



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO CONSTRUIDO MEDIANTE TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D Y ESTUDIO DE MEJORAS PARA CUMPLIR CON CERTIFICACIÓN DE EDIFICIO DE CONSUMO CASI NULO

AUTOR: VÍCTOR DE LAS HERAS REVERTE

TUTOR: FRANCISCO BARCELÓ RUESCAS

COTUTOR: XIMO MASIP SANCHIS

Curso Académico: 2018-19

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a mi familia, comenzando por mis padres y mi hermana Aida, que me han apoyado incondicionalmente desde la distancia, a lo largo de estos cuatro años. A mis abuelos, como no, con su deseo incansable de que su nieto se convierta en alguien importante el día de mañana. A mis tíos y primos por su plena confianza, mayor que la mía propia, en mi capacidad y esfuerzo.

También me gustaría agradecer a mis amigos, a los de toda la vida y a los que han llegado después, porque, sin ellos, estoy seguro de que llegar hasta aquí no hubiera sido posible.

Por último, agradezco la formación académica y, sobre todo, como persona que me han regalado todos los profesores, no solo de la universidad, sino de toda mi trayectoria estudiantil hasta el momento, así como a mis tutores por toda su ayuda aportada en el presente proyecto.

RESUMEN

Actualmente, el consumo energético en la construcción, mantenimiento y utilización de los edificios supone el 40% de la energía final total demandada según indica la Directiva 2012/27/UE, lo que se traduce en un gasto económico muy importante y en emisiones de grandes cantidades de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático que está experimentando el planeta Tierra hoy en día. La inmensa mayoría de la demanda energética en las viviendas viene dada por el consumo de climatización como consecuencia del deseo por establecer ciertas condiciones de confort en el interior.

Por ende, el objetivo de este trabajo reside en el análisis energético de un edificio residencial construido en la Universidad Politécnica de Valencia mediante tecnología de impresión 3D, así como el estudio de estrategias pasivas aplicables a dicha vivienda con el fin de alcanzar con los requisitos necesarios para cumplir con la certificación de edificio de consumo casi nulo.

Para ello, resulta imprescindible realizar un cálculo de cargas térmicas inicial, que en este caso es utilizado el programa DesignBuilder, para identificar los puntos débiles de la casa. Además, se hace un análisis de las condiciones climáticas de la localización del edificio a fin de seleccionar las medidas oportunas a implementar en la vivienda y, con todo ello, son añadidas y optimizadas dichas estrategias pasivas logrando una vivienda de consumo casi nulo en climatización.

Con un consumo inicial de 234,85 kWh/(m²año), de esta manera, se consigue reducir hasta 28,63 kWh/(m²año), medidas que repercuten en un ahorro económico de 278,44 €/año y de emisiones de gases de efecto invernadero de 1,23 toneladas de CO_{2,eq}/año.

Palabras Clave: Simulación energética de edificios, edificios de consumo casi nulo, eficiencia energética en la edificación, bioclimatismo, cálculo de cargas, eficiencia energética en edificios, soluciones pasivas de mejora de eficiencia, reducción consumo energético.

RESUM

Actualment, el consum energètic en la construcció, manteniment i utilització dels edificis suposa el 40% de l'energia final total demandada segons indica la Directiva 2012/27/UE, la qual cosa es tradueix en una despesa econòmica molt important i en emissions de grans quantitats de gasos d'efecte hivernacle que contribueixen al canvi climàtic que està experimentant el planeta Terra hui dia. La immensa majoria de la demanda energètica en els habitatges ve donada pel consum de climatització com a conseqüència del desig per establir certes condicions de confort a l'interior.

Per tant, l'objectiu d'aquest treball resideix en l'anàlisi energètica d'un edifici residencial construït a la Universitat Politècnica de València mitjançant tecnologia d'impressió 3D, així com l'estudi d'estratègies passives aplicables a aquest habitatge amb la finalitat de aconseguir els requisits necessaris per a complir amb la certificació d'edifici de consum quasi nul.

Per a això, resulta imprescindible realitzar un càlcul de càrregues tèrmiques inicial, que en aquest cas és utilitzat el programa DesignBuilder, per a identificar els punts febles de la casa. A més, es fa una anàlisi de les condicions climàtiques de la localització de l'edifici a fi de seleccionar les mesures oportunes a implementar en l'habitatge i, amb tot això, són afegides i optimitzades aquestes estratègies passives aconseguint un habitatge de consum quasi nul en climatització.

Amb un consum inicial de 234,85 kWh/(m²any), d'aquesta manera, s'aconsegueix reduir fins a 28,63 kWh/(m²any), mesures que repercuteixen en un estalvi econòmic de 278,44 €/any i d'emissions de gasos d'efecte hivernacle de 1,23 tones de CO_{2,eq}/any.

Paraules Clau: Simulació energètica d'edificis, edificis de consum quasi nul, eficiència energètica en l'edificació, bioclimatisme, càlcul de càrregues, eficiència energètica en edificis, solucions passives de millora d'eficiència, reducció consum energètic.

ABSTRACT

Nowadays, energy consumption in the construction, maintenance and use of buildings represents 40% of the total final energy demanded as indicated in Directive 2012/27 / EU, which is turned into a very significant economic expense and large amounts of greenhouse effect gases emissions that contribute to the climate change that planet Earth is suffering today. Most of the energy demand in houses is given by the consumption of HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) as a result of the desire to establish certain comfort conditions inside.

Therefore, the objective of this work lies in the energy analysis of a residential building built at the Polytechnic University of Valencia using 3D printing technology, as well as the study of passive strategies applicable to the house in order to achieve the necessary requirements to achieve the nearly zero-energy building certification.

To do this, it is essential to carry out a calculation of initial thermal loads, that in this case is used DesignBuilder software, to identify the weak points of the house. In addition, an analysis of the climatic conditions of the location of the building is made in order to select the appropriate measures to be implemented in the dwelling and, with all this, those passive strategies are added and optimized, achieving a nearly zero-energy building in HVAC.

With an initial consumption of 234.85 kWh/(m²year), in this way, it is possible to reduce to 28.63 kWh/(m²year), measures that have an impact on an economic saving of €278.44/year and of greenhouse effect gases emissions of 1.23 tons of CO_{2,eq} /year

Key words: Energy simulation of buildings, nearly zero-energy buildings, energy efficiency in edification, bioclimatism, load calculation, energy efficiency in buildings, passive solutions for efficiency improvement, energy consumption reduction.

Documentos contenidos en el TFG

- Memoria
- Presupuesto

INDICE MEMORIA

MEMORIA	1
1. OBJETO DEL TRABAJO	2
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Antecedentes.	3
2.2. Motivación.....	4
2.3. Estructura del documento.....	4
3. MODELADO DEL EDIFICIO	5
3.1. Descripción del edificio.	5
3.2. Modelado en software.	6
3.2.1. Descripción del software.....	6
3.2.2. Proceso de modelado.....	7
3.2.2.1. Definición del sitio.....	7
3.2.2.2. Obtención e importación del archivo DXF.	8
3.2.2.3. Extrusión del edificio en DesignBuilder.....	8
3.2.2.4. Parámetros constructivos del edificio.....	9
3.2.2.5. Puentes térmicos.	13
3.2.2.5.1. Puente térmico del encuentro Muro-Techo.	14
3.2.2.5.2. Puente térmico del encuentro Muro-Suelo.	16
3.2.2.5.3. Puente térmico de las ventanas.....	20
3.2.2.6. Estanqueidad al aire.....	20
3.2.2.7. Actividad.....	21
3.2.2.8. Calefacción, refrigeración y ventilación (HVAC).....	26
4. ANÁLISIS CLIMÁTICO	27
4.1. Estudio Temperaturas.	28
4.2. Trayectoria y radiación solar.	29
4.3. Estudio vientos	32
4.4. Humedad relativa	34
4.5. Climograma de bienestar.	34

4.6.	Conclusión análisis climático.....	36
5.	SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y ANÁLISIS.....	38
6.	ESTUDIO DE ESTRATEGIAS PASIVAS.....	45
6.1.	Análisis individual de las estrategias pasivas.....	45
6.1.1.	Modificación de la orientación de la vivienda.....	45
6.1.2.	Superficie de acristalamiento.....	48
6.1.3.	Sombreado de la vivienda.....	52
6.1.3.1.	Sombreado de las ventanas de la fachada Sur mediante un voladizo.....	52
6.1.3.2.	Sombreado de las ventanas mediante estores.....	55
6.1.3.3.	Sombreado de la fachada Oeste mediante un porche.....	57
6.1.3.4.	Sombreado de Techo mediante Cubierta inclinada.....	59
6.1.4.	Cubierta Vegetal.....	61
6.1.5.	Aislamiento de la Envolvente.....	63
6.1.5.1.	Aislamiento de Suelo.....	63
6.1.5.2.	Aislamiento de Fachadas.....	65
6.1.5.3.	Aislamiento de cubierta.....	67
6.1.6.	Hermeticidad en la vivienda.....	69
6.1.7.	Rotura del puente térmico del encuentro Muro-Suelo.....	70
6.1.8.	Mejora de ventilación.....	72
6.1.8.1.	Ventilación Natural.....	72
6.1.8.2.	Recuperador de Calor.....	73
6.1.9.	Resumen de medidas cuantificadas individualmente.....	76
6.2.	Análisis conjunto de las estrategias pasivas.....	77
6.3.	Comparativa con el caso inicial.....	80
7.	CONCLUSIONES.....	82
	BIBLIOGRAFÍA.....	86

INDICE PRESUPUESTO

<i>PRESUPUESTO</i>	83
1. PRESUPUESTO.....	84
1.1. Costes de personal.....	84
1.2. Costes de material inventariable.....	84
1.3. Costes de material fungible.....	85
1.4. Presupuesto total.....	85

INDICE FIGURAS

Figura 1. Localización de la vivienda. Vista satélite en Google Maps.	5
Figura 2. Orientación de la vivienda. Vista satélite en Google Maps.....	5
Figura 3. Fotografía de la vivienda tomada desde el Sudoeste.	6
Figura 4. Modelado de la vivienda – Caso base. DesignBuilder.....	9
Figura 5. Fotografía del hidropónico (Oeste). Elaboración propia.....	12
Figura 6. Fotografía de la ventana Norte. Elaboración propia.....	12
Figura 7. Fotografía de uno de los estores de la cara Este. Elaboración propia.	13
Figura 8. Modelado del puente térmico del encuentro Muro-Techo con THERM	14
Figura 9. Representación térmica con mapa de color con THERM.....	15
Figura 10. Valores obtenidos tras la simulación del puente térmico del encuentro Muro-Techo con THERM.	15
Figura 11. Modelado del puente térmico del encuentro Muro-Suelo con THERM.	17
Figura 12. Representación gráfica de los vectores del flujo de calor del encuentro Muro-Suelo con THERM.	17
Figura 13. Valores obtenidos tras la simulación del puente térmico del encuentro Muro-Suelo con THERM.	18
Figura 14. Representación gráfica de los vectores del flujo de calor a través del suelo con THERM.....	18
Figura 15. Valores obtenidos tras la simulación del suelo en contacto con el terreno con THERM.....	19
Figura 16. Fotografía de la puerta de la vivienda durante el Blower Door Test. Elaboración propia.	21
Figura 17. Fotografía de la cocina de la vivienda. Elaboración propia.....	24
Figura 18. Trayectoria solar con respecto al punto central de la vivienda. DesignBuilder.....	29
Figura 19. Influencia de la radiación solar en las diferentes fachadas y en el techo del edificio para invierno (izquierda) y verano (derecha). Imagen extraída del libro “De la casa pasiva al estándar passivhaus: la arquitectura pasiva en climas cálidos” (Wassouf, 2000)	30
Figura 20. Rosa de vientos detallada para el mes de febrero en Valencia. Climate Consultant.	32
Figura 21. Rosa de vientos detallada para el mes de agosto en Valencia. Climate Consultant..	33
Figura 22. Plano planta de la nueva orientación de la vivienda. Elaboración propia.	45
Figura 23. Posición del Sol con respecto a la vivienda el día 15 de diciembre a las 11:00 horas solares. DesignBuilder.....	47
Figura 24. Posición del Sol respecto a la vivienda el día 15 de junio a las 11:00 horas solares con la nueva superficie de acristalamiento. DesignBuilder.....	50
Figura 25. Sombras de la vivienda el día 15 de Mayo a las 10:00 horas solares con la nueva longitud de voladizo. DesignBuilder.....	53
Figura 26. Sombra de la vivienda el día 15 de junio a las 17:00 horas solares con el porche. DesignBuilder	57
Figura 27. Sombra de la vivienda el día 15 de diciembre a las 16:00 horas solares con el porche. DesignBuilder.	58
Figura 28. Sombra de la vivienda el día 5 de junio a las 11:00 horas solares con la cubierta inclinada. DesignBuilder.....	60

