



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

# Análisis de viabilidad de mejora energética en edificios mediante la aplicación de elementos vegetales. El caso del barrio Juan XXIII en Alicante.

Trabajo Fin de Máster

Autor:

Armando Barradas Rodríguez

Tutor Académico:

Begoña Serrano Lanzarote

Valencia

Septiembre 2021

Curso 2020/2021

Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Máster Universitario en Arquitectura Avanzada, Paisaje, Urbanismo y Diseño

# PROPUESTA DE TRABAJO FINAL DE MÁSTER

---

**Curso Académico:** 2020 - 2021

## TITULO DEL TFM PROPUESTO:

---

Análisis de viabilidad de mejora energética en edificios mediante la aplicación de elementos vegetales.  
El caso del barrio Juan XXIII en Alicante.

## TITULO DEL TFM PROPUESTO (en valenciano):

---

Anàlisi de viabilitat de millora energètica en edificis mitjançant l'aplicació d'elements vegetals.  
El cas del barri Joan XXIII a Alacant.

## TITULO DEL TFM PROPUESTO (en inglés):

---

Analysis of the feasibility of energy improvement in buildings through the application of plant elements. The case of the Juan XXIII neighborhood in Alicante.

## ALUMNO/A

---

**Nombre y apellidos:** Armando Barradas Rodríguez

## TUTOR ACADÉMICO

---

**Nombre y apellidos:** Begoña Serrano Lanzarote

**Departamento:** Mecánica de los medios continuos y teoría de estructura

La siguiente propuesta de trabajo de final de máster consiste en, analizar el funcionamiento energético del “Edificio bloque entre medianera Juan XXIII” y, valorar el uso de fachadas vegetales verticales en el mismo. Esto con la finalidad de poder determinar si, con el uso de estas, se obtiene una mejora en su calificación energética, atendiendo a su tipología, compacidad, sistemas constructivos y ubicación en un clima mediterráneo con temperaturas cálidas, como es el característico de la ciudad de Alicante.

Este estudio se divide en seis partes: presentación, estado de la cuestión, estudio del caso práctico, la fachada vegetal vertical, comparación de las calificaciones energéticas del edificio y conclusiones. Todo esto, con la finalidad de reflejar los posibles beneficios referentes al consumo energético que, se pueden obtener en un edificio existente al aplicar fachadas vegetales verticales en el mismo.

Primero, se parte con una introducción histórica de las fachadas vegetales, para luego, avanzar a su estado actual; pasando por los diferentes tipos que existen y, la aplicación de estos en la arquitectura. Esto con el objetivo de poder realizar una comparativa y, realizar la selección de la tipología más adecuada para nuestro caso particular.

Finalizando, se realizará un análisis de la climatología de la ciudad de Alicante y la situación actual del edificio. Centrándose principalmente en las características de los materiales que componen el edificio que compete a este estudio, esto con el fin de obtener una serie de conclusiones, tanto favorables como desfavorables y, poder determinar una solución que garantice el confort térmico y de calidad ambiental interior de forma eficiente. Esto para ayudarse a realizar la correcta selección de las especies vegetales a colocar en las fachadas vegetales verticales, las cuales se buscará centrarse en la selección de especies autóctonas de la región. El criterio de selección se basará en el tamaño, coloración y, sobre todo, en la resistencia al soleamiento y a la sequía, esto buscando reducir el mantenimiento de las mismas.

Posteriormente, una vez elegidas las especies y, a partir de las conclusiones obtenidas, pasamos a la parte de implantación, donde se propondrá una solución mediante el uso de dos fachadas verticales (fachada este y oeste) buscando mejorar el funcionamiento energético del edificio. Para esto se elegirá el que se considere el mejor sistema en base a las condiciones actuales del edificio; finalizando con una propuesta de diseños a aplicar en ambas fachadas.

Finalmente, nos apoyaremos en el software digital CERMA para obtener ambas calificaciones energéticas; tanto la del estado actual como la del estado posterior del edificio posterior a la implantación de las fachadas vegetales verticales, teniendo así datos específicos que nos permitan realizar una mejor comparativa y, poder determinar tanto las calificaciones energéticas del edificio, como las conclusiones de este estudio.

## Abstract

---

The following proposal for the final master's work consists of analyzing the energy performance of the "Building block between Juan XXIII party wall" and, assessing the use of green facades in it. This in order to be able to determine if, with the use of these, an improvement in its energy rating is obtained, considering its typology, compactness, construction systems and location in a Mediterranean climate with warm temperatures, as is the characteristic of the city. from Alicante.

This study is divided into six parts: presentation, state of the art, practical case study, the vertical plant façade, comparison of the building's energy ratings, and conclusions. All this, in order to reflect the possible benefits related to energy consumption that can be obtained in an existing building by applying green facades in it.

First, it starts with a historical introduction to the green facades, and then advances to its current state; going through the different types that exist and, the application of these in architecture. This in order to be able to make a comparison and make the selection of the most suitable typology for our case.

Finally, an analysis of the climatology of the city of Alicante and the current situation of the building will be carried out. Focusing mainly on the characteristics of the materials that make up the building that is the subject of this study, this in order to obtain a series of conclusions, both favorable and unfavorable, and to be able to determine a solution that guarantees the thermal comfort and interior environmental quality of efficient way. This to help make the correct selection of plant species to be placed in them, which will seek to focus on the selection of native species of the region. The selection criteria will be based on size, coloration and, above all, on resistance to sunlight and drought, this seeking to reduce their maintenance.

Subsequently, once the species have been chosen and, based on the conclusions obtained, we move on to the implementation part, where a solution will be proposed using two vertical facades (east and west façade) seeking to improve the energy performance of the building. For this, the one that is considered the best system will be chosen based on the current conditions of the building; ending with a proposal of designs to be applied on both facades.

Finally, we will rely on CERMA digital software to obtain both energy ratings; both that of the current state and that of the state after the green facades, thus having specific data that allow us to make a better comparison and be able to determine both the energy ratings of the building, as well as the conclusions.

La següent proposta de treball de final de màster consisteix en, analitzar el funcionament energètic del “Edifici bloc entre mitgera Joan XXIII” i, valorar l'ús de façanes vegetals en aquest. Això amb la finalitat de poder determinar si, amb l'ús d'aquestes, s'obté una millora en la seua qualificació energètica, atenent la seua tipologia, \*compacidad, sistemes constructius i ubicació en un clima mediterrani amb temperatures càlides, com és el característic de la ciutat d'Alacant.

Aquest estudi es divideix en sis parts: presentació, estat de la qüestió, estudi del cas pràctic, la façana vegetal vertical, comparació de les qualificacions energètiques de l'edifici i conclusions. Tot això, amb la finalitat de reflectir els possibles beneficis referents al consum energètic que, es poden obtenir en un edifici existent en aplicar façanes vegetals en aquest.

Primer, es parteix amb una introducció històrica de les façanes vegetals, per a després, avançar al seu estat actual; passant pels diferents tipus que existeixen i, l'aplicació d'aquests en l'arquitectura. Això amb l'objectiu de poder realitzar una comparativa i, realitzar la selecció de la tipologia més adequada per al nostre cas particular.

Finalitzant, es realitzarà una anàlisi de la climatologia de la ciutat d'Alacant i la situació actual de l'edifici. Centrant-se principalment en les característiques dels materials que componen l'edifici que competeix a aquest estudi, això amb la finalitat d'obtenir una sèrie de conclusions, tant favorables com desfavorables i, poder determinar una solució que garantisca el confort tèrmic i de qualitat ambiental interior de manera eficient. Això per a ajudar-se a realitzar la correcta selecció de les espècies vegetals a col·locar en aquestes, les quals es buscarà centrar-se en la selecció d'espècies autòctones de la regió. El criteri de selecció es basarà en la grandària, coloració i, sobretot, en la resistència a l'assolellament i a la sequera, això buscant reduir el manteniment d'aquestes.

Posteriorment, una vegada triades les espècies i, a partir de les conclusions obtingudes, passem a la part d'implantació, on es proposarà una solució mitjançant l'ús de dues façanes verticals (façana est i oest) buscant millorar el funcionament energètic de l'edifici. Per a això es triarà el que es considere el millor sistema sobre la base de les condicions actuals de l'edifici; finalitzant amb una proposta de dissenys a aplicar en totes dues façanes.

Finalment, ens recolzarem en el programari digital \*CERMA per a obtenir totes dues qualificacions energètiques; tant la de l'estat actual com la de l'estat posterior a les façanes vegetals, tenint així dades específiques que ens permeten realitzar una millor comparativa i, poder determinar tant les qualificacions energètiques de l'edifici, com les conclusions.

# ÍNDICE

1	Presentación .....	1
1.1	Descripción del trabajo .....	1
1.2	Objetivos: General y específicos .....	1
1.3	Metodología .....	2
2	Estado de la cuestión .....	3
2.1	Antecedentes históricos de las fachadas vegetales .....	3
2.2	Fachadas Vegetales Verticales .....	10
2.2.1	Fachadas vegetales tradicionales .....	13
2.2.2	Muros vivos .....	14
2.2.3	Sistema de Muros Vivos (LWS) .....	15
2.3	Beneficios de las fachadas vegetales en los edificios .....	17
2.3.1	Regulación de la temperatura .....	21
2.3.2	Efecto del aislamiento térmico .....	21
2.3.3	Enfriamiento por evaporación .....	21
2.3.4	Variación del efecto del viento .....	22
2.3.5	Reducción del efecto isla .....	23
2.3.6	Acondicionamiento acústico .....	23
3	Estudio de caso práctico .....	24
3.1	Justificación del edificio elegido .....	24
3.2	Descripción del lugar de emplazamiento .....	26
3.2.1	Comunidad Valenciana .....	26
3.2.2	Ciudad de Alicante .....	27
3.2.3	Barrio Juan XXIII .....	28
3.3	Análisis y características del edificio .....	29
3.3.1	Cubierta .....	31
3.3.2	Suelo .....	32
3.3.3	Fachadas .....	32
3.3.4	Huecos .....	33
3.3.5	Ventanas .....	35
3.3.6	Imágenes del estado del edificio .....	36

3.4	Climatología general .....	40
3.4.1	Clima de La Comunidad Valenciana.....	40
3.4.2	Clima de Alicante .....	43
3.5	Análisis energético del edificio .....	44
3.5.1	Calificación energética del edificio .....	44
3.5.2	Características de un certificado energético E .....	46
4	La fachada vegetal vertical .....	47
4.1	Justificación del tipo del sistema de LWS elegido.....	47
4.2	Tipos de LWS de sistemas modulares plásticos en el mercado .....	53
4.2.1	Sistema modular VersiWall® GM (VGM) .....	53
4.2.2	Sistema modular NaturPots .....	56
4.2.3	Sistema modular MobiPanel .....	59
4.3	Tipo de LWS elegido.....	61
4.4	Especies vegetales seleccionadas para el proyecto .....	63
4.4.1	Flora de la región.....	63
4.4.2	Especies endémicas seleccionadas para el proyecto.....	64
4.5	Propuesta de diseño de la fachada .....	71
4.6	Análisis energético del edificio aplicando el LWS .....	76
4.6.1	Cerramientos en contacto con el aire exterior.....	76
4.6.2	Calculo de parametros caracteristicos de la envolvente aplicando un LWS .....	77
4.6.3	Calificación energética del edificio aplicando un LWS.....	78
5	Comparación de las calificaciones energéticas del edificio.....	80
6	Conclusiones .....	83
7	Bibliografía .....	85
8	Anexos.....	88

# 1 Presentación

## 1.1 Descripción del trabajo

El presente trabajo pretende analizar el funcionamiento energético del “Edificio bloque entre medianera Juan XXIII” y, valorar el uso de fachadas vegetales verticales en el mismo. Esto con la finalidad de poder determinar si, con el uso de las mismas, se obtiene una mejora en su calificación energética con respecto a otros sistemas convencionales. Esto con el objetivo de mejorar el confort y la calidad de vida de sus usuarios mediante sistemas más respetuosos con el medioambiente.

## 1.2 Objetivos: General y específicos

### Objetivos generales

El objetivo de este proyecto es el realizar un estudio sobre la implantación de una o más fachadas vegetales verticales, conformadas por especies autóctonas de la región, en un edificio de la Comunidad Valenciana, más concretamente en el “Edificio bloque entre medianera Juan XXIII”, ubicado en la ciudad de Alicante. Esto con el objetivo de mejorar su calificación energética y, aumentar el confort y calidad de vida de sus usuarios a través de sistemas de rehabilitación más respetuosos con el medioambiente alineados con estrategias de renaturalización de los espacios.

### Objetivos específicos

- Estudiar la historia y evolución de las fachadas vegetales a lo largo de la historia y, el estado actual de las mismas, sus tipologías y aplicaciones en la arquitectura.
- Determinar tanto las condiciones actuales de la zona en estudio como las del edificio elegido. Esto para poder identificar y analizar sus necesidades y problemáticas.
- Analizar la flora autóctona de la región y, determinar cuál es la más adecuada a utilizar para el edificio escogido.
- Determinar qué áreas son susceptibles a modificar y, en base a esto, definir qué tipología de fachada vegetal se adapta mejor a nuestro caso.
- Contar con la información necesaria, de cada uno de los elementos a implementar.
- Obtener ambas certificaciones energéticas; tanto la del estado actual como la del estado reformado.
- Realizar una comparativa de ambas y también con otros sistemas de rehabilitación más convencionales y, establecer unas conclusiones finales.



### 1.3 Metodología

El trabajo se plantea de desarrollar según las siguientes fases:

#### **Fase 1. Trabajo bibliográfico:**

- Recopilación de información en relación a la temática del trabajo, a través de bibliografía y normativa específica.
- Indicar archivos, bibliotecas, y otras fuentes de consulta

#### **Fase 2. Trabajo de campo:**

- Obtención de datos y fotografías del edificio.
- Investigación sobre el estado del edificio a nivel constructivo y de consumo energético, mediante un análisis de sus patologías y ubicación geográfica.
- Elaboración y generación de documentación, e infografías del edificio, tanto del estado actual como del estado reformado.

#### **Fase 3. Trabajo de despacho:**

- Evaluación energética del edificio mediante la aplicación informática del programa CERMA, orientada a la obtención de la calificación energética de una edificación. Para ello es necesario la elaboración de un modelo tridimensional recopilando información sobre su geometría y ubicación.
- Análisis de los resultados y elaboración de conclusiones.

## 2 Estado de la cuestión

### 2.1 Antecedentes históricos de las fachadas vegetales

Según afirma el sitio web muros verdes (2019), desde los tiempos del “Antiguo Egipto”, en el año 1500 A.C. Se ha podido observar el uso de los elementos vegetales dentro de la arquitectura. Estos hicieron uso de jardines verdes como techos verdes como complemento de su arquitectura, como lo pudimos apreciar en las pinturas de jardines ornamentales que se encontraron en tumbas egipcias del año 1500 A.C (Figura 1).

Más tarde, en el siglo VI A.C., a unos 100 km de la ciudad de Babilonia, se creó una de las antiguas 7 maravillas del mundo, los jardines colgantes de Babilonia (Figura 2) que, si bien no eran aún muros verdes, reflejaban el interés por el ser humano por encontrar una simbiosis entre los elementos vegetales y la arquitectura. “Estos surgen como un regalo del Rey de los Caldeos a su esposa Amytis como signo de su amor por ella y en memoria de las hermosas montañas de su tierra natal. Esta arquitectura presenta árboles y palmeras como dátiles y cocos en las terrazas, todas construidas a orillas del río Éufrates.” (*Historia de Los Muros Verdes Como Elemento Arquitectónico*, 2019)



Figura 1. Tebas, XVIII dinastía. Jardín occidental de Nebamun (<https://elrethohistorico.com/jardin-antiguo-egipto/>)



Figura 2. Recreación de los jardines colgantes de Babilonia si existieran en el siglo XX ([https://historia.nationalgeographic.com.es/a/asi-serian-jardines-colgantes-babilonia-actualidad\\_14213](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/asi-serian-jardines-colgantes-babilonia-actualidad_14213))

De acuerdo al sitio web muros verdes (2019), Otro ejemplo claro del interés por las especies vegetales y nuevas técnicas de jardinería, fueron los jardines romanos (Siglos 509 A.C al IV D.C.), herederos de la tradición paisajística de los griegos. En Roma mientras que la clase baja disfrutaba de jardines públicos, gente muy importante tenía un jardín dentro de sus casas, llamado “hortus” (Figura 3), que les proporcionaba comida y flores. También colocaron árboles en la cima de los edificios institucionales, así como en los mausoleos de sus emperadores.

Durante la Edad Media, del siglo XII al XIV, se utilizó el follaje como un elemento más de la arquitectura, principalmente en el periodo Gótico, “donde muchos muros de iglesias, palacios y patios, de la época, estaban cubiertos de guirnaldas y secciones florales, con el fin de aligerar la brusca severidad de la mampostería de su arquitectura.” (*Historia de Los Muros Verdes Como Elemento Arquitectónico*, 2019)

La extinción del imperio romano, abre una profunda brecha en la historia de los jardines. Las condiciones de vida impuestas por las invasiones bárbaras, traen consigo que la evolución del uso de la vegetación se estanque, quedando reducida a la esfera de lo utilitario. En los monasterios se acumula un conocimiento profundo sobre las plantas y sus cualidades, se cultivan multitud de especies y se descubrían los principios básicos de la botánica. En consecuencia, durante la Edad Media, no cabe encontrar otra jardinería que no sea la perteneciente a la civilización islámica; estos jardines eran cerrados al exterior e interiormente carentes de panorámicas (Figura 4), tenían como finalidad el aislamiento y la intimidad, al mismo tiempo que cultivaban la recreación de los sentidos. (Manuel & de La Torre, 1999)



Figura 3. Reconstrucción del jardín de la Casa de los Vettii, en Pompeya.  
([https://es.wikipedia.org/wiki/Jardines\\_romanos](https://es.wikipedia.org/wiki/Jardines_romanos))

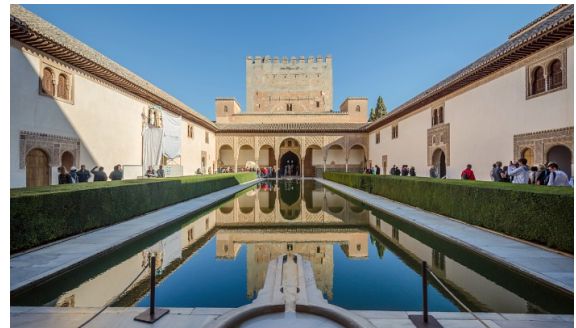


Figura 4. Patio de los Arrayanes en la Alhambra, Granada, España. (<https://www.alhambravision.com/el-patio-de-los-arrayanes/>)

Posteriormente en los siglos XV al XVI, en el Renacimiento, el descubrimiento de modelos clásicos romanos como Vitruvio, por arquitectos y artistas en general, inspiró el uso de la vegetación en la arquitectura, subordinado en muchos casos las construcciones a los principios y simbolismos del arte de la jardinería (Figura 5).

Algo bueno que dejó esta época, fue la introducción, en las ciudades, de plazas ajardinadas, avenidas arboladas y bulevares, como reflejo de los jardines de la corte. De cualquier manera, éstos proporcionaban un lugar de paseo a los habitantes de las ciudades al mismo tiempo que se introducía la vegetación en los espacios públicos urbanos, elemento casi inexistente hasta entonces. A partir de este período artístico se crea una corriente de influencia en periodos artísticos posteriores como el clasicismo o el barroco, donde se habla de una auténtica representación de la naturaleza, que concibe el entorno natural como una continuación del edificio, añadiendo grandes ventanales para conservar todo tipo de plantas. (Manuel & de La Torre, 1999)



Figura 5. jardines de Versalles París, Francia (<https://parquesalegres.org/biblioteca/blog/conoce-los-jardines-de-versalles-en-paris/>)

Más tarde, en 1920, los diseñadores empezaron a utilizar las plantas con más frecuencia en sus diseños, por ejemplo, la ciudad jardín de los británicos y los estadounidenses. Estas fomentaron la integración de las características del jardín y, el uso de la planta, esto a mediante el uso de pérgolas, estructuras de enrejado y plantas de auto escalada. Posteriormente, en 1923, el diseñador y urbanista suizo Chares Édouard Jeanneret (Le Corbusier), realizó otra importante contribución hacia el concepto que hoy conocemos. Esto gracias a su colección de ensayos escritos “Towards a New Architecture 1923”, donde explora el concepto de arquitectura moderna y condensa sus ideas arquitectónicas en cinco puntos, donde el arquitecto habla en el quinto punto de los jardines en las azoteas, como elemento para compensar el área verde consumida por el edificio. (*Historia de Los Muros Verdes Como Elemento Arquitectónico*, 2019)



Figura 6. Terraza jardín azotea "Villa Savoye", Poissy, Francia. (<https://tecne.com/biblioteca/le-corbusier-teoria-de-la-terrazza-jardin/>)

El primer indicio de un jardín vertical como lo conocemos, fue patentado en 1938 por Stanley Hart White, quien denominó a su obra como “Ladrillos Botánicos”. Fue profesor de Arquitectura del Paisaje en la Universidad de Illinois desde 1922 y desarrolló prototipos en su patio trasero en Urbana, Illinois (Figura 7). Más adelante, a principios del siglo XX, el arquitecto Frank Lloyd Wright acuñó por primera vez este término de arquitectura orgánica en la famosa Casa de La Cascada (Figura 8), construida entre 1936 y 1939 sobre una cascada del río Bear Run, en el condado de Fayette del estado de Pensilvania. Lo que significa que la arquitectura no intenta imitar a la naturaleza, sino que, a través de interpretar los principios de la misma, el respeto por las propiedades de los materiales y, el respeto por la relación armoniosa entre forma, diseño y función del edificio, la arquitectura es capaz de integrar el lugar y el entorno natural, con el edificio. (*Historia de Los Muros Verdes Como Elemento Arquitectónico*, 2019)

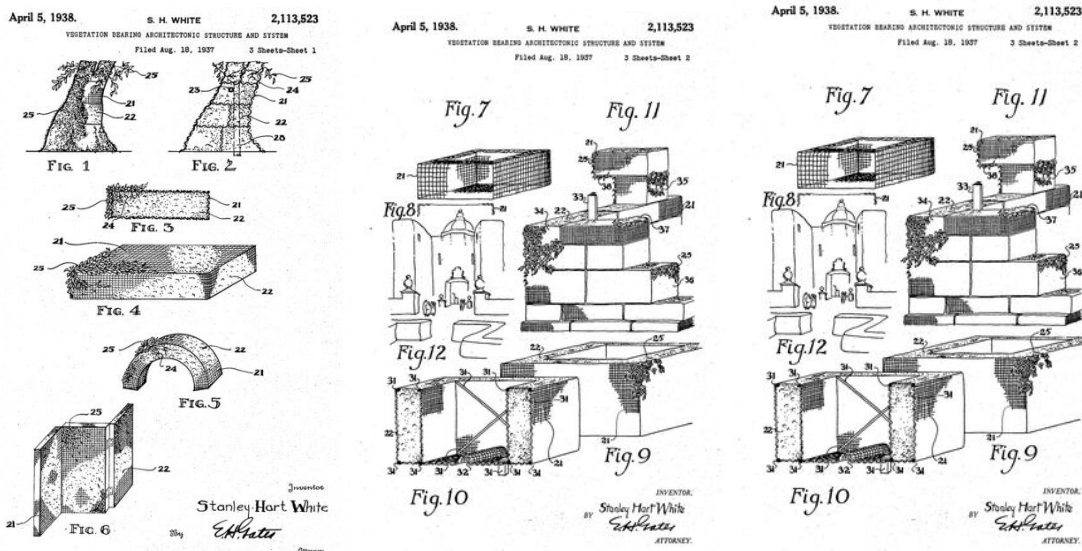


Figura 7. Páginas de la patente de EE.UU. n.º 2,113.523 (<https://tectonica.archi/articulos/vegetacion-y-estructura-arquitectonica/>)



Figura 8. Residencia Kaufmann, más conocida como la "Casa de la cascada". (<https://www.landmarksociety.org/event/travel-tour-pittsburgh-falling-water-kentuck-nob/>)

De acuerdo al sitio web *muros verdes* (2019), el principal impulsor de este movimiento, es el botánico Patrick Blanc, nacido el 3 de junio de 1953, París y, aunque no inventó el Jardín vertical, es el responsable de modernizar y popularizar el tipo de jardín. Blanc desarrolló una red de tuberías controlada por válvulas que proporcionan una solución nutritiva que contiene minerales disueltos necesarios para el crecimiento de las plantas, las raíces de las plantas ocupan los nutrientes que necesitan y, el exceso de agua se recoge en la parte inferior de la pared mediante un canalón; el sistema funciona en un circuito cerrado, y las plantas son elegidas por su capacidad de crecer en este. Su primera instalación de una pared verde fue en 1986 en el Museo de la Ciencia y la Industria de París (Figura 9), y fue seguida una década más tarde por la Fundación Cartier también en París. Blanc describe su jardín vertical de la siguiente manera:

*“Es un muro o estructura portante donde se coloca un marco de metal, que soporta una placa de PVC sobre las cuales se grapan dos capas de poliamida. Estas capas imitan los musgos que crecen en acantilados y apoyan las raíces de muchas plantas.”*



Figura 9. Ciudad de la ciencia y la industria, París, 1986  
(<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris/cite-des-sciences-et-de-lindustrie-de-la-villette-paris>)

En la actualidad, podemos encontrar una gran variedad de tipos de fachadas vegetales, las cuales son utilizadas no sólo por sus propiedades, y beneficios en lo referente al comportamiento térmico de los elementos donde se aplican, pero también por sus aportaciones estéticas al objeto, como a su entorno inmediato.

Por otro lado, el uso de fachadas vegetales, busca hacer contrapeso a muchos de los problemas que la sociedad está viviendo en la actualidad, como lo son el calentamiento global, la reducción tanto de la fauna como la flora del planeta, el efecto isla de calor que se sufre en muchas ciudades, entre otros. Todos estos, producto al constante aumento de la población, y estilo de vida de la misma, la cual se sabe que es insostenible para el planeta a largo plazo.

Desafortunadamente, no todo es positivo en lo que se refiere al uso de fachadas vegetales, ya que la producción de los sistemas de anclaje, y elementos que portan la vegetación que las conforman, pueden llegar a ser nocivos para el medio ambiente. Esto sin olvidar, su elevado precio de instalación y mantenimiento, factor que juega un papel negativo, al considerar la aplicación de las mismas en nuevas construcciones, ampliaciones y reformas.

Al día de hoy, hay diversos estudios que buscan clasificar las fachadas vegetales según sus características principales, contemplando no sólo en el tipo de plantas empleadas en las mismas, pero también los tipos de sustratos, disposición de la vegetación, sistemas de sujeción, materialidad, entre otros factores. A continuación, se presentan algunos ejemplos de fachadas verdes en la actualidad (Figura10,11 y 12):



Figura 10. Fachada hidropónica del edificio Caixa forum de madrid. Patente de Patric Blanc.  
(<https://planometromadrid.com.es/caixaforum/>)



Figura 11. Alpha Park, Clayes-sous-Bois. Patente de Patric Blanc.  
(<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris/alpha-park-2-les-clayes-sous-bois>)



Figura 12. Jardín vertical San Vicent del Raspeig. Alicante (<https://www.urbanarbolismo.es/blog/jardin-vertical-en-san-vicente/>)



## 2.2 Fachadas Vegetales Verticales

Se puede definir como fachada vegetal vertical, a toda aquella fachada de una edificación que sea cubierta con plantas, pudiendo anclarse a la misma mediante mecanismos de sujeción artificiales o por sus propios medios y, de acuerdo a un estudio llevado a cabo en la universidad técnica de Delft (Ottelé, 2011), estos sistemas vegetales verticales se pueden dividir en dos tipos; los que las raíces de las plantas que los conforman se encuentran a nivel del suelo, y los que sus raíces se depositan ya sea en sustratos artificiales, o en mezclas de tierra para macetas (Figura 13).

Por otro lado, de acuerdo a un estudio posterior (López Benítez, 2016), se busca complementar lo dicho por Ottelé en 2011, y menciona que podemos llamar fachadas verdes tradicionales, a los sistemas vegetales verticales en los cuales se coloca un sustrato a nivel de suelo y, a partir de este, sus plantas crecen y ascienden por el muro. Así mismo, a los sistemas los cuales sus plantas reciben los nutrientes y el agua necesaria a nivel del propio paramento, se les puede denominar como muros vivos. Finalmente, estos dos sistemas, se pueden subdividir en dos tipos; directo e indirecto, donde el directo usa la misma fachada como guía y, el indirecto, puede estar formado por un sistema de soporte, espaciadores o maceteros que, en algunas de sus presentaciones, constan de un sistema intermedio entre las plantas y la fachada, creando con esto una cámara de aire entre las mismas (Figura 14).

Por otro lado, y dentro de la clasificación de los sistemas con sus raíces en tierra para maceta o sustrato artificial, podemos encontrar los sistemas de muros vivos o “living wall systems” (LWS), los cuales, en algunos estudios se consideran como otro tipo de ecologización vertical (Medl et al., 2017), por lo cual, para la realización de este estudio, se dividirán las fachadas vegetales verticales en tres tipos: fachadas vegetales tradicionales, muros vivos y sistemas de muros vivos (Figura 15).

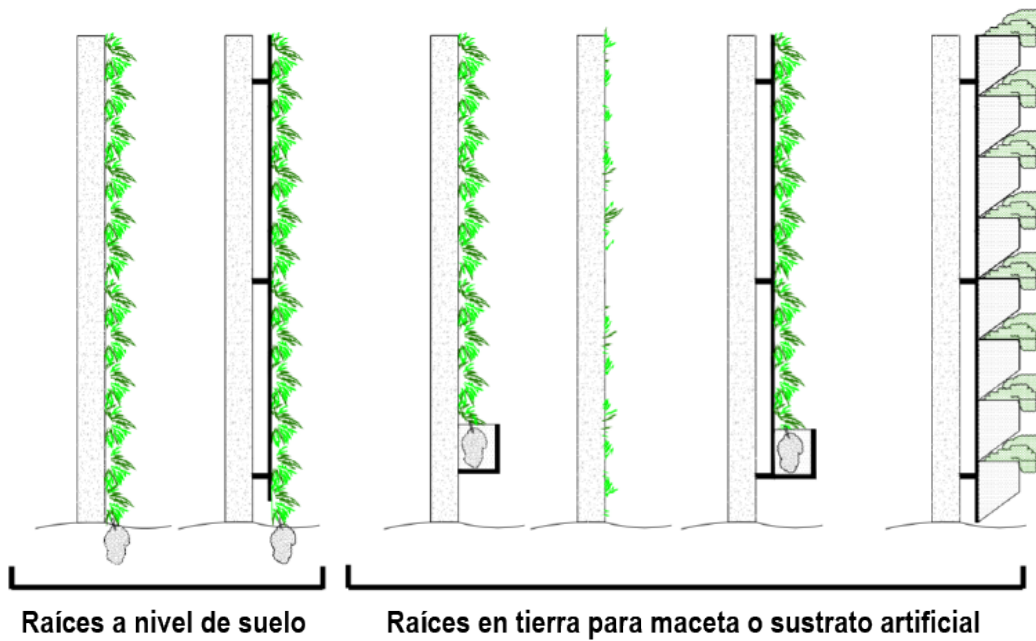


Figura 13. Tipos de sistemas vegetales (obtenida de Ottelé 2011).

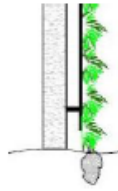
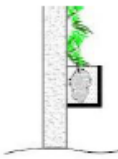
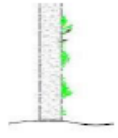
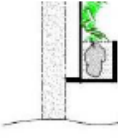
SISTEMAS VEGETALES VERTICALES		3.1. FACHADAS VEGETALES TRADICIONALES (GREEN FACADES)		Vegetación plantada en el suelo	
		3.1.1. SISTEMA DIRECTO (Usa la fachada como guía)	Trepadoras autoadherentes	Con raíces aéreas	Con ventosas
3.1.2 SISTEMA INDIRECTO (Sistema intermedio entre las plantas y la fachada usado como guía)	Trepadoras autoadherentes	Trepadoras con raíces aéreas	Trepadoras con ventosas		
	Trepadoras con sistema de soporte	Trenzado, Enrejados	Plantas con zarcillos		
3.2. "MUROS VIVOS" (Agua y nutrientes aportados desde la propia fachada)	3.2.1 SISTEMA DIRECTO (Usa la fachada como guía)	COMBINADO CON MACETEROS: Trepadoras autoadherentes		Trepadoras con raíces aéreas	
		Muro con vegetación (natural)	Plantas herbáceas y leñosas		
		Muro con vegetación (creado artificialmente)	Plantas herbáceas		
	3.2.2 SISTEMA INDIRECTO (Sistema intermedio entre las plantas y la fachada: espaciadores, maceteros, sistema de soporte)	Trepadoras con sistema de soporte	Trenzado	Plantas con zarcillos	
		Fachada vegetal invernadero y panel deslizante vegetal			
		LWS (Living Wall Systems)			

Figura 14. Tabla de clasificación de los sistemas vegetales verticales (obtenida de López Benítez 2016)

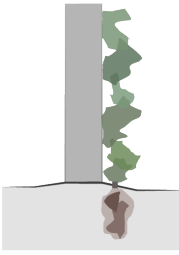
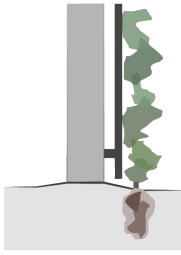
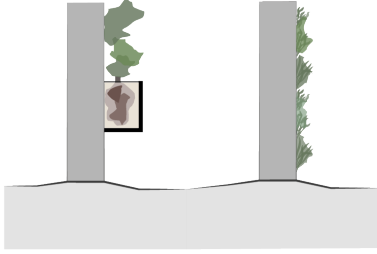
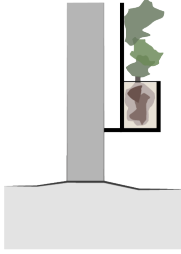
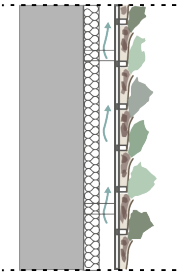
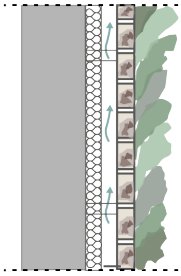
<b>FACHADAS VEGETALES VERTICALES</b>	
<b>FACHADAS VEGETALES TRADICIONALES</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Sistema Directo</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Sistema Indirecto</p>  </div> </div>
<b>MUROS VIVOS</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Sistema Directo</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Sistema Indirecto</p>  </div> </div>
<b>SISTEMAS DE MUROS VIVOS (LWS)</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Sistema a base de filtro geotextil</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Sistema modular con paneles de plástico o metálicos</p>  </div> </div>

Figura 15. Tabla de clasificación de fachadas vegetales verticales (elaboración propia).

### 2.2.1 Fachadas vegetales tradicionales

Según López Benítez (2016), este tipo de fachadas vegetales, se conforman de plantas que tienen sus raíces en el suelo y no necesitan de un sistema de riego, ya que, al contar las plantas con un sustrato natural, estas toman sus recursos del mismo. Como una de las características principales que podemos señalar de este sistema, es su lento crecimiento sobre la fachada, ya que este puede durar varios años.

Estos sistemas, dependiendo si son un sistema directo o indirecto, su vegetación puede crecer tanto directamente sobre la fachada, como a través de un sistema intermedio que funcione como soporte para las plantas.

En el caso de los sistemas directos, se conforman de dos tipos de plantas trepadoras autoadherentes, las de raíces aéreas y las de ventosas; dónde en ambas es importante considerar que, las plantas trepadoras deben contar con la suficiente autonomía para ser capaces de adherirse por sus propios medios en su escalamiento por la fachada. En lo referente a los sistemas indirectos, podemos encontrar tanto los conformados por plantas trepadoras autoadherentes, como los apoyados en un sistema de soporte, donde a las plantas que no cuentan con propiedades adherentes, se les colocan sistemas que sirvan de apoyo, esto mediante la ayuda de enrejados modulares, sistemas de alambres trenzados o alternativamente, cables. (Ottelé, 2011)



Figura 16. Planta trepadora en muro de hormigón (Baloun, s.f.)



Figura 18. Enredadera en estructura vertical (Bonells, 2018)



Figura 17. Trepadora en fachada de casa (Alm, s.f.)



Figura 19. Muro verde en fachada de casa (El comercio, 2015)

## 2.2.2 Muros vivos

Se puede denominar como muros vivos, a los sistemas los cuales sus plantas reciben los nutrientes y el agua necesaria a nivel del propio paramento (López Benítez, 2016). Por otro lado, de acuerdo a Medl et al. (2017), los muros vivos pueden conformarse de una estructura construida verticalmente, cubierta intencionalmente por vegetación, donde la estructura incluye un medio de crecimiento como suelo, sustrato sustituto, o fieltro de hidro cultivo; así como un sistema integrado de suministro de hidratación y fertiirrigación.

Según Otelé (2011), al igual que con las fachadas vegetales tradicionales, los muros vivos se pueden dividir en sistemas directos e indirectos. Donde, en lo que concierne a los sistemas directos, estos se pueden subdividir en tres tipos; Los constituidos por plantas trepadoras autoadherentes, que al igual que en las fachadas verdes, son plantas con raíces aéreas o con ventosas; Los muros con vegetación natural, conformados por plantas herbáceas y/o leñosas; Y, por último, los muros en los que se genera la vegetación por medios artificiales, como el hormigón vegetal, conformado por plantas herbáceas.

