verdes representan todas aquellas horas en que las condiciones climáticas exteriores son suficientes para cubrir las necesidades térmicas de una persona, al contrario que los rojos, que representan las horas del año que se encuentran fuera de las condiciones de confort. Los puntos verdes están rodeados por una línea azul, la cual representa la zona de confort. Se ven dos polígonos, el de la parte izquierda representa el confort con una vestimenta adecuada para el invierno, y el de la derecha con vestimenta adecuada para el verano.

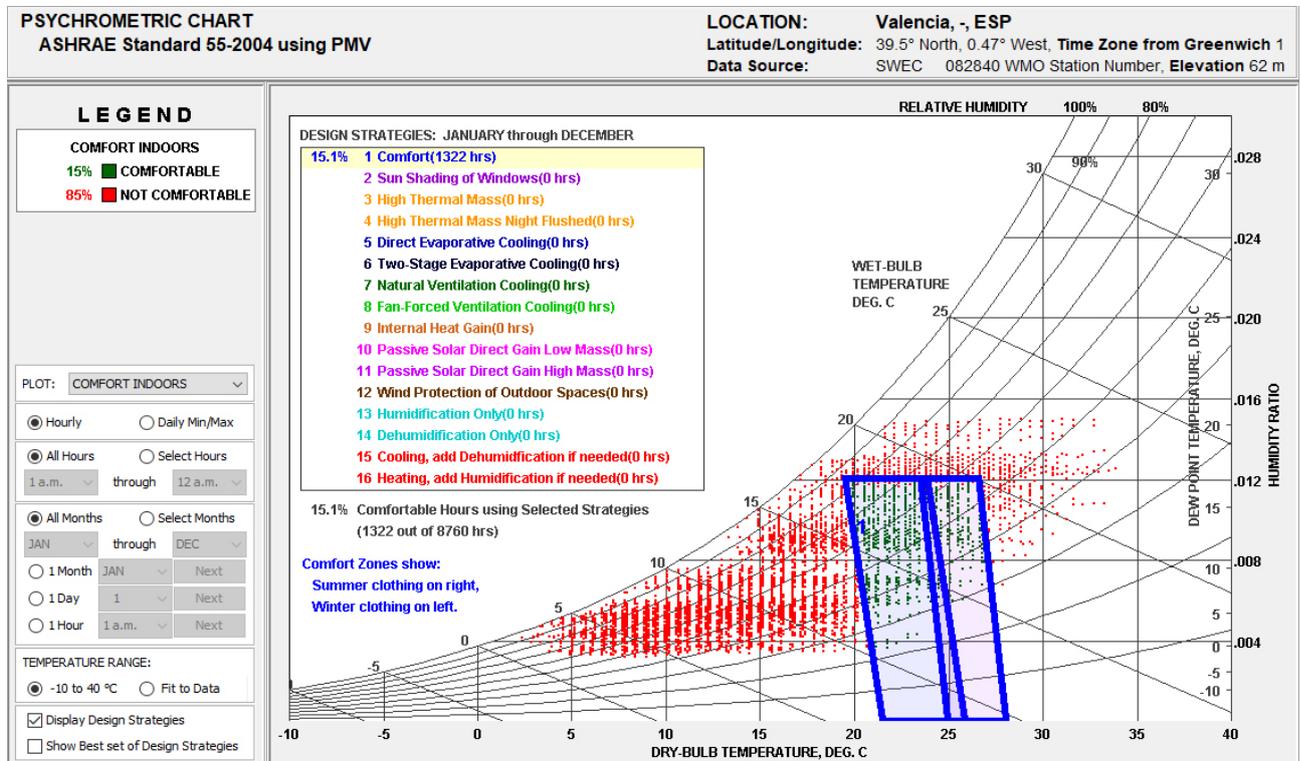


Fig. 47. Climate Consultant. Diagrama psicrométrico del clima Mediterráneo de Cuenca.

Se ve una gran diferencia en la dispersión de los puntos sobre el diagrama entre las dos variantes del clima. El clima en València, al ser una ciudad cerca del mar, no tiene cambios bruscos entre el invierno y el verano. Las temperaturas son elevadas junto con las humedades durante gran parte del año, por lo tanto, los puntos se dispersan más hacia la parte superior-derecha. En el clima de Cuenca, se ve una gran acumulación de puntos en la parte inferior-izquierda, lo cual dice que es un clima más seco con temperaturas más bajas, llegando a tener algunas horas por debajo de los 0°C.

El número de horas (puntos verdes) dentro de los dos polígonos, para el clima en València, es de 1.322h, y para el clima de Cuenca es de 1.029h, lo que representa el 15,1% y el 11,7%, respectivamente. El porcentaje de horas en València es bastante favorable, alcanzando las condiciones de confort de la vivienda sin la utilización de ninguna medida pasiva en una cantidad considerable de horas, y en consecuencia, ahorrando más en la demanda energética. El porcentaje de Cuenca es un 5% menos que el de València, siendo una cantidad importante de horas y perjudicando el ahorro de la demanda energética. Se deduce que en València no se necesita tanta calefacción como en Cuenca y que en Cuenca no se necesita prácticamente refrigeración, a diferencia de València.

### Viento en València.

Se estudia la rosa de los vientos de València. El software proporciona el estudio anual de los vientos, pero la investigación se centra en los meses de diciembre y agosto para obtener más información. La rosa de los vientos muestra de forma detallada información sobre la dirección del viento, la velocidad, temperatura, humedad y frecuencia horaria.

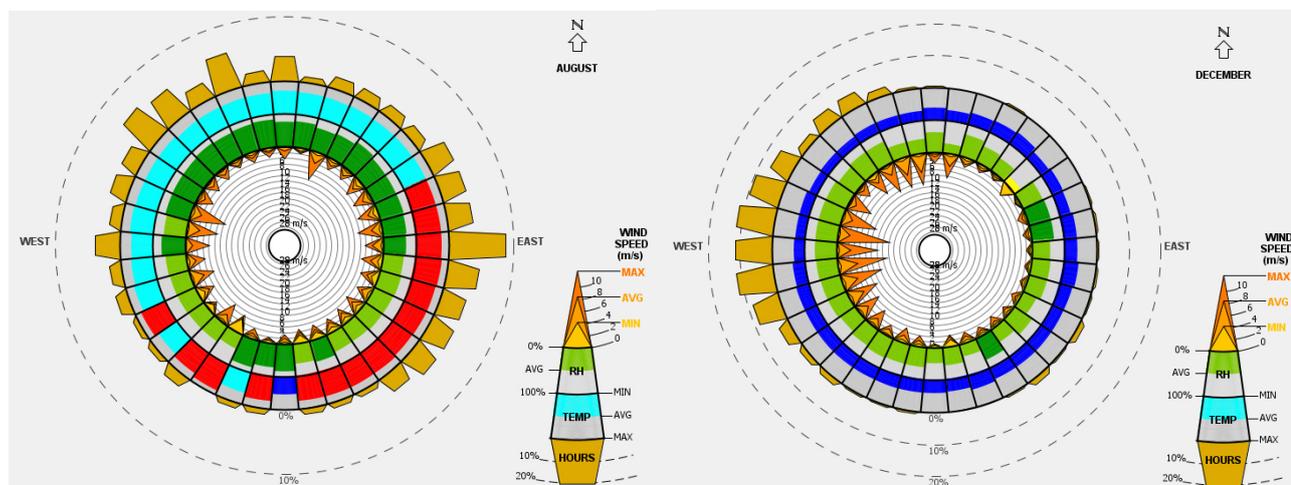
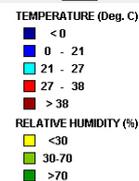