Figura 29. Características de la cubierta vegetal. DesignBuilder.	61
Figura 30. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el aislamiento de suelo. DesignBuilder.	64
Figura 31. Modelado de la vivienda con todas las estrategias pasivas implementadas.	78
Figura 32. Evolución diaria a lo largo del año de las cargas de climatización para el caso base. DesignBuilder.	79

INDICE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución anual de la temperatura del terreno a distintas profundidades. Elaboración propia.	7
Gráfico 2. Horario de ocupación de la vivienda en días laborables. Elaboración Propia.	22
Gráfico 3. Horario de ocupación de la vivienda en días festivos. Elaboración Propia.	22
Gráfico 4. Horario de utilización de la cocina y de los equipos de la vivienda. Elaboración propia.	25
Gráfico 5. Horario de utilización de las luminarias en la vivienda. Elaboración propia.	25
Gráfico 6. Horario de ventilación natural en los meses de verano. Elaboración Propia.	27
Gráfico 7. Horario de ventilación natural en los meses de invierno. Elaboración propia.	27
Gráfico 8. Evolución diaria a lo largo del año de la temperatura seca exterior en Valencia. Elaboración propia.	28
Gráfico 9. Radiación solar global, directa y difusa para los distintos meses en Valencia. Elaboración propia.	31
Gráfico 10. Humedad relativa exterior para los distintos meses en Valencia. Elaboración propia.	34
Gráfico 11. Climograma de bienestar en Valencia. Climate Consultant.	35
Gráfico 12. Evolución diaria a lo largo del año de las cargas de climatización para el caso base. DesignBuilder.	38
Gráfico 13. Evolución mensual a lo largo del año de las cargas internas y de la ganancia solar a través de los acristalamiento exteriores para el caso base. DesignBuilder.	40
Gráfico 14. Evolución mensual a lo largo del año de los flujos de calor de las infiltraciones, ventilación y transmitancia a través de la estructura del edificio, para el caso base. DesignBuilder.	41
Gráfico 15. Sectorización de las distintas pérdidas térmicas en el periodo de calefacción. Elaboración propia.	42
Gráfico 16. Sectorización de las distintas ganancias térmicas en el periodo de calefacción. Elaboración propia.	42
Gráfico 17. Sectorización de las distintas ganancias térmicas en el periodo de refrigeración. Elaboración propia.	43
Gráfico 18. Sectorización de las distintas pérdidas térmicas en el periodo de refrigeración. Elaboración propia.	44
Gráfico 19. Evolución mensual a lo largo del año de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores con la nueva orientación. DesignBuilder.	47
Gráfico 20. Demanda de climatización en función de la superficie de acristalamiento de las ventanas de la fachada Sur. Elaboración propia.	48
Gráfico 21. Demanda de climatización en función de la superficie de acristalamiento de las ventanas de las fachadas Este y Oeste. Elaboración propia.	49
Gráfico 22. Evolución mensual a lo largo del año de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores con la nueva superficie de acristalamiento. DesignBuilder.	51
Gráfico 23. Demanda de climatización en función de la longitud del voladizo de la fachada Sur. Elaboración propia.	52
Gráfico 24. Evolución mensual a lo largo del año de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores con la nueva longitud de voladizo. DesignBuilder.	54
Gráfico 25. Horario de los estores en verano. Elaboración propia.	55

Gráfico 26. Horario de los estores en invierno. Elaboración propia	56
Gráfico 27. Demanda de climatización en función del espesor de aislamiento del suelo. Elaboración propia.	63
Gráfico 28. Evolución mensual a lo largo del año del flujo de calor a través del suelo con el nuevo espesor de aislamiento. DesignBuilder.	65
Gráfico 29. Demanda de climatización en función del espesor de aislamiento de las fachadas. Elaboración propia.	66
Gráfico 30. Demanda de climatización en función del espesor de aislamiento de la cubierta. Elaboración propia.	67
Gráfico 31. Evolución mensual a lo largo del año de la carga térmica de las infiltraciones con la mejora de hermeticidad. DesignBuilder.	70
Gráfico 32. Evolución mensual a lo largo del año del flujo de calor a través del suelo con la rotura del puente térmico. DesignBuilder.	72
Gráfico 33. Eficiencia de recuperación de calor en función del caudal de aire.	74
Gráfico 34. Evolución mensual a lo largo del año de la recuperación de calor. DesignBuilder. .	75

INDICE TABLAS

Tabla 1. Composición de los elementos constructivos de la casa y espesor de las distintas capas. Elaboración propia.	10
Tabla 2. Transmitancia térmica del puente térmico de la ventana GENE0 PHZ (Feist, 2019)....	20
Tabla 3. Resultados obtenidos en el Blower Door Test.	21
Tabla 4. Condiciones interiores de diseño establecidas. RITE (Code et al., 2006).	23
Tabla 5. Perfiles de uso normalizados de los edificios residenciales. Apéndice C del DB HE (MF, 2017).	24
Tabla 6. Caudal de aire exterior mínimo exigido. DB HS del CTE (Ministerio de Fomento, 2017).	26
Tabla 7. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año para el caso base. DesignBuilder.	39
Tabla 8. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la nueva orientación. DesignBuilder.	46
Tabla 9. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con las nuevas ventanas. DesignBuilder.	50
Tabla 10. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el voladizo. DesignBuilder.	53
Tabla 11. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la mejora de estores. DesignBuilder.	56
Tabla 12. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el porche. DesignBuilder.	58
Tabla 13. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con sombreado de techo. DesignBuilder.	60
Tabla 14. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la cubierta vegetal. DesignBuilder.	62
Tabla 15. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el nuevo aislamiento de fachada. DesignBuilder.	66
Tabla 16. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el nuevo aislamiento de cubierta. DesignBuilder.	68
Tabla 17. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la nueva hermeticidad. DesignBuilder.	69
Tabla 18. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la rotura del puente térmico del encuentro Muro-Suelo. DesignBuilder.	71
Tabla 19. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la nueva ventilación. DesignBuilder.	73
Tabla 20. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el recuperador de calor. DesignBuilder.	74
Tabla 21. Resumen de las demandas de climatización para cada una de las estrategias pasivas. Elaboración propia.	76
Tabla 22. Resumen de las demandas de climatización para las estrategias pasivas funcionando de manera conjunta. Elaboración propia.	78
Tabla 23. Costes del personal asociado al proyecto.	84
Tabla 24. Costes asociados a los programas utilizados en el proyecto.	85
Tabla 25. Costes totales asociados al proyecto.	85

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

MEMORIA

1. OBJETO DEL TRABAJO

El primer objetivo de este proyecto es el cálculo de cargas térmicas, mediante la simulación energética mediante DesignBuilder (DesignBuilder software, 2016), y el análisis detallado de la situación real de un pequeño edificio residencial habitable por dos personas, obteniendo el consumo actual en refrigeración y calefacción, así como la identificación de los puntos débiles de la casa en cuanto a las pérdidas energéticas.

Sin embargo, el objetivo principal es el rediseño del edificio con el fin de conseguir una reducción de consumo tal que se logren valores cercanos a 0. Para ello se realizará un análisis climático pudiendo identificar, de esta forma, cuáles son las estrategias pasivas adecuadas. Una vez seleccionadas estas medidas, se hará un análisis individual de cada una de ellas, así como su influencia funcionando conjuntamente. De esta manera se pretende conseguir que la casa sea de consumo casi nulo o incluso de energía positiva.

Un edificio de consumo de energía casi nulo es un “edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto. La cantidad muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno”, según la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010). En este caso no se plantea el estudio relativo a la generación de energía mediante fuentes renovables, sino la reducción de consumo de climatización hasta alcanzar ciertos valores. En relación al indicador para la definición de este tipo de edificios, la Directiva 2010/31/UE (DEEE) indica también en el Artículo 9 lo siguiente: “... la aplicación detallada en la práctica por el Estado miembro de la definición de edificios de consumo casi nulo, que refleje sus condiciones nacionales, regionales o locales e incluya un indicador numérico de uso de energía primaria expresado en kWh/m² al año”, es decir, es un valor que debe indicar cada uno de los países de la UE (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010). En España se ha determinado dicho indicador en función de la zona climática, resultando para Valencia un consumo total de 56 kWh/(m²año) según el nuevo DB HE del CTE (Ministerio de Fomento, 2017). No obstante, se va a considerar como objetivo los 15 kWh/(m²año) en calefacción y 15 kWh/(m²año), que es lo establecido por Passivhaus (PHI, 2016) que, con seguridad es más restrictivo que lo impuesto por el CTE.

En este mismo documento se detallará la metodología llevada a cabo, además de todos los aspectos del proceso, desde el cálculo hasta el análisis.

Asimismo, se pretende justificar todos y cada uno de los pasos seguidos durante el proyecto con el fin de poseer información válida. Para ello se hará uso de las herramientas de cálculo y gráficas necesarias para que el trabajo esté bien definido.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Antecedentes.

El diseño y construcción de edificaciones pasivas, que se adapta a las condiciones climáticas para mantener unas mejores condiciones de confort térmico en su interior con respecto al exterior, se remonta a la antigüedad, con la aparición de las primeras viviendas que servían de refugio a las primeras civilizaciones. Sin embargo, no fue hasta siglo V a.C. cuando Sócrates dejó por escrito por primera vez una descripción de este tipo de arquitectura.

Si bien es cierto que, a pesar de que las casas pasivas se remontan a la antigüedad, con la invención de los sistemas de climatización y calefacción, este tipo de arquitectura quedó un poco de lado y comenzó a perder importancia. Sin embargo, a partir de la década de 1970 volvió a nacer el concepto de “casa pasiva” síntoma del alto consumo energético en el sector residencial y por una preocupación creciente por el medio ambiente. Poco a poco, este concepto ha ido evolucionando en los últimos años hasta alcanzar su madurez con la creación del estándar Passivhaus en Alemania en torno a 1990. La arquitectura pasiva pretende hacer uso de las condiciones exteriores para lograr un confort térmico prácticamente invariable en el interior del edificio reduciendo al máximo el consumo de calefacción y climatización por medios ajenos al propio diseño del edificio y a los materiales de construcción de este (Wassouf, 2000).

Es conveniente añadir que, las viviendas pasivas han mostrado una evolución muy favorable en países con un clima continental, en el cual, el principal factor a tener en cuenta es el consumo de calefacción frente al de refrigeración, debido a las bajas temperaturas exteriores. Por el contrario, no se ha presentado dicha evolución en climas más cálidos, en el que el consumo de refrigeración en los meses de verano cobra una importancia mayor, como en el caso que ocupa este proyecto. Este hecho hace que las estrategias de aprovechamiento solar y aislamiento térmico con el exterior sean objetivamente distintas entre ambos supuestos climáticos, y por lo tanto han de ser analizadas desde un punto de vista totalmente distinto con el fin de reducir el consumo lo máximo posible.

En cualquier caso, en cuanto a la estrategia europea, La Directiva 2012/27/UE de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética (DEE) (Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea, 2012), plantea un paquete de medidas sobre clima y energía con los siguientes objetivos fundamentales para el año 2020:

- 20% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de emisión del año 1990).
- 20% de energía producida mediante energías renovables en la Unión Europea.
- 20% de mejora de eficiencia energética.

Asimismo, la UE también se plantea objetivos a más largo plazo sobre clima y energía, siendo los siguientes para el año 2030:

- Al menos un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Al menos un 27% de cuota de energías renovables.
- Al menos un 27% de mejora de la eficiencia energética.