En lo que refiere a este estudio, dentro de los sistemas indirectos, se contemplan sólo los sistemas conformados por plantas trepadoras apoyadas en un sistema de soporte.



Figura 20. Muro verde en Stücki Business Park (Jakob Rope Systems, s.f.)



Figura 22. Muro verde ubicado en Barcelona (Velez, 2018)



Figura 21. Proyecto Bentley Bay GreenSolutions (Jakob Rope Systems, s.f.)



Figura 23. Fachada vegetal creada por Patrick Blanc (MPAISAJISMO, 2016)

### 2.2.3 Sistema de Muros Vivos (LWS)

Los LWS, a menudo se construyen a partir de paneles modulares, en los que el sustrato puede ser orgánico, a partir de compuestos naturales como hummus o hidroponía, con un medio de cultivo artificial como espuma, fieltro, perlita o lana mineral, es decir, que utiliza soluciones nutritivas para fertilizar las plantas. (Altan et al., 2015).

Aunque hoy en día existen muchos tipos de LWS, para este estudio se han agrupado en dos tipos principales; los compuestos por un sistema modular a base de fieltro (Figura 24), y los compuestos por módulos fabricados a base de plástico (Figura 25).



Figura 24. Ejemplo de sistema modular de fieltro. (plantsonwalls, s.f.)



Figura 25. Ejemplo de sistema a base de módulos de plástico (paisajismourbano, s.f.)

Según el estudio llevado a cabo por Oquendo-Di Cosola et al. (2020), podemos observar las siguientes características en ambos sistemas:

En el caso de los LWS a base de módulos de plástico, estos cuentan con una estructura tridimensional para las plantas, donde se pueden insertar las mismas antes o después de la instalación, y otra que sirve como cámara de aire. Es importante mencionar, que estos paneles proporcionan la rigidez e impermeabilidad del sistema entero.

Por otra parte, los LWS conformados por fieltro, involucran varias capas para enraizar, impermeabilizar y dar soporte; este de sistema también permite cultivar su vegetación previamente, e insertar la misma posteriormente en los huecos. Este fue producido por una empresa española, cuyo objetivo es diseñar y fabricar soluciones sostenibles para crear espacios verdes, tanto horizontales como verticales, en entornos urbanos. Su diseño fue desarrollado en el campo de purificación del aire, para permitir el crecimiento de raíces en contacto con el aire, favoreciendo la biofiltración. Así, el principal objetivo es descontaminar el aire a través de la rizosfera de las plantas.

Es importante mencionar, tanto el sistema a base de módulos de plástico, como el conformado por fieltro, requieren de un sistema de riego el cual, según las necesidades del usuario puede ser automatizado.

Los LWS generalmente se utilizan como una superficie externa que, entre varias cosas, proporciona beneficios de aislamiento térmico que impactan tanto en el bienestar interior, como en el exterior, mejorando así el confort de sus usuarios. Los LWS modulares, a menudo se fabrican utilizando un marco y una serie de capas, que actúan como una barrera climática para aislar el interior y el exterior del edificio. Cabe mencionar, que la diferencia entre las proporciones de materiales que impactan la carga ambiental de ambos sistemas, proviene de todas las capas involucradas en los mismos. (Oquendo-Di Cosola et al., 2020)



Figura 26. Muro verde en terraza (Green Blue Gardens, s.f.)



Figura 28. Muro vivo en el Aeropuerto de Oslo-Gardermoen (Tonsberg, 2019)



Figura 27. Punto de Seguridad en el Aeropuerto Internacional de Appleton (Velazquez, 2019)



Figura 29. Jardín vertical de la empresa Vertikal (Vertikal, s.f.)

## 2.3 Beneficios de las fachadas vegetales en los edificios

En la actualidad, el sector europeo de la construcción representa el 40% de la energía primaria consumida a partir de recursos no renovables, de un total del 87% a nivel mundial. A su vez, la huella ecológica humana ha aumentado al 80% entre 1960 y 2000 (Izrael et al., 2007). En consecuencia, la reducción del consumo de energía y sus emisiones asociadas es un tema que debe de ser considerado, como de vital importancia para la arquitectura y la ingeniería.

La ecologización de la envolvente de un edificio, proporciona beneficios relacionados con la mejora de la eficiencia, una contribución al contexto inmediato a través de la regulación de la temperatura y la reducción de la velocidad del viento, así como una mayor biodiversidad en entornos urbanos densos (Perini, Ottelé, Haas, et al., 2011).

El uso de plantas en los edificios creando fachadas vegetales proporciona beneficios tanto est ticos como ambientales (Ottelé et al., 2011); Mejora la calidad del aire mediante la reducción de la contaminación en el mismo (Gourdji, 2018; Klingberg et al., 2017); incrementa la biodiversidad (Perini, Ottelé, Haas, et al., 2011); reduce el efecto isla de calor en las ciudades (Mariani et al., 2016; Sheweka & Magdy, 2011), y reduce el consumo de energía para refrigeración y calefacción interna (Pan & Chu, 2016; Perini & Rosasco, 2013). Algunos de los aspectos que influyen en el desempeño de un LWS son la densidad del follaje, la humedad del sustrato y la cámara de aire entre algunas capas, así como las propiedades de los materiales utilizados (Oquendo-Di Cosola et al., 2020).

Como nos muestran muchos de los estudios relacionados con los beneficios de los muros verdes, su potencial es muy amplio, pudiendo incluso reducir o aumentar la temperatura y humedad en el interior de un edificio. Un ejemplo de estos estudios, se llev o acabo en Singapur (clima tropical), donde se realiz o un análisis térmico de ocho tipos diferentes fachadas vegetales mostrando una reducción máxima de la temperatura de 11,6 C, esto mediante el sistema de Paraviento (Wong et al., 2010). Por otra parte, se ha llegado observar una reducción de la temperatura de la fachada de hasta 10,8  C (Figuras 30 y 31) en los climas mediterráneos (Eumorfopoulou & Kontoleon, 2009).

Otros estudios referentes al comportamiento de las fachadas vegetales en un clima Mediterráneo Continental durante el verano, muestran la capacidad de la vegetación para reducir la temperatura superficial de la fachada exterior hasta en 14 C (Figura 32), y el efecto de la sombra en la reducción de la temperatura interna hasta 1 C (Figura 33) (Coma et al., 2014). En 2016 se estudi o un sistema modular de fachada vegetal denominado Geogreen, a través del análisis de las condiciones climáticas locales en tres periodos diferentes. El experimento se llev o a cabo en base a dos mediciones, una en una pared de referencia y uno en un muro cubierto con módulos de vegetación. Los resultados demostraron la capacidad de vegetación para reducir las temperaturas máximas y aumentar las temperaturas mínimas. Específicamente, el sistema estudiado ha demostrado la capacidad de mitigar la transferencia de calor hasta un máximo del 75% de calor de entrada, y un 60% de calor de calidad, mejorando notablemente el aislamiento térmico (Manso & Castro-Gomes, 2016).



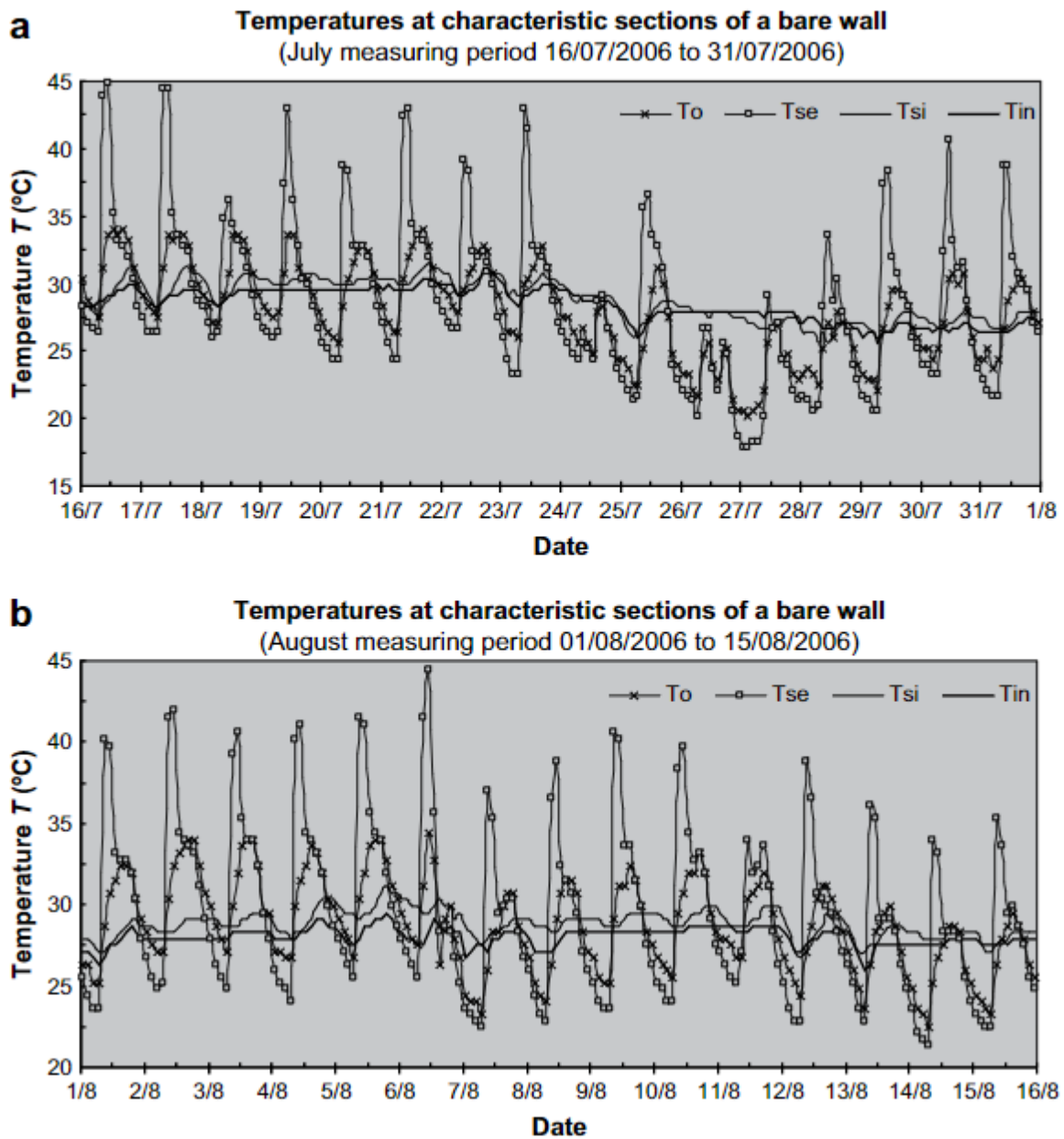


Figura 30. Valores de temperatura por hora para muros no cubiertos con elementos vegetales (a) del 16/07/2006 al 31/07/2006 y (b) del 1/08/2006 al 15/08/2006. (obtenido de Eumorfopoulou & Kontoleon, 2009)

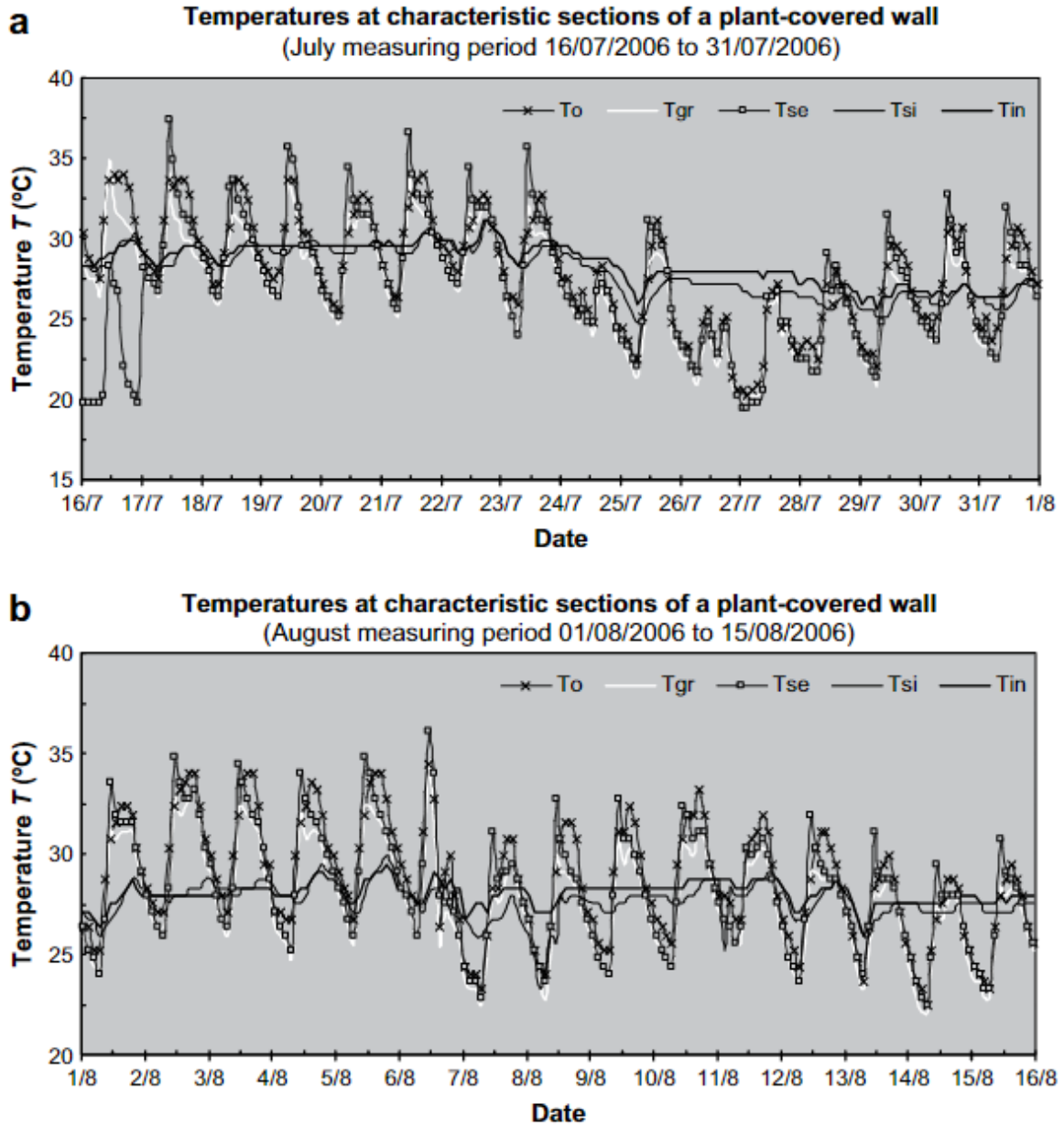


Figura 31. Valores de temperatura por hora para muros cubiertos con elementos vegetales (a) del 16/07/2006 al 31/07/2006 y (b) del 1/08/2006 al 15/08/2006. (obtenido de Eumorfopoulou & Kontoleon, 2009)

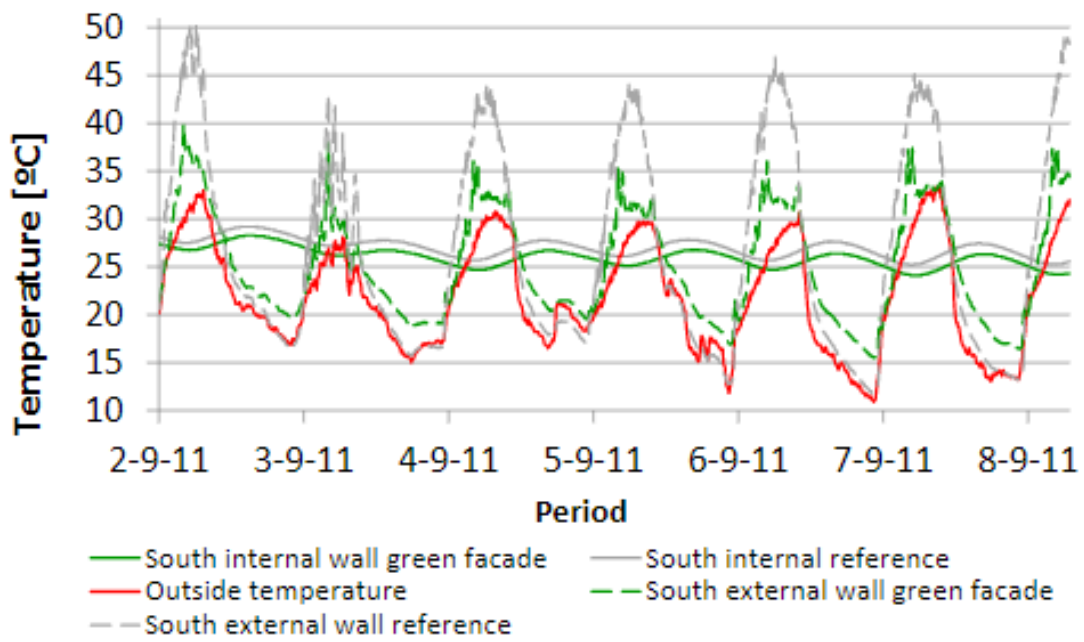


Figura 32. Temperaturas internas y externas de los muros. Septiembre 2011 (obtenida de Coma et al. 2014)

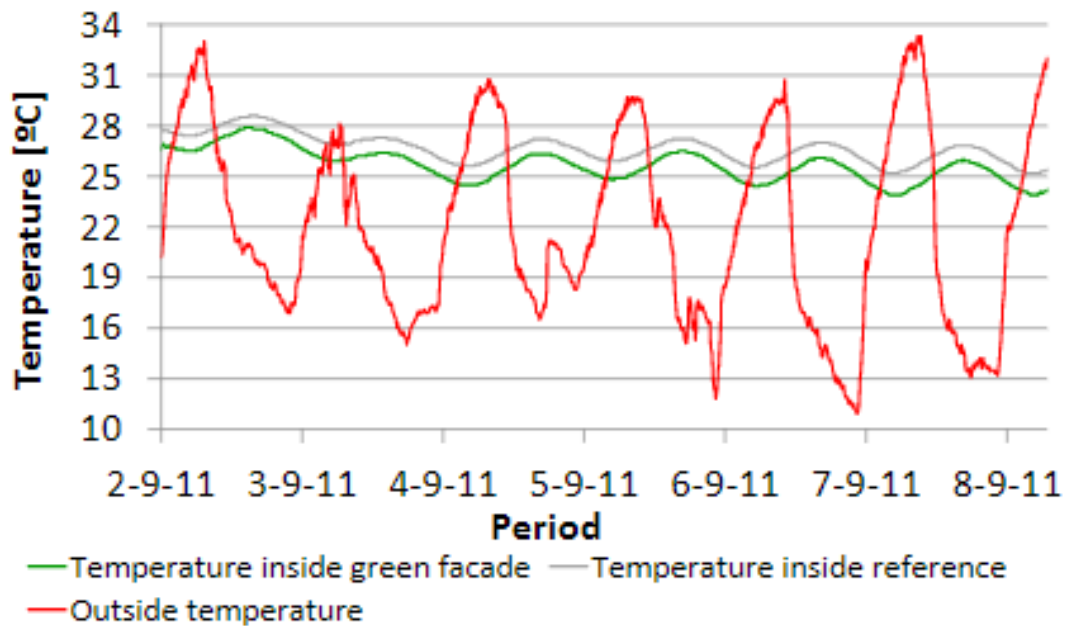


Figura 33. Temperaturas ambientales internas. Septiembre 2011 (obtenida de Coma et al. 2014)

En algunos lugares, las noches de verano pueden llegar a alcanzar, en el centro de una gran ciudad, temperaturas del aire de entre 4° y 11°C más altas que en los suburbios. Por otra parte, las ciudades tienen hasta un 15% menos de horas de sol directo y una mayor frecuencia de niebla (de 30 a 100%) según la época del año (Minke, 2014). A continuación, se mencionan algunos de los principales beneficios de las superficies ajardinadas

### 2.3.1 Regulación de la temperatura

Las fachadas vegetales son capaces de extraer el calor del ambiente y de disminuir los gradientes térmicos entre el día y la noche, esto gracias a la fotosíntesis de las plantas que la conforman, además de que promueven la evaporación y condensación del agua. Según (Minke, 2014), la presencia de vegetación puede llegar a reducir las temperaturas de los ambientes de 1 a 5°C y, se calcula que una reducción de 5° de la temperatura exterior adyacente podría suponer ahorros en refrigeración de hasta un 50%

### 2.3.2 Efecto del aislamiento térmico

La vegetación en las fachadas resulta poco efectiva como aislante térmico, aunque la estructura conceptual de los muros vivos proporciona un eficaz aislamiento exterior, sobre todo en verano. Esta estructura es similar a la de las fachadas ventiladas. Se dispone un muro de alta inercia térmica al interior, el aislante térmico al exterior, seguido de una cámara de aire y finalmente la vegetación. (Garrido, 2011)

Por otra parte, como se menciona anteriormente, el grado de aislamiento térmico de un muro verde, depende de varios factores, como lo son la densidad del follaje de las plantas que lo conforman, la modificación del aire del espacio intermedio, el sustrato que alimenta las plantas y, del tipo de aislante con el que esté constituida la fachada del edificio, entre otros.

### 2.3.3 Enfriamiento por evaporación

Otro de los claros beneficios de las fachadas vegetales, es la energía que absorben en su proceso de evapotranspiración; este proceso genera un enfriamiento evaporativo de aproximadamente unos 2450 Joules por cada gramo de agua evaporada, generando mediante esto un espacio más confortable en lo referente a la sensación térmica. Un estudio llevado a cabo en Berlín sobre la fachada sur de un edificio durante los meses de julio, agosto y septiembre del 2005, muestra una evapotranspiración media entre 5,4 y 11,3 milímetros por día. Provocando un enfriamiento medio de 157 kWh por día. (Schmidt, 2006)

### 2.3.4 Variación del efecto del viento

Al reducir el efecto producido por el efecto del viento sobre la edificación, se puede aumentar la eficiencia energética de un edificio, esto al utilizar a modo de barrera, la vegetación de las fachadas verdes, siempre teniendo en cuenta, que la densidad del follaje, la orientación de la fachada y, la dirección y la velocidad del viento mismo; serán factores determinantes en los resultados. Otro factor que contribuye a la variación del viento y es importante mencionar, es la cámara de aire que se sitúa entre la fachada principal y la estructura que sostiene la fachada verde, espacio que funciona como segundo filtro para el efecto del viento en el edificio.

En un estudio llevado 2011, se muestra la capacidad de la vegetación de reducir la velocidad del viento que incide en los cerramientos del edificio (Figuras 34, 35 y 36). Gracias a la cámara de aire situada detrás de la vegetación, la resistencia térmica de la construcción se beneficia de un incremento de 0,09 m<sup>2</sup>·K/W. (Perini, Ottelé, Fraaij, et al., 2011)

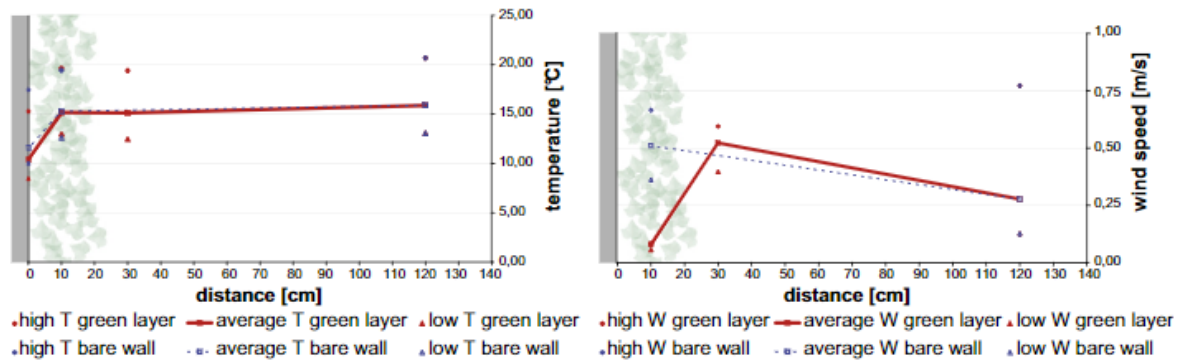


Figura 34. Perfiles de temperatura de la fachada con vegetación directa (izquierda) y velocidad del viento (derecha) (obtenide de Perini, Ottelé, Fraaij, et al. 2011)

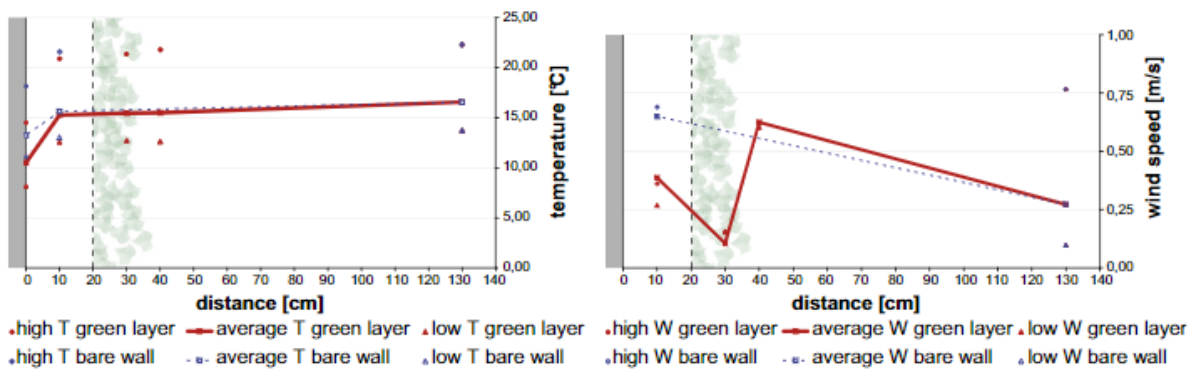


Figura 35. Perfiles de temperatura de la fachada con vegetación indirecta (izquierda) y velocidad del viento (derecha) (obtenide de Perini, Ottelé, Fraaij, et al. 2011)

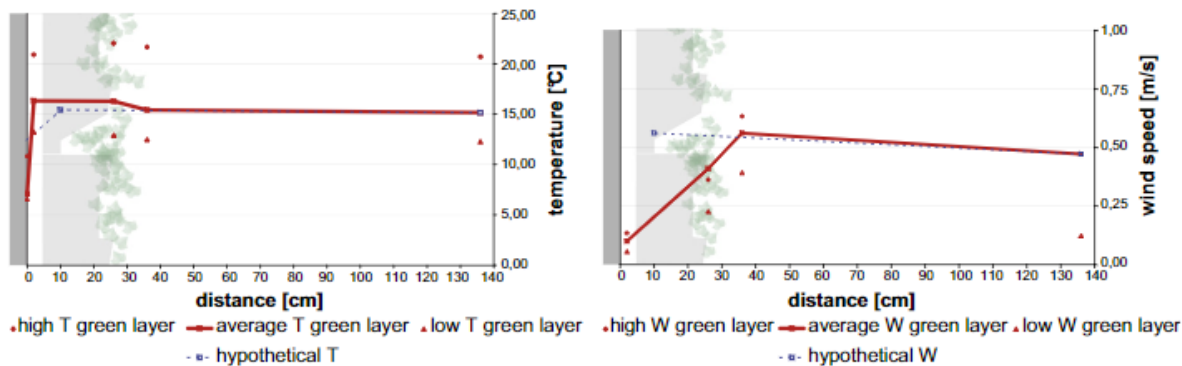


Figura 36. Perfiles de temperatura de un LWS (izquierda) y velocidad del viento (derecha) (obtenide de Perini, Ottelé, Fraaij, et al. 2011)

### 2.3.5 Reducci3n del efecto isla

El papel de la infraestructura verde en el enfriamiento de la ciudad, la reducci3n de las cargas de energía en los edificios y la mejora del confort térmico humano ha merecido mucha atenci3n durante las últimas dos décadas (Wilby, 2007). Un factor adicional de las fachadas vegetales es su potencial para reducir la temperatura del aire urbano, lo que ayuda a mitigar los efectos de las islas de calor urbano y reducir las temperaturas de la superficie de los edificios, lo que reduce la dependencia del aire acondicionado mecanizado. (Susorova et al., 2013)

### 2.3.6 Acondicionamiento acústico

A pesar de ser escasos los estudios realizados sobre el comportamiento de las fachadas verdes frente al ruido, un estudio llevado en el 2010 analiz3 ocho tipos diferentes de jardines verticales, mostrando una fuerte atenuaci3n a bajas y medias frecuencias debido a la absorci3n del sustrato. Mientras que en las a altas frecuencias esta atenuaci3n es más pequeña, y esto es debido a la dispersi3n de la vegetaci3n. En el estudio observamos que con la vegetaci3n se consigue una reducci3n de 5 dB a 10 dB para la gama de frecuencia baja a media (125 a 1250Hz) dependiendo del sistema empleado. Respecto a las altas frecuencias (4 a 10 kHz), se observa, en general, una reducci3n de 2 dB a 4 dB. (Wong et al., 2010)

En este mismo estudio se comprob3 gracias a una cámara de reverberaci3n, que el coeficiente de absorci3n acústica del sistema de vegetaci3n vertical era mayor que el resto de materiales de edificios. Mostrando así que, con una mayor densidad de follaje, hay un aumento del coeficiente de absorci3n del sonido. (Wong et al., 2010)

Al igual que con el resto de los factores pasados, el aislamiento acústico dependerá de la especie de la planta, sus dimensiones y morfología y, su ubicaci3n con respecto al sonido.

## 3 Estudio de caso práctico

### 3.1 Justificación del edificio elegido

Para este estudio, se buscó mejorar no sólo la calificación energética de un emplazamiento, pero también contribuir al factor social y urbano del mismo; buscando beneficiar positivamente no sólo las condiciones energéticas de un edificio, pero también las condiciones sociales de un barrio. Por lo cual, habiendo mencionado lo anterior, y apoyados del visor de cartografía de la Generalitat Valenciana, se buscó dentro del observatorio del hábitat y la segregación urbana, los espacios urbanos sensibles, y con vulnerabilidad residencial, socioeconómica y sociodemográfica de la zona.

Habiendo mencionado lo anterior, y gracias al plan integral de recuperación de barrios zona norte Alicante, se identificó el barrio Juan XXIII, ubicado del norte de la ciudad española de Alicante, delimitado, al norte, por el barrio de Villafranqueza, como un espacio ideal para implementar dentro de la tipología de sus viviendas, una fachada vegetal vertical, esto debido no sólo a la vulnerabilidad social de la zona, pero también a que los edificios que integran el mismo, son bloques que cuentan con fachadas que permiten la reproducción en serie, de una fachada vertical basada en un sistema modular; razón que refuerza la selección de una tipología de LWS basada en módulos; esto buscando repercutir no sólo a un edificio en particular, pero sí a una zona geográfica en general.

Según lo observado en el plan integral de recuperación de barrios zona norte Alicante, la zona norte de la ciudad, donde se encuentra ubicado el barrio Juan XXIII, cuenta con varias características de vulnerabilidad, como las que se mencionarán a continuación (Concejalía de Presidencia y Coordinación de Áreas, 2008).

- **Fuerte índice de desempleo:** tasa de paro del 20,01%, frente al 13,6% de media de la ciudad. Situación que afecta principalmente a mujeres e inmigrantes.
- **Débil tasa de actividad económica:** únicamente el 4,56% de los comercios y el 2,52% de los servicios de la ciudad se localizan en la Zona Norte, mientras que la población residente en ella supone el 11,50% del total de la ciudad.
- **Alto nivel de pobreza y exclusión:** Casi un cuarto de los usuarios de servicios sociales de toda la ciudad reside en la zona norte de la ciudad, cuyo índice de pobreza es de 1,5733, mientras que el de la ciudad es de 1,485.
- **Necesidad de reconversión resultante de dificultades económicas y sociales:** existe una marcada tendencia al cierre de comercios, y no a su sustitución por actividades nuevas. De hecho, la edad media de los comercios existentes es de 14,67 años, cifra muy elevada. Además, las nuevas aperturas se refieren sobre todo a comercios de conveniencia (que no atraen clientes de otras zonas) o específicamente dirigidos a la población inmigrante (locutorios, carnicerías, “hallal”, ...).
- **Elevado número de inmigrantes y minorías étnicas:** el 20,38% de la población residente en la zona norte de la ciudad es inmigrante, por el 11,73% de media de la ciudad. La población perteneciente a minorías étnicas, aunque no cuantificada, se concentra principalmente en algunos barrios de dicha zona.

- **Bajo nivel educativo, importante déficit de cualificaciones y elevado índice de abandono escolar:** el porcentaje de población analfabeta o sin ninguna titulación asciende a más del 56%, mientras que en el conjunto de Alicante es del 42%. En cambio, la proporción de personas con estudios secundarios no obligatorios o superiores en la zona norte de la ciudad no alcanza el 9%, mientras que en Alicante se sitúa cerca del 25%. Además, un 32,58% de los alumnos de enseñanzas obligatorias se encuentran en situación compensatoria.
- **Nivel elevado de criminalidad y delincuencia:** El tráfico de drogas al menudeo es muy elevado en algunos barrios de la zona norte de la ciudad, así como los delitos contra la salud pública y las faltas contra la propiedad.
- **Tendencias demográficas precarias:** en una encuesta realizada durante el año 2005 a residentes de la zona norte de la ciudad, casi el 63% cambiaría de barrio si tuviera la posibilidad, sobre todo para mejorar condiciones de habitabilidad (el 45% de ellos) y para evitar la inseguridad ciudadana que se vive en dicha zona (contestado por el 37,2% de aquéllos que cambiarían de barrio). La elevada proporción de familias numerosas (7,79% frente al 5,22% de la ciudad), la existencia de un amplio número de familias monoparentales y desestructuradas, así como el crecimiento de población experimentado en los últimos años sobre todo por la llegada de población inmigrante (pues 9 de cada 10 nuevos empadronamientos entre los periodos 2001-2005 se refieren a este colectivo) y el abandono de la población autóctona son factores que demuestran claramente las tendencias demográficas preocupantes.
- **Degradación ambiental de la zona:** la zona norte de la ciudad presenta una densidad de población elevada (19.736,24 hab/Km<sup>2</sup>). Por otra parte, la ausencia de planificación de espacios comunes, de tránsito y esparcimiento durante los años de construcción de los barrios que forman el territorio de actuación ha sido una lacra todavía hoy vigente. Esta situación de partida, unida a situaciones de pobreza, precariedad económica, niveles educativos bajos y falta de hábitos de convivencia, ha provocado una degradación ambiental y social evidente.

Por lo antes mencionado, esta zona se presenta como una oportunidad de mejora, no sólo para la apariencia visual y estética de un edificio, pero sí como una acción de acupuntura urbana, término utilizado por el arquitecto urbanista brasileño Jaime Lerner, para referirse a un tipo de estrategias puntuales de intervención en la ciudad, de gran potencial de regeneración para extender sus beneficios a sus usuarios y al resto de la misma. La implantación de un muro verde como referente para ser aplicado en el resto de las viviendas, busca servir como punto de referencia para promover, entre otros aspectos, los siguientes puntos:

- Mejora de los espacios físicos del barrio
- Mejora de la calidad de vida de los integrantes del barrio
- Promoción del mantenimiento y la rehabilitación de las viviendas
- Contribución a la regeneración social y económica del barrio
- Potenciación de la búsqueda de soluciones a las necesidades del barrio
- Estimulación y reorientación de los usos actuales de los espacios del barrio



## 3.2 Descripción del lugar de emplazamiento

### 3.2.1 Comunidad Valenciana

La Comunidad Valenciana es una comunidad autónoma de España situada al este y sureste de la Península Ibérica, en el litoral del mar Mediterráneo. Cuenta con 23.255 km<sup>2</sup>, y es la octava región de España por superficie, representando el 4,60% de la extensión nacional. La Comunidad Valenciana, se extiende entre el río Cenia y Pilar de la Horadada, un poco más al sur del río Segura, con una longitud de costa de 518 km. El territorio valenciano también incluye el archipiélago mediterráneo de las islas Columbretes, así como la isla de Tabarca, junto a otros islotes y peñones cercanos al litoral valenciano. Su posición geográfica es 40° 47' en el extremo norte, 37° 51' en el extremo sur, 0° 31' en el extremo oriental y 1° 32' en el extremo occidental (Figura 37).