Fig. 48. Climate Consultant. Rosa de los vientos del mes de agosto para clima Mediterráneo de València.  
 Fig. 49. Climate Consultant. Rosa de los vientos del mes de diciembre para clima Mediterráneo de València.



A la costa mediterránea le afectan dos vientos, el de Levante (sopla desde el Este) y el de Poniente (sopla desde el Oeste). Tanto en invierno como en verano, se observa que el viento puede provenir del Oeste, al contrario que el viento del Este que en su mayoría solo sopla en verano. Respecto a la temperatura del aire, se ve una gran diferencia entre los dos meses. En invierno es mucho menor que en verano, estando entre 5°C y 10°C por debajo. Destaca un viento de Sureste bastante caliente en el mes de agosto, junto con humedades relativamente más altas que en invierno, lo que influye en el confort del edificio de forma negativa. La velocidad del viento en verano es constante, al contrario que en invierno, que se ve una gran diferencia entre Este y Oeste, siendo este último mucho mayor.

En invierno se evita todo tipo de infiltración de viento que pueda perjudicar el confort interior, ya que como consecuencia se produce una disminución de la temperatura interior de la vivienda. Por el contrario, en los meses de verano se busca lo opuesto, que los vientos más fríos que el ambiente interior de la vivienda interfieran con la envolvente del edificio para que así disminuya la temperatura interior.

València cuenta con una ventaja, la brisa marina. Esta brisa del Este ayuda a regular la temperatura en verano. Este fenómeno se produce en la mayoría de ciudades de costa. Aunque la humedad relativa sea alta durante todo el año, en verano es un aporte beneficioso. En Cuenca sucede al contrario, la mayoría del viento durante todo el año proviene del Oeste, produciendo así vientos fríos en invierno y calurosos en verano, y por lejanía sin poder contar con la regulación de la brisa marina.

### 4.3. Modelos de cubierta vegetal.

Tras el desarrollo del Caso Ø, describiendo toda su envolvente térmica, se obtienen los modelos cambiando la cubierta tradicional de grava por la cubierta vegetal, sin cambiar el resto de elementos constructivos.

Según el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, se pueden construir dos tipos de cubiertas vegetales, las convencionales y las invertidas. Así se obtienen dos Modelos de cubierta vegetal. También se tiene en cuenta que estos dos modelos deben cumplir el CTE, por lo que se utiliza HULC para el cumplimiento de las transmitancias. A su vez, como se estudian en dos variantes de un clima y estas tienen sus propias condiciones, se subdivide cada tipo en dos: Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de costa, Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior, Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa, Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior. Estas son las cubiertas vegetales que componen cada grupo.

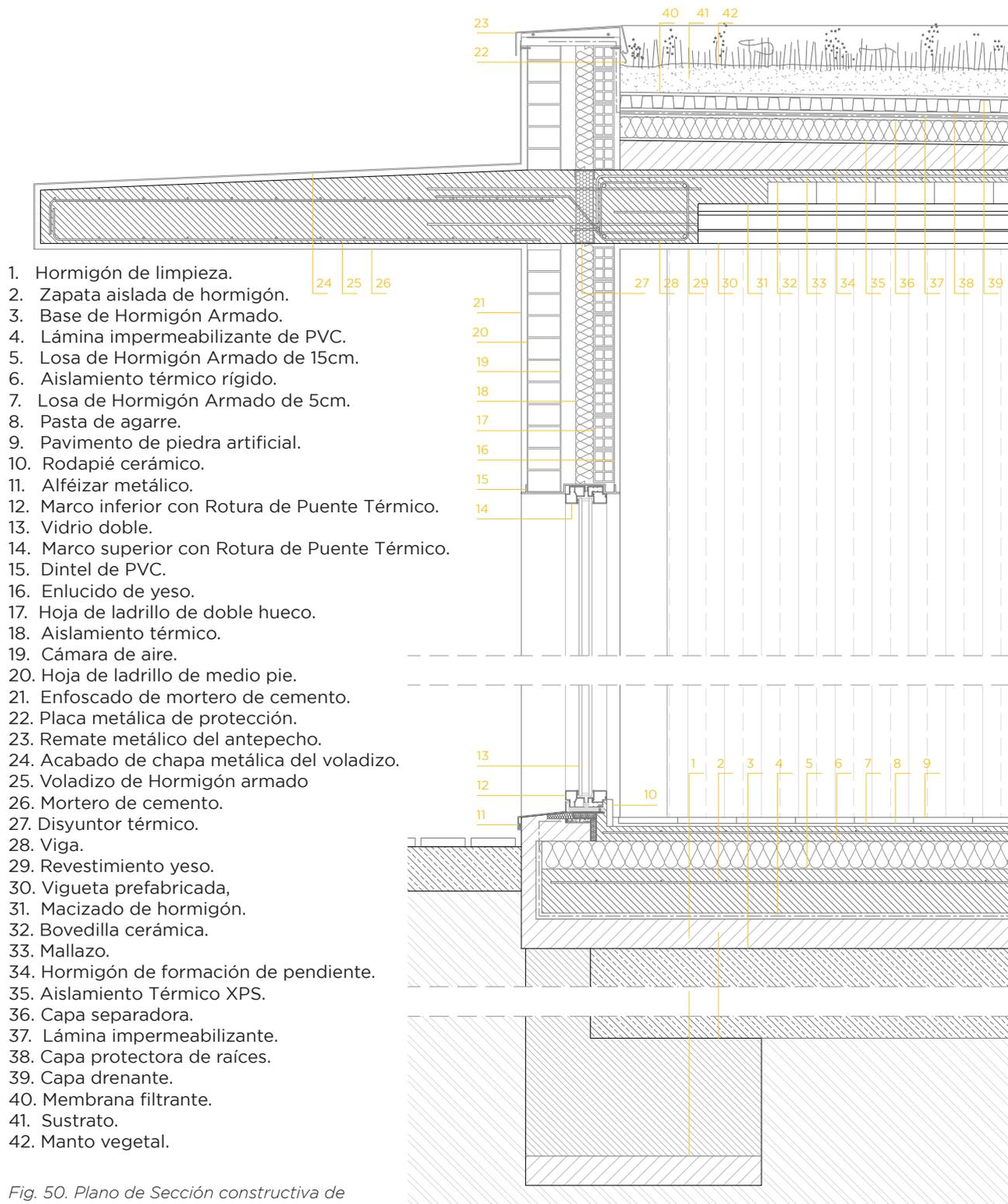


Fig. 50. Plano de Sección constructiva de cubierta vegetal Convencional.