Por otro lado, en noviembre de 2018, la Comisión Europea presentó una visión estratégica a largo plazo desde el punto de vista del clima desde este momento hasta el año 2050. Se tomó como objetivo “la neutralidad climática mediante la inversión en soluciones tecnológicas realistas, la capacitación de los ciudadanos y la armonización de la acción en ámbitos clave como la política industrial, la financiación o la investigación, garantizando al mismo tiempo la justicia social para una transición justa”, según la Comisión Europea (Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018).

2.2. Motivación.

Resulta interesante que un edificio pueda llegar a resultar de consumo casi nulo en climatización y de esta forma, sin la necesidad de una fuente de energía externa para combatir las cargas internas, llegar a lograr en el interior del hogar unas condiciones térmicas que sean capaces de conseguir condiciones de confort.

Es prácticamente imposible generalizar ciertas reglas o pautas que sean aplicables de forma determinada en la arquitectura pasiva, puesto que la solución ideal que permite conseguir un bajo consumo energético viene determinada por diferentes factores climáticos que hay que tener en cuenta. De esta manera, la arquitectura pasiva cobra aún más interés consecuencia de las particularidades de un estudio independiente en cada caso y la implementación de las distintas soluciones posibles.

Además, como indica La Directiva 2012/27/UE (Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea, 2012), el consumo de energía en la Unión Europea relativa a la construcción, mantenimiento y utilización de los edificios representa un 40% de la energía final demandada en la actualidad, y siendo conscientes de la posibilidad de que, en un futuro cercano, la mayoría de los edificios puedan estar basados en este tipo de arquitectura, se hace notar un atisbo de esperanza en cuanto a la actual problemática del consumo energético, que está ligado directamente con el indudable cambio climático que está amenazando el medioambiente y la biodiversidad.

2.3. Estructura del documento.

El presente documento se encuentra organizado de manera que, en primera instancia se explica en detalle todo el proceso de modelado en DesignBuilder. Seguidamente, tiene lugar un análisis de las condiciones climáticas de la ubicación del edificio a fin de identificar cuáles pueden ser las estrategias pasivas más convenientes de implementar en la vivienda. Dicho esto, se encuentra a continuación un análisis detallado de los resultados obtenidos tras la simulación del modelo con el software, seguido del estudio de la implantación de las medidas de mejora analizadas tanto individualmente como conjuntamente. Finalmente, se hace una comparación con el caso inicial, así como el presupuesto de realización del proyecto y las conclusiones.

3. MODELADO DEL EDIFICIO

3.1. Descripción del edificio.

El edificio puesto en estudio en este proyecto es una pequeña vivienda de 27 m² construidos y 23,5 m² útiles, el cual se encuentra situado dentro del recinto de la Universitat Politècnica de València, concretamente en la zona noroeste del campus.



Figura 1. Localización de la vivienda. Vista satélite en Google Maps.

En el plano vista satélite obtenido a partir de Google Maps de la *Figura 1*, la ubicación exacta de la vivienda está indicada mediante un círculo rojo. Además, es un aspecto fundamental para este proyecto la orientación de la vivienda, la cual viene definida en la *Figura 2* puesto que es clave en el cálculo de cargas térmicas del edificio y en el análisis de éstas. En cuanto al rediseño de la casa, todas las medidas tomadas se sustentarán en la orientación del edificio, ya sea esta la que se ha medido realmente o una nueva que se considere más oportuna.



Figura 2. Orientación de la vivienda. Vista satélite en Google Maps.

Actualmente la vivienda no está siendo ocupada por nadie puesto que únicamente es un prototipo, pero tiene la capacidad de albergar a dos habitantes. Este prototipo ha sido construido por BEMORE 3D (“Viviendas, dispositivos y construcción 3D | Bemore3D,” n.d.) mediante impresión 3D a partir de su previo modelado en un programa informático. La impresión en 3D se ha utilizado para los muros de hormigón, el resto de las capas de los cerramientos se han instalado posteriormente. Además, se dispone de información acerca de que materiales se han utilizado en la construcción del edificio, desde cerramientos y forjados hasta los huecos por ventanas o puertas, de tal forma que este queda perfectamente definido para poder hacer el modelado en el software de manera meticulosa.



Figura 3. Fotografía de la vivienda tomada desde el Sudoeste.

Asimismo, ha sido proporcionado además un dibujo en .dwg (Autocad) en 3D de tal forma que se han podido obtener todas las dimensiones del edificio correctamente de manera precisa sin necesidad de hacer ninguna estimación.

3.2. Modelado en software.

El primer paso, para poder hacer un análisis de cargas térmicas en última instancia, es la realización del modelado en 3 dimensiones del edificio a estudiar y a partir de ahí hacer la simulación del mismo y obtener los resultados de interés. Para la realización de este proyecto en concreto se ha seleccionado el programa DesignBuilder.

3.2.1. Descripción del software.

Actualmente, existen una gran cantidad de programas informáticos destinados al modelado de edificios y al cálculo de cargas, entre ellos DesignBuilder, software elegido para este estudio.

Se ha decidido utilizar DesignBuilder definitivamente, que utiliza como motor de cálculo EnergyPlus (Doe, 2013), ya que ofrece mayores posibilidades en cuanto a la selección de cerramientos compuestos por varias capas de materiales y la modificación de una gran cantidad de distintos parámetros relacionados con aspectos térmicos y de iluminación. Además, tiene una interfaz sencilla que permite acceder a todos los parámetros de forma rápida, lo cual facilita el aprendizaje de utilización de este. Otro de los motivos por los que se ha seleccionado este software es por la adquisición de licencia por parte de la UPV que permite utilizar el programa de manera ilimitada, en contraposición a otros programas que no son gratuitos.

Resulta no muy complicado generar un edificio a partir de un bloque extruido de la forma que se desee. Para elaborar un edificio en concreto existen distintos procedimientos igualmente válidos, y muchas veces es complicado elegir la forma más conveniente, sin embargo, en este caso no existe problemática en ese sentido puesto que el edificio es muy pequeño y sencillo en cuanto a estructura se refiere.

3.2.2. Proceso de modelado.

3.2.2.1. Definición del sitio.

En primer lugar, es necesario definir en el modelo las características del sitio donde está ubicado el edificio en cuestión, para ello primero es necesario añadir la plantilla correspondiente a la localidad de Valencia, que incorpora datos relativos a la climatología de dicha ubicación. Estos valores no van a ser modificados, a excepción de las temperaturas del terreno a distintas profundidades, información que se ha adquirido a partir del software Climate Consultant.

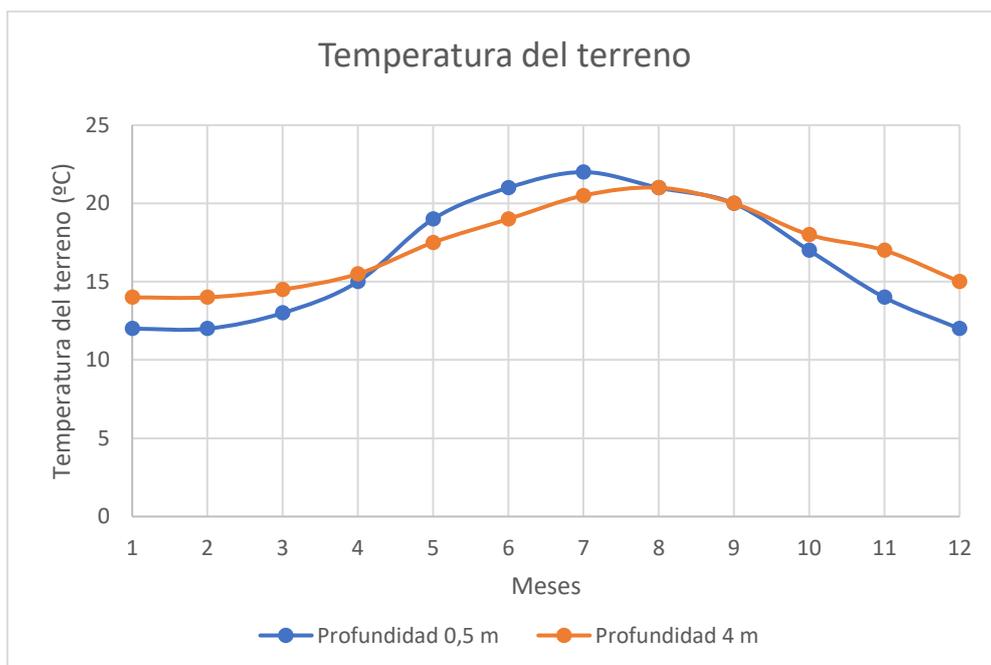


Gráfico 1. Evolución anual de la temperatura del terreno a distintas profundidades. Elaboración propia.

Los distintos valores del *Gráfico 1* se han de introducir en los espacios correspondientes a la temperatura del terreno superficial y profunda en DesignBuilder, quedando, de esta manera, bien definidas todas las características del sitio. La definición correcta de las condiciones climáticas, así como la temperatura del terreno, es un paso tan importante como el modelado a nivel de edificio, puesto que los resultados calculados por el programa se basan principalmente en estos aspectos.

3.2.2.2. Obtención e importación del archivo DXF.

En cuanto a la vivienda como tal, para poder extruirla en el software, es conveniente utilizar un archivo DXF del plano en planta, que permite dibujar el modelo en DesignBuilder de forma precisa. Sin embargo, en un primer momento no se dispone de dicho plano. Para ello se ha de partir del dibujo .dwg en 3D, que ha sido proporcionado inicialmente, para obtener el plano en planta mediante el programa Autocad, en este caso se ha utilizado la versión Autocad 2019 (Autocad software, 2019), pero es igualmente válido hacer uso de versiones anteriores de dicho software. Una vez dibujado el plano del edificio, lo guardamos como archivo DXF de tal forma que posteriormente se pueda importar en DesignBuilder sin mayores dificultades.

Se debe prestar especial atención a las unidades métricas en las que se encuentra dibujado el plano, puesto que es un aspecto fundamental a tener en cuenta previo a la realización del modelo. En este caso, el dibujo de partida se encuentra en milímetros, por lo que es necesario indicarlo en el software puesto que, por defecto, marca las unidades del sistema internacional.

3.2.2.3. Extrusión del edificio en DesignBuilder.

Una vez importado el plano en el software, se hace notar que éste sirve de guía para dibujar el edificio en 3D en el programa. Simplemente, para extruirlo, se selecciona la opción de añadir un nuevo bloque y se ha de indicar el tipo de bloque que se desea crear, en este caso “Bloque de edificio”, aunque también se puede elegir “Bloque de contorno” y convertirlo posteriormente en “Bloque de edificio” en el caso de que se quiera crear un edificio con una forma más compleja, pero en este caso no es necesario y se puede crear de una forma más directa. Seguidamente, seleccionamos que se desea un bloque extruido de una altura de 2,5 metros (medida tomada a partir del dibujo de partida en Autocad). A continuación, se procede a dibujar la base de la casa tomando como referencia la cara interior del plano introducido, ya que es la que se va a tomar como la que va a definir las zonas térmicas interiores. Una vez queda encerrada un área, automáticamente se genera el edificio de las dimensiones indicadas, y se observa que, por defecto, el programa crea ventanas a lo largo de la superficie de las paredes exteriores, sin embargo, no se corresponden con la ubicación de las ventanas reales de la vivienda, por lo que es necesario reducir la superficie de acristalamiento al 0% en un primer momento de forma que se eliminan todos los huecos del modelo.

Una vez se tiene el edificio sin ningún tipo de acristalamiento, se procede a introducir las ventanas de forma manual en concordancia a la realidad. Para ello, se han de tomar medidas en Autocad de las dimensiones y la posición de cada una de las ventanas, y entrando en DesignBuilder a nivel de muro, y con ayuda de líneas auxiliares emplazadas anteriormente, se dibujan las ventanas con las medidas exactas. La puerta de entrada de la casa se ha definido también como una ventana más debido a que los materiales de dicha puerta son los mismos que los de la ventana y, además, se considera que las ganancias térmicas por radiación a través de su acristalamiento tendrán más importancia que su apertura a lo largo del año. Esto queda explicado de forma más detallada en el apartado *3.2.2.4 Parámetros constructivos del edificio*. de la presente memoria.