Figura 37. Mapa de la península Ibérica con sombreado en la Comunidad Valenciana ([https://es.wikipedia.org/wiki/Comunidad\\_Valenciana](https://es.wikipedia.org/wiki/Comunidad_Valenciana))

### 3.2.2 Ciudad de Alicante

Alicante es una ciudad ubicada en la provincia homónima, y un municipio de España; está situada en la costa mediterránea (Figura 38 y 39), que de acuerdo al INE cuenta con una población de 337.482 habitantes. Es el segundo municipio más poblado de la Comunidad Valenciana y el undécimo de España. Forma una conurbación con muchas ciudades de las localidades de la comarca del Campo de Alicante de 468.782 habitantes y, estadísticamente se le asocia con el área metropolitana de Alicante-Elche, que alcanza los 757.085 habitantes. Esta ciudad es uno de los destinos turísticos más relevantes de España (Figura 40). (INE, 2020)



Figura 38. Mapa de la península Iberia con sombreado en la provincia de Alicante ([https://en.wikipedia.org/wiki/Province\\_of\\_Alicante](https://en.wikipedia.org/wiki/Province_of_Alicante))



Figura 39. Mapa ubicando la ciudad de Alicante dentro de la provincia homónima ([https://en.wikipedia.org/wiki/Province\\_of\\_Alicante](https://en.wikipedia.org/wiki/Province_of_Alicante))



Figura 40. Vista aérea de la ciudad de Alicante (<https://www.alicanteturismo.com/que-visitar-en-alicante/>)

### 3.2.3 Barrio Juan XXIII

Juan XXIII es un barrio del norte de la ciudad española de Alicante (Figura 41). Está delimitado, al norte, por el barrio de Villafranqueza, el término municipal de Muchamiel y el núcleo de población alicantino de Santa Faz; al este, a lo largo de la avenida de Denia, por Santa Faz y el barrio de Vistahermosa; al sur, por los barrios de Garbinet y Vistahermosa; y al oeste por los barrios de Villafranqueza, Colonia Requena, Virgen del Remedio y Cuatrocientas Viviendas. Según el censo de 2010, cuenta con un total de 11.311 habitantes (5789 hombres y 5522 mujeres).

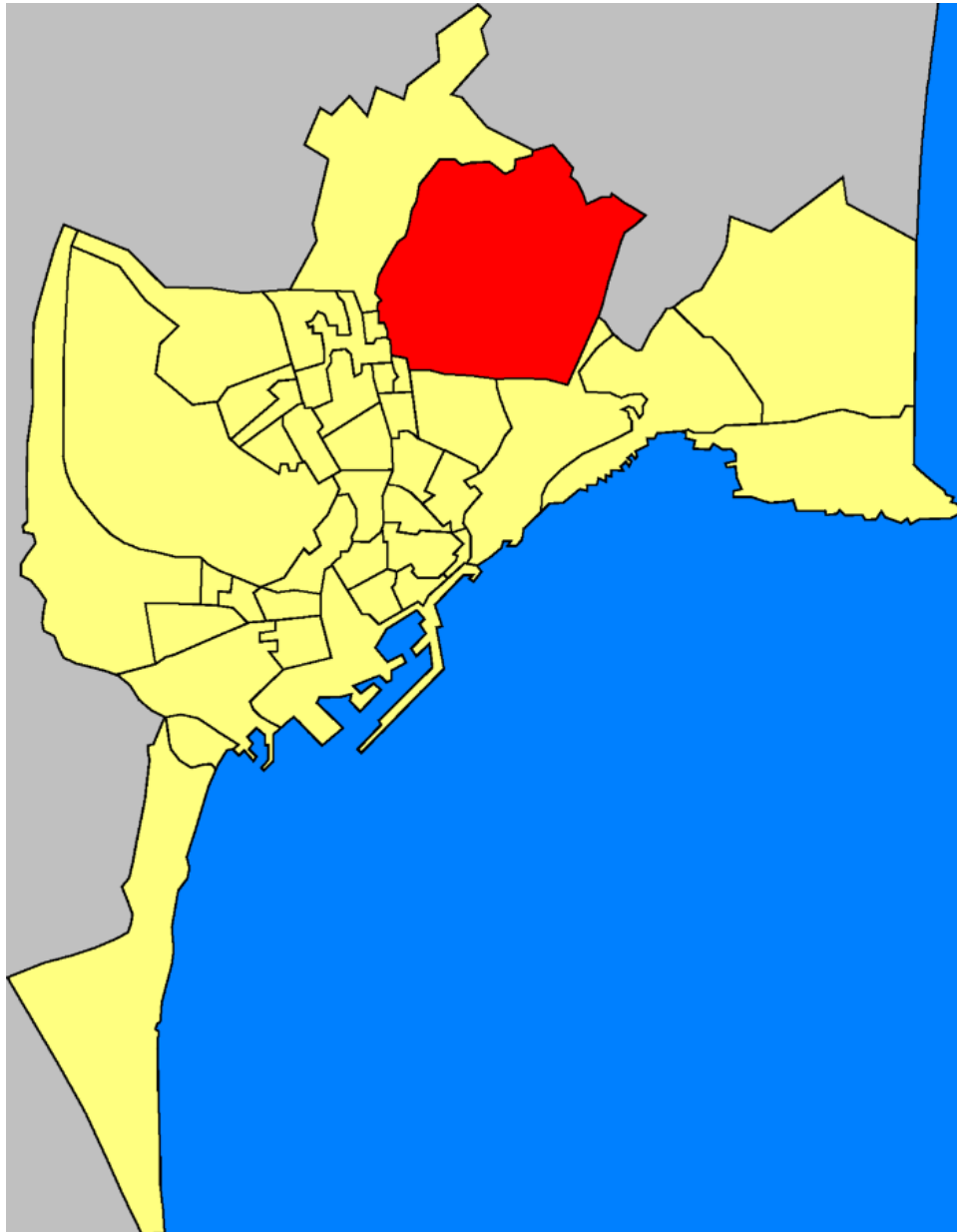


Figura 41. Ubicación del barrio Juan XXIII dentro de la ciudad de Alicante  
([https://es.wikipedia.org/wiki/Juan\\_XXIII\\_\(Alicante\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Juan_XXIII_(Alicante)))

### 3.3 Análisis y características del edificio

Como se mencionó en uno de los apartados anteriores, el edificio en bloque seleccionado para este estudio, se encuentra en la calle Maestro Rodrigo número 4, de la provincia homónima de la ciudad de Alicante, más exactamente en el barrio Juan XXIII de la zona norte de la misma. El predio se encuentra a 16 metros sobre el nivel del mar, y con una latitud de 35.35°. Se ubica en una zona climática con una temperatura tipo B4 y una clase higrométrica 3 (55%) (Serrano Lanzarote, 2016), por lo cual no se prevé una alta producción de humedad en él mismo.

El conjunto de edificios que conforman este bloque (Figura 42), cuenta con un volumen total de 2.996,67 m<sup>3</sup>, y un suelo habitable de 1.089.70 m<sup>2</sup> (Serrano Lanzarote, 2016), y como se menciona en el estudio de barrios vulnerables de la zona norte, y el plan integral de recuperación de barrios zona norte Alicante, este conjunto de edificios en bloque, se encuentra en una zona de potencial mejora.

Para la implementación del LWS, se decidió seleccionar una tipología en específico del bloque, la cual puede servir como referente aplicable al resto, esto siempre teniendo en cuenta que la orientación seleccionada para la misma, serán tanto la fachada este, como la oeste. Esto debido a que se consideraron las mismas, como las fachadas más óptimas para la implementación de un LWS debido a su incidencia solar. Habiendo mencionado esto, se seleccionó para la realización de este estudio el tipo B de la tipología de los bloques (Figura 43), edificio que se encuentra entre medianeras.



Figura 42. Imagen del conjunto de edificios que conforman el bloque escogido para realizar el estudio (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

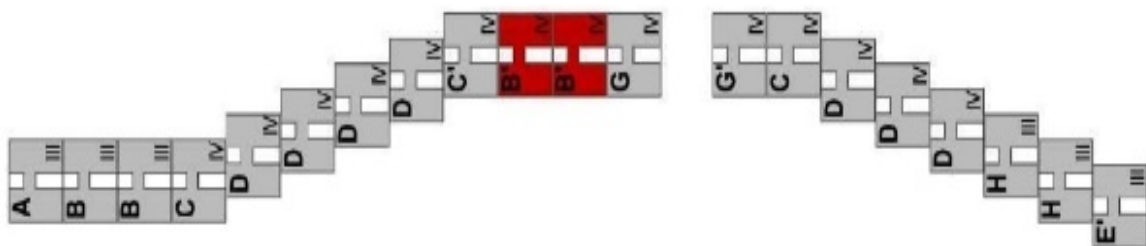


Figura 43. Edificio tipo B dentro de la tipología de los bloques (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

Todas las cubiertas de los edificios que conforman el bloque, cuentan con cubiertas planas en contacto directo con el ambiente exterior y, en lo referente a los suelos, todos están en contacto con un vacío sanitario. Por otro lado, y en lo alusivo a las fachadas del edificio el tipo B, este cuenta con una fachada este, una fachada oeste, una fachada norte y dos medianeras adiabáticas (Figura 44).

El edificio tipo B cuenta con cuatro plantas, y cada planta cuenta con 4 viviendas, donde cada una de las mismas, está constituida por 72m<sup>2</sup> construidos, de los cuales 61,2 m<sup>2</sup> son útiles. Por otro lado, dentro de los espacios comunes, la finca cuenta con 110,5 m<sup>2</sup> construidos (Figura 45).



Figura 44. Fachadas, huecos, cubiertas y suelos del edificio tipo B (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

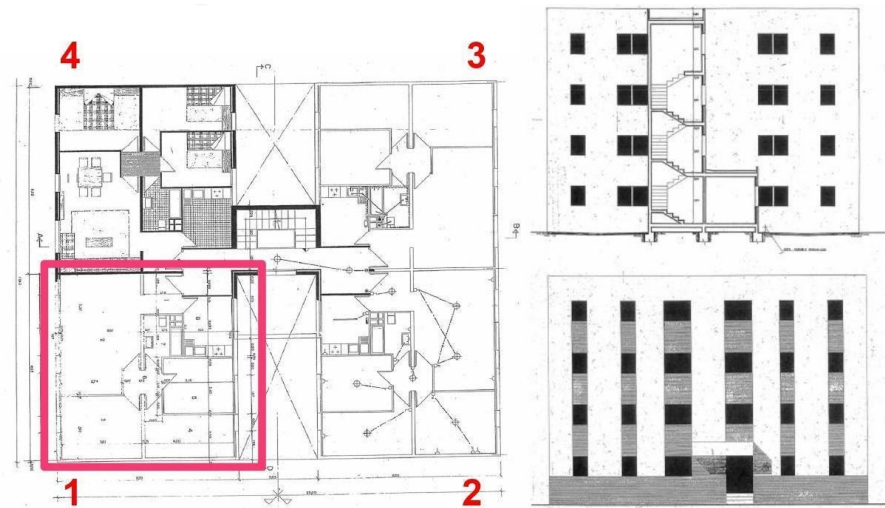


Figura 45. Plano de planta donde se muestran las viviendas por piso (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

Para poder llevar a cabo el análisis del edificio tipo B, para posteriormente obtener la calificación energética del mismo, es importante conocer tanto la materialidad de los elementos que lo conforman, como la composición de los mismos; esto con la finalidad de poder vaciar los datos obtenidos dentro del programa para el análisis energético CERMA v5.04 (junio 2021), versión ampliada para el cumplimiento del CTE 2019, según el Real Decreto 732/2019. Buscando así obtener la calificación energética del edificio, en base a las últimas actualizaciones realizadas al programa.

Habiendo mencionado lo anterior, y basándose tanto en el estudio realizado por Serrano Lanzarote (2016), y el catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación del IVE (Instituto Valenciano de la Edificación & Serrano Lanzarote, 2013), se obtuvieron los siguientes datos en relación a la composición de los elementos que conforman el edificio.

### 3.3.1 Cubierta

La cubierta del edificio, es una cubierta convencional con lámina auto protegida, sobre forjados unidireccionales con viguetas prefabricadas pretensadas de hormigón, y entrevigado cerámico. La misma cuenta con un área sin huecos de 298 m<sup>2</sup>, un área en sombra de 0m<sup>2</sup>, y de acuerdo al catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación del IVE, se identifica con el código ID-QB04a07 (Figura 46). El material de la cubierta cuenta con la siguiente composición:

BCE+MOR+I+HL+FUC-20+ENL (transmitancia térmica de 1.61 U (W/m<sup>2</sup>\*K))

- BCE: baldosa cerámica.
- MOR: mortero de agarre y regularización.
- I: impermeabilizante.
- HL: hormigón de áridos ligeros para formación de pendientes.
- FUC-20: forjado unidireccional de viguetas pretensadas de 200 mm de canto.
- ENL: elucido de yeso.

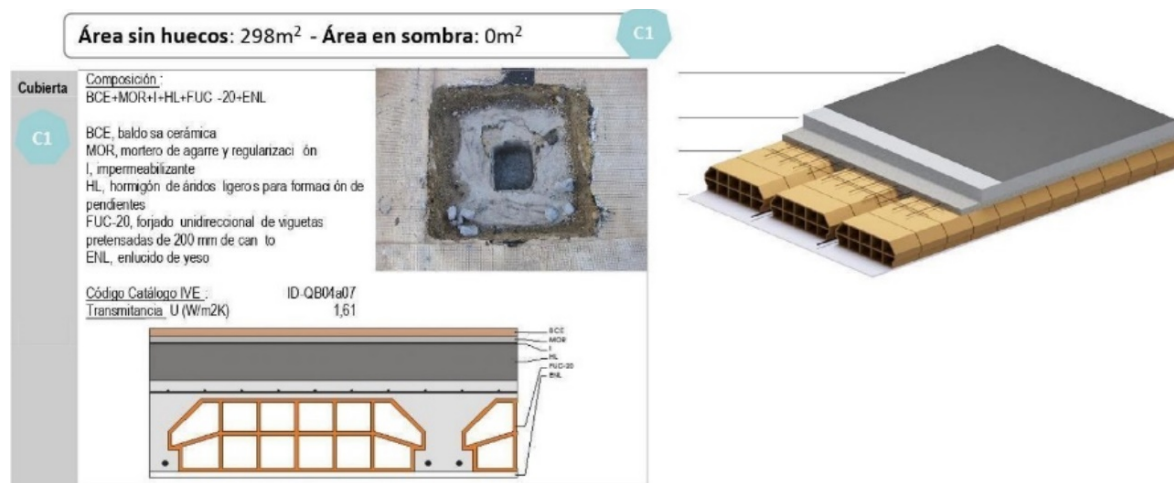


Figura 46. Ficha técnica del material de la cubierta (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

### 3.3.2 Suelo

El suelo del edificio está constituido por un forjado sanitario unidireccional, con viguetas prefabricadas pretensadas de hormigón, y entrevigado cerámico. El mismo cuenta con un área de 298 m<sup>2</sup>, y un perímetro de 100m, y de acuerdo al catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación del IVE, se identifica con el código ID-PH04a07 (Figura 47). El material del suelo cuenta con la siguiente composición:

BTE+MOA+FUC-20 (transmitancia de 1.74 U (W/m<sup>2</sup>\*K))

- BTE: baldosa de terrazo.
- MOA: mortero de agarre.
- FUC-20: forjado unidireccional de viguetas pretensadas de 200 mm de canto.

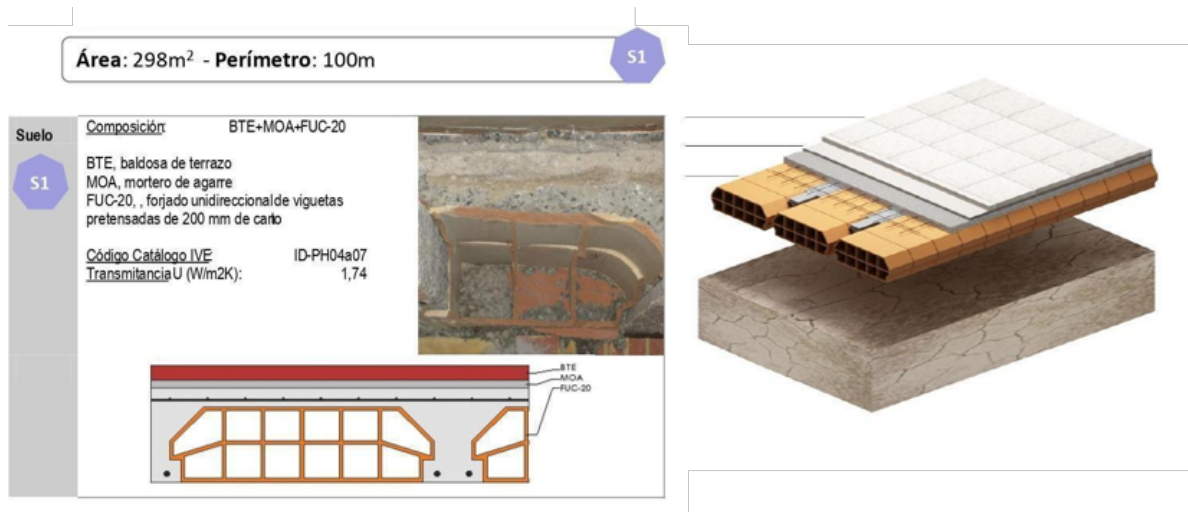


Figura 47. Ficha técnica del material del suelo (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

### 3.3.3 Fachadas

Las fachadas este, oeste y norte, que conforman tanto las fachadas principales como las fachadas de los patios interiores, están conformadas por un cerramiento de fábrica, de doble hoja con cámara interior. Cada una de estas, cuenta con un área total de 156,3 m<sup>2</sup> sin huecos, y un área total de 0m<sup>2</sup> fuera del primer plano sin huecos, y de acuerdo al catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación del IVE, se identifica con el código ID-FC05c01 (Figura 48). El material de las fachadas cuenta con la siguiente composición:

ENF-C+LM11+CVSV/5+LH4+ENL (transmitancia de 1.64 U (W/m<sup>2</sup>\*K))

- ENF-C: enfoscado con mortero de cemento.
- LM11: ladrillo cerámico macizo de 115mm.
- CV-SV/5: cámara de aire de 50mm, sin ventilar.
- LH4: ladrillo cerámico hueco simple de 40mm.
- ENL: enlucido de yeso.

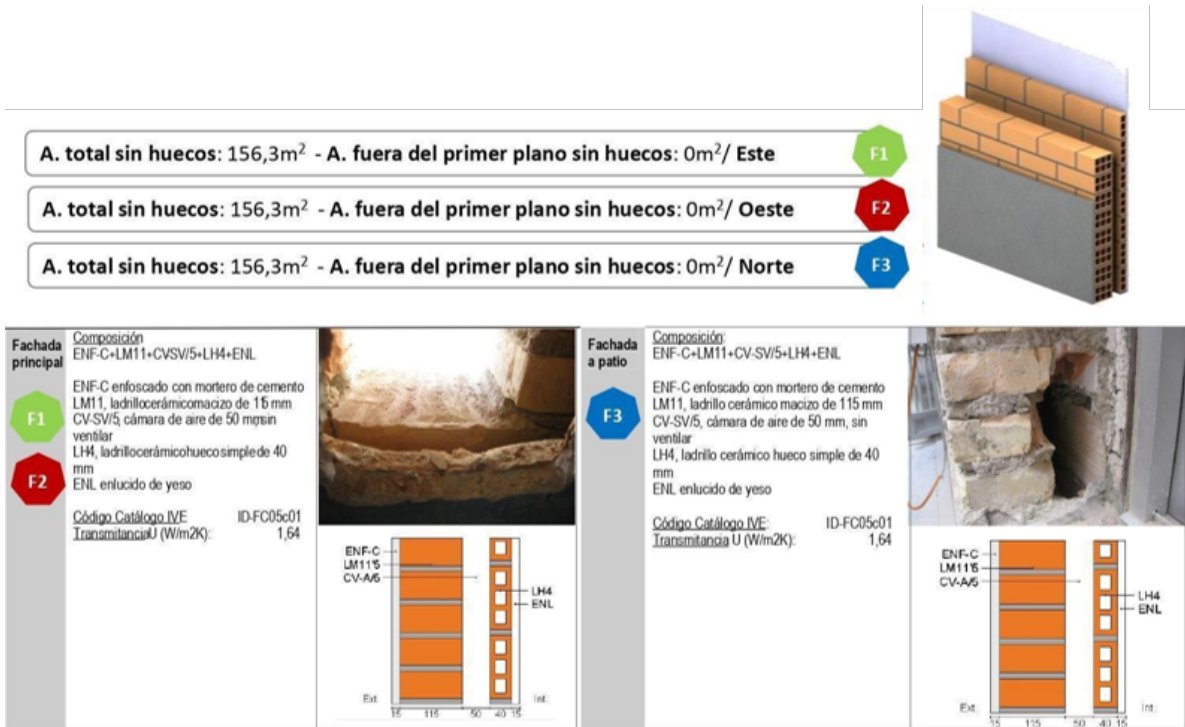


Figura 48. Ficha técnica del material de las fachadas (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

### 3.3.4 Huecos

Tomando como referente el estudio de Serrano Lanzarote (2016), y en relación a los huecos de la fachada este y oeste del edificio, se mantuvieron las nomenclaturas de clasificación establecidas por el mismo, agrupando así los huecos en las fachadas principales este y oeste como G1, G2, G3 y G4 (Figura 49), y los huecos en las fachadas hacia los patios internos como G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11 y G12 (Figura 50).

Los huecos G1 y G3, cuentan con un alto de 1,3 metros, un ancho de 80 centímetros y un retranqueo de 15 centímetros. Por otra parte, los huecos G2 y G4, cuentan con un alto de 1,30 metros, un ancho de 1,70 metros, y un retranqueo de 15 centímetros. Así mismo, los huecos G5, G8, G9 y G12, cuentan con un alto de 1,30 metros, un ancho de 80 centímetros y un retranqueo de 15 centímetros. Finalmente, tenemos los huecos G6, G7, G10 y G11, que cuentan con un alto de 1,30 metros, un ancho de 1,70 metros, y un retranqueo de 15 centímetros.



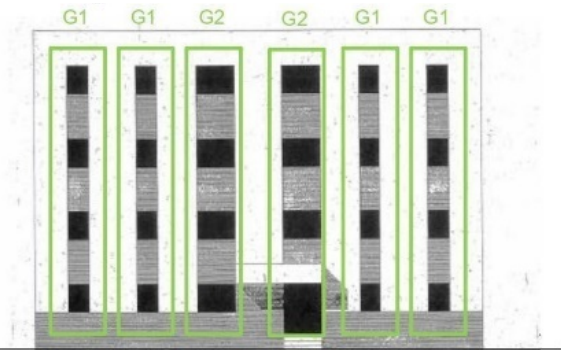
**Dimensiones huecos:**

G1 y G3

- Alto: 1,30m
- Ancho: 0,80m
- Retranqueo: 0,15m



Este



**Dimensiones huecos:**

G2 y G4

- Alto: 1,30m
- Ancho: 1,70m
- Retranqueo: 0,15m



Oeste

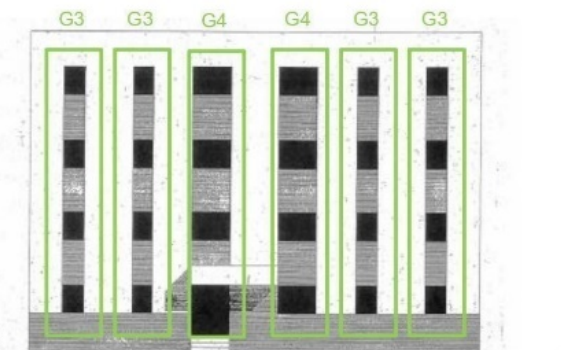


Figura 49. Dimensiones de los huecos G1, G2, G3 y G4 (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

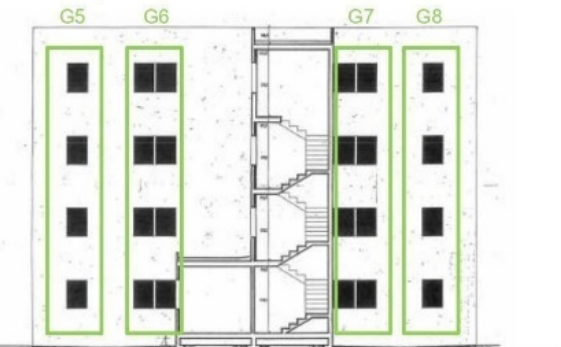
**Dimensiones huecos:**

G5, G8, G9 y G12

- Alto: 1,30m
- Ancho: 0,80m
- Retranqueo: 0,15m



Este



**Dimensiones huecos:**

G6, G7, G10 y G11

- Alto: 1,30m
- Ancho: 1,70m
- Retranqueo: 0,15m



Oeste

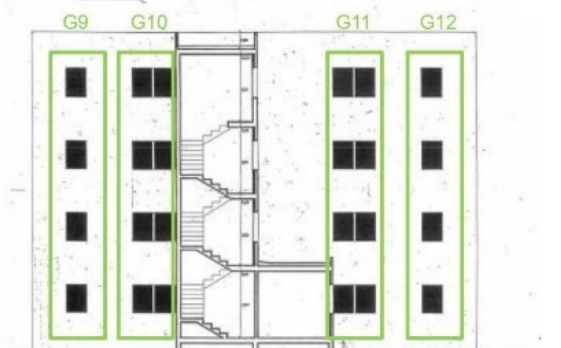


Figura 50. Dimensiones de los huecos G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11 y G12 (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

### 3.3.5 Ventanas

En relación a los huecos, el edificio cuenta con unas ventanas conformadas por carpintería de acero, y un vidrio sencillo de 3 milímetros, y no cuentan con ruptura del puente térmico. Las ventanas originales son abatibles, de dos hojas, y cuentan con un marco metálico de acero (Figura 51). Las mismas cuentan con las siguientes características:

Dimensiones:

- Ancho: .80m / 1.7m
- Alto: 1.3m
- Retranqueo: .15m

Características del marco:

- Tipo: metálico sin rotura de puente térmico
- Fracción de marco (%): 10
- Tipo de apertura: abatible
- Tipo de ajuste: malo
- Transmitancia U (W/m<sup>2</sup>\*K): 5.7

Características del vidrio:

- Tipo de vidrio: monolítico
- Espesor: 4 mm
- Factor solar: .85
- Transmitancia U (W/m<sup>2</sup>\*K): 5.7

Sombras de elementos fijos:

- Sin elementos fijos

Cajas de persiana:

- No existe

Sombras por obstáculos remotos o del propio edificio:

- Con carácter general, no se han considerado por tratarse de un bloque aislado abierto. Únicamente se han tenido en cuenta los patios interiores del edificio (propios del edificio).

Transmitancia U (W/m<sup>2</sup>\*K)

- 5.7



<b>Ventanas</b>	Las ventanas originales son abatibles, de dos hojas, y tienen de marco metálico de acero.		
	<u>Dimensiones:</u>		
	- Ancho: 0,80m /1,70m		
	- Alto: 1,30m		
	- Retranqueo: 0,15m		
	<u>Características del marco:</u>		
	- Tipo: metálica sin rotura de puente térmico		
	- Fracción de marco (%): 10		
	- Tipo de apertura: abatible		
	- Tipo de ajuste: malo		
- Transmitancia U (W/m²K): 5,70			
<u>Características del vidrio:</u>			
- Tipo de vidrio: monolítico			
- Espesor: 4mm			
- Factor solar: 0,85			
- Transmitancia U (W/m²K): 5,70			
<u>Sombras de elementos fijos:</u>			
- Sin elementos fijos			
<u>Cajas de persiana:</u>			
- No existe			
<u>Transmitancia U (W/m²K):</u>	5,7		
	<u>Sombras por obstáculos remotos o del propio edificio:</u>		
	- Con carácter general, no se han considerado por tratarse de un bloque aislado abierto. Únicamente se han tenido en cuenta en los patios interiores del edificio (propios del edificio)		

Figura 51. Ficha técnica del material de las ventanas (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

### 3.3.6 Imágenes del estado del edificio

A continuación, se presentan algunas imágenes del edificio obtenidas del estudio realizado por Serrano Lanzarote (2016), donde se puede apreciar a través de las numerosas lesiones que presenta en sus envolventes, el estado decadente del mismo; lo cual, como se menciona previamente, fue una de las principales razones que impulsó la decisión de llevar a cabo este estudio, buscando no sólo mejorar una calificación energética a través de la aplicación de fachadas vegetales verticales, sino también mejorar la apariencia estética del edificio.



Figura 52. Fachada este (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 53. Fachada oeste (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 54. Fachada norte (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 55. Vista de la cubierta del edificio (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 56. Lesiones observadas en la fachada este (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 57. Lesiones observadas en la fachada oeste (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 58. Lesiones observadas en la fachada norte (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 59. Lesiones observadas en la cubierta (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 60. Lesiones observadas en el suelo (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 61. Lesiones observadas en las ventanas (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

Las instalaciones térmicas del edificio son individuales por vivienda, estando constituidas por equipos de agua caliente sanitaria (ACS), a base de gas licuado del petróleo (GLP), el cual es la mezcla de gases licuado presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo (Figura 62).



Figura 62. Equipos de ACS del edificio (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

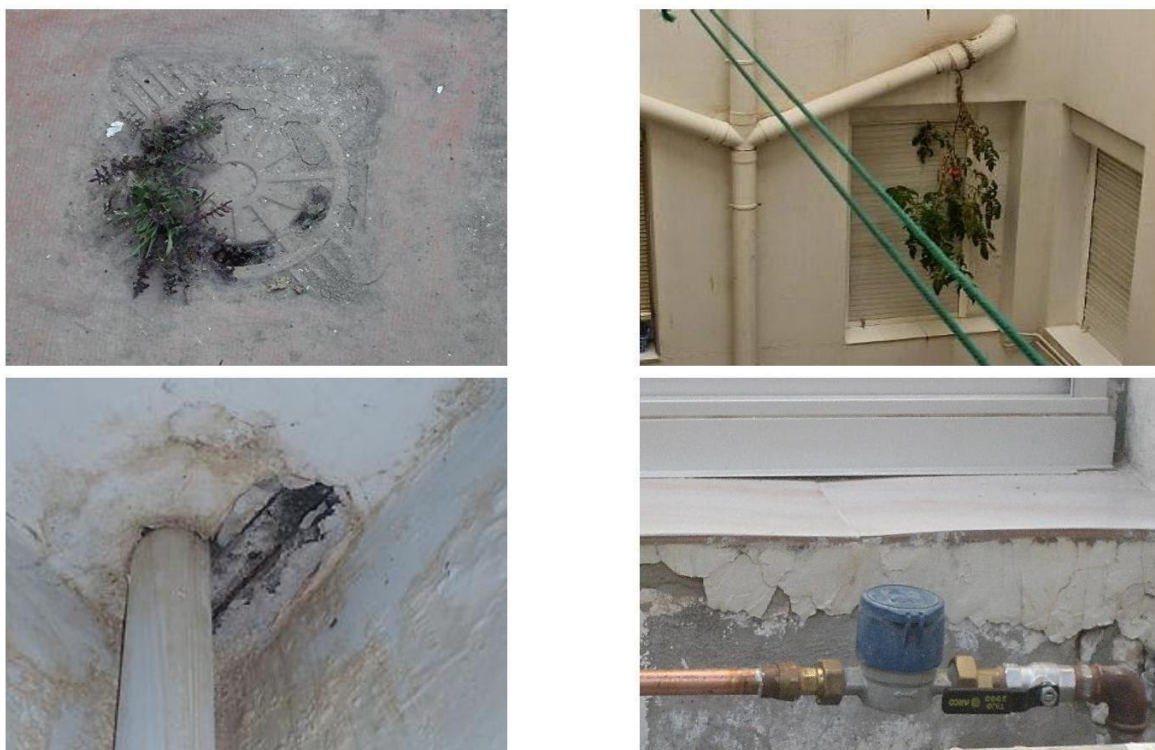


Figura 63. Instalaciones de agua (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)



Figura 64. Instalaciones de suministro eléctrico (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

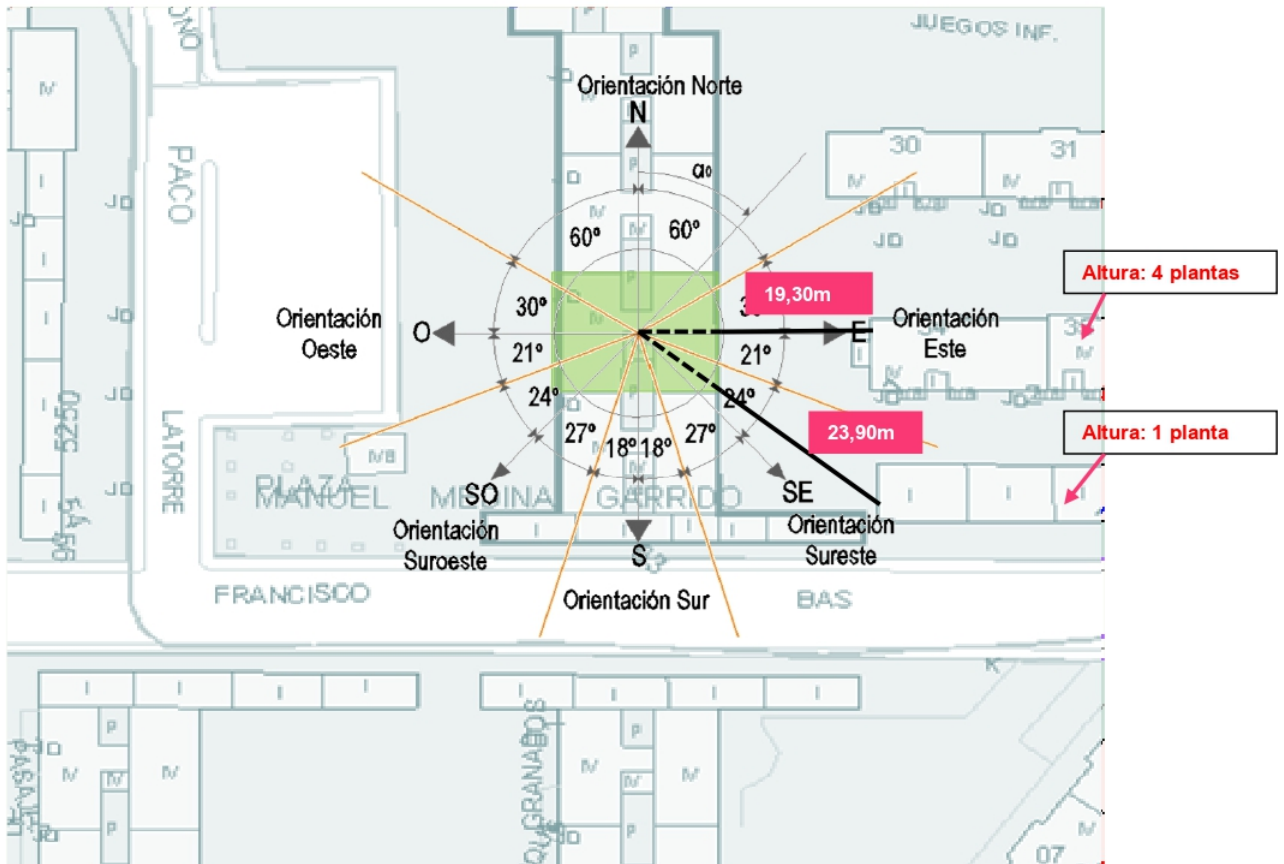


Figura 65. Entorno directo del edificio tipo B (obtenida de Serrano Lanzarote 2016)

### 3.4 Climatología general

#### 3.4.1 Clima de La Comunidad Valenciana

Para poder catalogar el clima de una región, es importante considerar que, debido a cuestiones geográficas importantes como son la altitud, la continentalidad, o la configuración montañosa, se pueden crear zonas dentro de un mismo territorio, con características climáticas lo suficientemente diferenciadas para poder clasificarlas. Es evidente de antemano que, en territorios que cuentan con una pequeña extensión, las diferencias climáticas entre unas zonas y otras, no serán tan marcadas.

La Comunidad Valenciana no es la excepción, ya que, pese a que por su ubicación geográfica el clima de la misma es considerado como mediterráneo, dentro de esta se pueden distinguir hasta ocho zonas subclimáticas, yendo de la zona A a la zona H (Mellado Manrique, 2014) y, de acuerdo al Atlas climático de La Comunidad Valenciana (Pérez Cueva, 1994), cuentan con las siguientes Características:

**Zona A: Clima de la llanura litoral septentrional:** Las precipitaciones anuales se sitúan en torno a los 450 l/m<sup>2</sup>, aumentando de sur a norte, con un máximo destacado en otoño, otro máximo menos destacado en primavera, y un marcado periodo seco estival de unos 4 meses. La temperatura media anual se sitúa alrededor de los 16-18°C, con unos inviernos suaves (enero 10°C de media) y veranos cálidos con medias en julio y agosto alrededor de los 25°C. Un aspecto destacado de esta zona, es la elevada humedad relativa estival. Dentro de esta zona encontramos localidades como Castellón, Vinaroz, Valencia o Sagunto.

**Zona B: Clima de la llanura litoral lluviosa:** Las precipitaciones anuales se sitúan en torno a los 650 l/m<sup>2</sup>. El otoño sigue siendo la estación más lluviosa, seguida de la primavera, aunque en este caso los inviernos son más lluviosos que en la zona A. La sequía estival sigue siendo muy marcada. Este aumento pluviométrico se explica por la orientación de la costa, casi perpendicular a los flujos del noreste, habituales en las situaciones de ciclogénesis mediterránea o "gota fría". Las temperaturas son muy parecidas a las de la zona A. Las localidades de Gandía, Pego o Denia son claros ejemplos de este tipo de clima.

**Zona C: Clima del sector litoral meridional:** Es el sector más árido de la Comunidad, fruto de las altas temperaturas con medias alrededor de los 18°C (pudiendo llegar hasta los 20°C como en el caso de Elche, lo que supone una de las medias más altas de España) y, sobre todo, de las escasas precipitaciones, que en muchos puntos no superan los 300 l/m<sup>2</sup> anuales. Corresponden a este tipo de clima localidades como Alicante, Orihuela o Elche.