A continuación se desarrolla cada tipología de cubierta vegetal, sin volver a enumerar el resto de elementos, ya que son invariantes en el estudio.

## Cubierta vegetal Convencional.

Grupo Cubierta Vegetal convencional

Nombre

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Tierra vegetal [d < 2050]	0,100	0,520	2000	1840	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
3	Cloruro de polivinilo [PVC]	0,005	0,170	1390	900	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
5	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0,070	0,029	38	1000	
6	Hormigón convencional d 1600	0,070	0,970	1600	1000	
7	FU Entrevigado cerámico -Canto 250 mm	0,250	0,908	1220	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020	0,570	1150	1000	
9						

Grupo Material Pétreos y suelos

Material Tierra vegetal [d < 2050]  Espesor (m)

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U  W/(m²K)

Grupo Cubierta vegetal

Nombre

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Tierra vegetal [d < 2050]	0,100	0,520	2000	1840	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
3	Cloruro de polivinilo [PVC]	0,005	0,170	1390	900	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
5	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0,110	0,029	38	1000	
6	Hormigón convencional d 1600	0,070	0,970	1600	1000	
7	FU Entrevigado cerámico -Canto 250 mm	0,250	0,908	1220	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020	0,570	1150	1000	
9						

Grupo Material Pétreos y suelos

Material Tierra vegetal [d < 2050]  Espesor (m)

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U  W/(m²K)

Fig. 52. Detalle de cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de costa.

Fig. 53. Detalle de cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior.

## Cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de costa.

1. 10cm: Tierra vegetal. Sustrato.
2. 1,50cm: Capa separadora de protección.
3. 1,50cm: Lámina impermeabilizante de PVC.
4. 1,50cm: Capa separadora de protección.
5. 7cm: Aislamiento térmico XPS.
6. 7cm: Hormigón aligerado para formación de pendientes.
7. 25cm: Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.
8. 2cm: Enlucido de yeso.

## Cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior.

1. 10cm: Tierra vegetal. Sustrato.
2. 1,50cm: Capa separadora de protección.
3. 1,50cm: Lámina impermeabilizante de PVC.
4. 1,50cm: Capa separadora de protección.
5. 11cm: Aislamiento térmico XPS.
6. 7cm: Hormigón aligerado para formación de pendientes.
7. 25cm: Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.
8. 2cm: Enlucido de yeso.

## Cubierta vegetal Invertida.

Grupo: Cubierta Vegetal convencional

Nombre: Veg. Conv. I

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior):

Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo):

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Tierra vegetal [d < 2050]	0,100	0,520	2000	1840	
2	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0,070	0,029	38	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
4	Cloruro de polivinilo [PVC]	0,005	0,170	1390	900	
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
6	Hormigón convencional d 1600	0,070	0,970	1600	1000	
7	FU Entreviado cerámico -Canto 250 mm	0,250	0,908	1220	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020	0,570	1150	1000	
9						

Grupo Material: Pétreos y suelos

Material: Tierra vegetal [d < 2050]    0,100 Espesor (m)

U: 0,31 W/(m²K)

Grupo: Cubierta vegetal

Nombre: Cub. Veg. I

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior):

Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo):

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Tierra vegetal [d < 2050]	0,100	0,520	2000	1840	
2	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0,110	0,029	38	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
4	Cloruro de polivinilo [PVC]	0,005	0,170	1390	900	
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000	
6	Hormigón convencional d 1600	0,070	0,970	1600	1000	
7	FU Entreviado cerámico -Canto 250 mm	0,250	0,908	1220	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020	0,570	1150	1000	
9						

Grupo Material: Pétreos y suelos

Material: Tierra vegetal [d < 2050]    0,100 Espesor (m)

U: 0,22 W/(m²K)

Fig. 54. Detalle de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa.

Fig. 55. Detalle de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior.

### Cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa.

1. 10cm: Tierra vegetal. Sustrato.
5. 7cm: Aislamiento térmico XPS.
2. 1,50cm: Capa separadora de protección.
3. 1,50cm: Lámina impermeabilizante de PVC.
4. 1,50cm: Capa separadora de protección.
6. 7cm: Hormigón aligerado para formación de pendientes.
7. 25cm: Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.
8. 2cm: Enlucido de yeso.

### Cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior.

1. 10cm: Tierra vegetal. Sustrato.
5. 11cm: Aislamiento térmico XPS.
2. 1,50cm: Capa separadora de protección.
3. 1,50cm: Lámina impermeabilizante de PVC.
4. 1,50cm: Capa separadora de protección.
6. 7cm: Hormigón aligerado para formación de pendientes.
7. 25cm: Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.
8. 2cm: Enlucido de yeso.

### 4.3. Modelos de cálculo.

La obtención de los Modelos de Cálculo tiene como objetivo proporcionar mayores conclusiones para un estudio más riguroso. Están propiciadas por la modificación del aislamiento térmico y el espesor del sustrato como valores que influyen en la demanda energética.

De los cuatro subtipos, emanan 162 tipos distintos de cubierta vegetal de la siguiente forma: Se varía el espesor de aislamiento de 5 en 5, desde 7 centímetros hasta 25 con clima Mediterráneo de costa y desde 11 hasta 25 centímetros con clima Mediterráneo de interior. A su vez, estos subdividen, también de 5 en 5, el espesor del sustrato en las dos variantes del clima, desde 10 centímetros hasta medio metro, por ello, se crea una nomenclatura para no errar en la tipología. Ejemplo: C.MC.10.25, Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de costa con 10cm de aislamiento térmico y 25cm de sustrato.

Se exponen las tablas descriptivas de todas las tipologías de cubiertas vegetales estudiadas, del siguiente orden: Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de costa, Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior, Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa y Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior.