Por otro lado, el programa permite introducir particiones interiores de manera similar a la creación de los muros exteriores de la vivienda, por lo tanto, haciendo uso de nuevo del plano DXF introducido inicialmente, se pueden dibujar las medianeras de la casa definiendo de esta manera las distintas zonas térmicas de la casa. La vivienda está distribuida de tal forma que finalmente quedan definidas tres habitaciones distintas: La cocina-comedor, la habitación y el aseo.

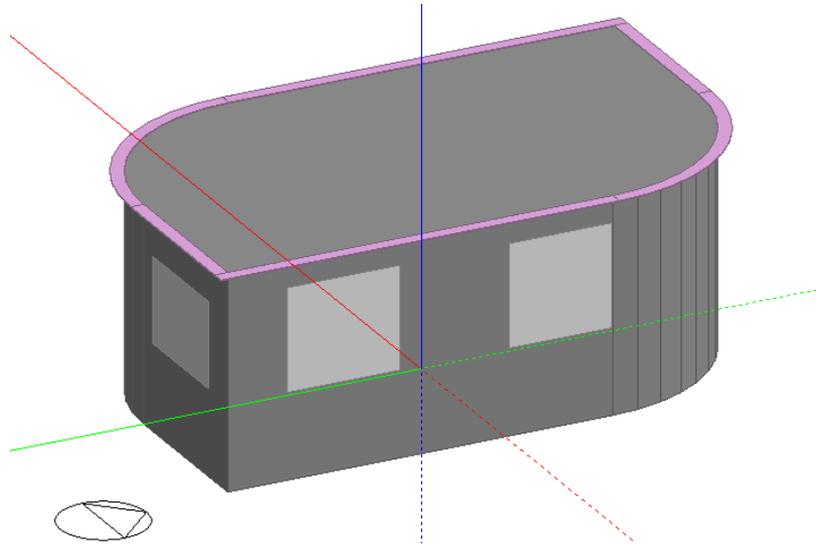


Figura 4. Modelado de la vivienda – Caso base. DesignBuilder.

A pesar de que, según el dibujo 3D en Autocad, el edificio ya estaría modelado en cuanto a estructura, se puede comprobar que además existe un voladizo a la cota del techo de aproximadamente 15 cm alrededor de toda la vivienda. Pretendiendo ser fiel a la realidad, es conveniente añadir dicho voladizo como un bloque de componente, que proyecte sombra sobre las fachadas del edificio y que no lo haga sobre el techo de éste, por ello la altura de este bloque de componente se ha establecido en 1 cm. Por otra parte, también es necesario establecer la orientación de la vivienda según corresponde en la realidad

Hecho esto, estaría definida la estructura de la casa como se puede visualizar en la *Figura 4*, a falta de indicar los distintos materiales de los que están compuestos los cerramientos y los huecos, lo cual se detallará a continuación.

3.2.2.4. Parámetros constructivos del edificio.

Una vez se ha dibujado la vivienda, es fundamental, para poder hacer un estudio de cargas térmicas, introducir en el programa los materiales con los cuales ha sido construida. En la definición de los materiales resulta necesario adoptar bastante precisión de forma que se pueda posteriormente hacer un análisis de cargas mucho más exacto de esta manera asegurarse de la validez de los cálculos realizados. En los estudios en los que se busca rediseñar una vivienda de consumo casi nulo es muy importante definir todos los parámetros como corresponde con el fin de lograr un estudio de valor ya que la definición imprecisa de alguno de los valores puede marcar una gran diferencia en relación a la demanda final total por parte de la vivienda. Sin embargo, en proyectos de climatización de mayor envergadura, en los que no se busca obtener

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

un edificio de muy bajo consumo, la definición no tan precisa de alguna de las características de los cerramientos supone un error relativo menor puesto que la demanda del edificio asciende a valores elevados respecto a otro de consumo casi nulo.

Tipo de cerramiento		Muros exteriores	Suelo	Tejado	Medianeras	Hidropónico
Capa 1	Material	Revoco cal fina	Mortero resina continua (Ultratop - mapei)	Mortero resina continua (Ultratop - mapei)	Pladur	Revoco cal fina
	Espesor	1 mm	2 cm	3 cm	13 mm	1 mm
Capa 2	Material	Pladur	Losa de hormigón	XPS	Cámara de aire	Pladur
	Espesor	13 mm	30 cm	12 cm	3 cm	13 mm
Capa 3	Material	Cámara de aire	-	Mortero hidrófugo	Hormigón 3D	Cámara de aire
	Espesor	3 cm	-	5 mm	15 cm	3 cm
Capa 4	Material	Hormigón 3D	-	Bituminoso	Cámara de aire	Hormigón 3D
	Espesor	15 cm	-	3mm	3 cm	15 cm
Capa 5	Material	Mortero proyectado 3	-	Chova tela asfáltica fotocatalizada	Pladur	Mortero proyectado 3
	Espesor	3 cm	-	5 mm	13 mm	3 cm
Capa 6	Material	SATE XPS	-	-	-	SATE XPS
	Espesor	10 cm	-	-	-	4 cm
Capa 7	Material	-	-	-	-	Cámara de aire vent.
	Espesor	-	-	-	-	11 cm
Capa 8	Material	-	-	-	-	Mortero proyectado 3
	Espesor	-	-	-	-	3 cm

Tabla 1. Composición de los elementos constructivos de la casa y espesor de las distintas capas. Elaboración propia.

Se dispone de información acerca de que materiales se han utilizado en la construcción e instalación de los cerramientos, así como el espesor de cada una de las capas en las que están divididos dichos cerramientos. Sin embargo, en un primer momento no se tiene información sobre las propiedades térmicas de dichos materiales, por lo tanto, es necesario obtener esos parámetros a través de una fuente externa. Para obtener los datos de conductividad, densidad y C_p se debería recurrir a las fichas técnicas de los materiales en el caso de que se dispusiese de estos documentos, pero no se conocen los proveedores de los distintos materiales. Por tanto, como se trata de materiales genéricos, como puede ser el hormigón o las placas de pladur, se ha hecho uso del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (Gobierno de España, 2010), donde aparecen las características principales de los materiales de construcción comunes.

Una vez se tiene acceso a toda la información necesaria relativa a los materiales, recogida en la *Tabla 1*, se procede a introducirlos en el modelo. Para ello es necesario conocer perfectamente el funcionamiento del sistema de herencias del programa, es decir, cuando se introduce un parámetro en un nivel del modelo (Sitio, edificio, zona...), este valor se aplica a todos los niveles que se encuentren por debajo, de tal forma que, si se incluye una característica a nivel de edificio, la “heredan” todos y cada uno de los niveles inferiores que tengan relación con dicha características, adquiriéndola. Sin embargo, también existe la posibilidad de desvincular un parámetro de un nivel de todos los niveles que se encuentren por encima, de tal forma que ya no dependa de ellos y sea totalmente independiente ante cambios sobre dicho parámetro. Para lograr esto, simplemente se requiere modificar el parámetro deseado del nivel inferior, quedando totalmente descolgado hasta que se indique lo contrario, por ello siempre hay que tener presente que valores o características se han desvinculado, ya que, en el caso de querer realizar alguna modificación, no se ven influenciados por los cambios en niveles superiores, como ya se ha explicado con anterioridad.

Para ello es recomendable hacerlo a nivel de edificio, de tal forma que, las modificaciones realizadas se hagan efectivas para todos los cerramientos del edificio y no tener que modificarlo de forma individual. Hay que asegurarse, antes de introducir todos los materiales, como está configurada la geometría del edificio, o lo que es lo mismo, como interpreta el programa las superficies de los distintos cerramientos, es decir, si considera que lo que se ha dibujado son las paredes interiores o las paredes exteriores. Esto es un punto importante puesto que, si se define de forma errónea, se estaría alterando la superficie útil interior de la vivienda, debido al espesor de los cerramientos, y por tanto se estaría viendo influenciado el cálculo de cargas, obteniendo un resultado que no sería perfectamente válido. En este caso se van a definir como paredes interiores, de modo que el espesor adherido a los materiales se añadido por parte del programa hacia el exterior de la vivienda, quedando definido el volumen interior de la vivienda por las superficies dibujadas en la extrusión del edificio.

Para crear los materiales que se han de introducir en los cerramientos, lo más lógico es buscar otro material en la base de datos del programa con unas características térmicas similares al que se pretende introducir, crear una copia y sobre ésta modificar los parámetros que corresponden con el fin de que se asemeje lo máximo posible a la realidad. Algunos de los materiales se han de crear desde cero prácticamente, puesto que no existe ninguno con características similares en la base de datos. Por otro lado, al introducir las distintas capas de los materiales, se ha de hacer en el orden que corresponde, es decir, hay que introducir en primer lugar la capa superficial exterior, acto seguido las capas interiores, y en último lugar la capa en contacto con el aire de las zonas interiores del edificio.

De esta manera se pueden definir todos los cerramientos de la vivienda a excepción de una de las fachadas exteriores. La fachada orientada hacia el Oeste está construida con los mismos materiales que el resto de las fachadas, pero tiene un cultivo hidropónico y, a su vez, parte del



Figura 5. Fotografía del hidropónico (Oeste). Elaboración propia.

aislante colocado en las fachadas exteriores se sacrifica, teniendo en este muro un espesor inferior, por lo tanto, también ha de ser considerado. Para realizar esta modificación de dicho muro, ya no se ha de hacer a nivel de edificio puesto que estaríamos cambiando todas las fachadas de la vivienda, que no es el objetivo, por lo tanto, se debe entrar a nivel de muro y crear un nuevo cerramiento con las capas correspondientes, de forma que este muro ya no tiene ninguna dependencia con respecto al resto de fachadas, por lo que cualquier modificación a nivel de edificio, no afectaría de ninguna manera al hidropónico. En el programa no existe un hidropónico como tal, por lo tanto, se pretende ser lo más fiel a la realidad posible introduciendo una cámara de aire ligeramente ventilada del espesor correspondiente y una última capa exterior de hormigón de unos 3cm representando la placa puesta sobre las plantas.

aislante colocado en las fachadas exteriores se sacrifica, teniendo en este muro un espesor inferior, por lo tanto, también ha de ser considerado. Para realizar esta modificación de dicho muro, ya no se ha de hacer a nivel de edificio puesto que estaríamos cambiando todas las fachadas de la vivienda, que no es el objetivo, por lo tanto, se debe entrar a nivel de muro y crear un nuevo cerramiento con las capas correspondientes, de forma que este muro ya no tiene ninguna dependencia con respecto al resto

Por otro lado, hay que definir distintos parámetros acerca de los huecos de la vivienda, que en este caso son la puerta y las ventanas que, como se ha mencionado anteriormente, ambas serán definidas como ventanas.

Esto es debido a que, tanto la puerta como la ventana están formadas por un triple acristalamiento con dos cámaras de argón, lo cual se puede definir sin ningún problema en el caso de las ventanas, pero no en el caso de la puerta, por lo tanto, incluyendo a la puerta como una ventana más, se soluciona dicho problema. A pesar de esto, al asignar la puerta como una ventana, no es posible introducir un horario de apertura de esta



Figura 6. Fotografía de la ventana Norte. Elaboración propia.

que se pueda traducir en una carga térmica, sin embargo, la ganancia por radiación a través de la puerta cobrará una mayor importancia que la propia apertura durante el año.

Al margen de esto, se han de indicar ciertos parámetros para la correcta definición de los huecos, entre ellos, las dimensiones del alfeizar de las ventanas, la supresión de los divisores, que por defecto vienen activados y elementos de sombra local o total. Los elementos de sombra local



Figura 7. Fotografía de uno de los estores de la cara Este. Elaboración propia.

hacen referencia a algún tipo de voladizo o similar que proporcione sombra en la ventana de forma parcial, en este caso, no existe ningún voladizo al margen del que ya se ha mencionado anteriormente. En cuanto a la sombra total, las ventanas tienen incorporadas unos estores en la parte exterior de la vivienda, que se han considerado como medio traslúcidos y se establecido un horario de utilización de los mismos, en el que se ha indicado, que solo se bajará durante las horas nocturnas ya que se ha considerado que tienen el mismo funcionamiento que las persianas de una vivienda tipo española, en las que, por norma general, permanecen subidas a lo largo del día, haciéndolas bajar cubriendo el 30% de la ventana por la noche (0h-8h) según se indica en el apéndice del CTE (CSIC & IDAE, 2015).