**Zona D: Clima de la franja de transición:** Esta zona del prelitoral, situada entre la llanura litoral septentrional, las montañas del noroeste y la meseta de Requena-Utiel, constituye una zona de transición que tiene características a medio camino entre las zonas litorales y las interiores. Conforme nos alejamos del Mediterráneo, va disminuyendo el máximo pluviométrico otoñal, aumentando el máximo secundario primaveral por la mayor incidencia de los flujos del oeste, a la vez que disminuye la sequía estival por el aumento de las tormentas. Las medias de precipitación se sitúan en torno a los 550 l/m<sup>2</sup> anuales, aunque existen variaciones significativas dentro de esta zona. Las temperaturas, por su parte, disminuyen respecto a la costa por la mayor altitud, aumentando la amplitud térmica tanto diaria como anual al alejarnos del efecto termorregulador del mar, y con unas medias anuales alrededor de los 15°C. Segorbe, Turís u Onda son buenos ejemplos de esta zona climática.

**Zona E: Clima de la montaña del noroeste:** Es uno de los sectores más lluviosos de la Comunidad, con una media entorno a los 650 l/m<sup>2</sup>. El ritmo estacional de la precipitación está marcado por dos máximos en primavera y otoño, mientras que el verano es relativamente fresco y húmedo, lo que contrasta con la sequía estival del resto del territorio. Se da un relativo equilibrio entre las precipitaciones producidas por flujos zonales (oeste), las causadas por los temporales de levante (este) y las de origen convectivo (tormentas). Esto hace que las precipitaciones sean más regulares y las sequías menos acusadas. En cuanto a las temperaturas, es la zona climática más fría de la Comunidad, al coincidir la mayor altitud y latitud y el alejamiento respecto a masas marítimas (medias entorno a los 10-11°C, aunque dependen mucho de la altitud). Son frecuentes las heladas en un largo periodo del año, y la nieve ya tiene una presencia importante. Localidades como Morella, Sant Joan de Penyagolosa, Barracas o Torrebaja se encuentran dentro de este tipo de clima.



**Zona F: Clima de la fachada lluviosa del macizo de Alcoi:** Esta zona corresponde a la vertiente norte del extremo oriental de las Béticas, y origina un tipo de clima similar al de la llanura litoral lluviosa (zona B), con unos 600 l/m<sup>2</sup> de promedio anual, pero con unas temperaturas más bajas debido a la mayor continentalidad y a la mayor altitud (alrededor de 14-15°C de media anual). El régimen pluviométrico estacional se mantiene con un claro máximo otoñal, seguido por una primavera y un invierno con precipitaciones muy similares y un verano seco. Albaida, Ontinyent o Alcoleja son ejemplos de este clima.

**Zona G: Clima de la vertiente seca del macizo de Alcoi:** Es el clima del sector meridional y occidental del macizo de Alcoi. Las precipitaciones se reducen rápidamente, con valores de unos 450 l/m<sup>2</sup> en la parte alta y de sólo 300 l/m<sup>2</sup> en las bajas zonas cercanas al litoral. Se mantiene claramente el máximo otoñal y el mínimo estival. Las temperaturas suelen ser más cálidas, a igual altitud, que en el norte (Zona F) por la mayor exposición a la radiación solar y la menor nubosidad. A este tipo de clima corresponden localidades como Villena, Novelda, o El Pinós.

**Zona H: Clima del sector central occidental:** Posee un volumen pluviométrico muy similar al de la llanura litoral central (zona A), con unos 450 l/m<sup>2</sup> de media anual, pero repartido de una forma más uniforme a lo largo del año, manteniendo eso sí el periodo seco estival. Constituye un sector bastante propicio para las tormentas durante el periodo mayo-septiembre. Las temperaturas se reducen notablemente debido a la altitud y a la continentalidad, aumentando la oscilación y la formación de heladas invernales (medias alrededor de los 12-14°C). Utiel, Requena o Ayora tienen este tipo de clima.

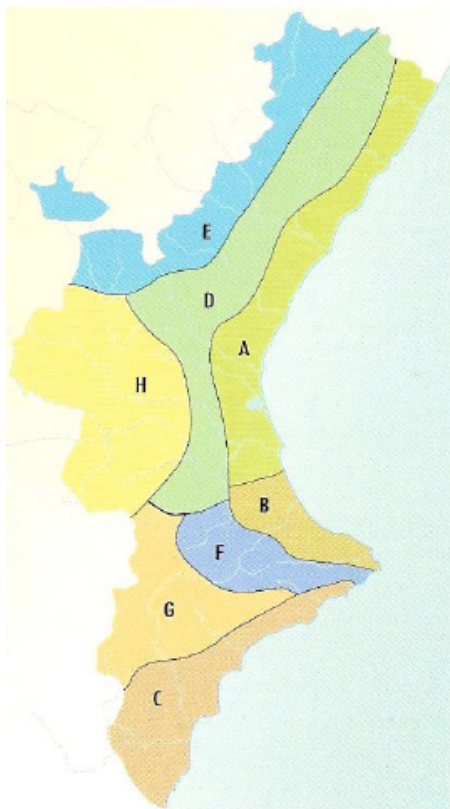


Figura 66. Mapa de los climas de La Comunidad Valenciana separados por zonas subclimáticas (<http://eltiempo.lasprovincias.es/las-cosas-del-clima/los-climas-comunidad-valenciana>)

### 3.4.2 Clima de Alicante

La ciudad de Alicante, por su ubicación geográfica, cuenta con un clima mediterráneo y según la clasificación climática de Köppen, semiárido (BHs). Su clima está constituido por temperaturas suaves en el invierno y cálidas en el verano; con lluvias concentradas en la temporada de otoño que comprende de septiembre a noviembre. En lo que refiere a las temperaturas medias que se presentan en la ciudad, el mes de enero, siendo el más frío del año, presenta una temperatura media de 12°C, contando con una máxima de aproximadamente 17°C y una mínima de entre 6 y 7°C. Por otro lado, el mes más cálido del año es agosto, con una media aproximada a los 26°C, con unas máximas de poco más de unos 30°C, temperaturas máximas que se ven reducidas debido a la influencia del mar; por esta misma razón, al Alicante ser una ciudad costera, presenta una humedad anual elevada, la cual gira en torno al 66% y varía muy poco a lo largo del año. (AEMET, n.d.)

Según la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la amplitud térmica diaria es de unos 10°C, y en lo que respecta a la oscilación térmica anual, ronda los 14°C. En lo referente a las precipitaciones que se presentan en la ciudad, estas apenas sobrepasan los 300 mm y son más frecuentes en otoño y primavera, siendo septiembre y octubre los meses más lluviosos, esto debido a las lluvias torrenciales generadas por el fenómeno denominado la gota fría. Por otro lado, los meses de julio y agosto son muy secos, con una media de unos 4 mm en el mes de julio. En la ciudad hay aproximadamente 70 días de lluvia al año, presentándose una gran cantidad en el mes de octubre.

A continuación, se muestra una tabla con los valores climatológicos en el periodo de referencia 1981-2010 del observatorio de la AEMET situado en Ciudad Jardín, en el municipio de Alicante.

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m) 81  
 Latitud: 38° 22' 21" N - Longitud: 0° 29' 39" O - Posición: Ver localización

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	11.7	17.0	6.3	23	67	3.6	0.0	0.2	0.2	0.4	8.0	181
Febrero	12.3	17.6	7.1	22	66	3.0	0.0	0.4	0.5	0.3	6.1	180
Marzo	14.2	19.6	8.9	23	65	3.4	0.0	0.4	0.6	0.0	6.5	227
Abril	16.1	21.3	10.9	29	63	4.1	0.0	1.6	0.2	0.0	5.5	247
Mayo	19.1	24.1	14.1	28	64	4.0	0.0	2.3	0.0	0.0	5.4	277
Junio	22.9	27.8	18.1	12	63	1.8	0.0	1.5	0.0	0.0	9.9	302
Julio	25.5	30.3	20.7	4	65	0.6	0.0	0.7	0.1	0.0	15.2	330
Agosto	26.0	30.8	21.2	7	67	1.1	0.0	1.1	0.0	0.0	12.7	304
Septiembre	23.5	28.5	18.5	56	69	3.3	0.0	2.7	0.1	0.0	6.5	250
Octubre	19.7	24.9	14.5	47	70	4.5	0.0	2.1	0.1	0.0	5.4	217
Noviembre	15.4	20.5	10.3	36	69	4.2	0.0	0.5	0.1	0.0	5.7	173
Diciembre	12.6	17.7	7.4	25	68	3.8	0.0	0.4	0.0	0.1	7.0	164
Año	18.3	23.3	13.2	311	66	37.5	0.0	13.8	1.9	0.9	95.2	2851

**Leyenda**

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Figura 67. Valores climatológicos normales. Alicante/Alacant (AEMET, n.d.)

## 3.5 Análisis energético del edificio

El análisis energético implica la realización de balances de masa y de energía. Los balances de energía facilitan el conocimiento de las energías que entran en juego, en un proceso o en un equipo y, permiten determinar las pérdidas y el rendimiento de estos. Sus resultados constituyen la base sobre la que se fundamentan las propuestas de mejora, y se pueden presentar de diversas formas, tales como diagramas y esquemas energéticos, histogramas, curvas monótonas, ratios energéticos y tablas de energías consumidas o producidas a lo largo del tiempo (día, semana, mes y año). Por otro lado, de acuerdo al Instituto Valenciano de la Edificación, se entiende como análisis energético lo siguiente:

“El análisis energético es el primer paso para promover la eficiencia energética en los edificios. Es el proceso que realiza un diagnóstico de la situación inicial del edificio, identificando los diferentes elementos que son responsables del consumo energético, y su importancia relativa en el conjunto. El análisis energético es fundamental en una intervención sobre edificios, debiendo adoptar una óptica permanente y transversal, dado que directa o indirectamente, la totalidad de actividades realizadas en los edificios implica un uso, en mayor o menor grado, de energía.”

### 3.5.1 Calificación energética del edificio

Para poder realizar el análisis energético del edificio, se optó por utilizar un programa que nos permitiera la obtención de una calificación de eficiencia energética del mismo. Habiendo dicho esto, se escogió el programa CERMA, una aplicación informática gratuita, que ha sido promovida por la Vicepresidencia Segunda y Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática de la Generalitat Valenciana, y desarrollada por el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) y la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), con la colaboración técnica del grupo FREDOSOL del Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

CERMA es una aplicación informática, que permite la obtención de la calificación de la eficiencia energética, en edificios de viviendas de nueva construcción o existentes para todo el territorio español, ofreciendo un estudio detallado para mejorar la calificación obtenida. Así mismo permite comprobar el cumplimiento del CTE 2019 en edificios de nueva construcción, y el cumplimiento del CTE en rehabilitación de edificios. Para realizar el estudio, se empleó la última versión disponible de CERMA, siendo esta la versión 5.04 (junio 2021), donde se ha modificado ampliamente el programa, y pese a que los proyectos realizados con versiones anteriores son compatibles con esta, se optó por reintroducir los datos nuevamente, y no sólo mantener los obtenidos por Serrano Lanzarote (2016), ya que al haber realizado el estudio con una versión anterior, se consideró que al no hacerlo, se crearían discrepancias al realizar la comparativa de las calificaciones energéticas del edificio.

Habiendo mencionado lo anterior, se introdujeron en el programa todas las características de los materiales del edificio y sus componentes, mencionados en el apartado 3.3 (Análisis y características del edificio) de este estudio, lo cual arrojó los siguientes datos:

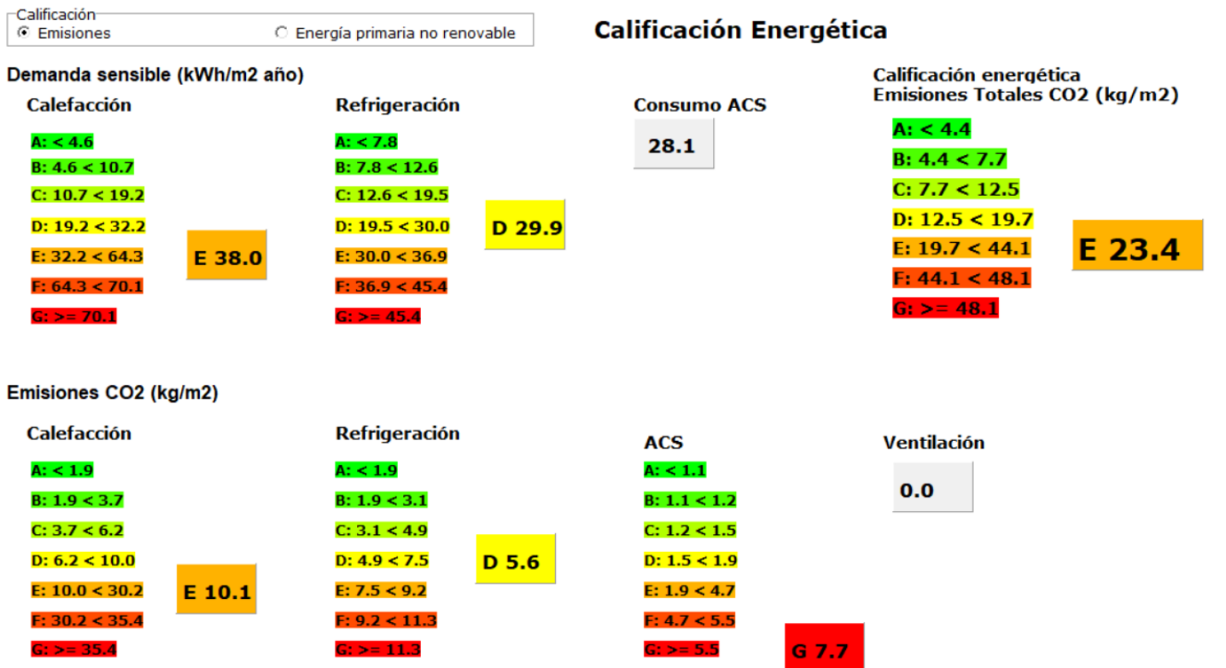


Figura 68. Calificación energética del edificio en relación a las emisiones (obtenido de CERMA V5.04)

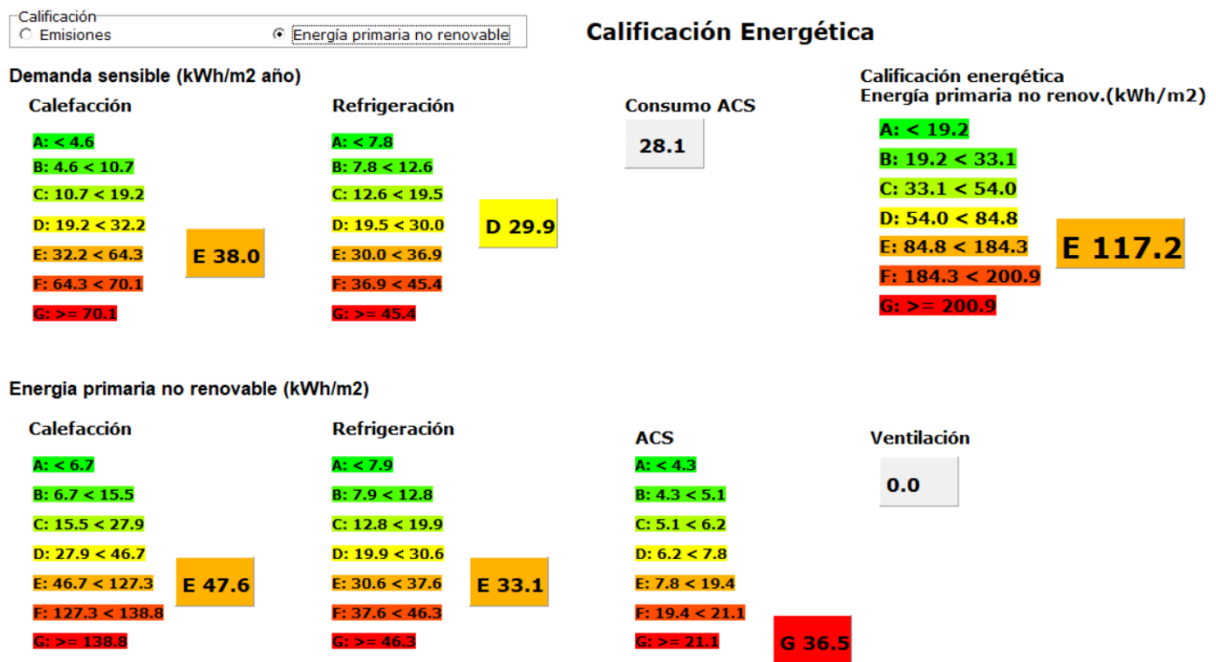


Figura 69. Calificación energética del edificio en relación a la energía primaria no renovable (obtenido de CERMA V5.04)

La etiqueta energética de una vivienda certificada contiene dos calificaciones en esta escala: una de emisiones, y otra de consumo de energía primaria no renovable. A veces estas dos calificaciones coinciden en la letra, pero en otros casos pueden ser diferentes. La calificación de emisiones mide el dióxido de carbono que se expulsa a la atmósfera con dicho consumo, y la calificación de energía primaria no renovable mide la energía que consume la vivienda.

Como se puede observar en las Figuras 68 y 69, el edificio tipo B cuenta con una calificación energética E. Para entender la calificación energética obtenida por el edificio que es nuestro caso de estudio, es importante mencionar que la escala de las certificaciones energéticas, cuenta con siete letras: A, B, C, D, E, F, y G; siendo la letra A la más eficiente, y la letra G la menos eficiente.

Según los datos del segundo informe del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) sobre el Estado de la Certificación Energética de los edificios, publicado en enero de 2015, y que recoge datos desde julio del 2013 hasta el 31 de diciembre del 2014, la calificación energética más frecuentemente obtenida es la E, con un 46% de los inmuebles, seguida de la G, con un 25% y la F con un 13% de los inmuebles existentes certificados.

### 3.5.2 Características de un certificado energético E

Aunque la letra E se encuentre en la parte baja de la tabla de calificaciones energéticas, no debemos considerarla una mala calificación. Dado el modelo de construcción que se ha seguido en España hasta el año 2007, un certificado energético E es un buen resultado, ya que la mayoría de viviendas construidas en nuestro país lo han hecho sin exigencias de aislamiento y sin incluir medidas de eficiencia energética. Podríamos decir sobre el consumo de la calificación E, lo siguiente:

- La Calificación E es de consumo parecido a las calificaciones F y G.
- La vivienda tipo E consume entorno a un 50% más que la D.
- La vivienda tipo E consume entre 2 y 3 veces más que la C.
- La vivienda tipo E consume entre 3 y 5 veces más que la B.
- La vivienda tipo E puede consumir entre 5 y 7 veces más que la A.

Un certificado energético E promedio, representa una vivienda construida entre el año 1981 y 2007, dentro de la normativa de construcción denominada NBE-CT-79, y representa este tipo de vivienda estándar:

- Viviendas construidas entre 1981-2007
- Muros de fachada con doble hoja con cámara de aire.
- Ventanas estándar de aluminio o pvc, vidrios simples o climalit.
- Aire acondicionado estándar por bomba de calor (frío y calor).
- Instalación de ACS por termo eléctrico, o calentadores atmosféricos de gas butano o gas natural.

## 4 La fachada vegetal vertical

En este capítulo se abordará lo referente a la propuesta de la envolvente del edificio, mediante el uso de un LWS en sus fachadas este y oeste. Se consideró que el primer paso a realizar dentro del mismo, es el establecer parámetros que nos permitan determinar, qué sistema de LWS se elegirá para aplicar en las fachadas previamente mencionadas. Esto con el fin, de poder observar las opciones en el mercado de dicho sistema y poder proceder a la elección del más viable para nuestro caso de estudio. Posterior a esto, se analizará la flora de la región, con el objetivo de determinar las plantas más adecuadas a utilizar en el proyecto.

Finalmente, habiendo determinado las variantes anteriormente citadas, se contará con toda la información necesaria para desarrollar el diseño de las fachadas y el análisis energético de las mismas; lo cual nos mostrará la interacción de estas con el edificio, con el fin de poder determinar si realmente el uso de las mismas, representa un beneficio en la calificación energética del inmueble.

### 4.1 Justificación del tipo del sistema de LWS elegido

En lo que concierne a la elección de que sistema de LWS es el más viable a aplicar, tanto en la fachada este como en la oeste del edificio que compete a este estudio, se tomó la decisión de establecer una serie de parámetros que nos permitieran realizar una comparación objetiva, entre los sistemas modulares a base de fieltro y los sistemas modulares con paneles plásticos. Esto con la finalidad de poder fijar criterios respecto a ambos, y así determinar en base a datos, cuál de ellos se presenta como la opción más favorable a aplicar en el edificio.

Para establecer los mismos, se tomaron en cuenta diversos factores que se consideraron en común para ambos, esto buscando analizar el impacto de estos sistemas en sus diversas fases. Habiendo mencionado lo anterior, y en base a las características que conciernen a los LWS en nuestro estudio previo, nos basamos en un estudio publicado por la Universidad Politécnica de Valencia (Soria Meliá, 2013), donde se establecen los siguientes indicadores, junto con sus respectivas características por sistema:

- Inversión
- Complejidad del sistema
- Mantenimiento
- Sustitución de plantas
- Factor estético
- Sistema de riego
- Daños asociados con el sistema

## Sistemas modulares a base de fieltro

- **Inversión:** en Europa el precio medio es de 500 €/m<sup>2</sup>.
- **Complejidad del sistema:** el peso de estos, permite un sistema de sujeción ligero, sencillo y económico en lo que se refiere a su instalación.
- **Mantenimiento:** necesita mucho mantenimiento y cuidado de forma permanente y continua. Por otro lado, el precio del mismo es elevado, y es absolutamente sensible a los fallos de riego ya que el fieltro no puede retener los nutrientes.
- **Sustitución de plantas:** una media de 15% de plantas al año, ya que estas tienden a secarse.
- **Factor estético:** con este sistema se pueden generar fachadas vegetales verticales irregulares, con grandes cambios de forma y volumen, esto debido a la densidad de plantas que permite su sistema constructivo.
- **Sistema de riego:** necesita un sistema complejo de riego y de filtrado, que aporte gran cantidad de agua y nutrientes. Este sistema pese a que puede ser automatizado, tiende a malgastar agua y necesita un sistema de recogida inferior y reutilización de la misma.
- **Danos asociados con el sistema:** este tipo de sistemas no afectan al cerramiento ya que las plantas no están en contacto con la construcción. Por otro lado, se prevén mecanismos de impermeabilización para evitar danos de humedad y agua en la superficie de instalación.

## Sistemas modulares con paneles plásticos

- **Inversión:** en Europa el precio medio es de unos 300 €/m<sup>2</sup>.
- **Complejidad del sistema:** este necesita de una estructura para la sujeción de los módulos, y su instalación además de ser lenta, necesita de mano de obra cualificada.
- **Mantenimiento:** estos requieren poca necesidad de mantenimiento y pueden ser muy económicos en lo que respecta al mismo. Por otro lado, estos sistemas son resistentes a fallos de riego, tanto más cuanto mayor sea su espesor.
- **Sustitución de plantas:** menos del 2% de plantas al año, ya que estas tienden a mantenerse en buen estado (dependiendo en gran medida de la eficiencia y el estado del sistema de riego)
- **Factor estético:** en este sistema se pueden colocar gran cantidad de plantas en disposiciones generalmente más uniformes.
- **Sistema de riego:** estos sistemas suelen tener poco consumo de agua y nutrientes. Estos suelen resolverse de forma sencilla mediante un sistema automatizado de riego por goteo, en el cual se colocan tubos entre los paneles.
- **Daños asociados con el sistema:** estos tipos de sistemas no afectan al cerramiento ya que las plantas no están en contacto con la construcción. Por otro lado, se prevén mecanismos de impermeabilización para evitar danos de humedad y agua en la superficie de instalación.

Por otro lado, es importante mencionar que un edificio energéticamente eficiente, utiliza tecnologías activas y pasivas para contrarrestar la pérdida de calor que afecta el consumo de energía; donde la mayor entrada de energía de un edificio se encuentra en los materiales, variable conocida como energía incorporada, por lo mismo para complementar los datos que nos ayudaron a la correcta elección del sistema, se tomó como base el estudio realizado por Oquendo-Di Cosola et al. (2020), en el cual se lleva a cabo la evaluación del ciclo de vida, o por sus siglas en inglés LCA (life cycle assessment), de ambos sistemas de LWS.

Es pertinente mencionar que, el enfoque del análisis del ciclo de vida se utiliza para evaluar el impacto de estas soluciones, centrándose en la fase de construcción, y su contribución tanto al balance energético, como a todo el ciclo de vida de un edificio. De acuerdo a Oquendo-Di Cosola et al. (2020), de los dos sistemas a través de la etapa de fabricación, construcción y mantenimiento, en lo que respecta a su ciclo de vida, el LWS a base de fieltro tiene un impacto en casi el 100% de las categorías analizadas (Figura 70), mientras que el LWS a base de módulos de plástico tiene la menor influencia en el impacto ambiental total (Figura 71).

En los resultados mostrados en este mismo estudio se nos presenta que, en todas las categorías de impacto evaluadas, el LWS modular a base de plástico es el que presenta el menor impacto ambiental; mostrando el mayor impacto en su fase de fabricación, seguida de su fase de uso (Figuras 70 y 71), presentándose como la principal diferencia entre ambos sistemas, los materiales empleados en los sistemas de soporte y anclaje. (Oquendo-Di Cosola et al., 2020)

El LWS a base de plástico es ligero debido a la reducida cantidad de materiales que lo conforman, lo que significa menos consumo de energía y menos impacto medioambiental. Por tanto, podría utilizarse como elemento constructivo en edificios, con el fin de reducir tanto el consumo de energía, como la incorporación de la misma. A diferencia de esto, el LWS hecho con capas de fieltro tiene el mayor impacto ambiental en casi todas las categorías. Esto es debido al impacto ambiental derivado del uso de aluminio para soportar el sistema, y el uso de fertilizantes durante la fase de uso del mismo. (Oquendo-Di Cosola et al., 2020)

Otros estudios han investigado el impacto ambiental de cuatro materiales comúnmente utilizados para el soporte de las fachadas vegetales verticales, y los resultados muestran que, el aluminio puede ser hasta 10 veces más contaminante que otros materiales como plásticos, madera y acero revestido. (Ottelé et al., 2011)



Environmental impacts for a 1 m<sup>2</sup> of the felt-based LWS.

Impact category	Units of measure	Manufacturing	Construction	Maintenance
Climate change	kg CO <sub>2</sub> eq	20.74%	0.00%	79.26%
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	26.73%	0.00%	73.26%
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	44.60%	0.00%	55.40%
Human toxicity, cancer effects	CTUh	48.06%	0.00%	51.94%
Particulate matter	kg PM2.5 eq	35.14%	0.00%	64.86%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	35.27%	0.00%	64.72%
Acidification	molc H <sup>+</sup> eq	23.46%	0.00%	76.53%
Terrestrial eutrophication	molc N eq	13.99%	0.00%	86.00%
Freshwater eutrophication	kg P eq	35.90%	0.00%	64.09%
Marine eutrophication	kg N eq	16.68%	0.00%	83.32%
Freshwater ecotoxicity	CTUe	60.04%	0.00%	39.95%
Land use	kg C deficit	5.20%	0.00%	94.79%
Water resource depletion	m <sup>3</sup> water eq	4.31%	0.00%	95.69%
Mineral, fossil & renewable resource depletion	kg Sb eq	92.52%	0.00%	7.48%

Figura 70. Tabla de impacto ambiental de 1m<sup>2</sup> de LWS a base de feltros geotextiles (obtenido de Oquendo-Di Cosola et al. 2020)

Environmental impacts for 1 m<sup>2</sup> of the plastic-based LWS.

Impact category	Unit of measure	Manufacturing	Construction	Maintenance
Climate change	kg CO <sub>2</sub> eq	99.73%	0.26%	0.00%
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	99.83%	0.16%	0.00%
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	99.99%	0.01%	0.00%
Human toxicity, cancer effects	CTUh	99.99%	0.01%	0.00%
Particulate matter	kg PM2.5 eq	99.87%	0.13%	0.00%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	99.86%	0.13%	0.00%
Acidification	molc H <sup>+</sup> eq	99.76%	0.24%	0.00%
Terrestrial eutrophication	molc N eq	99.81%	0.19%	0.00%
Freshwater eutrophication	kg P eq	99.99%	0.00%	0.00%
Marine eutrophication	kg N eq	99.83%	0.17%	0.00%
Freshwater ecotoxicity	CTUe	99.99%	0.06%	0.00%
Land use	kg C deficit	97.13%	0.09%	0.00%
Water resource depletion	m <sup>3</sup> water eq	0.80%	0.03%	99.17%
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	99.99%	0.01%	0.00%

Figura 71. Tabla de impacto ambiental de 1m<sup>2</sup> de LWS a base de módulos de plástico (obtenido de Oquendo-Di Cosola et al. 2020)

En base a lo antes mencionado respecto al estudio de Oquendo-Di Cosola et al. (2020), este mismo llegó a las siguientes conclusiones:

- Los LWS a base de plástico muestran un menor impacto durante la fase de fabricación, fase de construcción y posterior mantenimiento.
- El impacto medioambiental de los LWS a base de plástico muestra un menor impacto con respecto al LWS a base de fieltro, debido a la baja masa de materiales utilizados. Este impacto podría reducirse aún más mediante la sustitución de materiales como el poliéster, así como otros textiles reciclados, y el uso de aluminio reciclado para los anclajes del sistema.
- El LWS a base de fieltro tiene un soporte de aluminio que afecta profundamente a la carga ambiental. Además de esto, el uso de fertilizantes durante el ciclo de vida implica un impacto significativo; una opción de menor impacto sería el uso de un abonos orgánicos o leguminosas.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se puede concluir que la opción que se presenta como la más favorable para nuestro caso de estudio, por aspectos como lo son su precio de inversión inicial por m<sup>2</sup>, el mantenimiento requerido anualmente, el porcentaje de plantas a remplazar, y la cantidad de agua y nutrientes requeridos para el mismo, es el LWS modular a base de paneles. Se llegó a esta conclusión ya que, pese a contar con algunas desventajas claras como lo son la complejidad en su instalación y las limitantes en los diseños posibles en lo que respecta al factor estético, éstas no se consideraron como variables suficientes o primordiales al momento de la elección del sistema a utilizar para vestir las fachas este y oeste del edificio que compete a este estudio.

Por otra parte, pero en el mismo orden de ideas, ya habiendo seleccionado el LWS modular a base de paneles, es importante recordar que estos pueden presentarse en dos tipos de materialidades, la metálica y la plástica. En lo que respecta a este tema, se optó por emplear los paneles plásticos ya que, como nos muestra el estudio de Ottelé et al. (2011), los conformados por módulos y estructura metálica, son mucho más nocivos y contaminantes para el medio ambiente.

Para concluir, la decisión de optar por el LWS modular a base de paneles plásticos, se ve reforzada por el estudio realizado por Oquendo-Di Cosola et al. (2020), ya que este nos muestra que, a pesar de que estos implican un mayor impacto ambiental en su fase de fabricación, superan a los LWS a base de fieltros geotextiles en el resto de categorías, principalmente en la fase de mantenimiento, ya que dentro de la misma, todas las variables a excepción de la que compete al agotamiento de los recursos hídricos, cuentan con un valor del 0%, por lo cual este tipo de sistema, al contar con un bajo porcentaje de plantas a remplazar y un escaso mantenimiento, se presenta como una opción más sostenible a largo plazo, lo cual beneficia el factor principal que se busca alcanzar con este estudio, el cual es mejorar la calificación energética del edificio mediante medios pasivos sostenibles, y amigables con el medio ambiente.

## 4.2 Tipos de LWS de sistemas modulares plásticos en el mercado

Habiendo establecido que sistema de LWS se ocupará para vestir las fachadas este y oeste del edificio que concierne a este estudio, se buscaron diferentes opciones de estos en el mercado, dejando fuera de consideración los conformados por módulos metálicos que, como se observó en el apartado anterior, son mucho más contaminantes que los hechos a base de plástico, u otras opciones similares.

Pese a que existen muchas opciones en el mercado, nuestra búsqueda de opciones se limitó a las cuales nos proporcionarían datos suficientes para llevar a cabo una correcta visualización de los factores que componen a los muros. Partiendo de esta premisa, se seleccionaron tres sistemas modulares, con paneles elaborados a base de polipropileno (PP), polímero termoplástico obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo; Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. Este material cuenta con una conductividad térmica de  $0,22 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ .

En base a lo anterior, y debido a que muchas de las opciones en el mercado no muestran la suficiente información de los componentes de sus sistemas, se seleccionaron las siguientes opciones disponibles en el mercado:

- VersiWall® GM (VGM)
- Muros Verdes NaturPots
- MOBIPANEL

### 4.2.1 Sistema modular VersiWall® GM (VGM)

Este sistema desarrollado por la empresa Elmich con sede en Singapur, se encuentra compuesto por una estructura de anclaje metálica y módulos verticales de polipropileno de 60 x 50 cm, de 15 o 25 cm de espesor, ensamblados a partir de paneles estructurales livianos de alta resistencia, que incorporan clips de enclavamiento a presión para un fácil ensamblaje. El panel frontal tiene una rejilla única para permitir la plantación de hasta dieciséis plantas por módulo (Figura 73).

Los módulos VGM contienen un revestimiento de geotextil en el que se coloca una mezcla de siembra adecuada, a la cual posteriormente se le introducen las plantas (Figura 72). Los módulos se plantan previamente en un entorno de vivero para permitir que se produzca el establecimiento adecuado antes de la instalación en el sitio. Las bandejas que conforman el sistema, cuelgan de pilas que están atornilladas a la pared verde vertical, y pueden fijarse directamente sobre la fachada, o sobre un entramado de perfilera vertical y horizontal anclada a la misma (Figura 74).

Las instalaciones del módulo VGM requieren sistemas de riego por goteo que se colocan a intervalos apropiados entre las bandejas, dependiendo de la altura de las paredes. El agua y nutrientes se filtran a través de las celdillas interiores hasta empapar la tierra. Puede disponer también de sistema de recogida de agua inferior.

Las instalaciones de VGM son ideales para proyectos de revestimiento de paredes comerciales que proporcionan aislamiento acústico y térmico, sin mencionar el jardín vertical que proporciona interés estético.



Figura 72. Instalación de las plantas en los módulos (<https://elmich.com/asia/products/vgm-greenwall/>)

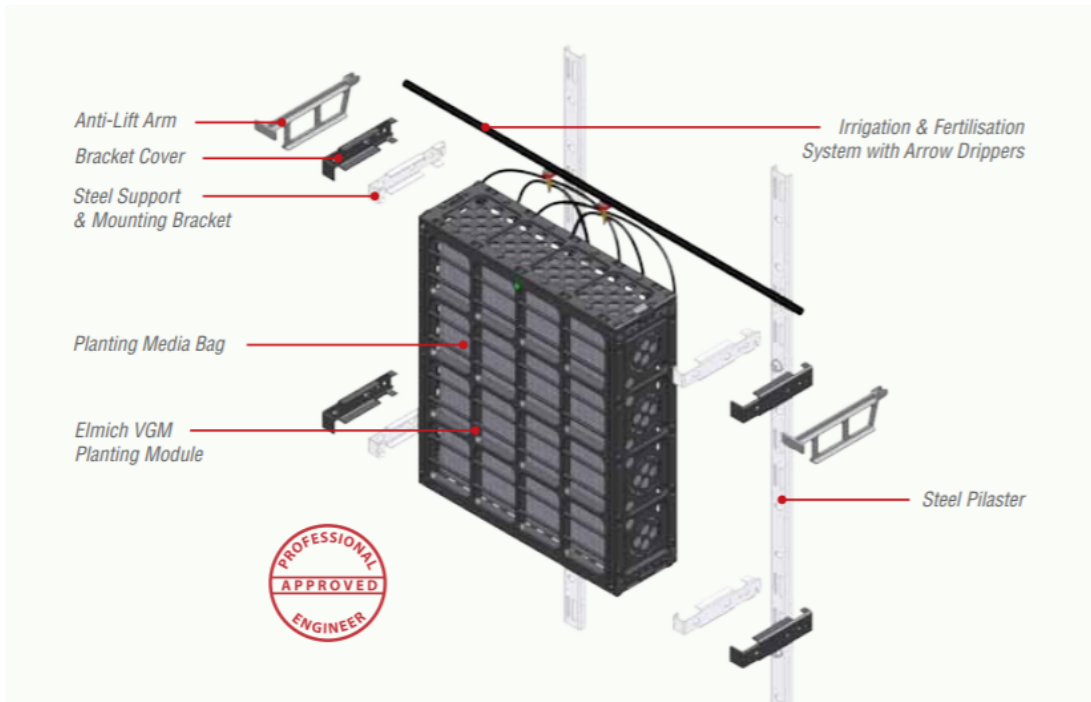


Figura 73. Despiece del sistema (<https://elmich.com/asia/products/vgm-greenwall/>)



Figura 74. Ejemplo de instalación sobre un muro y producto final (<https://elmich.com/asia/products/vgm-greenwall/>)

#### 4.2.2 Sistema modular NaturPots

El sistema NaturPots ha sido desarrollado y comercializado por la empresa española Paisajismo Urbano, el mismo cuenta con una estructura de anclaje plástica y está conformado por tres capas principales (Figura 76); la primera capa, está formada por un marco de polipropileno NaturPots de reciclaje, con dimensiones de 47,1 x 15,6 x 1,5 cm y se ancla al elemento vertical mediante tornillería; la segunda capa se forma por tres recipientes NaturPots de polipropileno de reciclaje, con dimensiones de 15,5 x 12,5 x 14,5 cm, los cuales se encajan en el marco de la primera capa (cada maceta tiene una capacidad de 1,25 litros de tierra, en la que contiene los sustratos); por último, la capa final está constituida por una cobertura vegetal formada por las especies seleccionadas según las características de la obra. Este sistema, incorpora un sistema de riego NaturPots con temporizador mediante tuberías de polietileno de 1,2 cm de diámetro.