	Tipología	Descripción
46	C.MI.11.10	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 10cm
47	C.MI.11.15	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 15cm
48	C.MI.11.20	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 20cm
49	C.MI.11.25	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 25cm
50	C.MI.11.30	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 30cm
51	C.MI.11.35	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 35cm
52	C.MI.11.40	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 40cm
53	C.MI.11.45	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 45cm
54	C.MI.11.50	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 50cm
55	C.MI.15.10	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 10cm
56	C.MI.15.15	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 15cm
57	C.MI.15.20	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 20cm
58	C.MI.15.25	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 25cm
59	C.MI.15.30	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 30cm
60	C.MI.15.35	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 35cm
61	C.MI.15.40	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 40cm
62	C.MI.15.45	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 45cm
63	C.MI.15.50	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 50cm
64	C.MI.20.10	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 10cm
65	C.MI.20.15	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 15cm
66	C.MI.20.20	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 20cm
67	C.MI.20.25	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 25cm
68	C.MI.20.30	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 30cm
69	C.MI.20.35	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 35cm
70	C.MI.20.40	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 40cm
71	C.MI.20.45	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 45cm
72	C.MI.20.50	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 50cm
73	C.MI.25.10	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 10cm
74	C.MI.25.15	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 15cm
75	C.MI.25.20	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 20cm
76	C.MI.25.25	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 25cm
77	C.MI.25.30	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 30cm
78	C.MI.25.35	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 35cm
79	C.MI.25.40	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 40cm
80	C.MI.25.45	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 45cm
81	C.MI.25.50	Cubierta Vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 50cm

Fig. 57. Tabla descriptiva de tipologías de cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior.

	Tipología	Descripción
82	I.MC.07.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 10cm
83	I.MC.07.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 15cm
84	I.MC.07.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 20cm
85	I.MC.07.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 25cm
86	I.MC.07.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 30cm
87	I.MC.07.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 35cm
88	I.MC.07.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 40cm
89	I.MC.07.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 45cm
90	I.MC.07.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 7cm y sustrato 50cm
91	I.MC.10.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 10cm
92	I.MC.10.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 15cm
93	I.MC.10.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 20cm
94	I.MC.10.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 25cm
95	I.MC.10.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 30cm
96	I.MC.10.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 35cm
97	I.MC.10.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 40cm
98	I.MC.10.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 45cm
99	I.MC.10.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 10cm y sustrato 50cm
100	I.MC.15.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 10cm
101	I.MC.15.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 15cm
102	I.MC.15.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 20cm
103	I.MC.15.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 25cm
104	I.MC.15.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 30cm
105	I.MC.15.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 35cm
106	I.MC.15.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 40cm
107	I.MC.15.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 45cm
108	I.MC.15.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 15cm y sustrato 50cm
109	I.MC.20.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 10cm
110	I.MC.20.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 15cm
111	I.MC.20.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 20cm
112	I.MC.20.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 25cm
113	I.MC.20.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 30cm
114	I.MC.20.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 35cm
115	I.MC.20.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 40cm
116	I.MC.20.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 45cm
117	I.MC.20.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 20cm y sustrato 50cm
118	I.MC.25.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 10cm
119	I.MC.25.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 15cm
120	I.MC.25.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 20cm
121	I.MC.25.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 25cm
122	I.MC.25.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 30cm
123	I.MC.25.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 35cm
124	I.MC.25.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 40cm
125	I.MC.25.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 45cm
126	I.MC.25.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa con aislamiento 25cm y sustrato 50cm

Fig. 58. Tabla descriptiva de tipologías de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa.

	Tipología	Descripción
127	I.MI.11.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 10cm
128	I.MI.11.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 15cm
129	I.MI.11.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 20cm
130	I.MI.11.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 25cm
131	I.MI.11.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 30cm
132	I.MI.11.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 35cm
133	I.MI.11.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 40cm
134	I.MI.11.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 45cm
135	I.MI.11.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 11cm y sustrato 50cm
136	I.MI.15.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 10cm
137	I.MI.15.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 15cm
138	I.MI.15.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 20cm
139	I.MI.15.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 25cm
140	I.MI.15.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 30cm
141	I.MI.15.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 35cm
142	I.MI.15.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 40cm
143	I.MI.15.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 45cm
144	I.MI.15.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 15cm y sustrato 50cm
145	I.MI.20.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 10cm
146	I.MI.20.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 15cm
147	I.MI.20.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 20cm
148	I.MI.20.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 25cm
149	I.MI.20.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 30cm
150	I.MI.20.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 35cm
151	I.MI.20.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 40cm
152	I.MI.20.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 45cm
153	I.MI.20.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 20cm y sustrato 50cm
154	I.MI.25.10	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 10cm
155	I.MI.25.15	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 15cm
156	I.MI.25.20	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 20cm
157	I.MI.25.25	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 25cm
158	I.MI.25.30	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 30cm
159	I.MI.25.35	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 35cm
160	I.MI.25.40	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 40cm
161	I.MI.25.45	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 45cm
162	I.MI.25.50	Cubierta Vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior con aislamiento 25cm y sustrato 50cm

Fig. 59. Tabla descriptiva de tipologías de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior.

## 5. Análisis de resultados.

Se presentan en este apartado los análisis de los resultados de las tablas obtenidos a través de la Herramienta Unificada *Lider Calener* (HULC). Tal y como describe la web oficial del Código Técnico de la Edificación: *“Esta herramienta informática permite la verificación de las exigencias [...] del Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HB. [...] La herramienta genera el informe en formato oficial para la certificación energética de edificios.”*. A su vez, los datos mensuales, se obtienen ingresando los datos obtenidos en HULC en el visualizador de demandas mensuales y cargas punta, mientras que los datos de porcentaje de pérdidas y ganancias se obtienen mediante el visualizador ViSOL.

Los tipos de tablas (9. Anexo) y gráficas (5. Análisis de resultados) se subdividen en cuatro campos de análisis: demanda anual, demanda mensual, porcentaje de pérdidas y ganancias con respecto a la cubierta y carga punta anual.

## Demanda anual.

Se establecen cuatro modelos de tabla que, teniendo la misma estructura, proporcionan cuatro ámbitos de información distintos sobre las cubiertas vegetales, a la vez que disponen de un apartado con datos de la cubierta convencional de grava. Estos campos son la cubierta convencional vegetal en clima Mediterráneo de costa (C.MC.), cubierta convencional vegetal en clima Mediterráneo de interior (C.MI.) cubierta invertida vegetal en clima Mediterráneo de costa (I.MC.), y cubierta invertida vegetal en clima Mediterráneo de interior (I.MI.). Las tablas recogen el tipo de cubierta, el clima, el espesor de aislamiento, la transmitancia térmica y el espesor del sustrato, para crear la nomenclatura de la cubierta. Una vez establecida, las tablas se dividen entre calefacción y refrigeración, mostrando en ambas partes la demanda anual, la diferencia entre la demanda de la cubierta convencional y la demanda de las cubiertas vegetales, y el porcentaje de mejora que obtienen las cubiertas vegetales sobre la de grava.