3.2.2.5. Puentes térmicos.

Los puentes térmicos se definen como zonas de los elementos constructivos donde se produce una variación de su uniformidad, ya sea por un cambio en la geometría o una variación de los materiales. Normalmente, no se muestra un interés excesivo en los puentes térmicos de las viviendas, ya que la influencia que tienen estos es mínima en relación al resto de cargas térmicas; sin embargo en edificios en alta eficiencia energética pueden tener un gran impacto, en términos relativos, y han de ser considerados (Wassouf, 2000).

DesignBuilder permite introducir los valores relativos a los puentes térmicos habituales de un edificio. Para ello se puede recurrir al DA DB-HE / 3 del CTE (Ministerio de Fomento, 2015), en el cual se proporciona el valor de transmitancia térmica lineal en función de los encuentros y de las transmitancias de los cerramientos que intervienen. Sin embargo, se ha optado por realizar los cálculos de manera personalizada para este edificio haciendo uso del programa informático THERM 7.6 (THERM, 2016), que permite el cálculo preciso de puentes térmicos.

Los puentes térmicos que se van a calcular mediante este programa serán los correspondientes con los encuentros del muro vertical que da forma a la fachada, tanto con el techo de la vivienda como con el suelo de esta. Para los puentes térmicos creados por la ventana (dintel, jambas y alfeizar) se van a usar los del catálogo del cerramiento.

3.2.2.5.1. Puente térmico del encuentro Muro-Techo.

En primer lugar, es necesario introducir las distintas capas que conforman los cerramientos tanto de la fachada exterior como del suelo, para ello se dibujan polígonos coherentes con los espesores reales de los materiales de la vivienda. Dichos polígonos se han de dibujar teniendo en cuenta las consideraciones que indica la correspondiente norma UNE que hay que tomar para realizar el cálculo de forma correcta, que se debe aplicar en el caso de la longitud del cerramiento homogéneo, que debe de ser como mínimo de 1 metro respecto del punto en el que se produce el encuentro entre ambos cerramientos (EN ISO 10211, 2017). De esta manera, se consigue que el flujo se estabilice y, por lo tanto, sea lineal a cierta distancia del puente térmico logrando considerar toda la interacción que crea el puente térmico en los cerramientos, haciendo así válida la simulación.

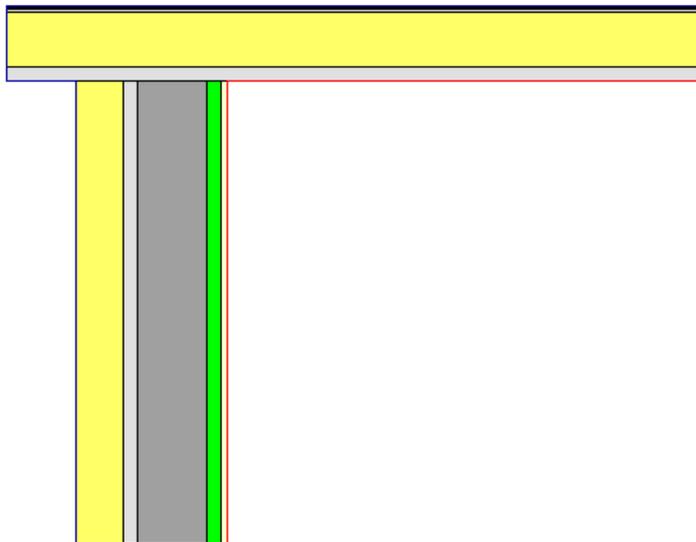


Figura 8. Modelado del puente térmico del encuentro Muro-Techo con THERM

Una vez ya está representado geoméricamente el encuentro entre el muro exterior y el techo, se ha de introducir los materiales de los que están compuestos, para ello es conveniente descargar e instalar en THERM una plantilla del Código Técnico de la Edificación para el software en el que se encuentran todos los materiales necesarios, ya que, además, sus características térmicas son coherentes con lo introducido en DesignBuilder debido a que también fueron obtenidas del CTE, como se explica en el apartado 3.2.2.4 *Parámetros constructivos del edificio*. de la presente memoria. Dicho esto, han de ser introducidos todos los materiales procedentes de dicha plantilla en las capas correspondientes.

Antes de proceder con la simulación del puente térmico, es necesario crear y asignar las condiciones de contorno a las distintas superficies. Para ello, se han de crear inicialmente las condiciones de contorno tanto exterior como interior, asignando una temperatura de 0°C y 20°C respectivamente, aunque esto no debería influir en el cálculo siempre cuando se establezca una diferencia de temperaturas distinta de 0 entre el interior y exterior de la vivienda. Estas condiciones de contorno se asignan a las distintas superficies y se simula la influencia del puente térmico. Por otro lado, también es necesario introducir el coeficiente de película para estas condiciones de contorno, siendo 7,692 W/m²K en el caso de la superficie interior, que es la

inversa del 0,13 m²K/W, valor de resistencia superficial interior reflejado en el CTE. Asimismo, el coeficiente para la condición de contorno exterior es de 25 W/m²K representando la resistencia superficial interior de 0,04 m²K/W establecida por el CTE (Ministerio de Vivienda, 2013).

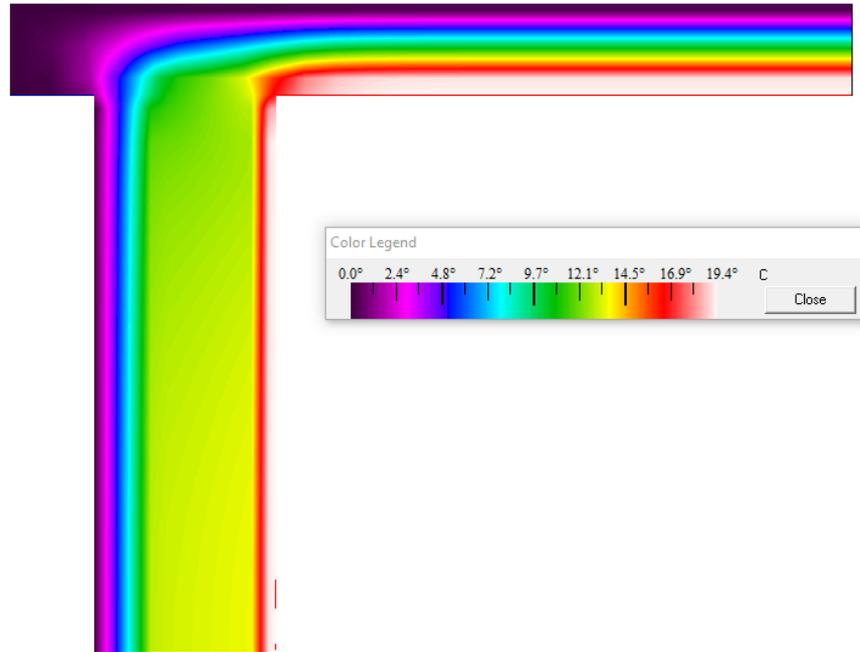


Figura 9. Representación térmica con mapa de color con THERM

Tras simular, el programa muestra gráficamente, basándose en el método de elementos finitos, distintas características del puente térmico modelado. Por ejemplo, en la Figura 9 se puede observar un mapa de color que representa las diferentes temperaturas en distintos puntos de los cerramientos.

Una vez hecho esto, el programa puede mostrar los resultados necesarios para poder calcular la transmitancia lineal del puente térmico, de la siguiente manera:

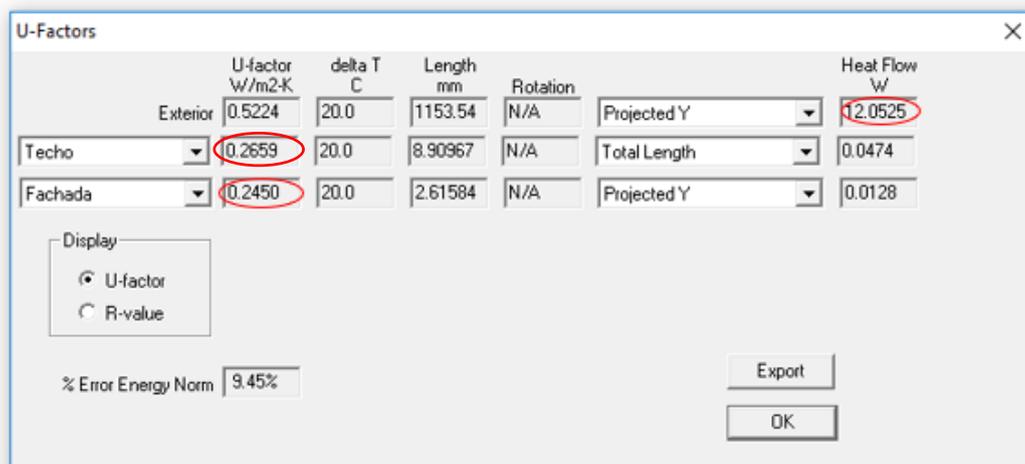


Figura 10. Valores obtenidos tras la simulación del puente térmico del encuentro Muro-Techo con THERM.

$$\psi \left(\frac{W}{mK} \right) = \frac{\text{Flujo tot} \left(\frac{W}{m} \right)}{T_{int} - T_{ext}} - \Sigma(U_i * L_i)$$

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de la transmitancia lineal del puente térmico del encuentro Muro-Techo.

Siendo:

ψ : Transmitancia lineal del puente térmico

Flujo tot.: Flujo de calor total que atraviesa el cerramiento para una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior concreta.

Tint: Temperatura en el interior de la vivienda.

Text: Temperatura en el exterior de la vivienda.

U_i: Transmitancia térmica del cerramiento i.

L_i: Longitud considerada en THERM del cerramiento i.

Que sustituyendo con los resultados dados por el software en la *Ecuación 1* se obtiene lo siguiente:

$$\psi = \frac{12,0525}{20 - 0} - (0,245 * 1) - (0,2659 * 1,35) = -0,00134 \text{ W/mK}$$

El hecho de que el resultado obtenido tenga signo negativo se debe a que el encuentro entre el muro y la cubierta de la casa tiene una influencia positiva en términos de aislamiento de la vivienda con respecto a lo cerramientos homogéneos. En cualquier caso, DesignBuilder no permite introducir valores de puentes térmicos negativos, por lo que, al ser un valor negativo muy pequeño, se establecerá la transmitancia lineal en este encuentro con el valor de 0 W/mK, sin mayores consecuencias.

3.2.2.5.2. Puente térmico del encuentro Muro-Suelo.

Al igual que en el encuentro entre el muro y el techo, en este caso también han de introducirse los polígonos que representan las distintas capas de los materiales con los que está construido el edificio. Sin embargo, en este caso, al tratarse del suelo, también es necesario incluir el terreno sobre el que está situada la vivienda, el cual consta de una losa de hormigón de 30 cm además de la tierra situada por debajo de esta losa. Evidentemente, la losa de hormigón no se extiende a lo largo de todo el terreno, únicamente 2 metros hacia el exterior desde la capa más externa de la fachada aproximadamente, y así ha de ser representado.

Para poder representar esto en el programa, lo más conveniente, según indica la norma (EN ISO 10211, 2017) es añadir un nuevo material que represente el terreno de una profundidad y longitud desde el puente térmico de 5 veces la longitud del suelo homogéneo representada, de tal forma que simule la realidad lo mejor posible.