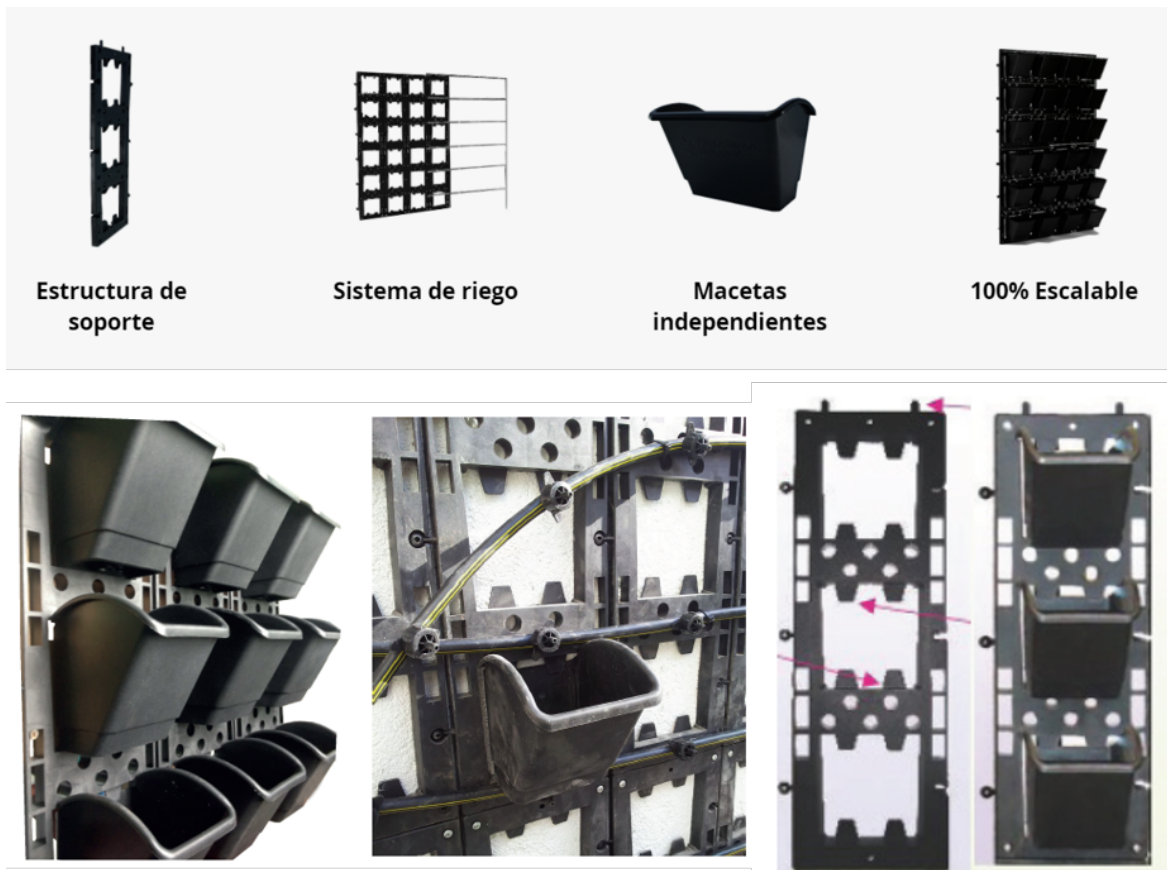


Figura 75. Elementos componentes de la primera capa, segunda capa y sistema de riego ([https://paisajismourbano.com/es\\_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots](https://paisajismourbano.com/es_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots))



Figura 76. Capas principales que componen el sistema ([https://paisajismourbano.com/es\\_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots](https://paisajismourbano.com/es_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots))

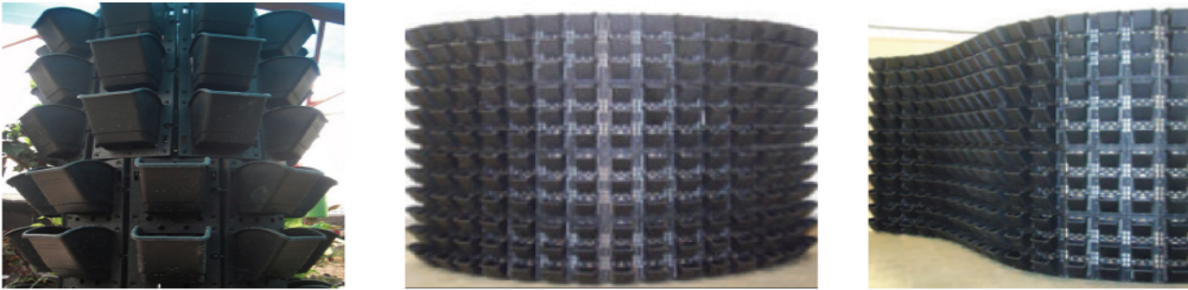


Figura 77. Muros curvos conformados por el sistema NaturPots ([https://paisajismourbano.com/es\\_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots](https://paisajismourbano.com/es_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots))





Figura 78. Ejemplo de aplicación del sistema NaturPots ([https://paisajismourbano.com/es\\_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots](https://paisajismourbano.com/es_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots))



Figura 79. Ejemplo de aplicación del sistema NaturPots ([https://paisajismourbano.com/es\\_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots](https://paisajismourbano.com/es_ES/sistema-jardin-vertical-modular-naturpots))

### 4.2.3 Sistema modular MobiPanel

Sistema desarrollado por la empresa Mobilane con sede en Reino Unido, constituido a base de módulos intercambiables que pueden ser desmontados, reensamblados y reciclados, montados sobre una estructura de anclaje metálica. El sistema está compuesto por materiales resistentes a la corrosión, y perfiles que se pueden instalar tanto en horizontal como en vertical, según el formato y disposición de la pared trasera. Los perfiles proporcionan la estructura portante para sus módulos, denominados cassettes y píxeles, según sus dimensiones. Los cassettes cuentan con unas dimensiones de 40 x 40 cm, mientras que los píxeles, son de 20 x 20 cm (Figura 80).

Los casetes están equipados con dos espaciosas ranuras para plantas de diferentes tamaños, mientras que los píxeles sólo cuentan con un espacio. Los casetes, los píxeles y la cubierta están hechos de un material ignífugo (B-s2, d0), material ligero, resistente a los rayos UV, transpirable (para un buen crecimiento de las raíces) y completamente reciclable.

La estructura portante de los módulos se realiza mediante perfiles llamados omega, los cuales cuentan con un tamaño estándar de 120 cm para transporte eficiente, y están hechos de acero Magnelis de alta calidad y extremadamente resistente a la corrosión. El patrón de orificios perforados es adecuado tanto para la instalación vertical como horizontal del perfil, lo que proporciona espacio para que las tuberías de agua y los cables eléctricos pasen con facilidad (Figura 81). Además, esto permite su uso en paredes de respaldo planas y curvas.

El riego de la fachada MobiPanel, puede ser realizado mediante un sistema automatizado, siempre teniendo en consideración que, el consumo de agua de este varía de una temporada a otra y depende del clima y el tipo de plantación, contando con un consumo máximo de agua de aproximadamente 4 litros por m<sup>2</sup> por día en períodos calurosos (Figura 82).

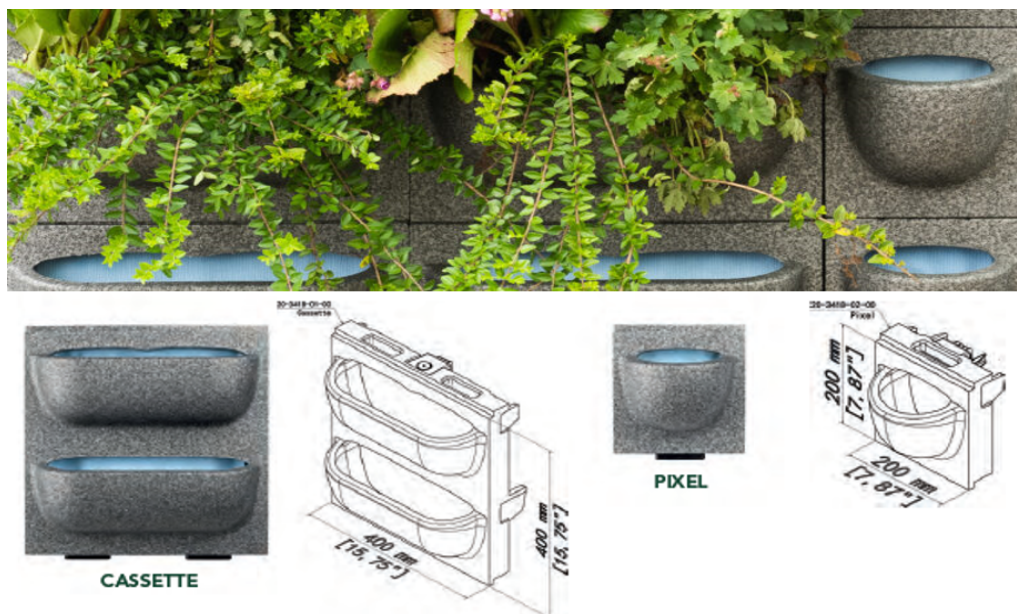


Figura 80. Módulos plásticos "cassettes" y "píxeles" (<https://mobilane.com/en/products/mobipanel-living-wall/>)



Figura 81. Montaje de módulos sobre perfilera omega (<https://mobilane.com/en/products/mobipanel-living-wall/>)

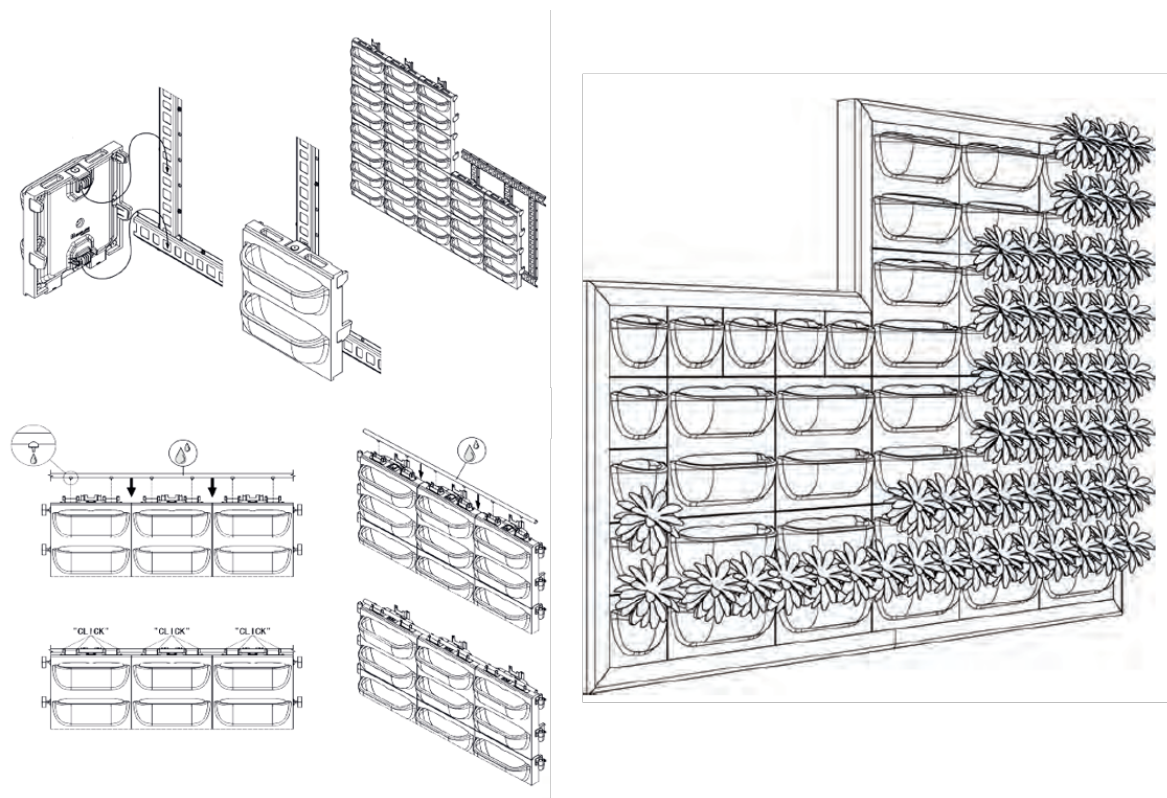


Figura 82. Montaje de sistema de riego y vegetación en sistema MobiPanel (<https://mobilane.com/en/products/mobipanel-living-wall/>)

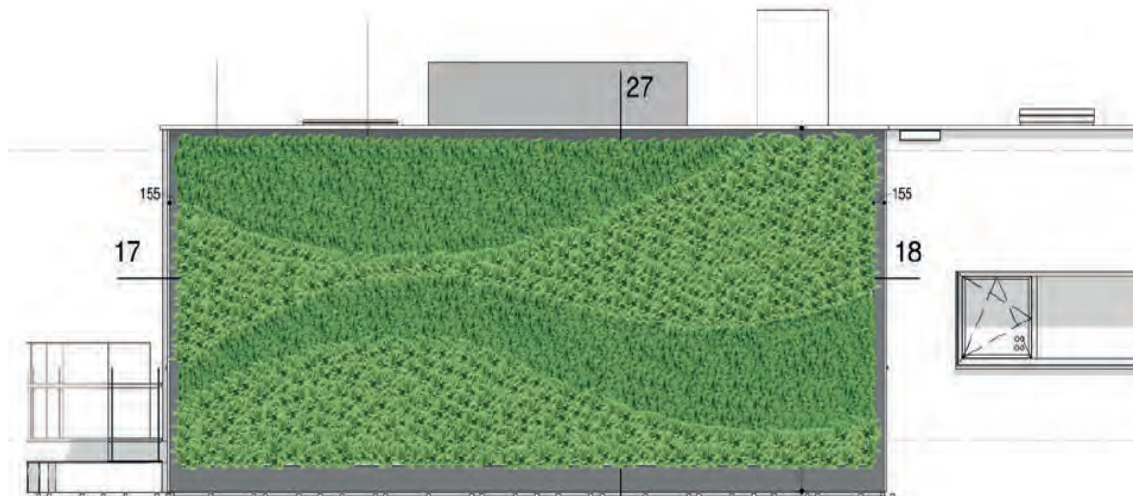


Figura 83. Diseño de fachada con paneles Mobipanel (<https://mobilane.com/en/products/mobipanel-living-wall/>)

### 4.3 Tipo de LWS elegido

Para la elección del sistema que más se acoplara a la tipología de fachadas donde se busca instalar la fachada verde vertical, y en base a la información obtenida de los mismos según los proveedores de cada uno y los sitios oficiales de estos, se decidió considerar los siguientes factores para la elección del sistema:

- **Sede de producción:** al dos de los tres sistemas elegidos dentro de este estudio, contar con sede fuera de España, se consideró que la mejor opción a utilizar, en lo que respecta a este aspecto, es elegir el que fuese producido lo más cercano posible al lugar de implantación, esto buscando reducir el trayecto del mismo, y con esto el daño medio ambiental que genera el traslado mediante medios de transporte, esto disminuyendo en medida de lo posible, la cantidad de kilómetros a recorrer entre el lugar de producción, y el emplazamiento de instalación.
- **Materialidad:** otro factor determinante para la elección de que sistema utilizar, fue la materialidad que conforma los mismos por lo cual, pese a que los tres sistemas son conformados por “macetas” plásticas a base de polipropileno, se buscó excluir las que utilizaran fieltros geotextiles para cubrir sus panales, y en medida de lo posible, las que contaran con estructura metálica, la cual como se ha mencionado anteriormente, es mucho más nociva para el medio ambiente, en comparación con la plástica.
- **Sustitución de plantas:** se considera un factor de alta importancia para la elección del sistema ya que, pese a que pese a que los sistemas modulares a base de paneles, pueden requerir un 2% de plantas a sustituir anualmente, no deja de ser una tarea a considerar para la elección del sistema

- **Factor estético:** Al ser las fachadas donde se busca implementar el sistema de muro verde, fachadas planas, no se consideró el factor estético como un factor determinante en la elección del sistema ya que, pese a que sólo dos de los tres mencionados anteriormente permiten la composición de fachadas curvas, esto no es un factor necesario dentro del diseño de las fachadas del edificio correspondiente a este estudio, pese a que esto podría ser un factor determinante en otro tipo de implantaciones.
- **Sistema de Riego:** En lo que respecta al sistema de riego, este no fue un factor determinante en la decisión de uno u otro sistema, ya que los tres cuentan con un sistema que puede ser automatizado, esto en busca de optimizar, mejorar y reducir, el consumo de agua en la fachada verde vegetal, esto buscando obtener el menor desperdicio posible del recurso hídrico.

Habiendo mencionado lo anterior y en lo referente al tema del emplazamiento de producción de los sistemas, el sistema NaturPots, se presentó como la mejor opción a elegir para implementar en las fachadas este y oeste del edificio que compete este estudio. Esto debido a que cuenta con la sede de manufactura más cercana al lugar de emplazamiento.

En lo que se refiere a la materialidad de los elementos, el sistema VersiWall cuenta con una capa geotextil que recubre los paneles plásticos, y el sistema MobiPanel cuenta con una estructura de soporte y anclaje, que como se menciona anteriormente, son materiales más nocivos para el planeta, en compasión con el plástico, por lo cual, al el sistema NaturPots al contar con una estructura de polipropileno de reciclaje, tanto en su estructura de soporte como en sus macetas independientes, limitándose al uso de materiales metálicos solo en su tornillería, se vuelve a presentar como la opción más viable.

En lo que respecta a la sustitución de plantas, a excepción del sistema VersiWall, el cual precisa en ocasiones reemplazar el fieltro textil que recubre el panel que lo conforma, lo cual podría requerir de una mano de obra especializada, tanto el sistema MobiPanel como en el sistema NaturPots, el reemplazar la vegetación no se presenta como una tarea compleja. Por otro lado, el reemplazar los paneles de cada uno de los sistemas resulta una tarea relativamente fácil dependiendo la altura del muro, ya que en ocasiones se puede necesitar mano de obra especializada en lo que respecta a los trabajos de altura (trabajadores capacitados como infraestructura para realizar los trabajos).

En lo que concierne tanto al factor estético como al sistema de riego, no fueron factores determinantes para la elección entre un sistema u otro, ya que en lo que se refiere al factor estético, las tres opciones mencionadas previamente, presentan características que fácilmente se acoplan a las fachadas del edificio caso del estudio. En cuanto al sistema de riego, al poder ser automatizado para obtener la máxima eficiencia del mismo, y por lo tal el menor desperdicio de agua posible, las tres opciones se consideraron como opciones viables y equiparables.

Con todo lo mencionado anteriormente, pese a que en algunos aspectos el sistema NaturPots puede ser equiparado por el MobiPanel, este se presenta como la opción más viable para nuestro proyecto.

## 4.4 Especies vegetales seleccionadas para el proyecto

### 4.4.1 Flora de la región

La flora de la Comunidad Valenciana pertenece biogeográficamente al Reino Holártico, y más concretamente a la región mediterránea; dentro de esta, se pueden distinguir dos zonas: la zona Norte, que recolecta más lluvias y está conformada por una vegetación más abundante; y la zona semiárida del sur, con lluvias de los 300 mm/año y, con un periodo de sequía prolongado. En la tabla siguiente puede observarse más detalladamente a que subzonas biogeográficas pertenece concretamente cada área de la Comunidad Valenciana (Figura 84):

Zonas biogeográficas de la Comunidad Valenciana							
Reino	Región	Subregión	Provincia	Subprovincia	Sector		
Holártico	Mediterránea	Mediterránea Occidental	Valenciano-Catalano-Provenzal	Catalano-Valenciana	1.1	Valenciano-Tarraconense	
					1.2	Setabense	
			Castellano-Maestrazgo-Manchega	Castellana	2.2	Manchego	
					Oroibérica	2.3	
			Murciano-Almeriense		3	Alicantino-Murciano	

Figura 84. Zonas biogeográficas de la Comunidad Valenciana. (Salvador Rivas-Martínez, Tomás E. Díaz, et al., 2002; Salvador Rivas-Martínez, Tomás E. Díaz, et al., 2002)

Debido a su ubicación geográfica, la vegetación típica de la Comunidad Valenciana es el bosque mediterráneo, que se caracteriza por estar constituida por vegetación de hoja perenne y xerófila. La especie climática y dominante en la región es la carrasca, siendo el pino carrasca la especie más abundante en la región. Otras especies que podemos encontrar en la región son los quejigos, las encinas y los alcornoques, siendo estos últimos especies que se desarrollan en zonas de sustratos ácidos, así como el olivo, el almendro, el algarrobo, el árbol del caqui y el naranjo, árbol sumamente representativo en la comunidad. El sotobosque dominante está compuesto por especies leñosas de tipo espinoso y aromático, como el romero, el tomillo, la coscoja, el lentisco, el mirto, el hinojo, la aliaga y la jara. En torno a los cauces y a las zonas húmedas son abundantes los bosques de ribera y la vegetación palustre, formada por árboles como los álamos, los olmos y los sauces llorones, y por especies herbáceas como las cañas, los carrizos y la mansiega, entre otras muchas especies.

Pero si nos atenemos a la historia, la vegetación potencial de la mayor parte del territorio que ocupa el Paisaje Protegido de la Serra del Maimó y Serra del Sit era el Carrascal. Sin embargo, si a las condiciones climáticas actuales le unimos la continua degradación que ha sufrido la encina

(carrasca), árbol que históricamente ha poblado la España seca, nos encontramos con una vegetación pobre y dispersa, aunque muy variada y dominada por especies de hoja perenne. (Conselleria de Agricultura Desarrollo Rural Emergencia Climática y Transición Ecológica, 2015)

En la actualidad, apenas existen reductos de lo que en antaño fueron grandes bosques de encinas, como las pequeñas agrupaciones que pueden observarse en barrancos del Cid, Catí, Caprala, faldas del Maigmó o la zona del Carrascalet, en la sierra de l'Argüenya, sin lugar a dudas la zona mejor conservada. En estas zonas es frecuente el laurel (*Laurus nobilis*), la rubia (*Rubia peregrina*), el madroño (*Arbutus unedo*), la sabina negral (*Juniperus phoenicea*), el enebro (*Juniperus oxycedrus*), el enebro común (*Juniperus communis*), el labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), el aladierno (*Rhamnus alaternus*), la madreSelva (*Lonicera implexa*) y las esparragueras (*Asparagus horridus*). (Conselleria de Agricultura Desarrollo Rural Emergencia Climática y Transición Ecológica, 2015)

#### 4.4.2 Especies endémicas seleccionadas para el proyecto

En base a las características del clima de la ciudad de Alicante descritas en capítulos anteriores, y las dimensiones de las macetas del sistema NaturPots que se utilizará para vestir las fachadas del edificio que compete a este estudio, se buscaron plantas que se adecuaran tanto al tipo de clima del entorno inmediato, como al diseño de las macetas que contendrán las mismas. Dicho esto, se priorizó el elegir especies autóctonas de la región mediterránea, esto con el objetivo de promover y mantener la flora endémica de la región; reduciendo el impacto ambiental y, no sólo aportando una característica meramente estética a la visual del elemento, pero dotándolo de un valor agregado.

Para la elección de las plantas autóctonas de la región mediterránea, se tomó como referente el documento facilitado por la Consellería de Medio Ambiente de la Comunidad Valenciana, "Jardinería Mediterránea III. Catálogo de plantas". Dentro de la gran variedad presentada en este catálogo, se buscaron plantas que reunieran un conjunto de características específicas, las cuales se presentan como favorables para el lugar de emplazamiento elegido, como lo son la tolerancia a la sequía y a las situaciones soleadas, o en su defecto tolerancia a la salinidad o a los ambientes litorales. Por otro lado se buscaron plantas que contaran con una altura de entre los 40cm como mínimo y los 150cm como máximo, esto buscando cubrir las macetas que conforman el sistema NaturPots.

A continuación, se dará un breve listado de las plantas seleccionadas y sus características principales, acompañando cada una de ellas de imágenes, que permitan poder crear una referencia visual de las mismas:

- *Capparis spinosa*
- *Centaurea ragusina*
- *Festuca arundinacea*
- *Hebe speciosa*
- *Rosmarinus officinalis* "Prostratus"
- *Setcreasea pallida* "Purple Heart"

#### 4.4.2.1 *Capparis Spinosa*

<b>CAPPARIS SPINOSA</b>	
<b>ALTURA</b>	20 - 50 cm.
<b>ANCHURA</b>	60- 150 cm
<b>PORTE</b>	Arbustivo.
<b>HOJAS</b>	Caducas.
<b>FORMA</b>	Crecimiento postrado o colgante, tallos de crecimiento horizontal.
<b>INTERÉS</b>	Vegetación para crear manchas de colores.
<b>COLOR DE LAS FLORES</b>	Flores blancas con estambres púrpura.
<b>FLORACIÓN</b>	Verano.
<b>OBSERVACIONES</b>	Planta muy tolerante a la sequía de la floración continuada todo el verano. Los capullos florales son comestibles (alcaparras), así como frutos tiernos.
<b>USO EN LA FACHADA</b>	Con esta especie se busca crear agrupaciones de gran densidad que cubrirán grandes espacios de la fachada.



Figura 85. Tabla informativa de la *Capparis Spinosa* (elaboración propia)



#### 4.4.2.2 *Centaurea Ragusina*

<b>CENTAUREA RAGUSINA</b>	
<b>ALTURA</b>	30- 60 cm.
<b>ANCHURA</b>	40- 60 cm.
<b>PORTE</b>	Subarbustivo.
<b>HOJAS</b>	Persistentes.
<b>FORMA</b>	Tallos cortos y ramificados con vegetación densa.
<b>INTERÉS</b>	Hojas de color blanco con tonos plateados.
<b>COLOR DE LAS FLORES</b>	Amarillo.
<b>FLORACIÓN</b>	Verano.
<b>OBSERVACIONES</b>	Tolera situaciones soleadas, así como también la sequía. Esta especie es sensible a los suelos compactos y muy húmedos.
<b>USO EN LA FACHADA</b>	Con esta especie se busca crear agrupaciones de gran densidad que cubrirán grandes espacios de la fachada.



Figura 86. Tabla informativa de la *Centaurea Ragusina* (elaboración propia)

#### 4.4.2.3 *Festuca Arundinacea*

FESTUCA ARUNDINACEA	
<b>ALTURA</b>	10-80 cm.
<b>ANCHURA</b>	20-80 cm.
<b>PORTE</b>	Herbáceo.
<b>HOJAS</b>	Perennes.
<b>FORMA</b>	Rizoma corto, matas densamente cespitosas.
<b>INTERÉS</b>	Vegetación.
<b>COLOR DE LAS FLORES</b>	-
<b>FLORACIÓN</b>	-
<b>OBSERVACIONES</b>	Gramínea de bajo mantenimiento. Moderadamente tolerante a la sequía y a la salinidad. Prefiere situaciones soleadas en suelos algo profundos.
<b>USO EN LA FACHADA</b>	Para crear un fondo verde uniforme en el diseño de la fachada vegetal.



Figura 87. Tabla informativa de la *Festuca Arundinacea* (elaboración propia)

#### 4.4.2.4 *Hebe Speciosa*

HEBE SPECIOSA	
<b>ALTURA</b>	80-150 cm.
<b>ANCHURA</b>	80-150 cm
<b>PORTE</b>	Arbustivo
<b>HOJAS</b>	Perennes.
<b>FORMA</b>	Tronco principal definido, ramificación regular, forma redondeada;
<b>INTERÉS</b>	Vegetación para crear manchas de colores.
<b>COLOR DE LAS FLORES</b>	Flores rojo oscuro a violeta.
<b>FLORACIÓN</b>	Primavera a otoño.
<b>OBSERVACIONES</b>	Moderadamente resistente a los ambientes litorales. Prefiere situaciones soleadas.
<b>USO EN LA FACHADA</b>	Crear elementos icónicos y característicos en distintos puntos de la fachada, esto para enriquecer el diseño.



Figura 88. Tabla informativa de la *Hebe Speciosa* (elaboración propia)

#### 4.4.2.5 *Rosmarinus Officinalis* “Prostratus”

ROSMARINUS OFFICINALIS “PROSTRATUS”	
<b>ALTURA</b>	10- 80 cm.
<b>ANCHURA</b>	60- 200 cm.
<b>PORTE</b>	Arbustivo.
<b>HOJAS</b>	Perennes.
<b>FORMA</b>	Troncos principales definidos, cortos y muy ramificados, de vegetación densa. Ramas de tendencia colgante o postrado.
<b>INTERÉS</b>	Vegetación para crear manchas de colores.
<b>COLOR DE LAS FLORES</b>	Flores azules intenso.
<b>FLORACIÓN</b>	Otoño a primavera.
<b>OBSERVACIONES</b>	Crecimiento rápido. Prefiere situaciones soleadas y suelos secos; se desarrolla mejor en los calcáreos. Sensible al exceso de agua.
<b>USO EN LA FACHADA</b>	Para crear acentos de color y buscando aprovechar su aroma.



Figura 89. Tabla informativa de la *Rosmarinus Officinalis* “Prostratus” (elaboración propia)

4.4.2.6 *Setcreasea Pallida* “Purple Heart”

SETCREASEA PALLIDA ‘PURPLE HEART’	
<b>ALTURA</b>	20-40 cm.
<b>ANCHURA</b>	40-80 cm.
<b>PORTE</b>	Herbáceo.
<b>HOJAS</b>	Perennes.
<b>FORMA</b>	Tallos numerosos que emergen de un rizoma corto y de estolones, postrados o decumbentes, no muy largos.
<b>INTERÉS</b>	Vegetación de color lila intenso.
<b>COLOR DE LAS FLORES</b>	Morado pálido.
<b>FLORACIÓN</b>	Poco interés.
<b>OBSERVACIONES</b>	Crecimiento rápido. Tolera el sol directo, pero se desarrolla mejor en semisombra. Suelos algo fértiles.
<b>USO EN LA FACHADA</b>	Para crear acentos de color en la fachada.



Figura 90. Tabla informativa de la *Setcreasea Pallida* “Purple Hearth” (elaboración propia)

## 4.5 Propuesta de diseño de la fachada

Pese a que el enfoque principal de este estudio, busca analizar la mejora de la calificación energética de un edificio a través del uso de fachadas vegetales verticales, y no abarcar lo referente al diseño estético, montaje y mantenimiento de la misma, se elaboró una propuesta meramente representativa de esta, con el fin de poder mostrar gráficamente uno de los tantos aspectos visuales que podría tener, al ser implantada en el edificio que compete este estudio.

El diseño propuesto, plantea una serie de curvas que separan cada tipo de planta en secciones, creando así franjas vegetales diferenciadas unas de las otras, tanto por forma como por color. Esto explorando el generar una propuesta que, pese a ser plana en su forma, rompiera con la ortogonalidad de la fachada a través de líneas orgánicas, en la búsqueda de generar un contraste visual, formal y material. Por otro lado, no se descarta la viabilidad de la aplicación de un diseño diferente, ni se da como el más viable el propuesto en este estudio, ya que al referirse a una cuestión estética, la misma cuenta con un carácter intrínseco de subjetividad, lo cual permite una infinidad de posibles opciones factibles para las fachadas, regidos en gran medida por el sistema a utilizar, ya que en ocasiones, el mismo puede limitar las formas a adoptar de los elementos.

Dentro del mismo orden de ideas, se puede mencionar que el sistema de LWS elegido para conformar la fachada vegetal vertical del edificio, permite el ser dispuesto en distintas configuraciones, pudiendo crear franjas de cada planta o cuadrantes más angulares, donde se pueden disponer de las plantas ya sea de manera aleatoria o más organizadas, lo cuál no generará cambios representativos en la calificación energética del edificio.

Aunque se entiende que el abanico de diseños posibles para una fachada vegetal vertical es muy amplio, se ha tomado como lineamiento principal de diseño el utilizar productos que, en medida de lo posible, generen el menor impacto ambiental posible, y que además cuenten con materiales que puedan ser reciclados. Hoy en día se cuenta con gran variedad de opciones para el desarrollo de fachadas vegetales verticales, lo cual nos permite elegir de entre una gran diversidad de opciones, cual es la que mejor se acopla a las necesidades de nuestro diseño, esto buscando cumplir tanto los objetivos generales como específicos del proyecto, y dejando en segundo grado a las funciones estéticas del mismo; priorizando así las necesidades de los usuarios directos e indirectos, y no la forma del objeto.

A continuación se presentan una serie de figuras (Figuras 91-98) generadas a través de medios digitales, con el objetivo de permitirle al lector el visualizar de manera más gráfica, la interacción de las fachadas vegetales verticales implantadas en la fachada este y oeste del edificio tipo B del conjunto de edificios en bloque, con su entorno inmediato.



Figura 91. Vista aérea de la fachada oeste del edificio (elaboración propia)



Figura 92. Vista ortogonal de la fachada oeste del edificio (elaboración propia)



Figura 93. Vista aérea de la fachada este del edificio (elaboración propia)

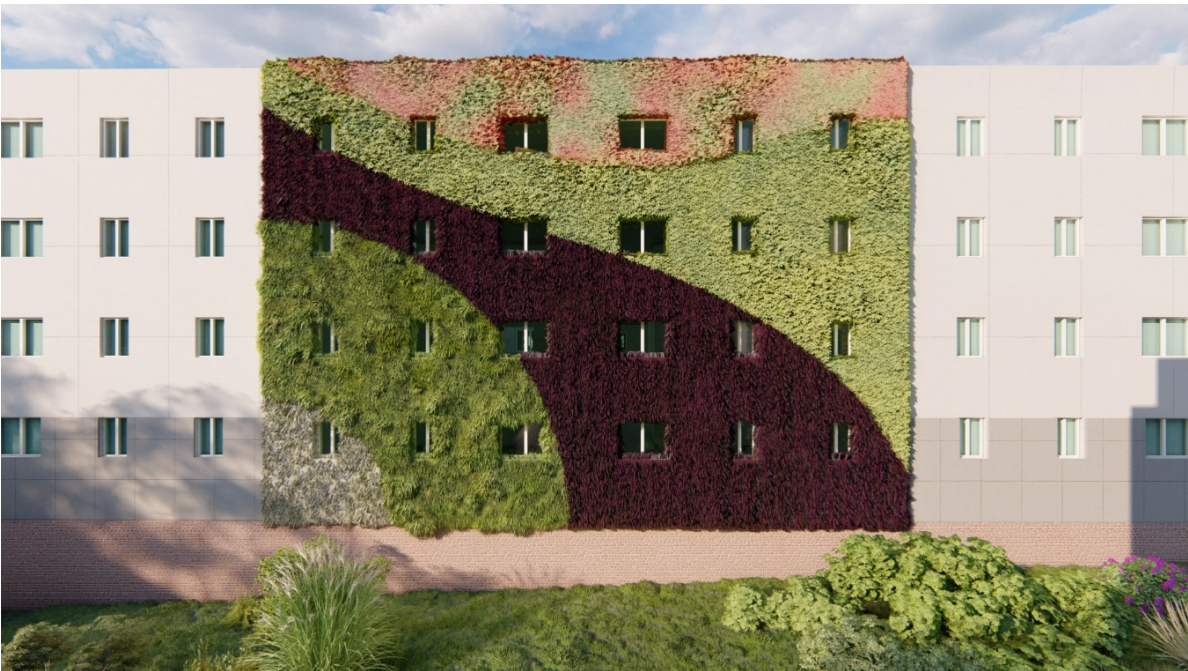


Figura 94. Vista ortogonal de la fachada este del edificio (elaboración propia)





Figura 95. Perspectiva de la fachada oeste con su entorno inmediato (elaboración propia)



Figura 96. Perspectiva de la fachada oeste con su entorno inmediato (elaboración propia)



Figura 97. Perspectiva de la fachada este con su entorno inmediato (elaboración propia)



Figura 98. Perspectiva de la fachada este con su entorno inmediato (elaboración propia)

## 4.6 Análisis energético del edificio aplicando el LWS

### 4.6.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior

En lo que respecta al cálculo aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior, la transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

En esta expresión  $R_T$  representa la resistencia térmica total del componente constructivo. Por otro lado, la resistencia térmica total  $R_T$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Donde  $R_1, R_2 \dots R_n$  corresponden a las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión ( $m^2 \cdot K/W$ ). En lo correspondiente a  $R_{si}$  y  $R_{se}$ , competen a las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la Figura 99 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio ( $m^2 \cdot K/W$ ).