Las ocho gráficas de dispersión que a continuación se presentan, realizan una comparativa entre los dos climas en dos ámbitos distintos: la demanda de calefacción y la demanda de refrigeración. La demanda anual es una variable, junto con el espesor del sustrato o la transmitancia térmica. Las cuatro primeras gráficas presentan la misma estructura, apareciendo una nube de puntos de los dos tipos de cubiertas (convencional-triángulos e invertida-círculos) con cada uno de los espesores de aislamiento para ver la variación entre uno y otro tipo. Las otras cuatro restantes muestran la misma estructura que las anteriores aunque sustituyendo la variable del espesor de sustrato por la transmitancia térmica.

### Según el espesor de sustrato.

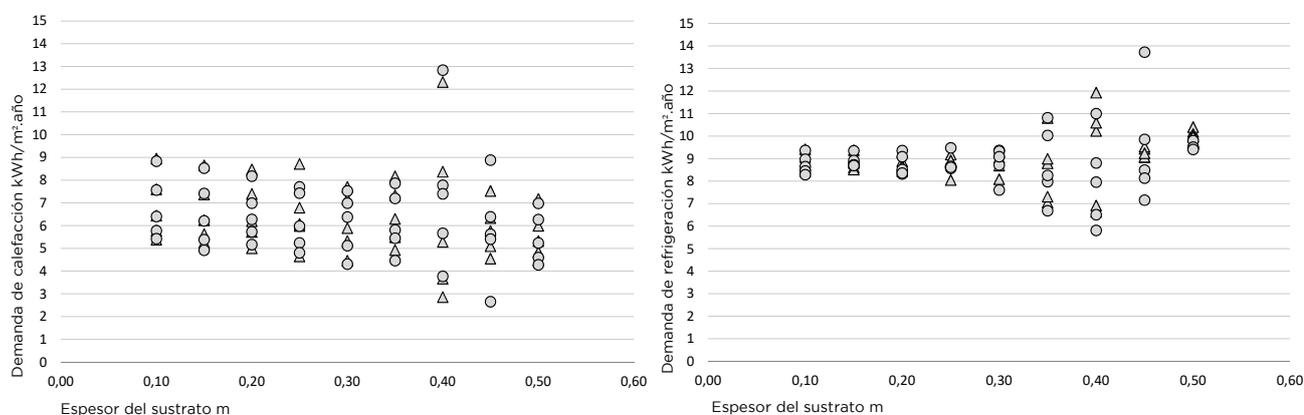


Fig. 60. Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según el espesor de sustrato.

Fig. 61. Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según el espesor de sustrato.

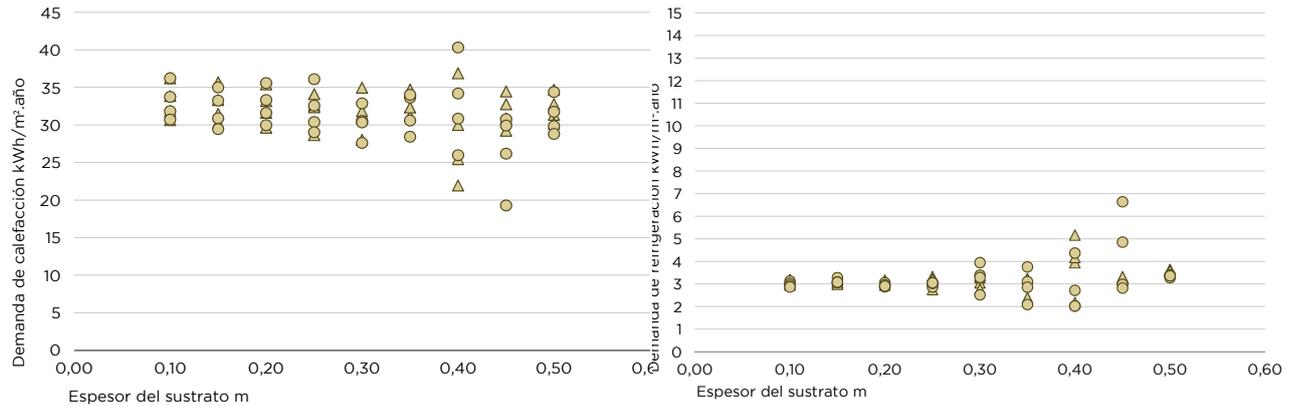


Fig. 62. Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según el espesor de sustrato.

Fig. 63. Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según el espesor de sustrato.

### Según la transmitancia.

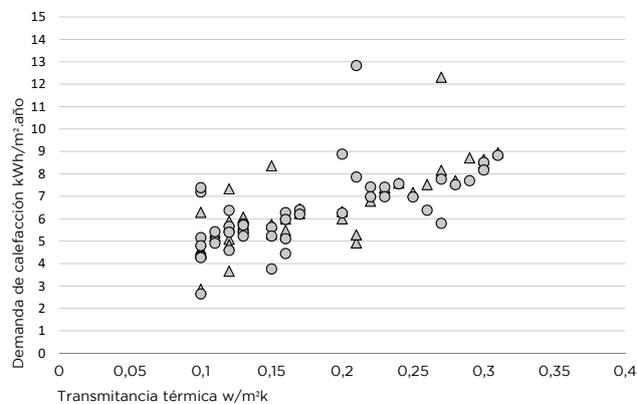


Fig. 64. Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según la transmitancia térmica.

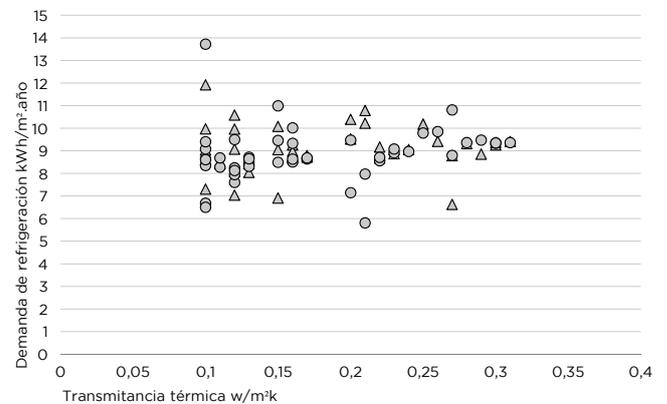


Fig. 65. Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según la transmitancia térmica.