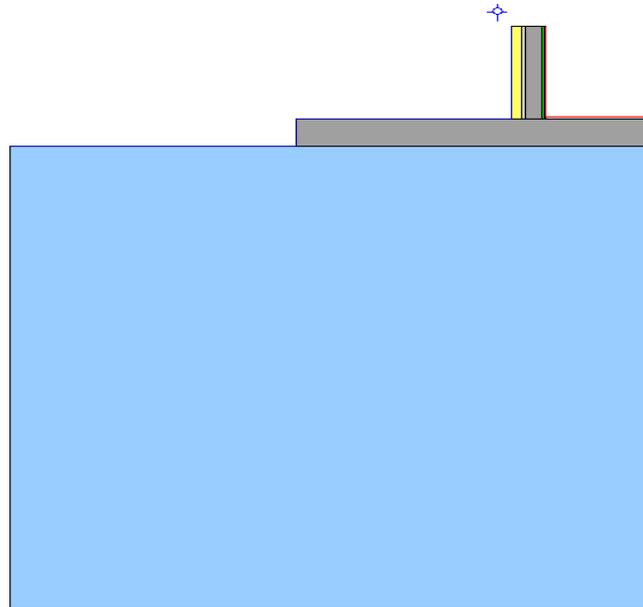


Figura 11. Modelado del puente térmico del encuentro Muro-Suelo con THERM.

En cuanto a las condiciones de contorno, se establecen de la misma forma, asignando como interior y exterior a las distintas superficies en función de si se encuentran en la parte de fuera o de dentro de la casa. Sin embargo, las condiciones de contorno relativas al terreno se han de asignar de forma que sean adiabáticas todas las caras del polígono excepto las que dan al interior y exterior, evitando de esta manera que exista un flujo de calor hacia abajo, de forma que el terreno solo influya en la transmisión de calor entre el interior de la vivienda y el exterior de esta. Los coeficientes de película para las caras interiores y exteriores toman los mismos valores que los indicados en el apartado 3.2.2.5.1 *Puente térmico del encuentro Muro-Techo*. de esta memoria, siendo $7,692 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ respectivamente.

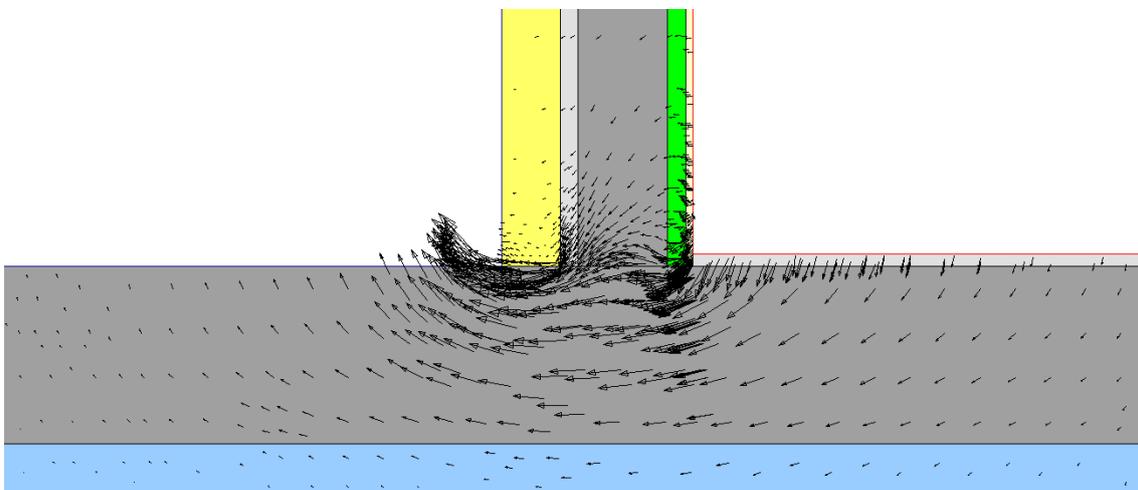


Figura 12. Representación gráfica de los vectores del flujo de calor del encuentro Muro-Suelo con THERM.

En la *Figura 12* se ha representado en este caso los vectores de flujo de calor que existe entre el interior de la vivienda y el exterior de esta, que cuanto mayor longitud tengan, mayor es el flujo en esa zona del material. Y como se comprueba posteriormente en este mismo apartado, existe una excesiva transmisión de calor entre ambos lados, ya que el flujo de calor es muy elevado a través de la losa de hormigón puesta sobre el terreno, evitando de esta manera el aislante XPS, siendo un puente térmico que ha de ser tenido en cuenta, puesto que, además, es lineal, que tienen mayor relevancia que los puentes térmicos puntuales.

Los resultados obtenidos tras la simulación del encuentro nos permiten obtener el valor de la transmitancia lineal del puente térmico de forma parecida al caso anterior, obteniendo lo siguiente:

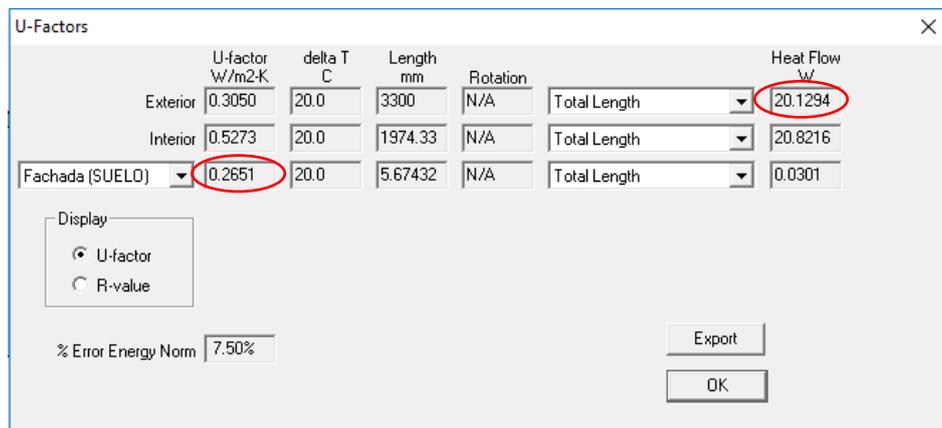


Figura 13. Valores obtenidos tras la simulación del puente térmico del encuentro Muro-Suelo con THERM.

Según indica la norma, previamente mencionada, en la opción B del cálculo del encuentro Muro-Suelo en el apartado 10.4.3 (EN ISO 10211, 2017), es necesario además eliminar la parte del muro exterior bajo el nivel del terreno y, asimismo, ha de eliminarse también la losa de hormigón del exterior de la vivienda.

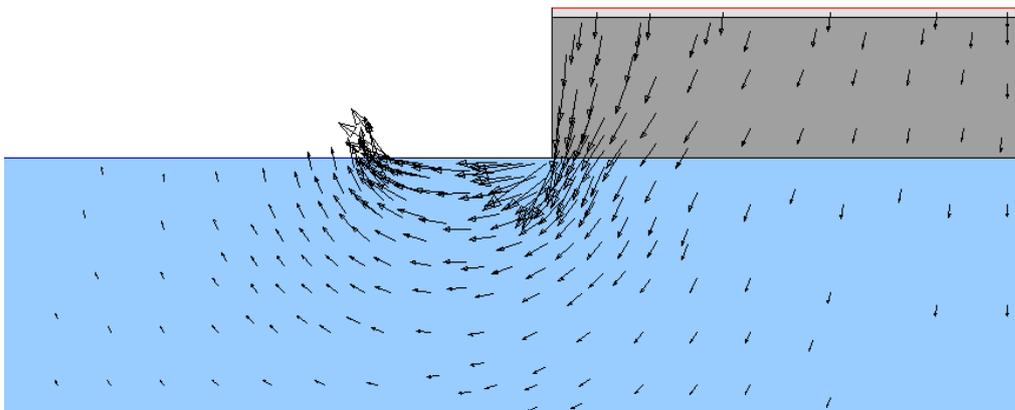


Figura 14. Representación gráfica de los vectores del flujo de calor a través del suelo con THERM.

Una vez hecho esto se establecen límites adiabáticos en los que el muro estaba anteriormente en contacto con el suelo y se obtiene el flujo de calor mediante un segundo cálculo numérico, obteniéndose lo siguiente:

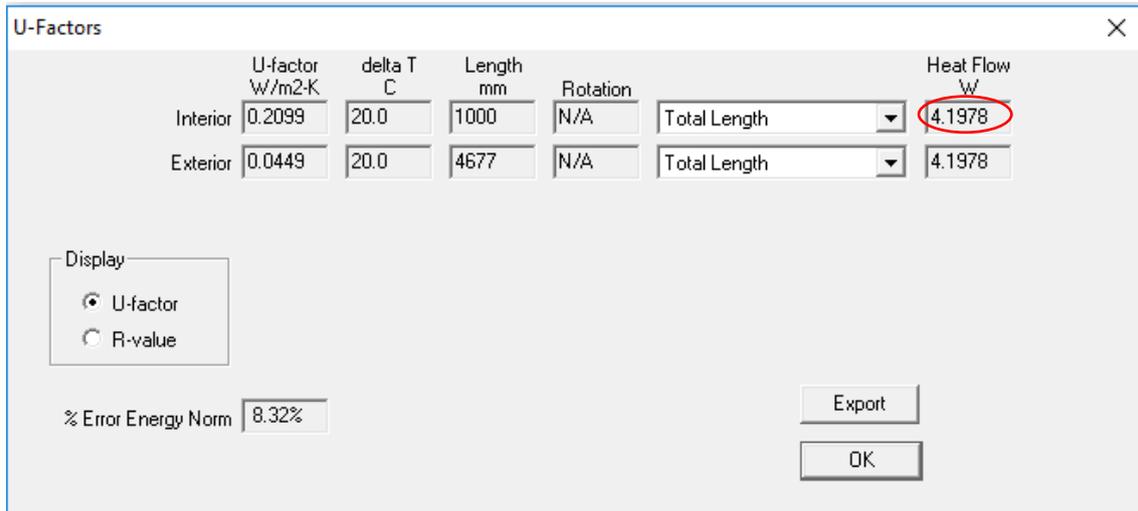


Figura 15. Valores obtenidos tras la simulación del suelo en contacto con el terreno con THERM.

La fórmula proporcionada en la opción B es la siguiente:

$$\Psi_g = L_{2D} - h_w U_w - L_{2D,a}$$

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo de la transmitancia lineal del puente térmico del encuentro Muro-Suelo. (EN ISO 10211, 2017)

Siendo:

L_{2D} : Flujo de calor en W/(mK) del encuentro Muro-Suelo (Figura 13).

h_w : Longitud en m de la pared en el modelo del encuentro Muro-Suelo.

U_w : Transmitancia en W/(m²K) de la pared en el modelo del encuentro Muro-Suelo. (Figura 13).

$L_{2D,a}$: Flujo de calor en W/(mK) del modelo del suelo (Figura 15).

Sustituyendo los valores en la Ecuación 2:

$$\psi = \frac{20,1294}{20 - 0} - (0,2651 * 1) - \frac{4,1978}{20 - 0} = 0,5315 \text{ W/mK}$$

Como se puede observar, este puente térmico tiene una influencia significativamente mayor que el del encuentro entre el muro y el techo, lo que indica que va a existir una importante transmisión de calor a través de este encuentro que ha de ser considerada introduciendo dicho valor en el software en el que se ha modelado la edificación. Este puente térmico, al tener un valor tan elevado, es un punto débil que debe ser corregido en el estudio de estrategias pasivas.

3.2.2.5.3. Puente térmico de las ventanas.

En el caso del puente térmico relativo al marco de las ventanas, no es estrictamente necesario hacer el cálculo del mismo en THERM debido a que en la base de datos de Passive House Institute (Feist, 2019) se encuentra recogida la información requerida acerca de los modelos que cumplen los requisitos de la certificación relativa a los marcos de la ventana, entre los que se encuentra el documento de la ventana GENE0 PHZ del fabricante REHAU (Feist, 2019), que se corresponde con el modelo utilizado en la construcción de la vivienda.

Frame values		Frame width b_f mm	U-value frame U_f W/(m ² K)	ψ -panel edge ψ_g W/(m K)	Temp. Factor $f_{RW,0.05}$ [-]
Top	(ts)	115	0.77	0.025	0.75
Side	(ts)	115	0.77	0.025	0.75
Bottom	(bs)	115	0.77	0.025	0.75
Mullion (ms)	(ms)	141	0.77	0.025	0.73

Spacer: SWISSPACER Ultimate Secondary seal: Polysulfide

Tabla 2. Transmitancia térmica del puente térmico de la ventana GENE0 PHZ (Feist, 2019)

En dicho documento se indica que la transmitancia lineal de este puente térmico puntual es de 0,025 W/mK (Tabla 2) y por tanto debe ser este valor el que se introduzca en el modelo de la vivienda en el apartado de puentes térmicos en su lugar correspondiente.