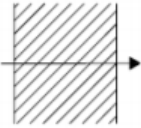
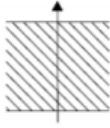
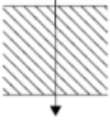
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

Figura 99. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior ( $m^2 \cdot K/W$ ) (obtenida del DA DB-HE/1)

Dentro del mismo orden de ideas, la resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Donde  $e$  corresponde al espesor de la capa y se expresa en metros (en caso de una capa de espesor variable se considera el espesor medio), e  $\lambda$  corresponde a la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE-EN 10456:2012. En el caso de materiales heterogéneos, como las fábricas, se puede considerar la conductividad equivalente del conjunto.

#### 4.6.2 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente aplicando un LWS

En las fachadas con vegetación directa, se ha demostrado una disminución de la velocidad del viento debida al follaje, con un valor medio de 0.08 m/s. Para los sistemas LWS el valor medio de la velocidad del viento dentro de la cámara de aire pasa a ser de 0.1 m/s. Cuando la velocidad del viento adopta valores inferiores a 0.2 m/s, debido a la contribución del follaje y del resto de elementos implicados en el LWS, donde  $R_{se}$  puede ser readaptado, igualándose a  $R_{si}$ . (Perini, Ottelé, Fraaij, et al., 2011)

De esta forma, el beneficio de resistencia térmica experimenta un incremento de 0.09  $m^2 \cdot K/W$ , significando un ahorro de energía de las envolventes de los edificios en climas templados y fríos. A este efecto hay que sumar la disminución de la temperatura superficial, efecto especialmente importante en los climas templados.

- Resistencia térmica de un cerramiento sin cubrición vegetal:

$$R_T = 0.04 + \sum R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.17 + \sum R_{\text{capas}}$$

- Con un sistema directo:

$$R_T = 0.13 + \sum R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.26 + \sum R_{\text{capas}}$$

- Y con un sistema de LWS (con resistencia adicional por las capas de la hoja interior):

$$R_T = 0.13 + R_{LWS} + \sum R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.26 + R_{LWS} + \sum R_{\text{capas}}$$

De acuerdo a López Benítez (2016), la relación óptima entre el espesor de la cámara de aire y la variación de la velocidad del viento se produce para espesores de cámara de 4 a 6 cm. Cuanto más próxima se sitúa la cobertura vegetal respecto a la hoja interior mejores son los resultados térmicos obtenidos.

### 4.6.3 Calificación energética del edificio aplicando un LWS

Para el cálculo de la transmitancia térmica U (W/m<sup>2</sup>\*K) de las fachadas este y oeste del edificio tipo B del conjunto en bloque que compete a este estudio, posterior a aplicar el LWS en estas, se utilizó una de las fórmulas mencionadas en el capítulo 4.6.1 (Cerramientos en contacto con el aire exterior):

$$R_T = 0.13 + R_{LWS} + \sum R_{capas} + 0.13 = 0.26 + R_{LWS} + \sum R_{capas}$$

Habiendo obtenido la RT correspondiente a cada fachada (este y oeste) tras aplicar el LWS en las mismas, se procedió a realizar el cálculo de la transmitancia térmica U (W/m<sup>2</sup>\*K) de estas. Para esto se utilizó otra de las fórmulas mencionadas en el capítulo 4.6.1 (Cerramientos en contacto con el aire exterior):

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Al contar con los nuevos valores correspondientes a la transmitancia térmica U (W/m<sup>2</sup>\*K) de las fachadas este y oeste, se procedió a reemplazar los mismos en el programa CERMA V5.04. Manteniendo el resto de de variantes que no son afectadas por la implantación del LWS, con las mismas cantidades citadas en el apartado 3.3 (Análisis y características del edificio) de este estudio. Lo anterior nos arrojó los siguientes datos referentes a la calificación energética del edificio:

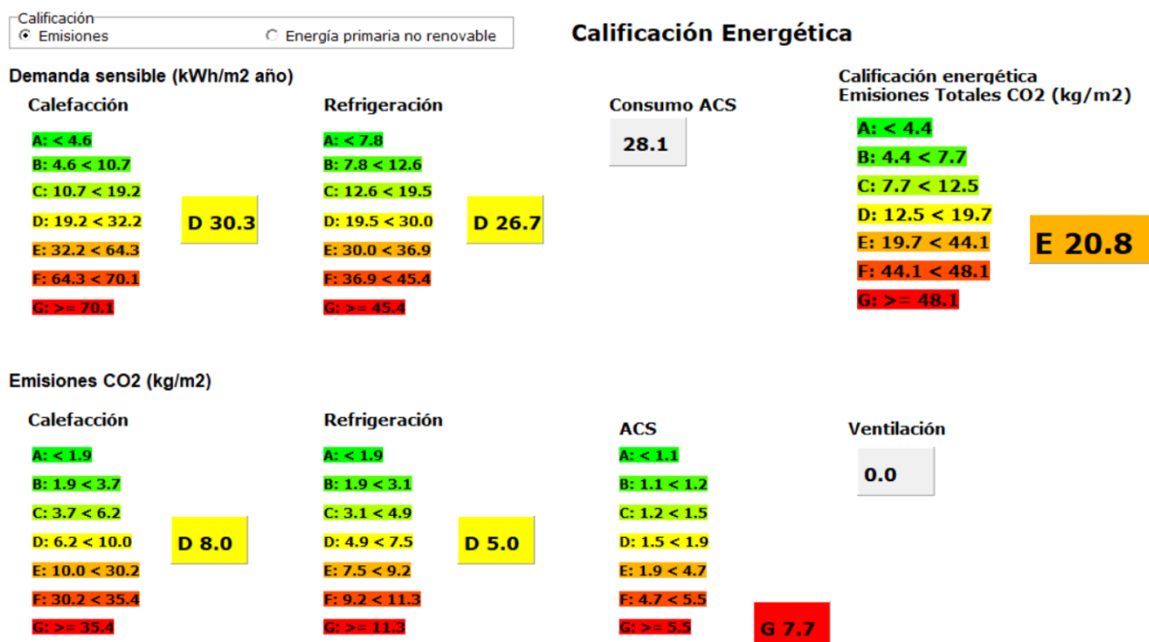


Figura 100. Calificación energética del edificio en relación a las emisiones tras aplicar el LWS (obtenido de CERMA V5.04)

Calificación  
 Emisiones  
 Energía primaria no renovable

### Calificación Energética

#### Demanda sensible (kWh/m2 año)

##### Calefacción

A: < 4.6  
 B: 4.6 < 10.7  
 C: 10.7 < 19.2  
 D: 19.2 < 32.2  
 E: 32.2 < 64.3  
 F: 64.3 < 70.1  
 G: >= 70.1

**D 30.3**

##### Refrigeración

A: < 7.8  
 B: 7.8 < 12.6  
 C: 12.6 < 19.5  
 D: 19.5 < 30.0  
 E: 30.0 < 36.9  
 F: 36.9 < 45.4  
 G: >= 45.4

**D 26.7**

##### Consumo ACS

**28.1**

#### Calificación energética Energía primaria no renov.(kWh/m2)

A: < 19.2  
 B: 19.2 < 33.1  
 C: 33.1 < 54.0  
 D: 54.0 < 84.8  
 E: 84.8 < 184.3  
 F: 184.3 < 200.9  
 G: >= 200.9

**E 104.1**

#### Energía primaria no renovable (kWh/m2)

##### Calefacción

A: < 6.7  
 B: 6.7 < 15.5  
 C: 15.5 < 27.9  
 D: 27.9 < 46.7  
 E: 46.7 < 127.3  
 F: 127.3 < 138.8  
 G: >= 138.8

**D 37.9**

##### Refrigeración

A: < 7.9  
 B: 7.9 < 12.8  
 C: 12.8 < 19.9  
 D: 19.9 < 30.6  
 E: 30.6 < 37.6  
 F: 37.6 < 46.3  
 G: >= 46.3

**D 29.6**

##### ACS

A: < 4.3  
 B: 4.3 < 5.1  
 C: 5.1 < 6.2  
 D: 6.2 < 7.8  
 E: 7.8 < 19.4  
 F: 19.4 < 21.1  
 G: >= 21.1

**G 36.5**

##### Ventilación

**0.0**

Figura 101. Calificación energética del edificio en relación a la energía primaria no renovable tras aplicar el LWS (obtenido de CERMA V5.04)

En las tablas obtenidas a través del programa CERMA V5.04, aplicación para la obtención de calificaciones energéticas, se puede observar que en lo referente a las emisiones del edificio tras aplicar el LWS (Figura 100), se obtuvieron 20.8 puntos, lo cual corresponde a la letra E. Por otro lado, en lo referente a la energía primaria no renovables del edificio tras aplicar el LWS (Figura 101), se obtuvieron 104.1 puntos, correspondiendo también a la letra E.

Las características de las calificaciones energéticas correspondientes a la letra E, se han mencionado anteriormente en el apartado 3.5.2 (Características de un certificado energético E), por lo cual no se mencionarán nuevamente las mismas dentro de este apartado.

## 5 Comparación de las calificaciones energéticas del edificio

Como se puede observar al comparar los certificados energético del edificios, el referente al mismo sin la aplicación del LWS, en lo que respecta a las emisiones (Fiigura 102), presenta una mejora de 2,6 puntos en relación a la calificación energética total del mismo edificio tras aplicar un LWS (Figura 103). Por otro lado, al comparar los certificados energéticos del edificio en lo referente a la energía primaria no renovable de este sin aplicar un LWS (Figura 104), se obtuvo una diferencia de 13,1 puntos en relación a la calificación energética del mismo edificio tras aplicar un LWS (Figura 105).

Por otro lado, y enfocandonos en la calificación referente a las emisiones, dentro del apartado de la demanda sensible (kWh/m<sup>2</sup> año) de la calefacción, se obtuvo la mejora más notable del resto de los apartados abarcados en esta categoría, pasando de 38 a 30,3, reduciendo su total en 7,7 puntos. Dentro de la misma etiqueta, se obtuvo una mejora de 3,2 puntos en la demanda sensible (kWh/m<sup>2</sup> año) de la refrigeración; se mejoró 2,1 puntos en las emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/m<sup>2</sup>), y finalmente, siendo la menos significativa, se redujeron 0,6 puntos en las emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/m<sup>2</sup>) de la refrigeración.

En lo referente a la calificación energética del edificio en relación a la energía primaria no renovable, las mejoras más notables se obtuvieron dentro del apartado de las emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/m<sup>2</sup>), donde la calefacción pasó a un puntaje de 47,6 a 37,9, sufriendo una mejora de 9,7 puntos, y la refrigeración pasó a un puntaje de 33,1 a 29,6, presentando una mejora de 3,5 puntos. En lo que concierne a la demanda sensible (kWh/m<sup>2</sup> año) tanto de la calefacción como la refrigeración, se mantuvieron los mismos resultados y mejoras de la etiqueta previamente mencionada.

Tras realizar la comparación de ambas certificados energéticos, tanto en lo que concierne a las emisiones como a la energía primaria no renovable, pese a que hubo mejoría en la mayoría de las categorías (tanto el consumo como las emisiones de CO<sub>2</sub> de los sistema de ACS en ambas calificaciones no se sufrió ninguna mejora, esto ya que no se realizó ningún cambio dentro de este sistema), se puede observar que, pese a existir una mejora en la puntuación de las mismas, tanto las certificaciones energéticas del edificio sin la aplicación de un LWS, como las certificaciones energéticas del edificio con la aplicación de un LWS en sus fachadas este y oeste, se mantuvieron en la letra E, no logrando aumentar de categoría y ascender dentro del esquema de letras usado para las mismas.

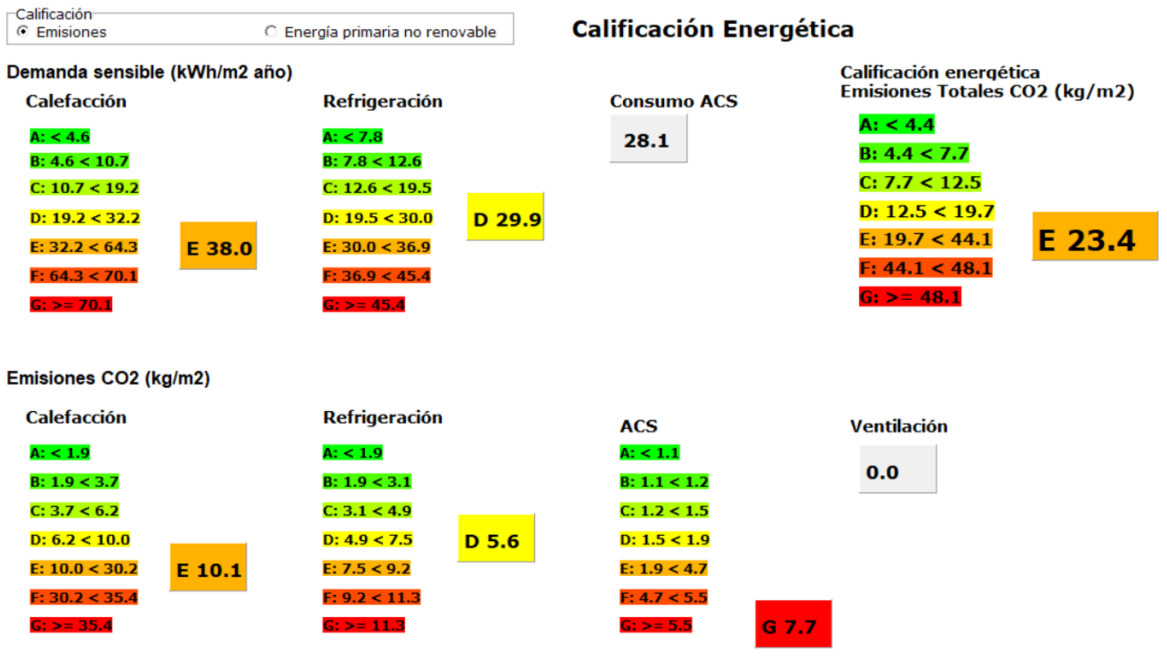


Figura 102. Calificación energética del edificio en relación a las emisiones sin aplicar el LWS (obtenido de CERMA V5.04)

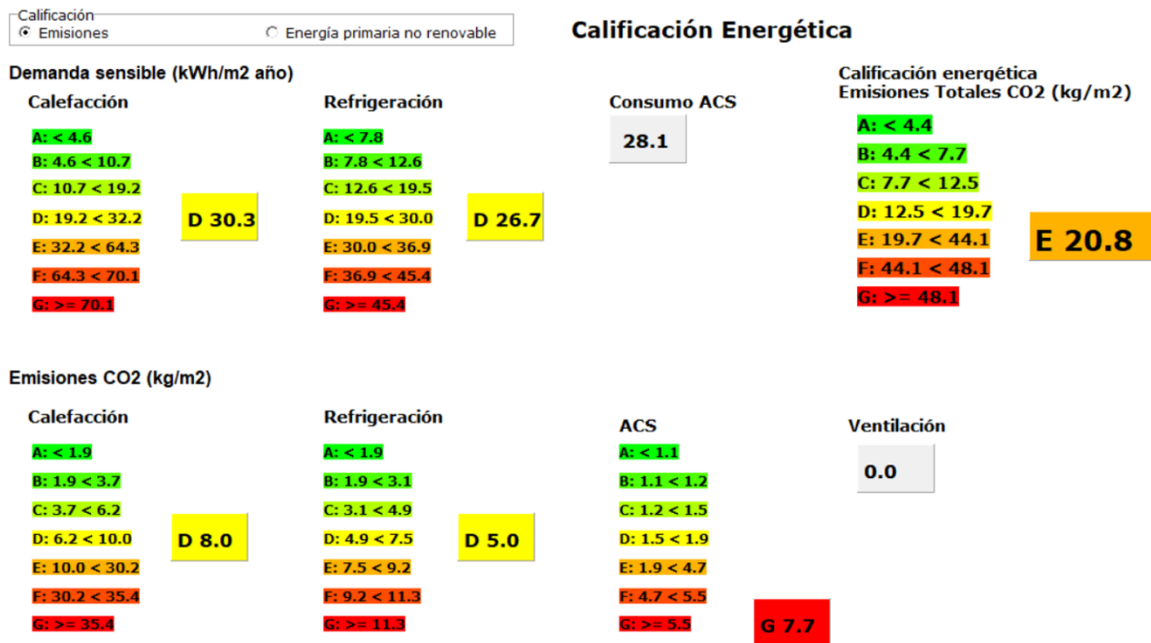


Figura 103. Calificación energética del edificio en relación a las emisiones tras aplicar el LWS (obtenido de CERMA V5.04)



Calificación  
 Emisiones  Energía primaria no renovable

### Calificación Energética

Demanda sensible (kWh/m2 año)

Calefacción

- A: < 4.6
- B: 4.6 < 10.7
- C: 10.7 < 19.2
- D: 19.2 < 32.2
- E: 32.2 < 64.3
- F: 64.3 < 70.1
- G: >= 70.1

**E 38.0**

Refrigeración

- A: < 7.8
- B: 7.8 < 12.6
- C: 12.6 < 19.5
- D: 19.5 < 30.0
- E: 30.0 < 36.9
- F: 36.9 < 45.4
- G: >= 45.4

**D 29.9**

Consumo ACS

**28.1**

Calificación energética  
Energía primaria no renov.(kWh/m2)

- A: < 19.2
- B: 19.2 < 33.1
- C: 33.1 < 54.0
- D: 54.0 < 84.8
- E: 84.8 < 184.3
- F: 184.3 < 200.9
- G: >= 200.9

**E 117.2**

Energía primaria no renovable (kWh/m2)

Calefacción

- A: < 6.7
- B: 6.7 < 15.5
- C: 15.5 < 27.9
- D: 27.9 < 46.7
- E: 46.7 < 127.3
- F: 127.3 < 138.8
- G: >= 138.8

**E 47.6**

Refrigeración

- A: < 7.9
- B: 7.9 < 12.8
- C: 12.8 < 19.9
- D: 19.9 < 30.6
- E: 30.6 < 37.6
- F: 37.6 < 46.3
- G: >= 46.3

**E 33.1**

ACS

- A: < 4.3
- B: 4.3 < 5.1
- C: 5.1 < 6.2
- D: 6.2 < 7.8
- E: 7.8 < 19.4
- F: 19.4 < 21.1
- G: >= 21.1

**G 36.5**

Ventilación

**0.0**

Figura 104. Calificación energética del edificio en relación a las emisiones tras aplicar el LWS (obtenido de CERMA V5.04)

Calificación  
 Emisiones  Energía primaria no renovable

### Calificación Energética

Demanda sensible (kWh/m2 año)

Calefacción

- A: < 4.6
- B: 4.6 < 10.7
- C: 10.7 < 19.2
- D: 19.2 < 32.2
- E: 32.2 < 64.3
- F: 64.3 < 70.1
- G: >= 70.1

**D 30.3**

Refrigeración

- A: < 7.8
- B: 7.8 < 12.6
- C: 12.6 < 19.5
- D: 19.5 < 30.0
- E: 30.0 < 36.9
- F: 36.9 < 45.4
- G: >= 45.4

**D 26.7**

Consumo ACS

**28.1**

Calificación energética  
Energía primaria no renov.(kWh/m2)

- A: < 19.2
- B: 19.2 < 33.1
- C: 33.1 < 54.0
- D: 54.0 < 84.8
- E: 84.8 < 184.3
- F: 184.3 < 200.9
- G: >= 200.9

**E 104.1**

Energía primaria no renovable (kWh/m2)

Calefacción

- A: < 6.7
- B: 6.7 < 15.5
- C: 15.5 < 27.9
- D: 27.9 < 46.7
- E: 46.7 < 127.3
- F: 127.3 < 138.8
- G: >= 138.8

**D 37.9**

Refrigeración

- A: < 7.9
- B: 7.9 < 12.8
- C: 12.8 < 19.9
- D: 19.9 < 30.6
- E: 30.6 < 37.6
- F: 37.6 < 46.3
- G: >= 46.3

**D 29.6**

ACS

- A: < 4.3
- B: 4.3 < 5.1
- C: 5.1 < 6.2
- D: 6.2 < 7.8
- E: 7.8 < 19.4
- F: 19.4 < 21.1
- G: >= 21.1

**G 36.5**

Ventilación

**0.0**

Figura 105. Calificación energética del edificio en relación a la energía primaria no renovable tras aplicar el LWS (obtenido de CERMA V5.04)

## 6 Conclusiones

La elección de escoger las fachadas vegetales verticales, como elemento pasivo de refrigeración y calefacción a utilizar para mejorar la calificación energética de un edificio existente, se dio como una búsqueda de generar un estudio de un caso práctico, que permitiese ver de manera numérica las mejoras energéticas de un edificio al aplicar sistemas de fachadas vegetales verticales en el mismo; lo cual permitirá obtener información cuantificable en base a los estándares, regulaciones y aplicaciones vigentes de la zona donde se ubiquen el elemento a analizar.

En base a la información obtenida respecto a las fachadas vegetales verticales en este estudio, se concluyó en subdividir estas en tres tipos: fachadas vegetales tradicionales, muros vivos y sistemas de muros vivos (LWS). Por otro lado, tras el análisis de estudios que demuestran las diversas mejoras y beneficios generados por las fachadas vegetales verticales, se concluyó que al hacer uso de estas, no solo se mejora la calificación energética de un edificio, pero también se mejoran diversos aspectos positivos para sus usuarios (esto en lo que se refiere a las construcciones de tipo habitacional), lo cual se presenta como un doble beneficio dentro de este estudio.

El objetivo de implantar una fachada verde vertical en una zona urbana sensible y con vulnerabilidad residencial, se origina a través del pensamiento de que, la arquitectura habitacional debe de ir de la mano con la vegetación y los sistemas pasivos de refrigeración y calefacción, esta para siempre dotar a los espacios de vida, buscado beneficiar positivamente no solo a sus usuarios, pero también a todo su entorno. Por otro lado, la decisión de optar por sistemas modular con paneles de plástico, se ve impulsada por los estudios consultados respecto al ciclo de vida de estos sistemas, comparados con los que cuentan con una materialidad metálica, ya que se observó que los sistemas a base de plástico son menos agresivos para el medio ambiente a largo plazo. Dentro del mismo orden de ideas, la elección del sistema modular a base de plástico se vio beneficiada por la localización de la fábrica de producción del mismo, ya que al encontrarse más cercano que el resto, se reducen los desplazamientos involucrados en el transporte y montaje, lo cual reduce la huella de carbono generada en el proceso del proyecto.

Para la elección de la vegetación a utilizar en esta fachada vegetal vertical, como también para el desarrollo de cualquier proyecto (a menos que los lineamientos del mismo no lo permitan), se observa que es más conveniente el uso de vegetación endémica del entorno del lugar de implantación, esto con el objetivo de no solo promover la flora de la región y reducir el mantenimiento necesario para las plantas, sino buscando a la vez prolongar el ciclo de vida del elemento.

Tras obtener los certificados energéticos del edificio en sus dos estados a través de la aplicación CERMA V5.04, y posterior a realizar la comparación de las calificaciones de ambos en las categorías de emisiones y energía primaria no renovable, se puede observar que pese a que las mejoras en los resultados globales, tras aplicar un LWS a la fachada este y oeste del edificio son pocas, no se descartan como opción de sistema pasivo de refrigeración y calefacción a utilizar en las fachadas de los edificios, ya que de acuerdo a la bibliografía estudiada, estas generan diversos tipos de beneficios que no son incluidas en los certificados energéticos.

En lo referente a los precios medios del sistema elegido, este ronda los 300 €/m<sup>2</sup>; ambas fachadas cuentan individualmente con 156,3 m<sup>2</sup>, dando un total de 312,6 m<sup>2</sup>. Considerando que estas se aplicaron en la fachada este y oeste del edificio, el uso de estas corresponde a una inversión total de 93.780€. Considerando que se cuenta con cuatro viviendas por planta, y el edificio cuenta con cuatro plantas, esto nos daría una inversión promedio por vivienda de 5.861,25€, lo cual se presenta como una cantidad que, pese a estar debajo del promedio (8.000€ por vivienda), se presenta como una opción mucho más cara que otros sistemas no pasivos para la mejora energética de las viviendas.

Respecto a la mejora en las calificaciones energéticas, pero en relación a la aplicación utilizada para la obtención de las mismas, se puede observar que CERMA V5.04 arroja mayores beneficios al reemplazar y aplicar cierto tipo de instalaciones, como lo son por ejemplo, el uso de bombas de bio masa, presentando se como un programa para análisis energético poco sensible a las medidas pasivas, premiando más el cambio de las instalaciones. Esto último se menciona como un punto de posible mejora para la aplicación, y no como un defecto de la misma, ya que esta sigue todos los lineamientos oficiales.

Por lo antes mencionado, la versión actual del programa CERMA, carece de mayores apartados que permitan analizar de manera más adecuada y exacta los sistemas pasivos existentes, por lo cual, para poder realizar un estudio de mayor exactitud en lo que se refiera a las mejoras obtenidas a través de medidas pasivas de refrigeración y calefacción, como lo son la aplicación de fachadas vegetales verticales, es necesario el uso de diversas herramientas y aplicaciones para la medición de las mismas.

Finalmente, podemos concluir que pese al existir mejoras observables al utilizar fachadas vegetales verticales para la renovación de fachadas de edificios existentes, así como la mejora de la calificación energética de edificios ubicados en zonas urbanas sensibles y con vulnerabilidad residencial, desafortunadamente no presentan las mejoras requeridas para la solicitud de los fondos europeos, ya que estos solicitan mejoras del 30% al 50%, las cuales en el estado actual del programa CERMA, sería complejo de alcanzar a través de medidas pasivas, o en su defecto requerirían una inversión de gran magnitud, lo cual se presenta como un factor desfavorable para la promoción de las mismas; siendo más económico y sencillo, el uso de sistemas como lo son las calderas, las cuales arrojan mayores beneficios en los resultados de las certificaciones energéticas de los edificios existentes.

## 7 Bibliografía

- AEMET. (n.d.). *Agencia Estatal de Meteorología*. Valores Climatológicos Normales. Alicante/Alacant. Retrieved May 1, 2021, from <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=8025&k=03>
- Altan, H., John, N., & Yoshimi, J. (2015). *COMPARATIVE LIFE CYCLE ANALYSIS OF GREEN WALL SYSTEMS IN THE UK*. <http://isbs2015.gazi.edu.tr/belgeler/bildiriler/991-999.pdf>
- Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2014). New Green Facades as Passive Systems for Energy Savings on Buildings. *Energy Procedia*, 57, 1851–1859. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.10.049>
- Concejalía de Presidencia y Coordinación de Áreas. (2008). *Plan Integral de Recuperación Barrios Zona Norte Alicante*. Excmo. Ayuntamiento de Alicante. <https://www.alicante.es/sites/default/files/documentos/documentos/plan-integral-recuperacion-barrios-zona-norte/plan-integral-norte.pdf>
- Conselleria de Agricultura Desarrollo Rural Emergencia Climática y Transición Ecológica. (2015). *Agroambient Generalitat Valenciana*. <https://agroambient.gva.es/es/web/espacios-naturales-protegidos/flora>
- Eumorfopoulou, E. A., & Kontoleon, K. J. (2009). Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. *Building and Environment*, 44(5), 1024–1038. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.004>
- Garrido, L. (2011). *SUSTAINABLE ARCHITECTURE. GREEN IN GREEN*. Instituto Monsa De Ediciones.
- Gourdji, S. (2018). Review of plants to mitigate particulate matter, ozone as well as nitrogen dioxide air pollutants and applicable recommendations for green roofs in Montreal, Quebec. *Environmental Pollution*, 241, 378–387. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.05.053>
- Historia de Los Muros Verdes Como Elemento Arquitectónico*. (2019). <https://murosverdes.com.mx/historia/>
- INE. (2020). *Instituto Nacional de Estadística*. <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2856&L=0>
- Instituto Valenciano de la Edificación, & Serrano Lanzarote, B. (2013). *Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación*.
- Izrael, Y. A., Semenov, S. M., Anisimov, O. A., Anokhin, Y. A., Velichko, A. A., Revich, B. A., & Shiklomanov, I. A. (2007). *The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Working Group II Contribution*. <https://doi.org/10.3103/S1068373907090014>
- Klingberg, J., Broberg, M., Strandberg, B., Thorsson, P., & Pleijel, H. (2017). Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure – A case study in Gothenburg, Sweden.

*Science of The Total Environment*, 599–600, 1728–1739.

<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.05.051>

López Benítez, T. (2016). *Jardines verticales*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/69118>

Manso, M., & Castro-Gomes, J. P. (2016). Thermal analysis of a new modular system for green walls. *Journal of Building Engineering*, 7, 53–62. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2016.03.006>

Manuel, J., & de La Torre, O. (1999). *LA VEGETACIÓN COMO INSTRUMENTO PARA EL CONTROL MICROCLIMÁTICO*.

Mariani, L., Parisi, S. G., Cola, G., Laforteza, R., Colangelo, G., & Sanesi, G. (2016). Climatological analysis of the mitigating effect of vegetation on the urban heat island of Milan, Italy. *Science of The Total Environment*, 569–570, 762–773.

<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.06.111>

Medl, A., Stangl, R., & Florineth, F. (2017). Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement. *Building and Environment*, 125, 227–239.

<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.08.054>

Mellado Manrique, F. B. (2014). *Estudio y análisis de propuesta de fachada vegetal en el edificio 1C E.T.S.I.E. - UPV*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/44141>

Minke, G. (2014). *Muros y fachadas verdes, jardines verticales* (N.º 1). Icaria Editorial.

Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., Ruiz-García, L., & Bacenetti, J. (2020). An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems. *Journal of Environmental Management*, 254, 109743. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.109743>

Ottelé, M. (2011). *The green building envelope: Vertical greening*.

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b88d>

Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419–3429.

<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.09.010>

Pan, L., & Chu, L. M. (2016). Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study. *Building and Environment*, 96, 293–300.

<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.06.033>

Pérez Cueva, A. J. (1994). *Atlas climático de La Comunidad Valenciana* (Generalitat Valenciana, Ed.; 1st ed.). Generalitat Valenciana.

Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11), 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>

Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 01(01).

<https://doi.org/10.4236/oje.2011.11001>

- Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110–121. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2013.08.012>
- Salvador Rivas-Martínez, Tomás E. Díaz, Federico Fernández-González, Jesús Izco, Javier Loidi, Mario Lousã, & Ángel Penas. (2002). *Universidad Complutense de Madrid*. Itinera Geobotanica. [https://webs.ucm.es/info/cif/book/addenda/addenda1\\_01.htm#1](https://webs.ucm.es/info/cif/book/addenda/addenda1_01.htm#1)
- Salvador Rivas-Martínez, Tomás E. Díaz, Federico Fernández-González, Jesús Izco, Javier Loidi, Mario Lousã, & Ángel Penas. (2002). *Plantas y Hongos*. Itinera Geobotanica. [https://www.plantasyhongos.es/biogeografia/peninsula\\_iberica.htm](https://www.plantasyhongos.es/biogeografia/peninsula_iberica.htm)
- Schmidt, M. (2006). *Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development*. <http://www.gebaeudekuehlung.de>
- Serrano Lanzarote, B. (2016). *Caso Práctico: Edificio bloque entre medianera Juan XXIII*.
- Sheweka, S., & Magdy, N. (2011). The Living walls as an Approach for a Healthy Urban Environment. *Energy Procedia*, 6, 592–599. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2011.05.068>
- Soria Meliá, Y. (2013). *Estudio del comportamiento acústico y energético de las fachadas verdes*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/33863>
- Susorova, I., Angulo, M., Bahrami, P., & Brent Stephens. (2013). A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment*, 67, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.027>
- Wilby, R. L. (2007). A Review of Climate Change Impacts on the Built Environment. *Built Environment*, 33(1). <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.31>
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(3), 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>

## 8 Anexos

A continuación se muestran el resto de tablas obtenidas a través de la aplicación CERMA V5.04, correspondientes al edificio sin la aplicación de un LWS modular a base de paneles plásticos, y referentes a los detalles correspondientes a las emisiones y a la demanda del edificio. En estos se pueden observar los porcentajes propios del tipo de calefacción y refrigeración, y sus totales.