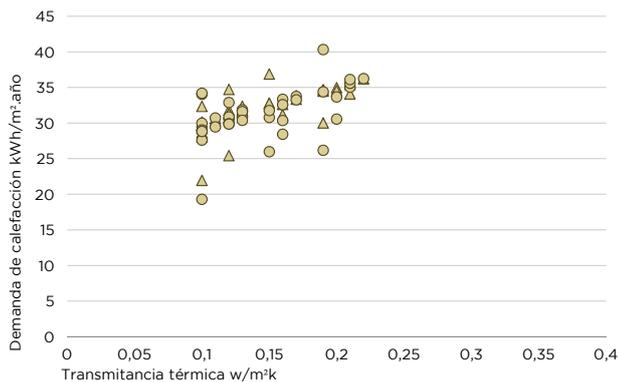


Fig. 66. Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según la transmitancia térmica.

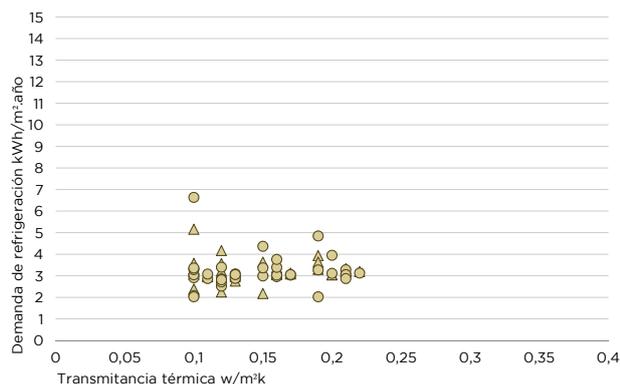


Fig. 67. Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según la transmitancia térmica.

Con respecto a la demanda anual se obtienen las siguientes cuatro interpretaciones:

*Primera interpretación.* Un rasgo generalizado muestra cómo la demanda de refrigeración se mantiene relativamente constante independientemente de los cambios de aislamiento o sustrato, sin embargo, no sucede lo mismo con la demanda de calefacción, que disminuye conforme se incrementa el aislamiento térmico y el espesor del sustrato, en todos los tipos de cubierta.

*Segunda interpretación.* Tanto en el clima Mediterráneo de costa como en el clima Mediterráneo de interior, se inicia con las mismas condiciones cumpliendo el CTE. En el caso del de costa, la cubierta de grava parte con un espesor de aislamiento de 0,075m y la cubierta vegetal (invertida y convencional) parte con 0,07m, lo que evidencia que la cubierta vegetal cumple con el CTE con muy poco menos espesor, contando con la ayuda del sustrato. En el caso del clima de interior también se da la misma situación, la cubierta de grava dispone de un espesor de aislamiento de 0,12m frente a la cubierta vegetal que tiene 0,11m y también se cumple el CTE, siendo 1cm menos algo ya considerable.

En ambas variantes climáticas, la demanda de refrigeración es constante. Con respecto a la calefacción, en el clima de costa se produce una mejora de su demanda en todos los casos. Incluso en las primeras cubiertas con espesores de aislamiento parecidos entre la cubierta vegetal y la de grava. En clima de interior, en las primeras cubiertas estudiadas con el espesor de aislamiento más pequeño y el espesor de sustrato más pequeño, no se mejora la demanda de calefacción, al contrario, está ligeramente por encima de la cubierta convencional de grava. Esta desventaja sólo ocurre en el primer y segundo caso de cubierta vegetal, lo que no es sustancial.

*Tercera interpretación.* Se introduce en este punto de la investigación el concepto de inercia térmica, que es “la velocidad con la que cualquier variación de las condiciones am-

bientales, uso o control produce sobre las condiciones térmicas interiores de la zona (edificio) y por tanto sobre su demanda”. (Según la Guía Técnica: Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios, obtenido del IDAE).

La introducción de este concepto se debe a que en todos los tipos de cubiertas se produce el mismo fenómeno relacionado con la inercia térmica. En cada bloque de cubiertas vegetales con aislamiento constante, se aumenta el espesor del sustrato de 5cm en 5cm, desde 10cm hasta llegar a 50cm, para ver cómo influye en la demanda energética. Se ha detectado que en el rango de espesor de sustrato entre 30cm y 45cm, hay saltos bruscos en la demanda de calefacción. El aumento de espesor de sustrato produce una disminución gradual de la demanda, excepto en el rango que se cita anteriormente, que aumenta o disminuye desproporcionalmente.

Se dividen las cubiertas en dos grupos, desfavorables (aumenta la demanda de calefacción) y favorables (disminuye la demanda de calefacción). Estas son: Desfavorables: C.MC.07.40, C.MC.15.40, C.MC.20.35, C.MI.15.40, C.MI.20.35, I.MC.10.40, I.MC.20.30, I.MI.11.40. Esta última incluso no llega a cumplir, sobrepasa la demanda máxima. Favorables: C.MC.10.35, C.MC.25.40, C.MI.11.40, C.MI.25.40, I.MC.07.35, I.MC.15.40, I.MC.25.45, I.MI.15.40, I.MI.20.45, I.MI.25.45. Las mejoras aumentan entre un 30% y un 50% respecto al resto de cubiertas con condiciones climáticas y térmicas iguales.

En el caso de las favorables, la onda térmica externa se desplaza y amortigua por la inercia de la cubierta. Ello provoca una disminución en la demanda y el consumo del edificio, lo que conlleva un incremento del confort interior, una mejora para el medio ambiente y un ahorro económico. Aunque existe la posibilidad de perjudicarse el confort con un mal control de la inercia térmica, volviéndose desfavorable la resistencia a perder el calor acumulado.

*Cuarta interpretación.* Después de dividir las cubiertas vegetales en convencionales e invertidas, se observa que las situaciones de lámina impermeable y de aislamiento térmico desarrollan un comportamiento parecido en la demanda energética. Aunque algunas de las cubiertas favorables (tercera interpretación) invertidas, tanto en costa como en interior, obtienen un mayor porcentaje de mejora frente al resto.

## **Demanda mensual.**

Las tablas muestran la distribución de la demanda a lo largo de todos los meses del año, tanto de calefacción, que coincide con los meses invernales, como de refrigeración, coincidiendo con los meses estivales. Igualmente, estos datos están acompañados de los correspondientes a la cubierta convencional de grava y expresados en valor absoluto.

Se interpreta así, que la mayor demanda de calefacción se acumula en los meses de enero y diciembre, le siguen febrero y noviembre. La demanda de refrigeración alcanza su punto álgido en los meses de julio y agosto.

## **Porcentaje de pérdidas y ganancias con respecto a la cubierta.**

Las tablas que ahora se analizan, representan el porcentaje de pérdidas de calefacción y de ganancias de refrigeración, en función del tipo de cubierta que dispone.

Se deduce de ellas que las pérdidas de calefacción son inversamente proporcionales a las ganancias de refrigeración y ello se aprecia aunque la variación sea pequeña.