3.2.2.6. Estanqueidad al aire.

Otro de los aspectos a tener en cuenta en el modelado del edificio relacionado con la construcción del mismo se corresponde con las infiltraciones de aire no controladas como consecuencia de la construcción y de los materiales de la envolvente de la vivienda. Para poder conocer la cantidad de aire intercambiado entre el interior y el exterior de la vivienda debido a dichas infiltraciones, se ha recurrido a los valores obtenidos a partir del Blower Door Test realizado en la vivienda, que consiste en establecer una diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio mediante un ventilador situado en la puerta y manteniendo todos los huecos totalmente cerrados.



Figura 16. Fotografía de la puerta de la vivienda durante el Blower Door Test. Elaboración propia.

De esta manera se puede conocer el grado de estanqueidad de la vivienda en función del número de renovaciones por hora para una diferencia de presión aportada por el ventilador de 50. Los resultados del Blower Door Test han sido los siguientes:

Datos de pruebas combinadas (Valores medios)				
	Resultados	Intervalo de confianza de 95%		Incertidumbre
Cambio del aire a 50 Pa. n_{50} [1/h]	2.13	2.010	2.240	+/-5.5%
Air leakage rate at 50 Pa. q_{50} [m ³ /h]	124.80	118.30	131.95	+/-5.5%
Air leakage rate at 10 Pa. q_{10} [m ³ /h]	28.870	25.170	34.325	+/-25.0%
Specific leakage rate (envelope) at 50 Pa. q_{50} [m ³ /h/m ²]				
Specific leakage rate (floor) at 50 Pa. q_{50} [m ³ /h/m ²]				
Effective leakage area at 50 Pa. ELA_{50} [m ²]	0.00380	0.00361	0.00402	+/-5.7%
Specific effective leakage area (envelope) at 50 Pa. ELA_{50} [m ² /m ²]				
Specific effective leakage area (floor) at 50 Pa. ELA_{50} [m ² /m ²]				

Tabla 3. Resultados obtenidos en el Blower Door Test.

Para una diferencia de presión de 50 Pa, se han obtenido un valor medio de 2,13 renovaciones/hora con un error relativo de +/- 5,5%. Dicho valor es el que ha de ser introducido en DesignBuilder con esas unidades en el apartado reservado para las infiltraciones del edificio.

3.2.2.7. Actividad.

En primer lugar, para definir la actividad de la vivienda, se ha instalado una plantilla de DesignBuilder, que hace referencia a la ocupación de la casa en un edificio residencial según el CTE, y se ha comprobado la coherencia de los horarios de dicha plantilla, los horarios vienen representados a continuación:

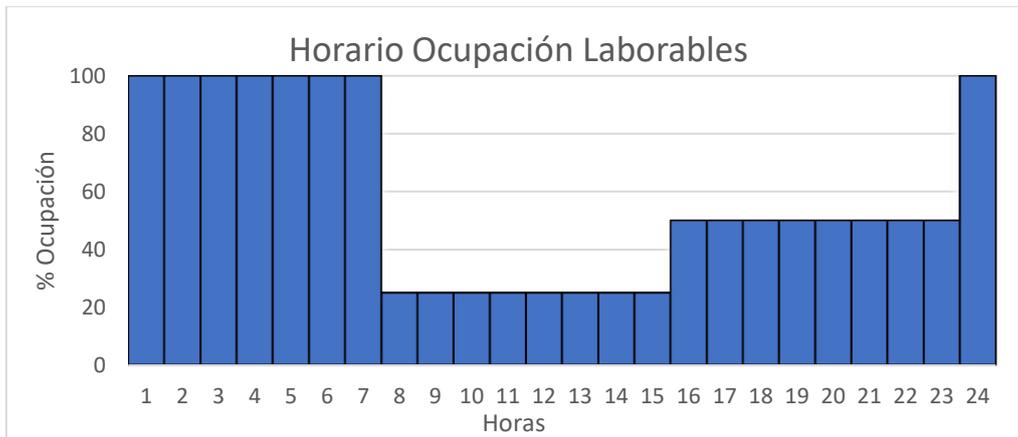


Gráfico 2. Horario de ocupación de la vivienda en días laborables. Elaboración Propia.



Gráfico 3. Horario de ocupación de la vivienda en días festivos. Elaboración Propia.

Según los horarios del CTE, el porcentaje de ocupación por parte de personas en un edificio residencial sigue una evolución distinta para días laborables y días festivos, siguiendo un horario variable en el primer caso y en los fines de semana la ocupación en la vivienda es total a lo largo de todo el día, de tal forma que se adoptará este horario para la simulación de la vivienda.

Además, se ha calculado la densidad de ocupación suponiendo que es una vivienda para dos personas y haciendo uso de la superficie calculada por el software a partir de los cerramientos:

$$Dens. Ocup = \frac{2 \text{ pers.}}{23,5 \text{ m}^2} = 0,085 \text{ personas/m}^2$$

Otro de los aspectos importantes de este apartado es el control ambiental, ya que en función de los valores que se asignen, se obtendrá una mayor o menor demanda de calefacción y climatización tras la simulación. En primera instancia, hay que indicar las consignas de

temperatura operativa para invierno y para verano, que se define como la temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente no uniforme real (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2007), cuya fórmula se puede simplificar a lo siguiente según indica la norma ISO 7730 (AENOR, 2006):

$$T_o = \frac{T_a - T_{rm}}{2}$$

Ecuación 3. Fórmula simplificada para el cálculo de la temperatura operativa según la norma ISO 7730 (AENOR, 2006)

Siendo:

T_o: Temperatura operativa.

T_a: Temperatura del aire.

T_{rm}: Temperatura radiante media.

Además, es necesario indicar las consignas humedad en refrigeración y calefacción de la casa, es decir, a partir de que valor de temperatura operativa y humedad relativa se activarían dichos sistemas para que existan condiciones de confort térmico. Para ello se ha de recurrir al RITE (Code et al., 2006), que establece las siguientes condiciones interiores de diseño:

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 4. Condiciones interiores de diseño establecidas. RITE (Code et al., 2006).

Dentro de los valores de la *Tabla 4*, se han seleccionado como consigna para invierno una temperatura de 21°C y una humedad relativa de 40%, y para verano 25°C y 60% respectivamente.

Por otro lado, se deben añadir las cargas interiores relativas a los equipos existentes, como ordenadores, la cocina y a la iluminación. En cuanto a la cocina y el resto de equipos que supongan una carga térmica van a ser considerados en conjunto, es decir, se ha optado por seleccionar una ganancia térmica total utilizando como apoyo los perfiles de uso normalizados de los edificios residenciales aportado recogidos en el apéndice C del DB HE (Ministerio de Fomento, 2017a). Estos perfiles de uso se pueden observar en la *Tabla 5* a continuación.



Figura 17. Fotografía de la cocina de la vivienda. Elaboración propia.

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Temp Consigna Alta (°C)					
Enero a Mayo	-	-	-	-	-
Junio a Septiembre	27	-	-	25	27
Octubre a Diciembre	-	-	-	-	-
Temp Consigna Baja (°C)					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	-	-	-	-	-
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)					
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m²)					
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Equipos (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Ventilación verano¹					
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*
Ventilación invierno²					
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*

¹ En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al mínimo exigido por el DB

² El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será constante e igual al calculado mínimo exigido por el DB HS.

Tabla 5. Perfiles de uso normalizados de los edificios residenciales. Apéndice C del DB HE (Ministerio de Fomento, 2017).

La densidad de las fuentes internas se corresponde con una vivienda media que, según indica el Ministerio de Fomento, la superficie media en España es de 117m² (Alonso, María, & Riocerezo, n.d.). Por este motivo, se va a mayorar al cuádruple los valores de las densidades energéticas de los equipos debido a que la superficie de la vivienda es de 23,5 m² y, por lo general, posee

prácticamente los mismos equipos que una vivienda normal. De esta forma, se multiplicará por 4 cada uno de los valores de la tabla correspondiente a cada una de las horas, sabiendo que la superficie de la vivienda es 5 veces menor y, lógicamente, la utilización de los equipos será ligeramente menor que en una casa de mayor superficie, por lo tanto, se introducirá un valor de 8,8 W/ m² y se establece un horario de funcionamiento coherente con la *Tabla 5*.

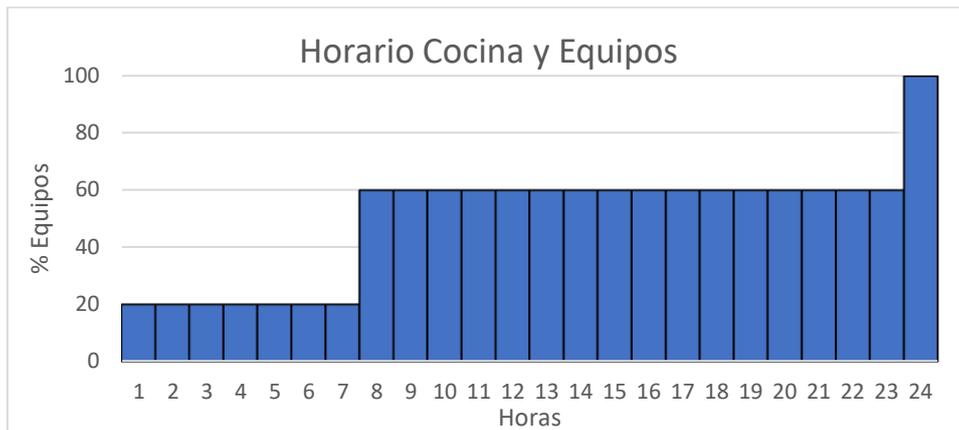


Gráfico 4. Horario de utilización de la cocina y de los equipos de la vivienda. Elaboración propia.

Finalmente se ha escogido un ratio de 1,5 W/m² que se corresponde con las 5 luminarias de tecnología LED con código HO-DL-AD-COB-7W-CW que tiene una potencia unitaria de 7W, que es un valor típico en los focos de este tipo. En cuanto a la iluminación, se ha seleccionado una plantilla del CTE relativa a equipos e iluminación que permite establecer un horario de funcionamiento de las luminarias, no sin antes comprobar la validez de esta. Este horario se corresponde con lo siguiente:

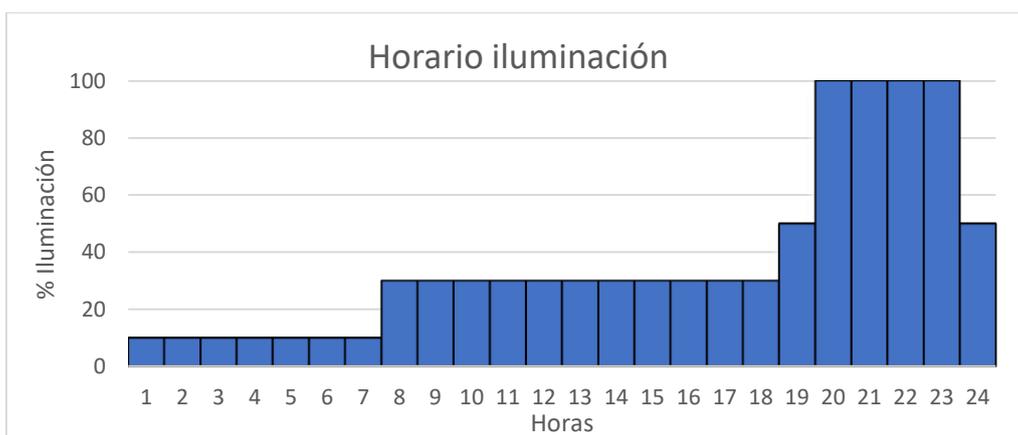


Gráfico 5. Horario de utilización de las luminarias en la vivienda. Elaboración propia.

Los valores representados en el *Gráfico 5* hacen referencia al porcentaje de utilización de las luminarias, estando todas encendidas cuando el porcentaje es 100% y, por el contrario, todas apagadas cuando el porcentaje es 0%.