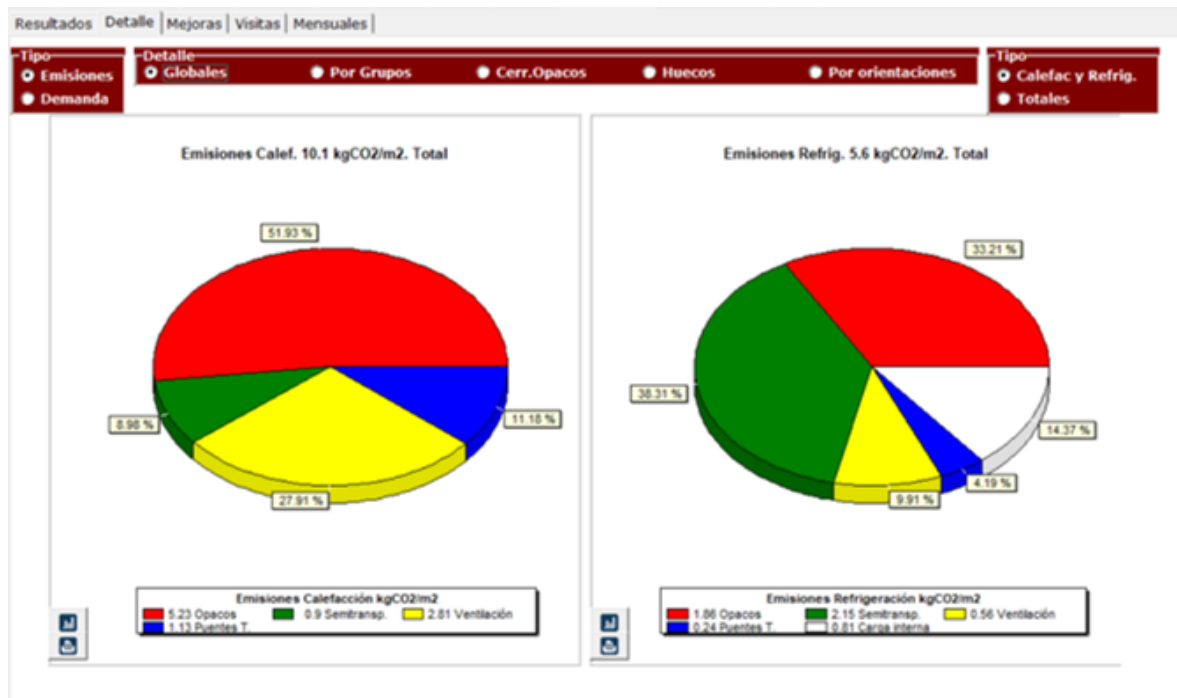


Figura 106. Detalle de emisiones globales referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

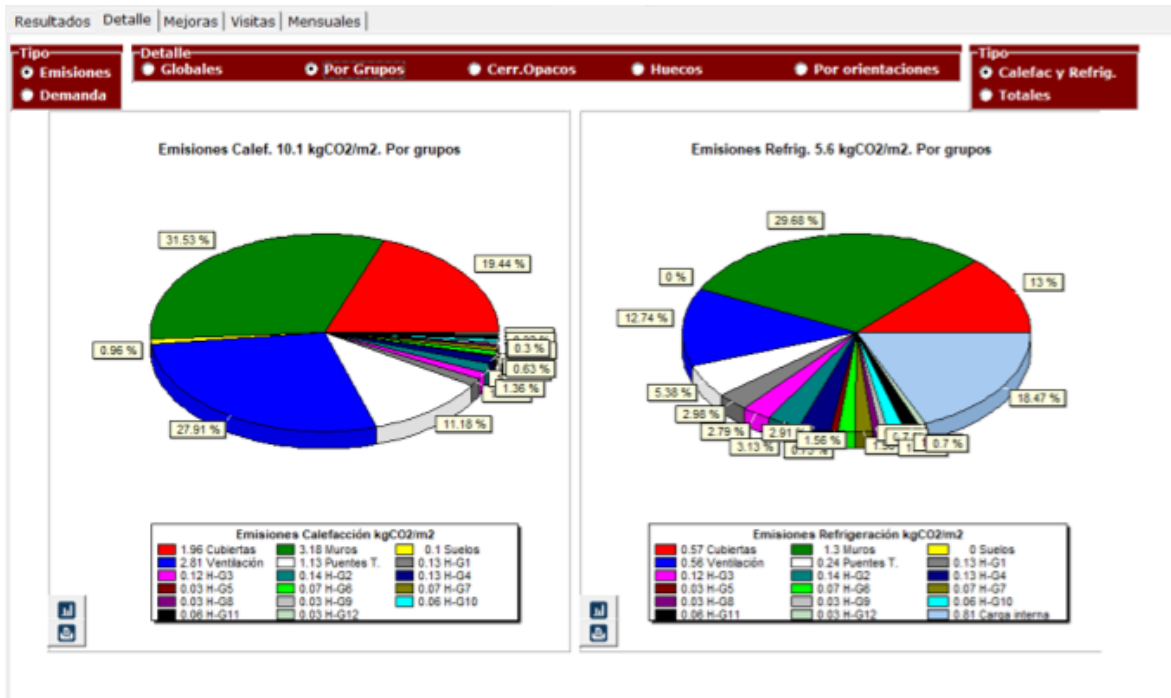


Figura 107. Detalle de emisiones por grupos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

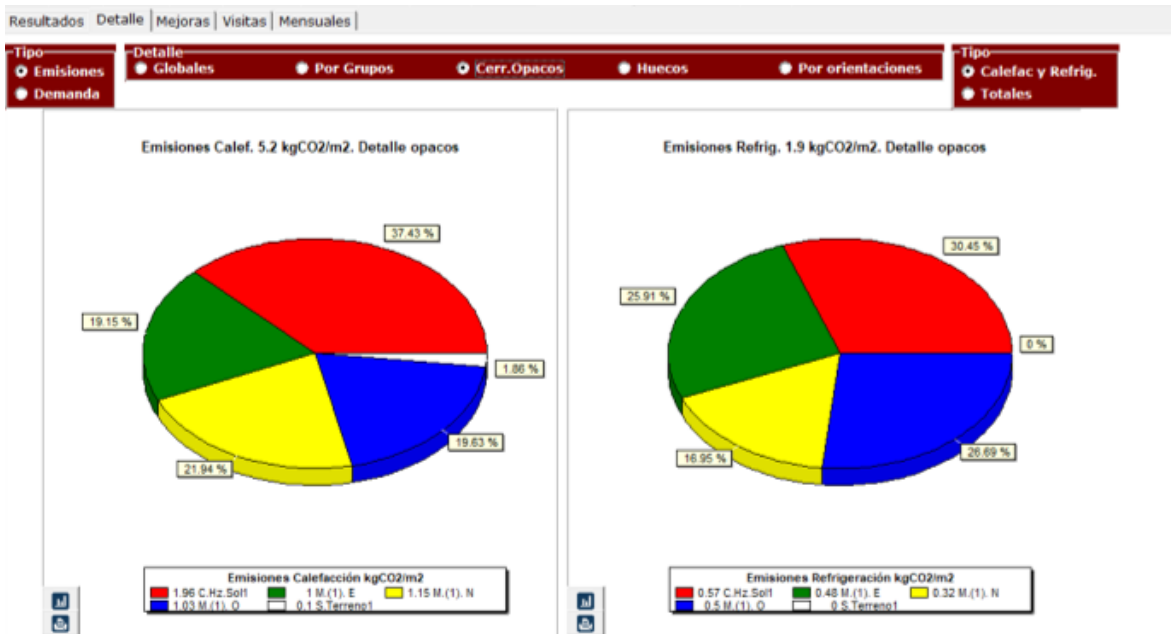


Figura 108. Detalle de emisiones por cerramientos opacos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)



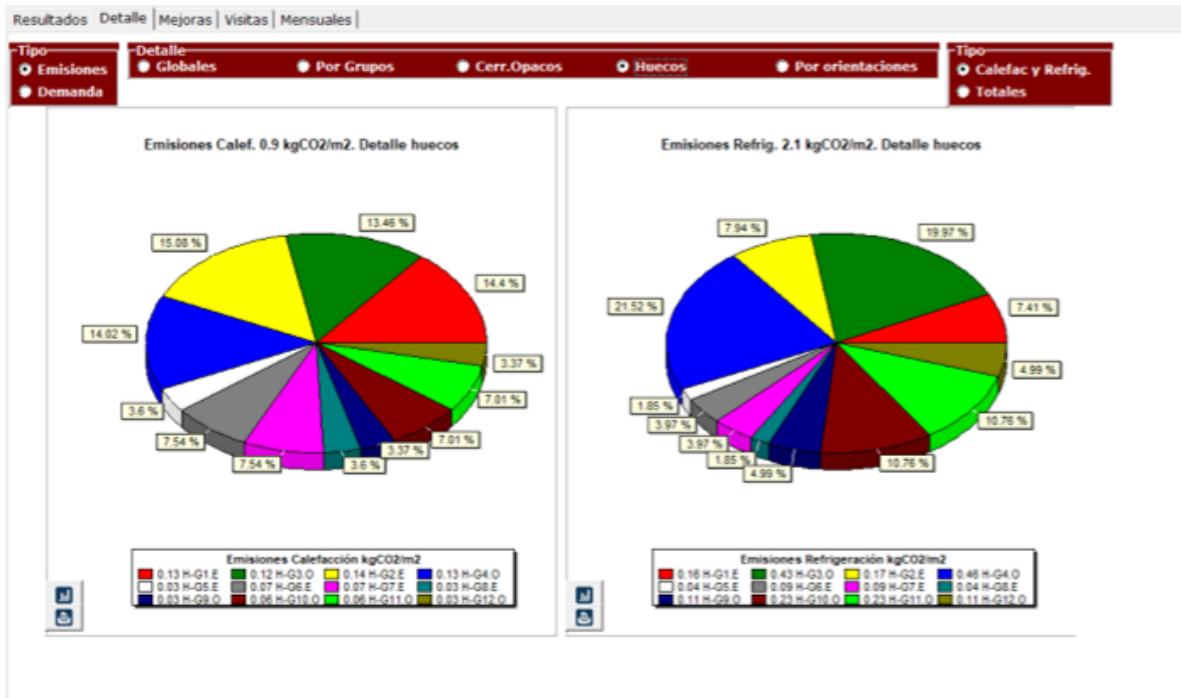


Figura 109. Detalle de emisiones por huecos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

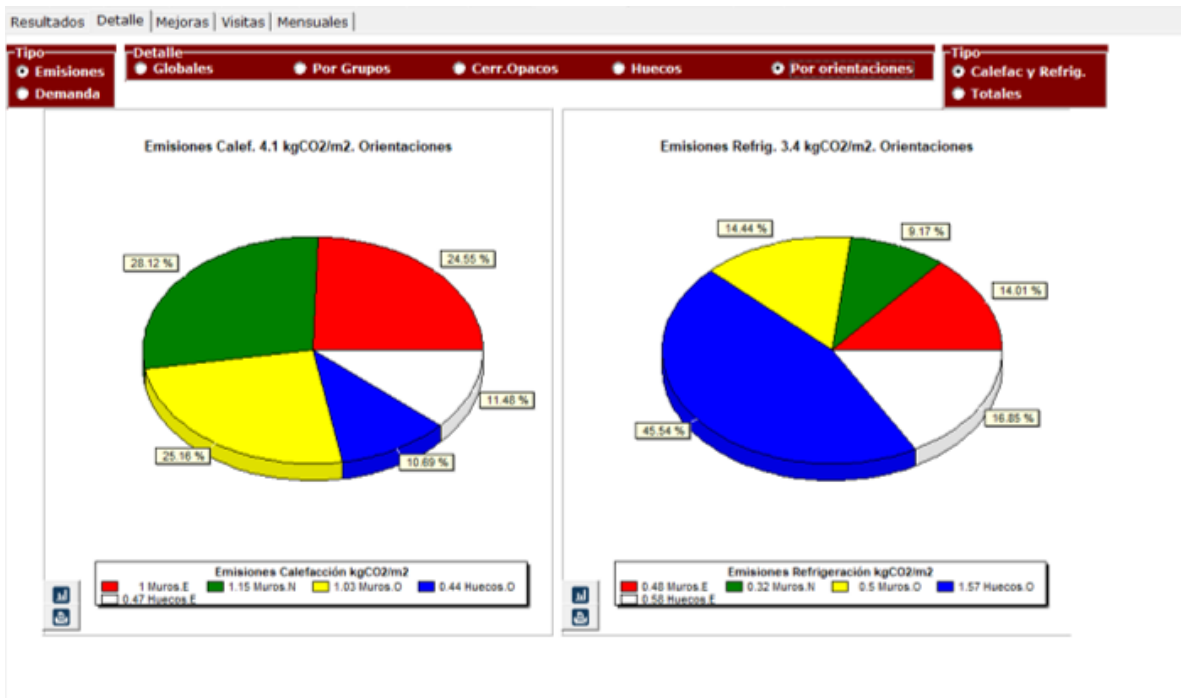


Figura 110. Detalle de emisiones por orientación referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

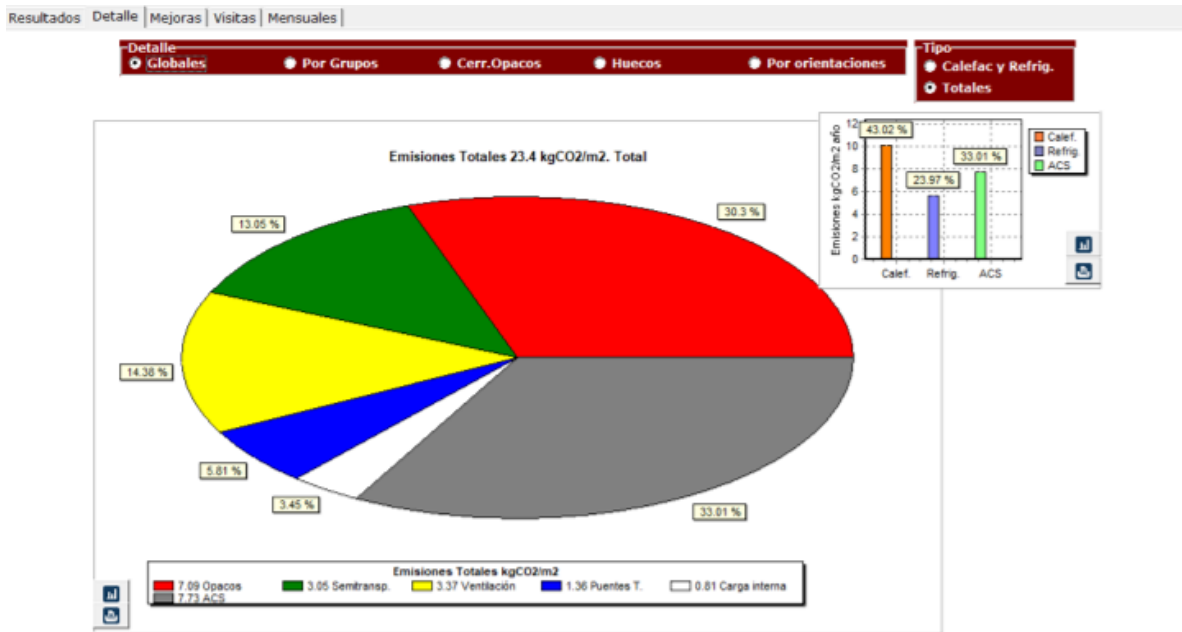


Figura 111. Detalle de emisiones totales globales (obtenido de CERMA V5.04)

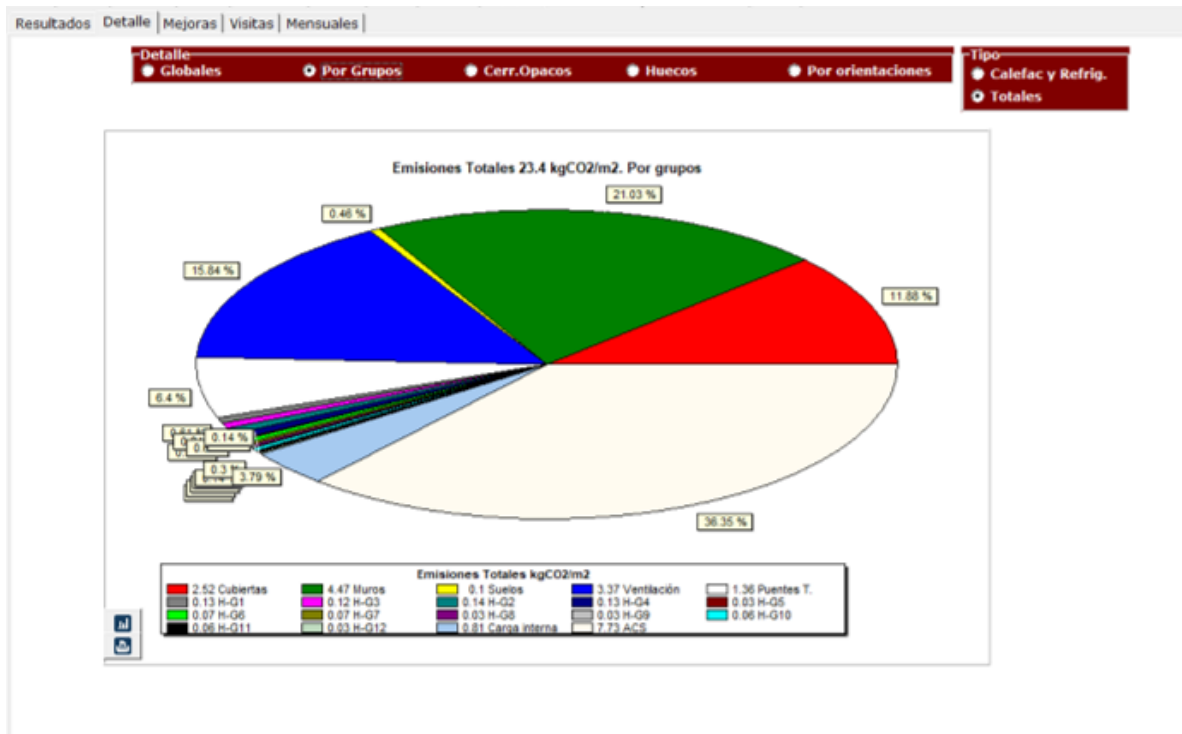


Figura 112. Detalle de emisiones totales por grupos (obtenido de CERMA V5.04)

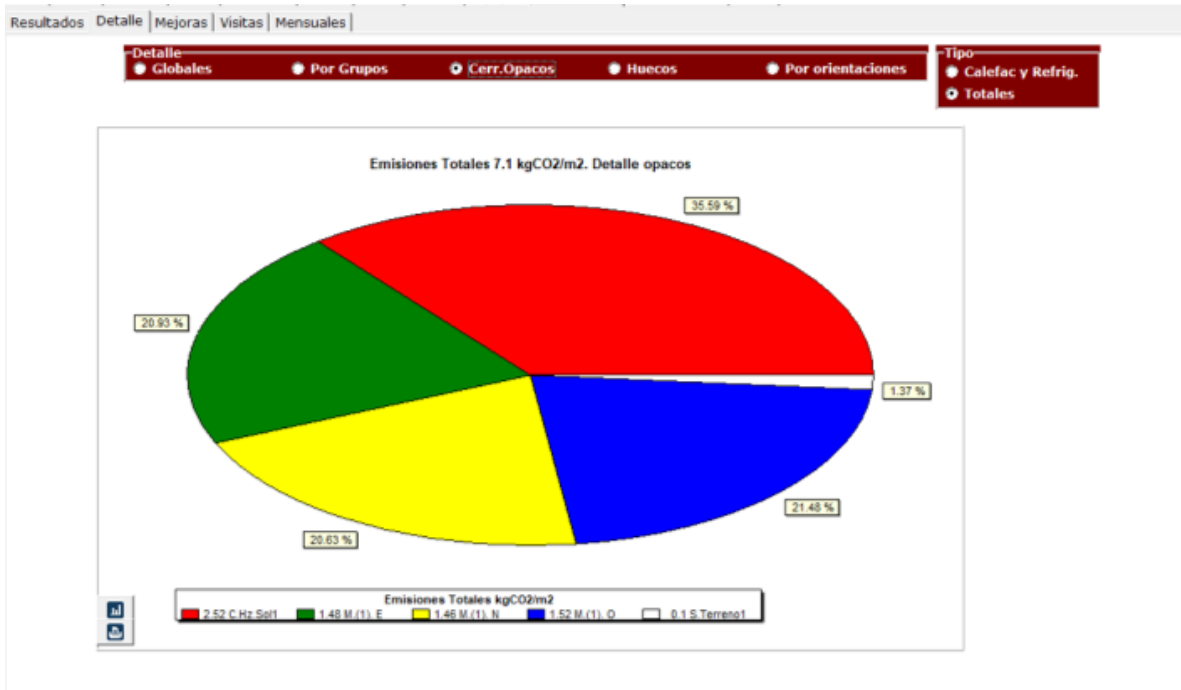


Figura 113. Detalle de emisiones totales por los cerramientos opacos (obtenido de CERMA V5.04)

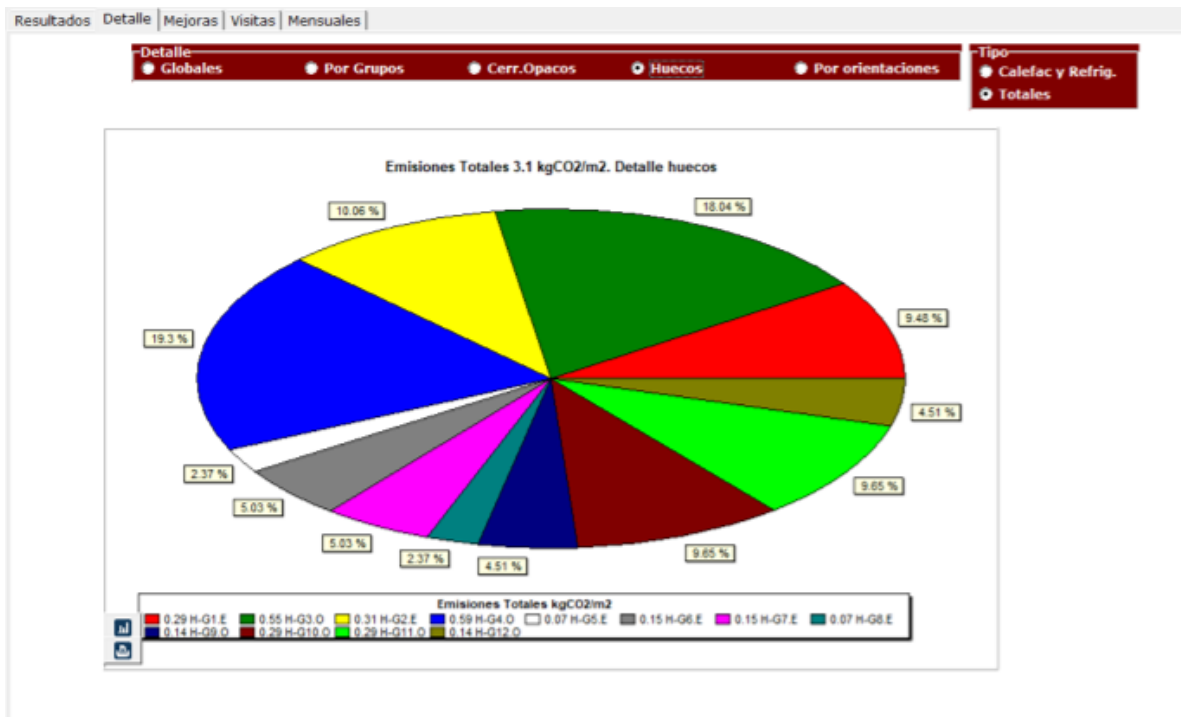


Figura 114. Detalle de emisiones totales por huecos (obtenido de CERMA V5.04)

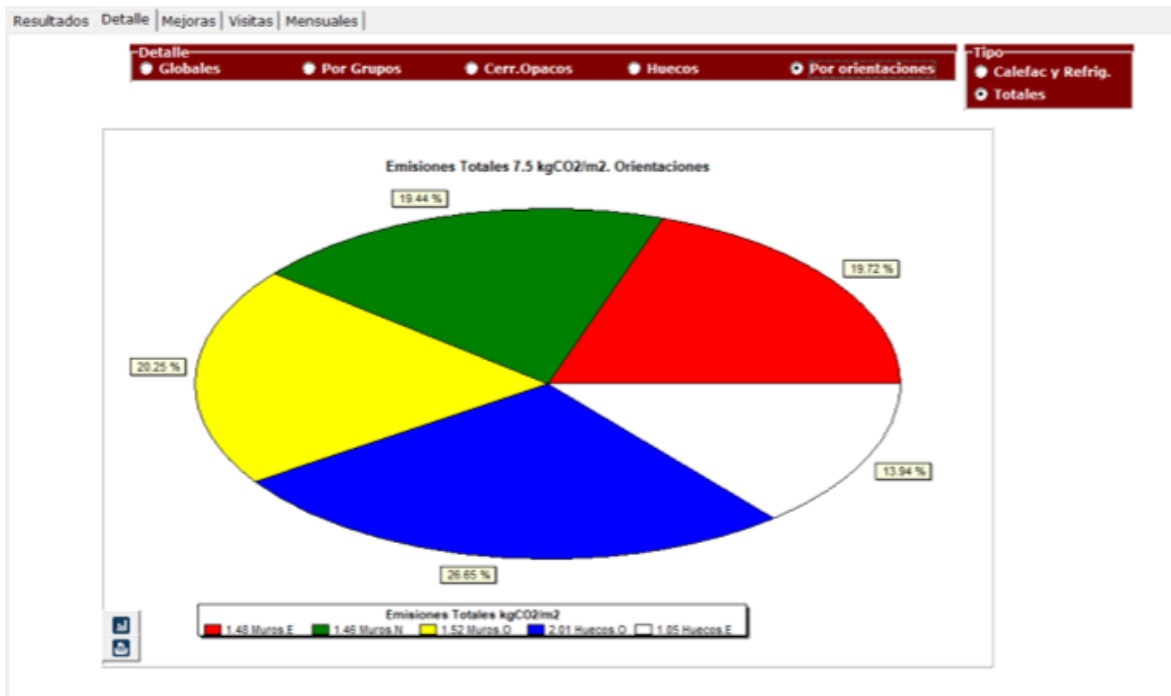


Figura 115. Detalle de emisiones totales por orientaciones (obtenido de CERMA V5.04)

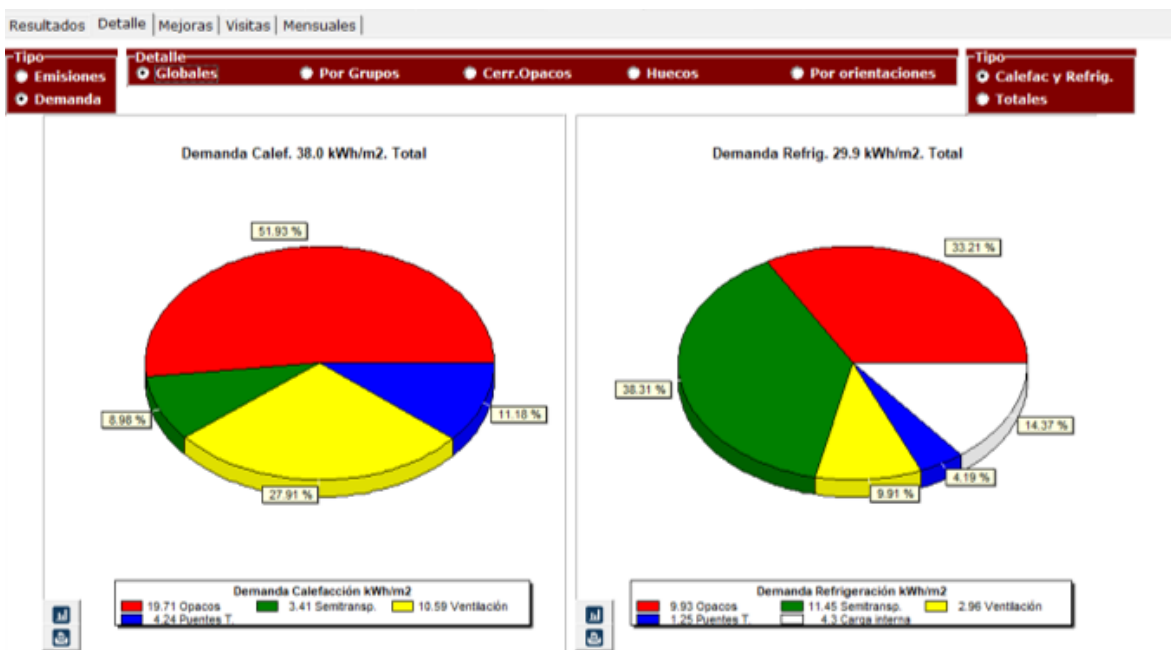


Figura 116. Detalle de demandas globales referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

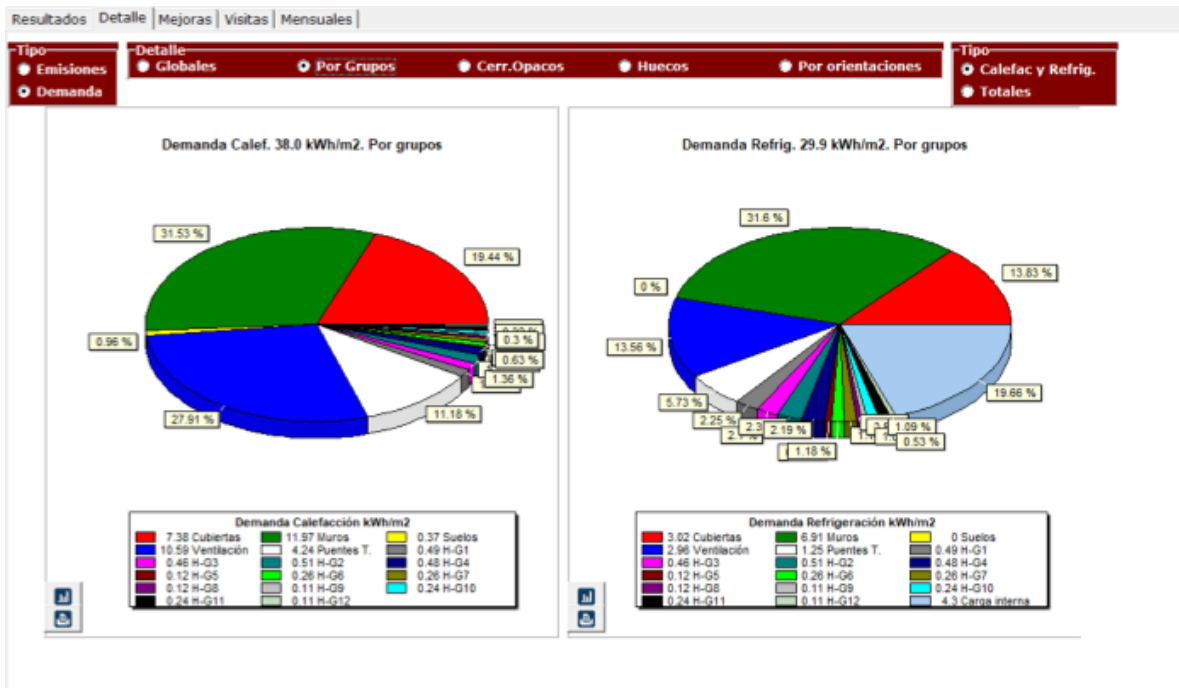


Figura 117. Detalle de demandas por grupos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

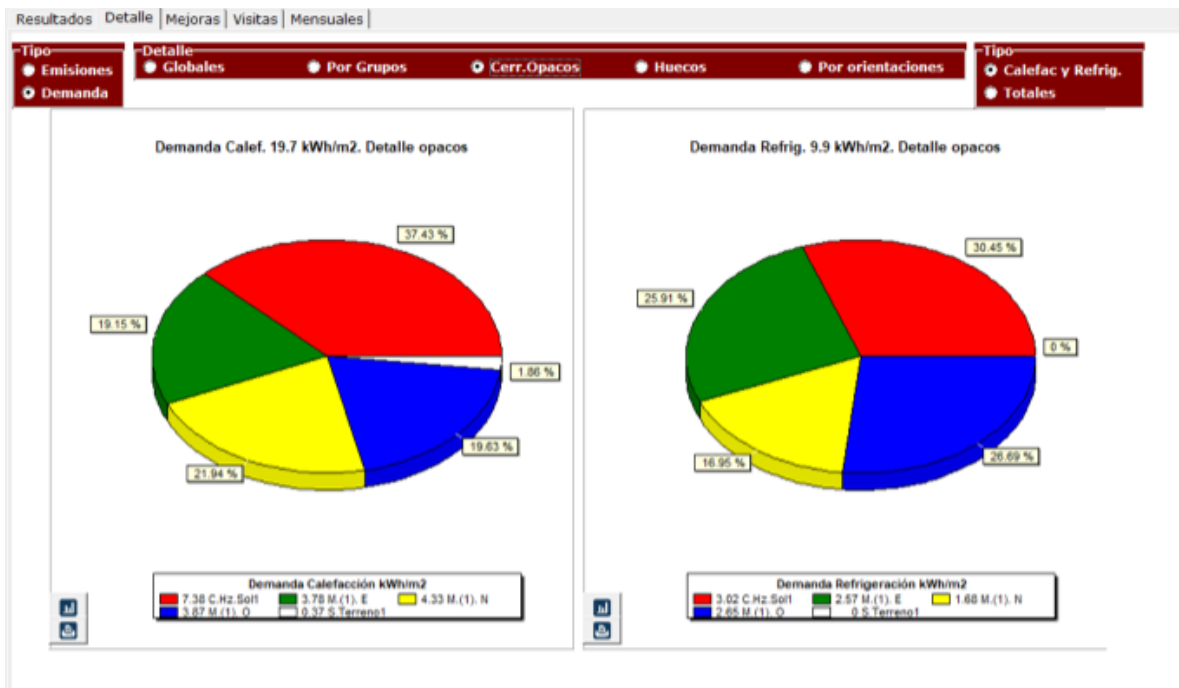


Figura 118. Detalle de demandas por cerramientos opacos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

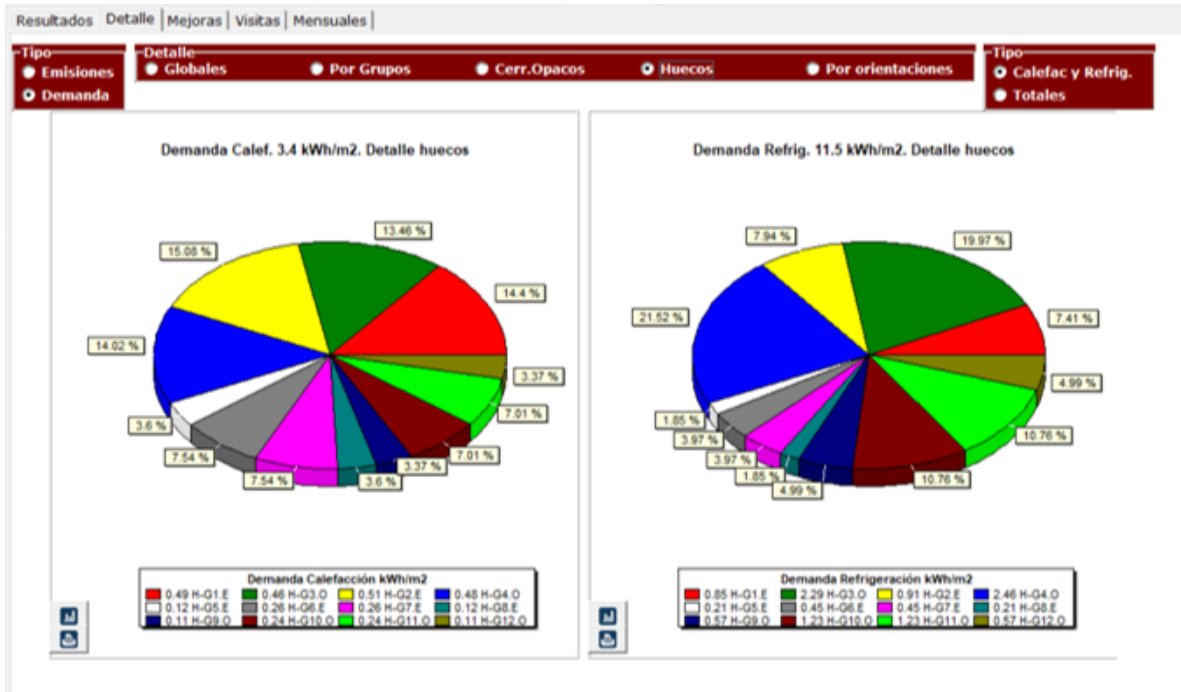


Figura 119. Detalle de demandas por huecos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

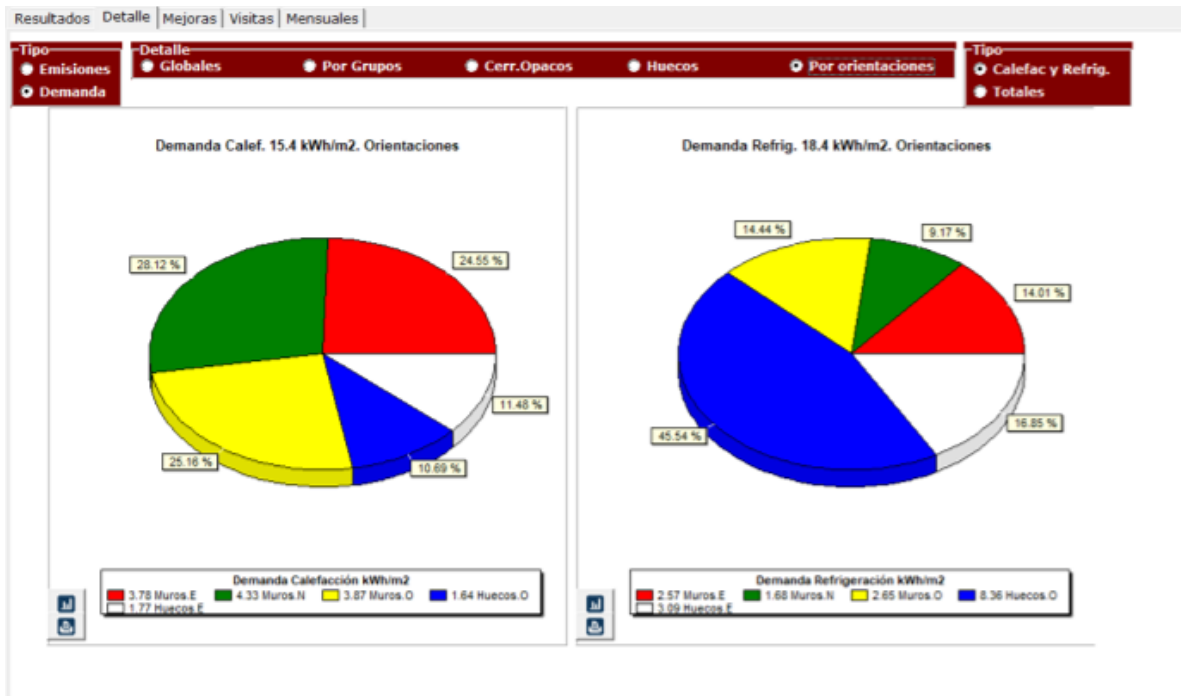


Figura 120. Detalle de demandas por orientaciones referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

A continuación se muestran el resto de tablas obtenidas a través de la aplicación CERMA V5.04, correspondientes al edificio con la aplicación de un LWS modular a base de paneles plásticos, y referentes a los detalles correspondientes a las emisiones y a la demanda del edificio. En estos se pueden observar los porcentajes propios del tipo de calefacción y refrigeración, y sus totales.