## **Carga punta anual.**

La carga punta anual se extrae de la curva de carga obtenida con el visualizador. Esta curva es la representación gráfica de la potencia necesaria para cubrir la demanda de calefacción y refrigeración. La carga punta anual está determinada por el pico máximo de dicha curva. La correcta atención de las demandas de calefacción y refrigeración se basa en los datos de carga punta anual.

Esta carga es directamente proporcional a la demanda. En la tabla, a parte de la demanda anual y la carga punta anual, aparece el porcentaje de mejora que tienen las cubiertas vegetales sobre la de grava, tanto en calefacción como en refrigeración. Tanto la carga como la demanda están afectadas por la inercia térmica (*tercera interpretación*). No obstante, se observa que el porcentaje de mejora en la demanda, es en todos los casos mayor que en la carga punta, es decir, la mejora influye más en la demanda que en la carga.

La aportación de la carga punta anual es relevante para dimensionar la instalación de calefacción y de refrigeración, motivo por el cual se incluye en el estudio.



## 6. Conclusiones.

Acaba el estudio y se deduce que las cubiertas vegetales no influyen negativamente en la demanda energética, en comparación con las cubiertas convencionales de grava. Se obtienen mejores resultados en la demanda de calefacción de las cubiertas vegetales frente a las cubiertas de grava, condicionados al alcance de espesores altos de aislamiento térmico, en los que el espesor de sustrato no influye de forma determinante.

En cubiertas vegetales, con el mismo espesor de aislamiento que en las cubiertas de grava, los valores de la demanda de calefacción son cercanos en ambas. A su vez, la demanda de refrigeración se mantiene constante durante todo el estudio, en todos los casos. Las condiciones climáticas y la distinta forma constructiva entre la cubierta convencional y la invertida tampoco influyen de manera significativa en la demanda energética.

Se deduce de toda la investigación que la construcción de cubiertas vegetales no alcanza el objetivo de materializar un ahorro en la demanda energética de los edificios de una forma sustancial, alejada de ser un ahorro significativo; su comportamiento es ligeramente más eficiente que las cubiertas no vegetales, pero no presenta un gran cambio en este sentido.

No obstante, ese ligero ahorro de consumo y económico, supone un valor añadido al resto de objetivos que las cubiertas vegetales alcanzan. Una cubierta ajardinada es sinónimo de biodiversidad, de recuperación de superficies verdes, de reducción de radiación solar y su efecto “isla de calor” en las grandes ciudades. Un techo verde mejora la composición del aire y realiza una gestión eficaz del agua de lluvia. Se alcanza con creces el objetivo de ser un elemento de mejora para el medioambiente, así como, frenar el cambio climático y contribuir a la sostenibilidad.

## 7. Bibliografía.

Acha Román, C. A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F. J. (Coord.), Olivieri, F. y Orondo Iglesias, J. (2013) *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*. Madrid: Editorial Munnilla-Lería.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). (2008) *Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Cascone, S., Gagliano, A., Poli, T. y Sciuto, G. (2018) Thermal performance assessment of extensive green roofs investigating realistic vegetation-substrate configurations. *Building simulation*. Recuperado de <https://www.doj.org/10.1007/s12273-018-0488-y>

Código Técnico de la Edificación (2010) *Catálogo informático de elementos constructivos*. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-catalogo-informatico-elementos-constructivos.html>

Código Técnico de la Edificación (2017) *DA DB-HE/1, Ahorro de energía*. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html>

Código Técnico de la Edificación (2017) *Herramienta Unificada Lider Calener*. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener>

Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Perits Agrícoles de Catalunya. (2000) *Cubiertas ajardinadas intensivas*. Barcelona: Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas y Peritos Agrícolas de Cataluña.

Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient de la Generalitat Valenciana (2009) Decreto 151/2009 *Condiciones de diseño y calidad*. Recuperado de <http://www.habitatge.gva.es/va/web/vivienda-y-calidad-en-la-edificacion/texto-integrado-de-la-orden-dc-09>

De Garrido, L. (2014) *Arquitectura y salud. Metodología de diseño para lograr una arquitectura saludable y ecológica*. Sant Adrià de Besòs: Instituto Monsa de Ediciones.

Magill, J. D., Midden, K., Groninger, J. y Therrell, M. (2011) A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research. *Research Papers*. Recuperado de [http://opensiuc.lib.siu.edu/g\\_s\\_rp/91](http://opensiuc.lib.siu.edu/g_s_rp/91)

Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Marzo, J. M. (Dr.), Quintáns, C. (Dr.), Blasco, B. (Coord.), Mateu, J., Bravo, I., Rodríguez, J. A. y Valencia, C. (1995) *Cubiertas planas*. *Tectónica*. Madrid: ATC Ediciones.

Minguet, J. M. (2013) *Ecological dwellings*. Sant Adrià de Besòs: Instituto Monsa de Ediciones.



Neila González, F. J. (2004) *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.

Neufert, E. (1995) *Arte de proyectar en arquitectura*. (14ª ed.) Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Olivieri, F., Di Perna, C., D'Orazio, M., Olivieri, L. y Neila, J. (2013) Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive Green Roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy and Buildings*. Recuperado de <https://www.elsevier.com/locate/enbuild>

Sánchez de Vera Quintero, A. (2017) Bienestar térmico en un espacio climatizado. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Recuperado de <https://www.idae.es/articulos/bienestar-termico-en-un-espacio-climatizado>

Serra Florensa, R. y Coch Roura, H. (1995) *Arquitectura y energía natural*. Terrassa: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

United States Department of Energy (2018) Climate Consultant (6.0) [Software] Recuperado de <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>

Vestrella, A. (2016) *Cubiertas ajardinadas en ambiente mediterráneo: aspectos ecofisiológicos y agronómicos*. Barcelona: Universitat de Barcelona.

## 8. Índice de figuras.

- Fig. 1.** *Refugio elemental.* Serra, R. y Coch, H. (1995) *Arquitectura y energía natural.*
- Fig. 2.** *Zigurat de Ur. Versión ajardinada.* Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta.*
- Fig. 3.** *Torre Giunigi, Lucca, Italia. Árboles en lo alto de una torre defensiva.* Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta.*
- Fig. 4.** *Casa de Carl Rabitz (1860). Berlín, Alemania. Primeros indicios de impermeabilización con cartón.* Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta.*
- Fig. 5.** *Le Corbusier (1927), bocetos de la Teoría de la cubierta-jardín.* Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta.*
- Fig. 6.** *Le Corbusier (1930): Reconquis-gagné. Se reconquista el suelo y se gana el espacio de la terraza.* Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta.*
- Fig. 7.** *Edificio Clarté (1930). Ginebra, Suiza. La nueva forma de tratar la cubierta.* Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta.*
- Fig. 8.** *Giancarlo de Carlo, Colegios Mayores universitarios (1962-1983). Urbino, Italia.* Martínez, A. (2005) *Habitar la cubierta.*
- Fig. 9.** *Bungalow (2019). Mont Saint Michel, Francia.* Imagen realizada por la autora.
- Fig. 10.** *Diferentes tipos de ajardinamiento. Capas de la cubierta vegetal.* Neufert, E. (1995) *Arte de proyectar en arquitectura.* (14<sup>a</sup> ed.)
- Fig. 11.** *Tabla resumen de las características de los sistemas.* Tabla realizada por la autora.
- Fig. 12.** *Plano de Planta del edificio Caso Ø. e 1/125.* Plano realizado por la autora.
- Fig. 13.** *Plano de Sección transversal. e 1/125.* Plano realizado por la autora.
- Fig. 14.** *Plano de Sección longitudinal. e 1/125.* Plano realizado por la autora.
- Fig. 15.** *Plano de Alzado Sur. e 1/125.* Plano realizado por la autora.
- Fig. 16.** *Plano de Alzado Este. e 1/125.* Plano realizado por la autora.
- Fig. 17.** *Plano de Alzado Norte. e 1/125.* Plano realizado por la autora.
- Fig. 18.** *Plano de Sección constructiva. e 1/20.* Plano realizado por la autora.

**Fig. 19.** *Tabla de Transmitancias de elementos.* Tabla extraída del CTE Documento Básico HE-1. Ahorro de la energía.

**Fig. 20.** *Lider Calener. Datos Generales en clima Mediterráneo de costa. València.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 21.** *Lider Calener. Datos Generales en clima Mediterráneo de interior. Cuenca.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 22.** *Lider Calener. Modelado de la geometría del Caso Ø.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 23.** *Detalle de cerramiento del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 24.** *Detalle de cerramiento del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 25.** *Detalle de suelo del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 26.** *Detalle de suelo del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 27.** *Detalle de cubierta del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 28.** *Detalle de cubierta del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 29.** *Detalle de hueco del Caso Ø para clima Mediterráneo de costa.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 30.** *Detalle de hueco del Caso Ø para clima Mediterráneo de interior.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 31.** *Detalle de puerta principal de madera del Caso Ø.* Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.

**Fig. 32.** *Climate Consultant. Temperatura y radiación para clima Mediterráneo de València.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 33.** *Climate Consultant. Temperatura y radiación para clima Mediterráneo de Cuenca.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 34.** *Gráfica de Temperatura seca del clima Mediterráneo de València.* Gráfica realizada por la autora desde el software Climate Consultant.

**Fig. 35.** *Gráfica de Temperatura seca del clima Mediterráneo de Cuenca.* Gráfica realizada por la autora desde el software Climate Consultant.

**Fig. 36.** *Climate Consultant. Temperatura del suelo de clima Mediterráneo de València.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 37.** *Climate Consultant. Temperatura del suelo de clima Mediterráneo de Cuenca.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 38.** *Climate Consultant. Carta solar de los meses fríos del clima Mediterráneo de València.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 39.** *Climate Consultant. Carta solar de los meses fríos del clima Mediterráneo de Cuenca.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 40.** *Climate Consultant. Carta solar de los meses calurosos del clima Mediterráneo de València.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 41.** *Climate Consultant. Carta solar de los meses calurosos del clima Mediterráneo de Cuenca.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 42.** *Gráfica de Radiación solar del clima Mediterráneo de València.* Gráfica realizada por la autora desde el software Climate Consultant.

**Fig. 43.** *Gráfica de Radiación solar del clima Mediterráneo de Cuenca.* Gráfica realizada por la autora desde el software Climate Consultant.

**Fig. 44.** *Gráfica de Humedad relativa del clima Mediterráneo de València.* Gráfica realizada por la autora desde el software Climate Consultant.

**Fig. 45.** *Gráfica de Humedad relativa del clima Mediterráneo de Cuenca.* Gráfica realizada por la autora desde el software Climate Consultant.

**Fig. 46.** *Climate Consultant. Diagrama psicométrico del clima Mediterráneo de València.* Figura extraída del software Climate Consultant.

**Fig. 47.** *Climate Consultant. Diagrama psicométrico del clima Mediterráneo de Cuenca. Figura extraída del software Climate Consultant.*

**Fig. 48.** *Climate Consultant. Rosa de los vientos del mes de agosto para clima Mediterráneo de València. Figura extraída del software Climate Consultant.*

**Fig. 49.** *Climate Consultant. Rosa de los vientos del mes de diciembre para clima Mediterráneo de València. Figura extraída del software Climate Consultant.*

**Fig. 50.** *Plano de Sección constructiva de cubierta vegetal Convencional. Plano realizado por la autora.*

**Fig. 51.** *Plano de Sección constructiva de cubierta vegetal Invertida. Plano realizado por la autora.*

**Fig. 52.** *Detalle de cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de costa. Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.*

**Fig. 53.** *Detalle de cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior. Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.*

**Fig. 54.** *Detalle de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa. Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.*

**Fig. 55.** *Detalle de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior. Figura extraída de la Herramienta Unificada Lider Calener.*

**Fig. 56.** *Tabla descriptiva de tipologías de cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de costa. Tabla realizada por la autora.*

**Fig. 57.** *Tabla descriptiva de tipologías de cubierta vegetal Convencional en clima Mediterráneo de interior. Tabla realizada por la autora.*

**Fig. 58.** *Tabla descriptiva de tipologías de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de costa. Tabla realizada por la autora.*

**Fig. 59.** *Tabla descriptiva de tipologías de cubierta vegetal Invertida en clima Mediterráneo de interior. Tabla realizada por la autora.*

**Fig. 60.** *Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según el espesor de sustrato. Gráfica realizada por la autora.*

**Fig. 61.** Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según el espesor de sustrato. Gráfica realizada por la autora.

**Fig. 62.** Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según el espesor de sustrato. Gráfica realizada por la autora.

**Fig. 63.** Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según el espesor de sustrato. Gráfica realizada por la autora.

**Fig. 64.** Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según la transmitancia térmica. Gráfica realizada por la autora.

**Fig. 65.** Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de costa según la transmitancia térmica. Gráfica realizada por la autora.

**Fig. 66.** Comparativa de la demanda anual de calefacción entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según la transmitancia térmica. Gráfica realizada por la autora.

**Fig. 67.** Comparativa de la demanda anual de refrigeración entre tipologías de cubierta vegetal Convencional e Invertida en clima Mediterráneo de interior según la transmitancia térmica. Gráfica realizada por la autora.