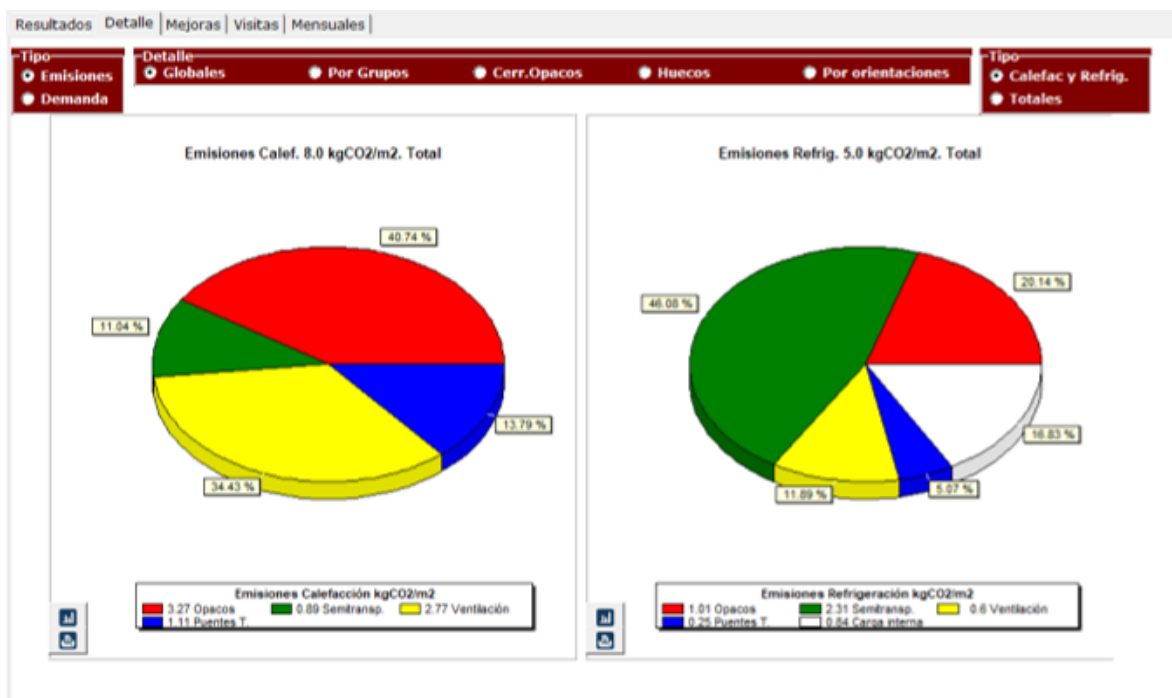


Figura 121. Detalle de emisiones globales referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

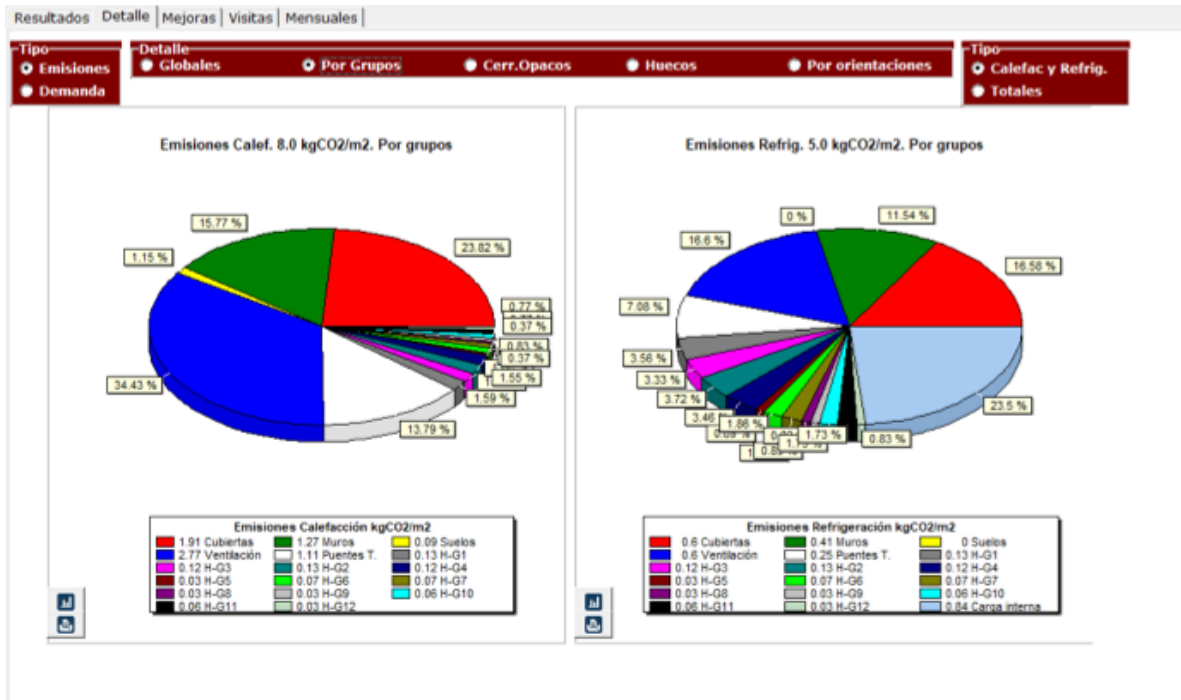


Figura 122. Detalle de emisiones por grupos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

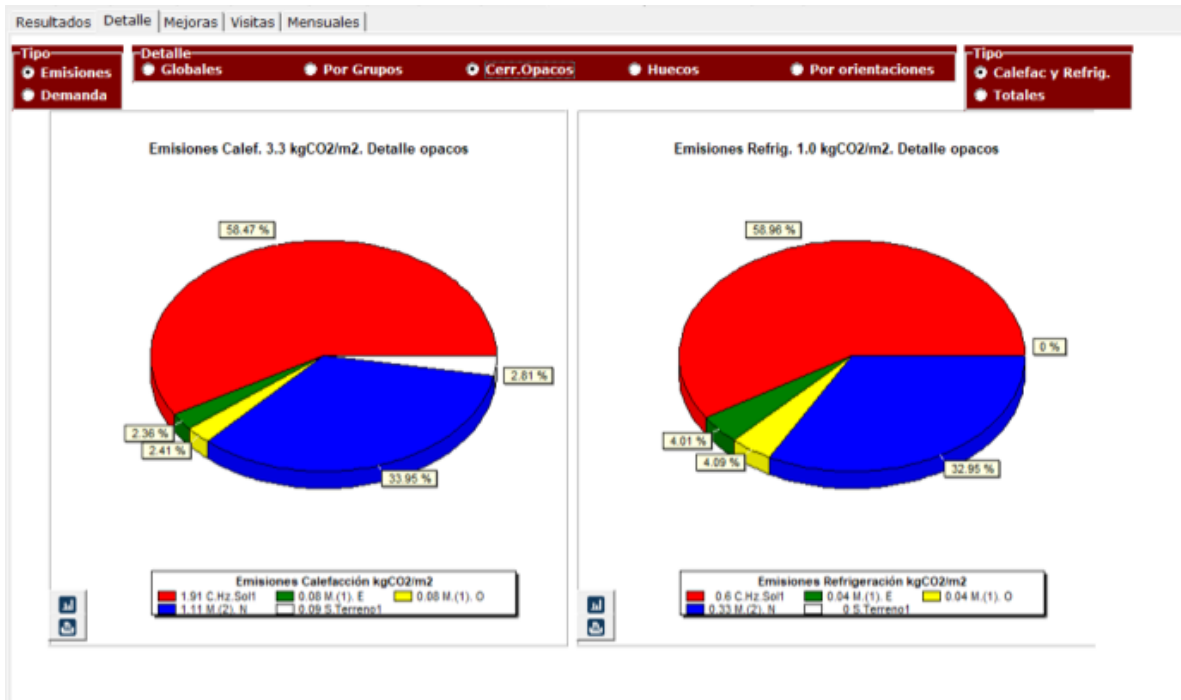


Figura 123. Detalle de emisiones por cerramientos opacos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)



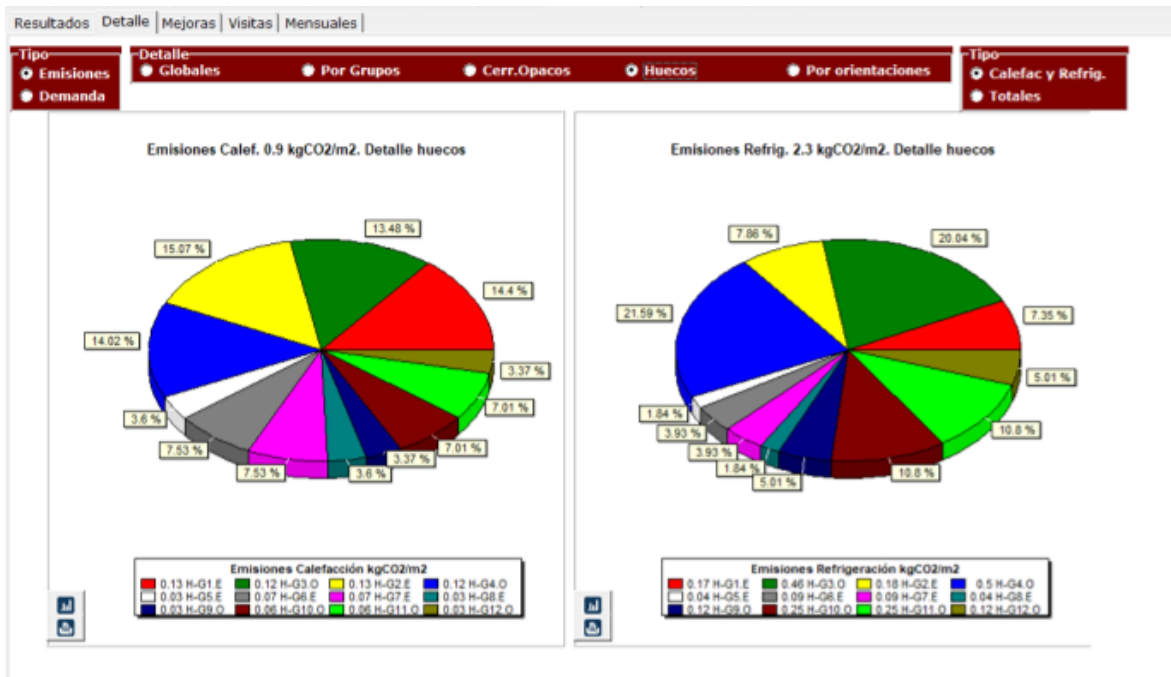


Figura 124. Detalle de emisiones por huecos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

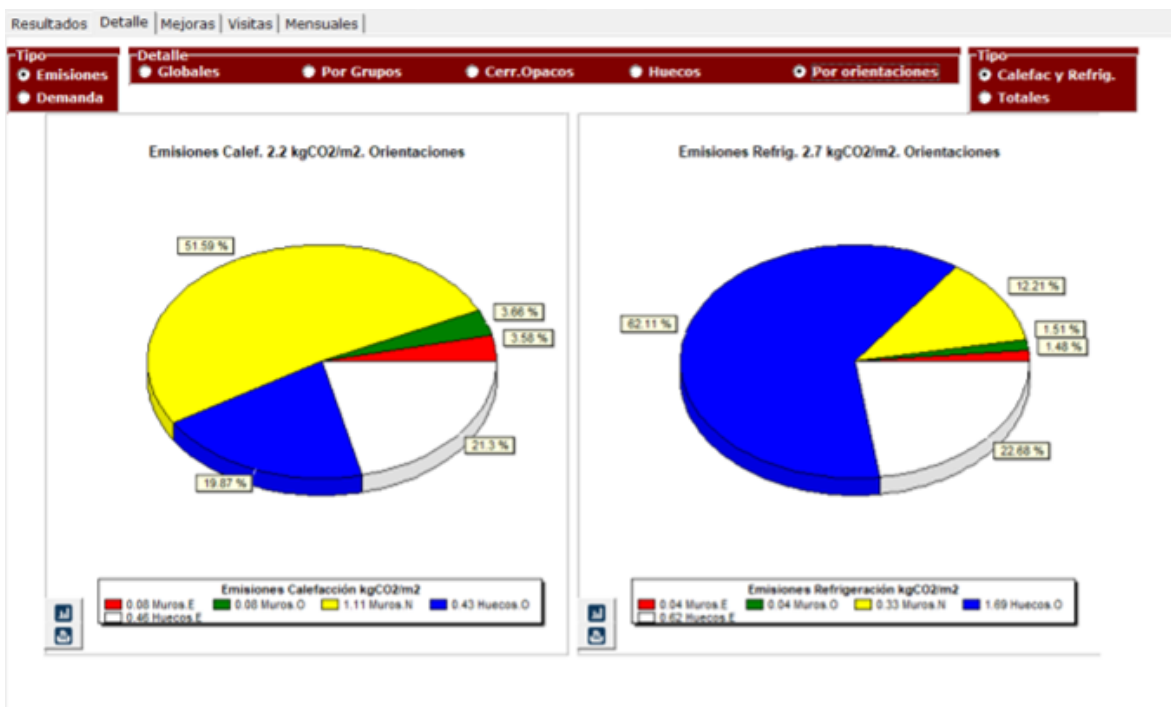


Figura 125. Detalle de emisiones por orientaciones referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

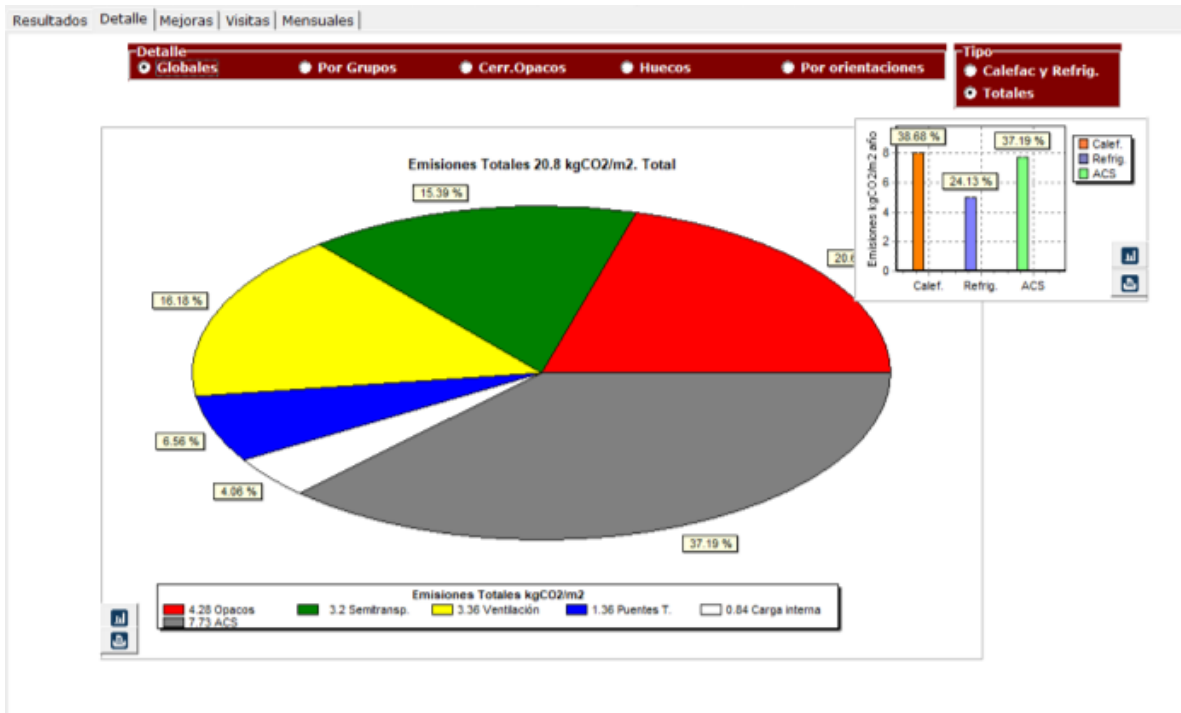


Figura 126. Detalle de emisiones totales globales (obtenido de CERMA V5.04)

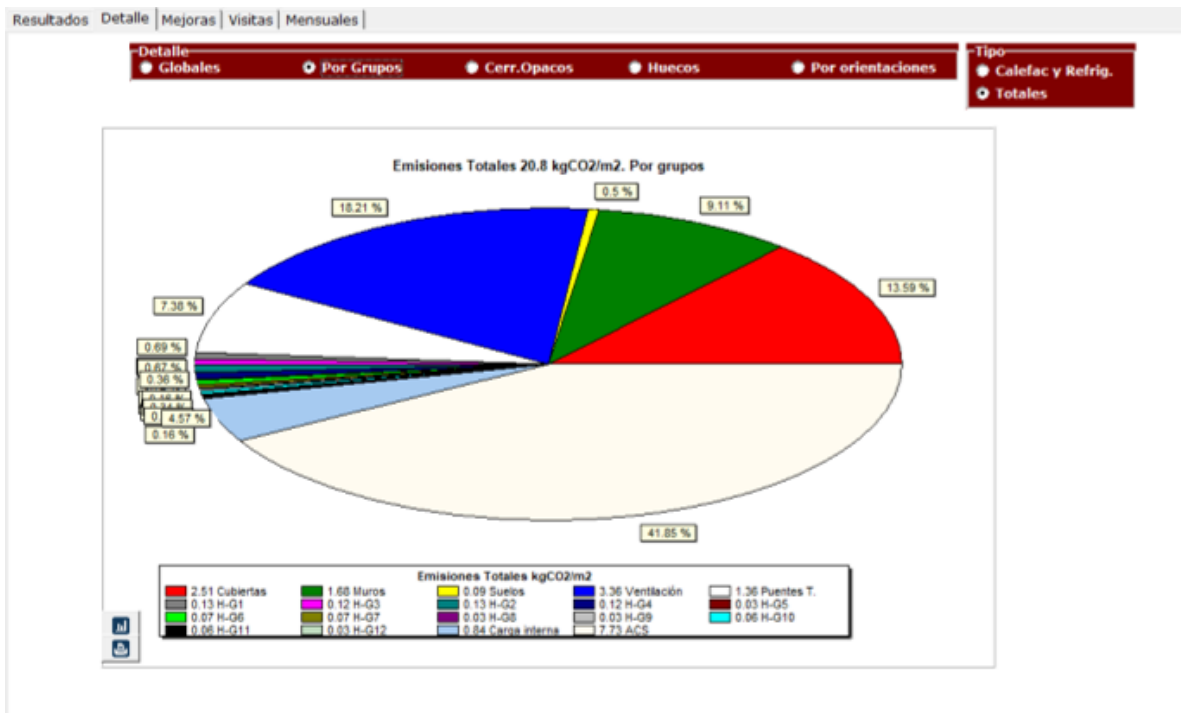


Figura 127. Detalle de emisiones totales por grupos (obtenido de CERMA V5.04)

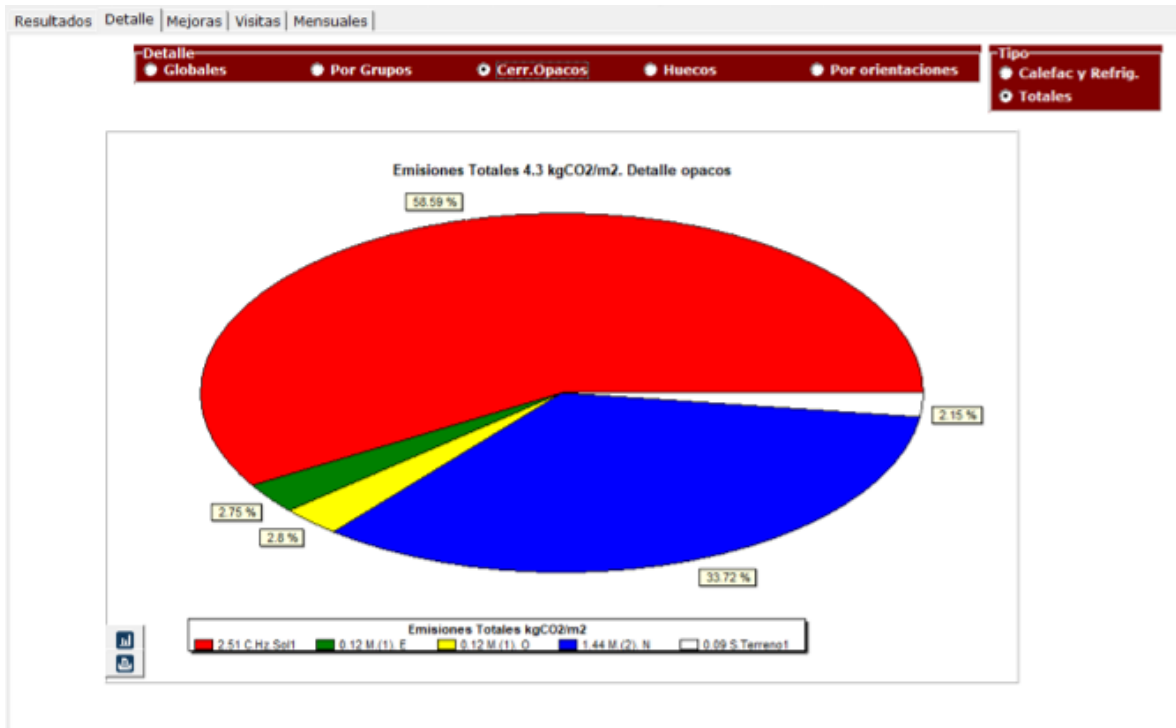


Figura 128. Detalle de emisiones totales por cerramientos opacos (obtenido de CERMA V5.04)

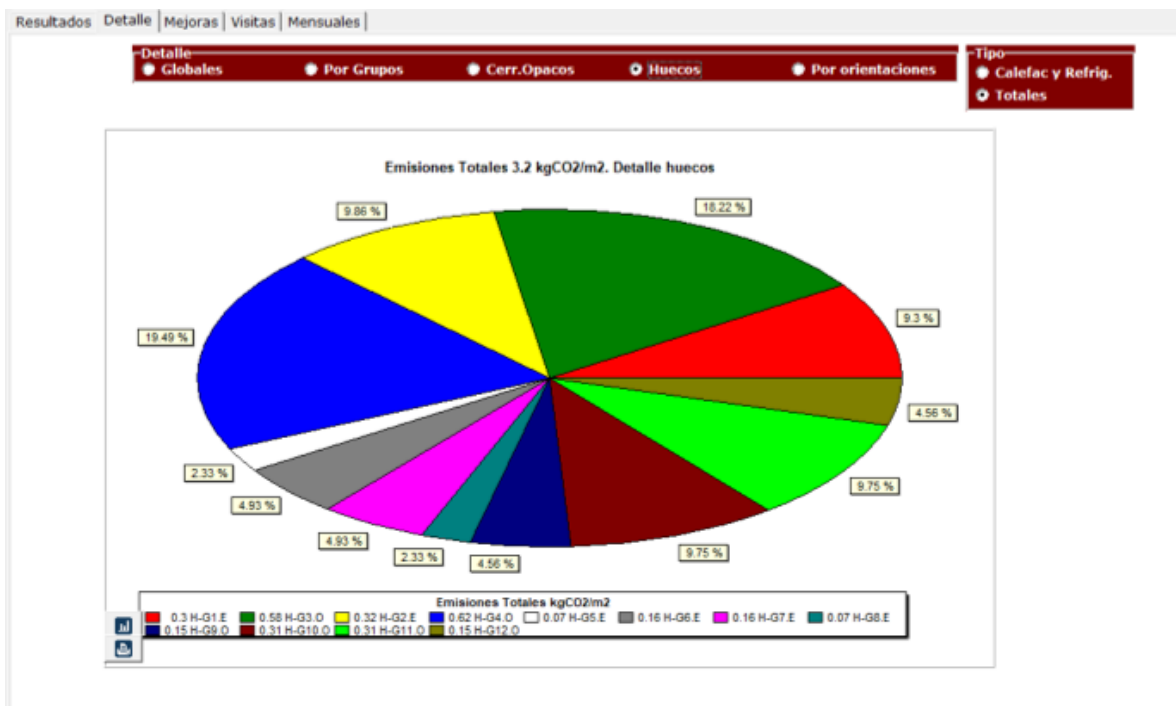


Figura 129. Detalle de emisiones totales por huecos (obtenido de CERMA V5.04)

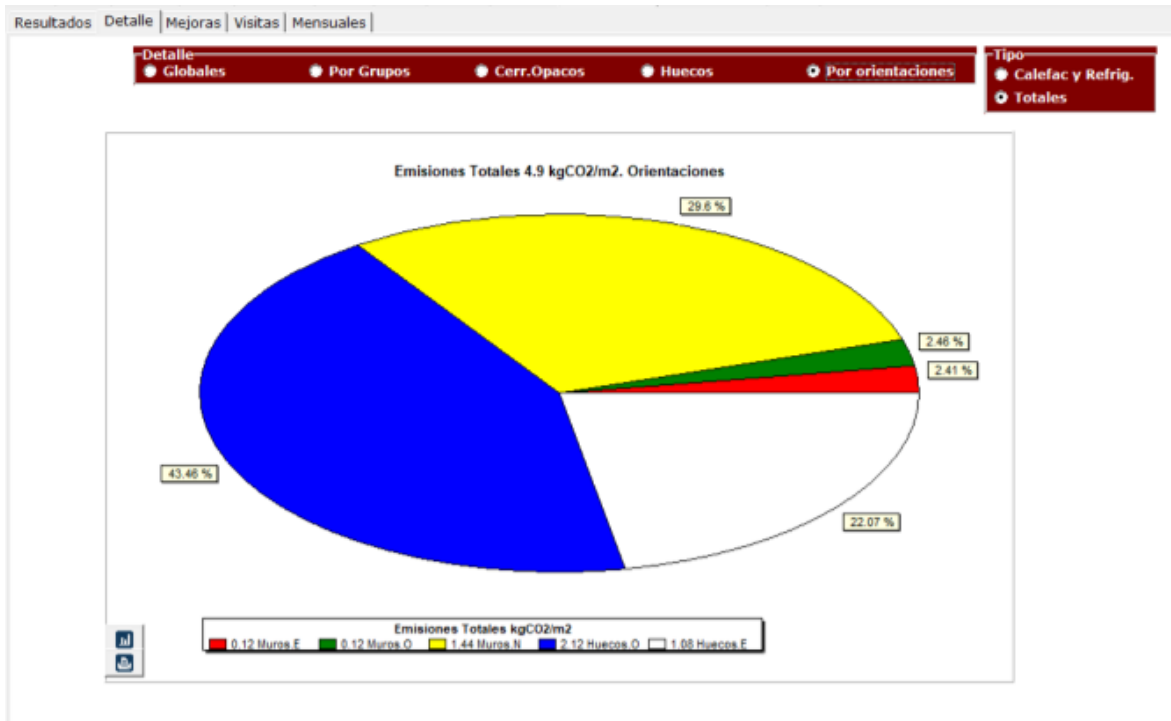


Figura 130. Detalle de emisiones totales por orientaciones (obtenido de CERMA V5.04)

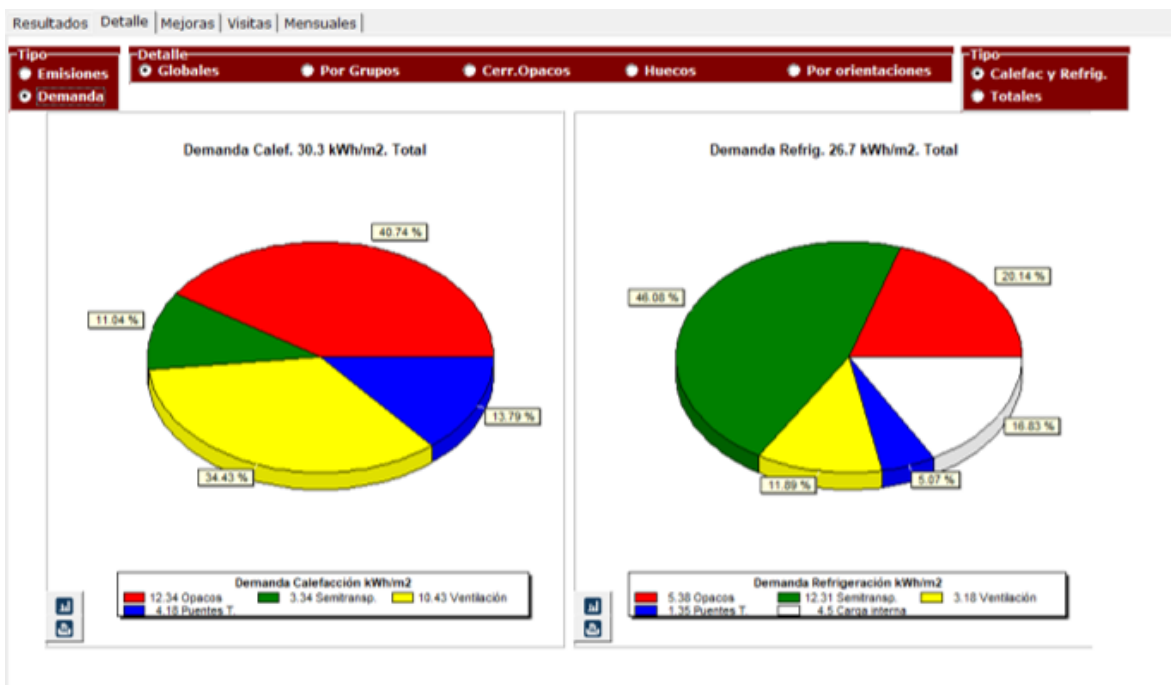


Figura 131. Detalle de demandas globales referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

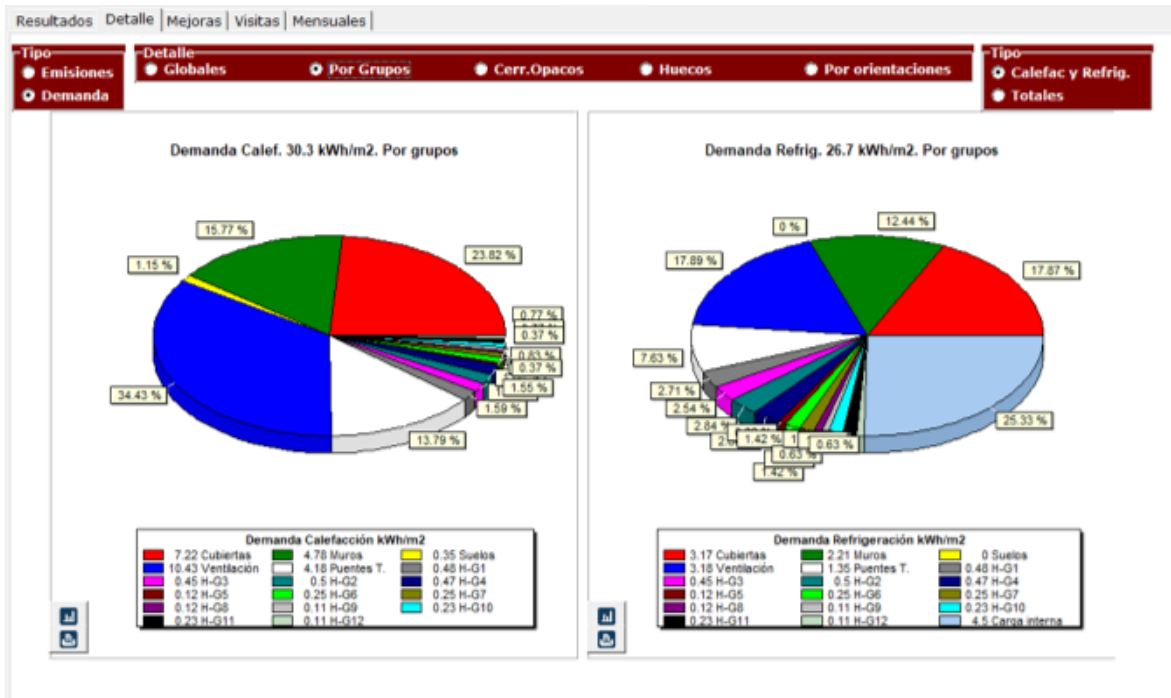


Figura 132. Detalle de demandas por grupos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

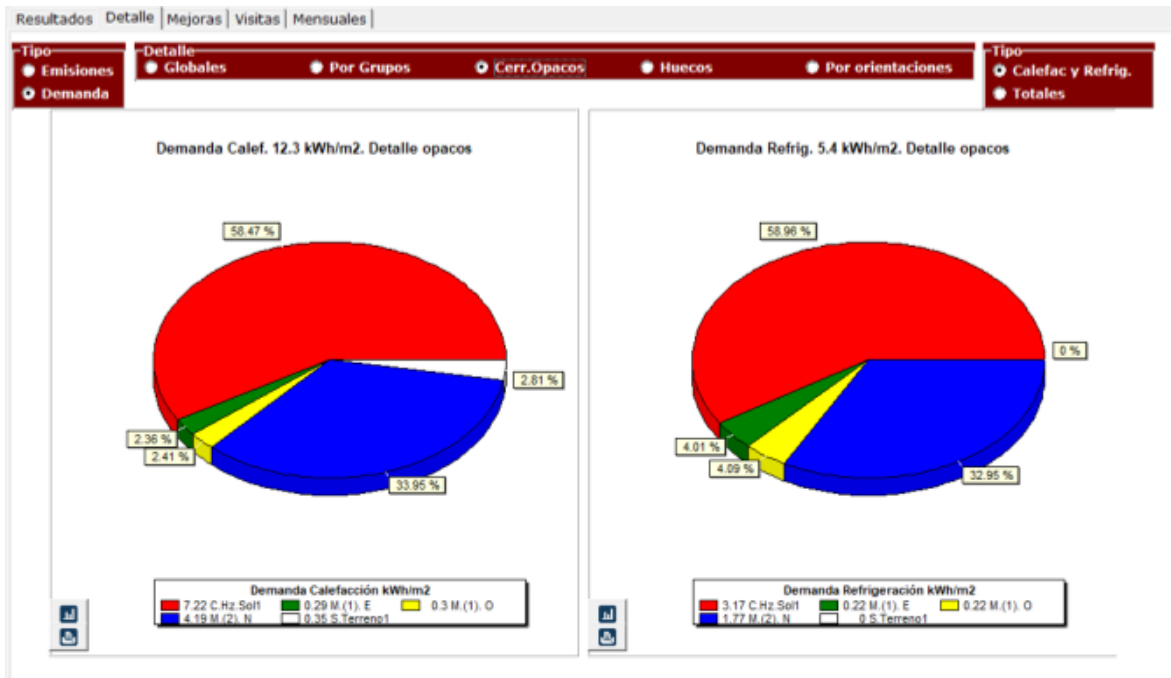


Figura 133. Detalle de demandas por cerramientos opacos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

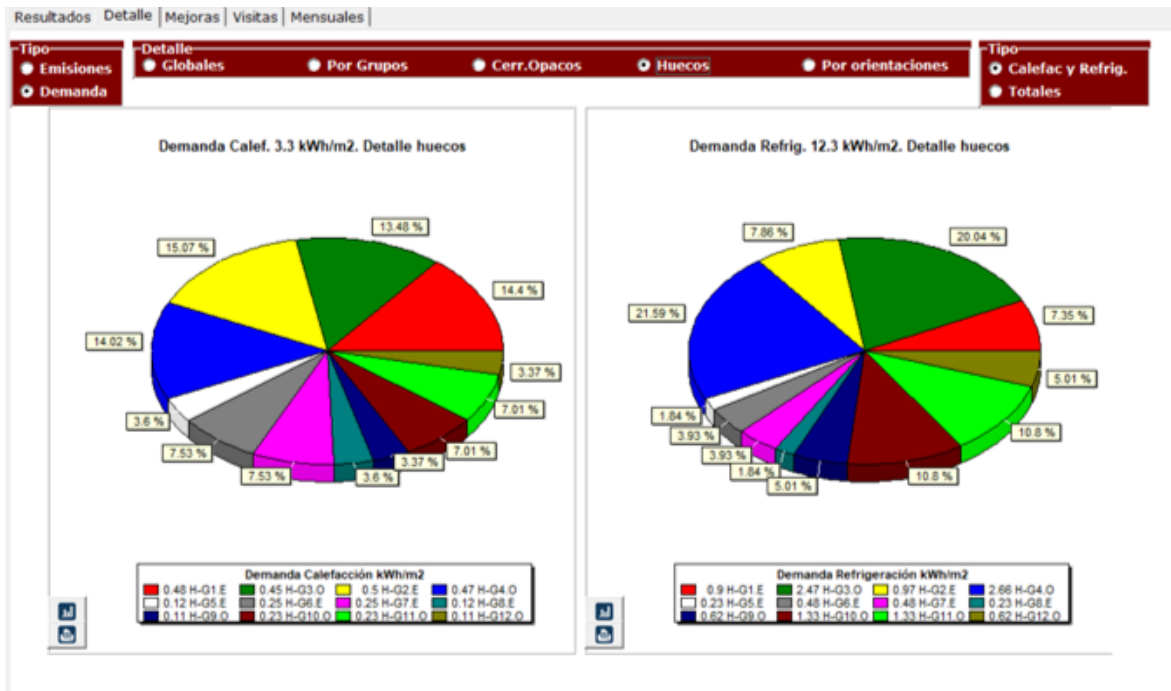


Figura 134. Detalle de demandas por huecos referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)

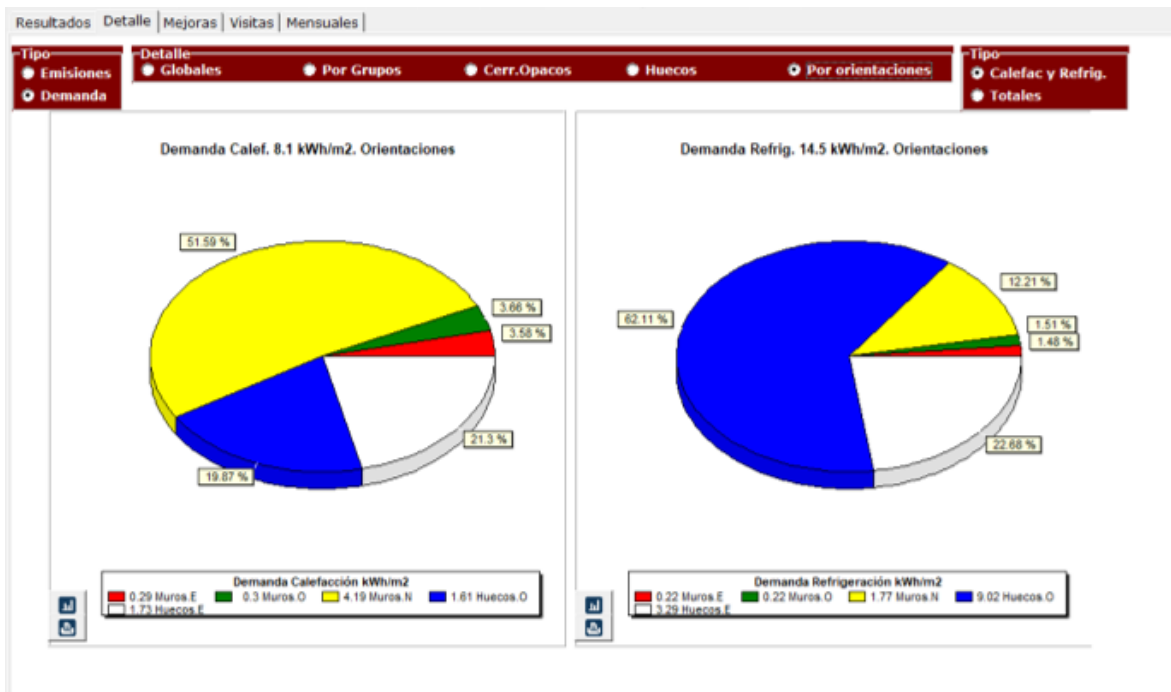


Figura 135. Detalle de demandas por orientaciones referentes a la calefacción y refrigeración (obtenido de CERMA V5.04)