3.2.2.8. Calefacción, refrigeración y ventilación (HVAC).

En cuanto a la climatización (HVAC, siglas provenientes del concepto en inglés Heating, Ventilating and Air Conditioning) es primordial establecer los mismos estados de los sistemas que en el edificio real, es decir, que sistemas se van a considerar en el proyecto de la vivienda, y en el caso de que se considere alguno, cuál sería su funcionamiento.

En este proyecto no hay ningún equipo de calefacción y de refrigeración puesto que no se plantea su instalación y funcionamiento. Asimismo, tampoco se va a considerar la existencia de ningún humidificador o deshumidificador. Por otro lado, también ha de estar desactivada la pestaña relativa al Agua Caliente Sanitaria (ACS) puesto que queda fuera del objeto de este trabajo.

Sin embargo, sí se va a considerar que existe una ventilación natural debido a la existencia de ventanas por las que, a través de su apertura parcial o total, pueden ventilar la vivienda con un consumo nulo de energía. Por lo tanto, según se indica en la *Tabla 5* mostrada en el apartado 3.2.2.7 *Actividad*, obtenida del DB HE, se supondrá que, en régimen de verano (desde junio hasta septiembre, los espacios habitables de las viviendas tendrán 4 renovaciones por hora durante las horas nocturnas (0-8h) debida a la apertura de las ventanas y, el resto del tiempo, las renovaciones por hora serán constantes e iguales al caudal mínimo exigido por el DB HS del propio Código Técnico (Ministerio de Fomento, 2017).

Como consecuencia directa, se debe definir el caudal de aire exterior mínimo, información que proporciona la tabla 2.1 el DB HS del CTE (Ministerio de Fomento, 2017) , recogiendo dichos valores en función del tipo de vivienda.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los locales secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo local se den usos de local seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros locales pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Tabla 6. Caudal de aire exterior mínimo exigido. DB HS del CTE (Ministerio de Fomento, 2017).

En este caso se ha escogido de la *Tabla 6* la vivienda con 0 o 1 dormitorios, ya que únicamente hay un dormitorio en la casa, por lo tanto, el caudal mínimo total ha de ser de 14 l/s que, conociendo la superficie de la vivienda y la altura de la vivienda, se corresponde con las siguientes renovaciones por hora:

$$\frac{renov}{h}_{min} = \frac{14 \frac{l}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 0,001 \frac{m^3}{l}}{23,5 m^2 * 2,5 m} = 0,858 \frac{renov}{h}$$

Este valor se corresponde con aproximadamente un 20% de las 4 renov/h de la ventilación nocturna, de tal forma que los horarios de verano e invierno, de acuerdo con lo indicado en la *Tabla 5* y la *Tabla 6*, que han de incluirse en DesignBuilder son los siguientes:

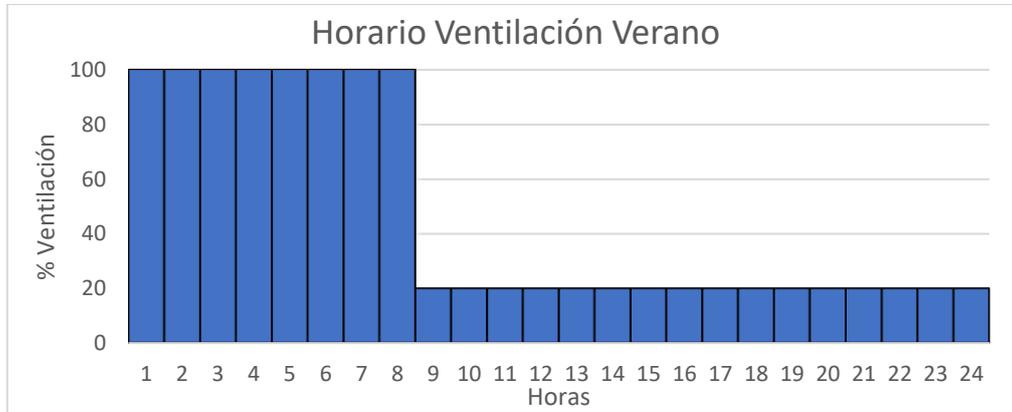


Gráfico 6. Horario de ventilación natural en los meses de verano. Elaboración Propia.

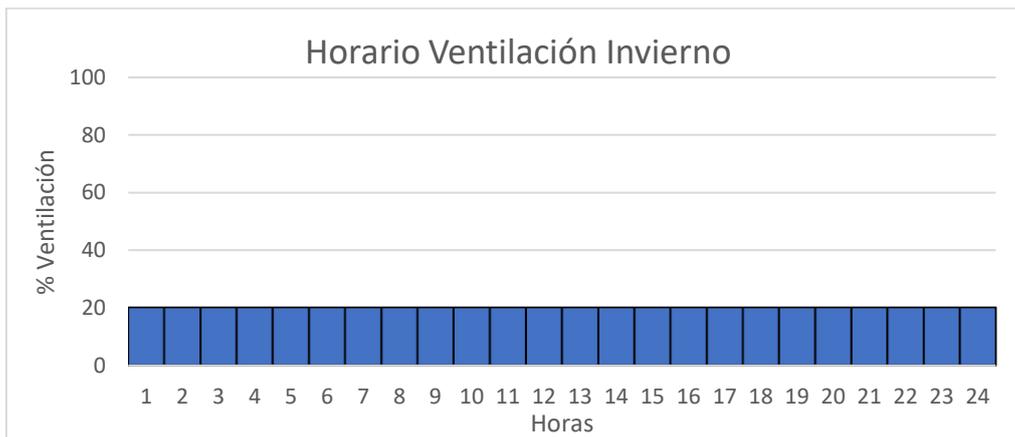


Gráfico 7. Horario de ventilación natural en los meses de invierno. Elaboración propia.

4. ANÁLISIS CLIMÁTICO

En primer lugar, para identificar cuáles son las medidas de mejora energética aplicables a la casa, debemos hacer un análisis de las condiciones climáticas exteriores, puesto que de esta forma podemos detectar en que puntos tenemos un margen de mejora importante que nos permitan reducir de forma importante el consumo de energía del edificio puesto en estudio.

Para este análisis, vamos a hacer uso, además del DesignBuilder, del software Climate Consultant, que nos proporciona información detallada sobre muchos aspectos climáticos para la localización deseada, en este caso se ha instalado un archivo de datos climáticos EPW (Energy Plus Weather) para la ciudad de Valencia. Estos datos se corresponden con la ubicación del Aeropuerto de Valencia y se considera que por cercanía las condiciones climáticas son muy parecidas con respecto a la localización real de la vivienda, no obstante, podría existir alguna pequeña discrepancia en algunos de los parámetros.

Para comenzar se han seleccionado unos criterios de confort de distintos parámetros para los meses de invierno y de verano, a partir de los cuales el programa presta una ayuda de gran valor en cuanto a la selección de dichas medidas de mejora. Siendo coherentes con lo descrito en el apartado 3.2.2.7 *Actividad*. de la presente memoria, las condiciones interiores de confort serán las que determina el RITE (Code et al., 2006) que se corresponden con unas temperaturas de diseño para invierno y verano de 21°C y 25°C respectivamente. Asimismo, las humedades relativas se establecen en 40% y 60%.

Además, Climate Consultant inicialmente muestra una tabla resumen con los parámetros climáticos de la localización seleccionada. Esta tabla puede ser útil para identificar qué puntos han de ser analizados en mayor profundidad o cuales han de ser descartados desde un primer momento. Aun así, resulta insuficiente para realizar un análisis detallado, que es el objetivo que se pretende cumplir, por lo que servirá únicamente de apoyo. Ahora bien, los aspectos que se van a analizar en profundidad serán los vientos, las temperaturas, la humedad relativa y la trayectoria solar.

El propio software muestra gráficas bastante útiles para poder analizar la amplia información acerca del clima. Además, Climate Consultan permite exportar los datos climáticos a CSV para poder trabajar con los datos en Excel con mayor libertad.

4.1. Estudio Temperaturas.

Evidentemente, uno de los factores que más influyen en el diseño de una vivienda pasiva es la temperatura exterior, que es la que determina si el edificio tiene más demanda en calefacción o en refrigeración. Por ello, recurrimos al software para adquirir la información necesaria.

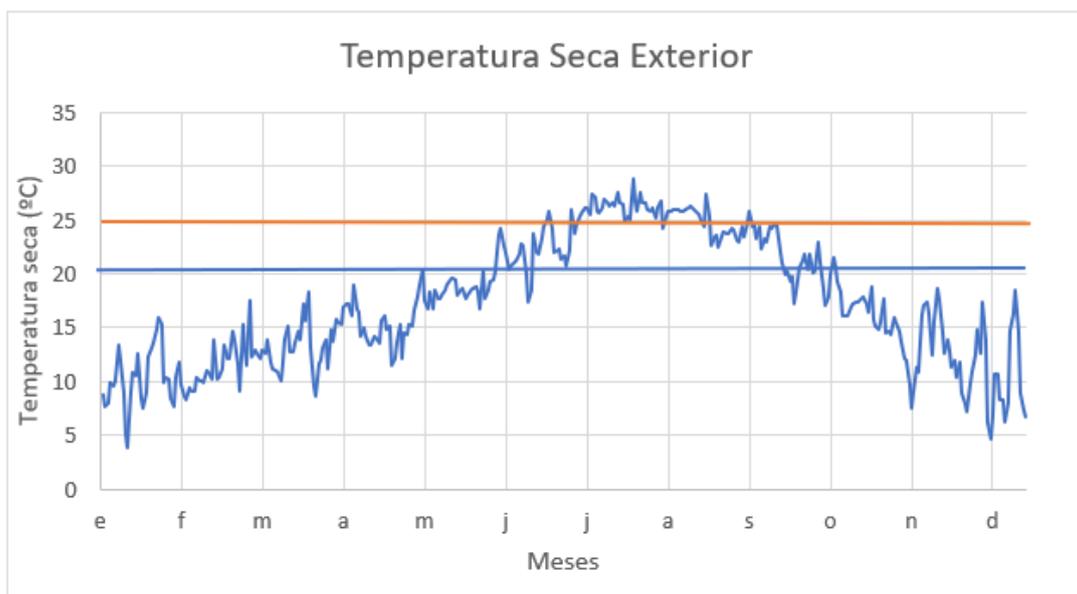


Gráfico 8. Evolución diaria a lo largo del año de la temperatura seca exterior en Valencia. Elaboración propia.

En el *Gráfico 8* se tienen recogidas las medias diarias de temperatura a lo largo de todo el año, y, como se puede observar, en comparación con países centroeuropeos, las temperaturas a lo largo de todo el año son bastante elevadas, pudiendo alcanzar condiciones de confort de manera sencilla en los meses de primavera y otoño. Esto hace indicar que el mayor consumo de una vivienda situada en Valencia, en cuanto a climatización se refiere, vendrá dada por la refrigeración de la casa en los meses de verano, siendo claramente inferior el consumo de calefacción con un buen diseño arquitectónico de la vivienda.

Además, se puede ver en la gráfica que las temperaturas, a pesar de que, como es lógico, las temperaturas son superiores en los meses de verano, siguen una evolución relativamente constante a lo largo del año debido al clima mediterráneo, es decir, no se sufren cambios drásticos de temperatura entre invierno y verano, como sucede, por ejemplo, en ciudades céntricas de la Península Ibérica. Por lo tanto, al estar en muchas ocasiones con valores de temperatura cercanos a los de las condiciones de confort, esto supone una ventaja con respecto a otras localizaciones con temperaturas más extremas y, por ello, más distantes de las condiciones térmicas deseadas.

4.2. Trayectoria y radiación solar.

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta es la trayectoria relativa que sigue el sol con respecto a la ubicación seleccionada, ya que sirve de guía para la elección de la orientación del edificio, de la posición y tamaño de las ventanas, etcétera. DesignBuilder, al igual que Climate Consultant, nos proporciona un mapa de la trayectoria solar en el que indica la altura solar y el acimut (ángulo horizontal con respecto al eje cardinal Sur) a lo largo del día para los distintos días del año. Sin embargo, se va a optar hacer el análisis a partir del mapa tridimensional dado por Design Builder puesto que resulta ser más sencillo de interpretar ya que muestra de forma relativa la posición del sol en cada momento del año respecto al centro de la vivienda.

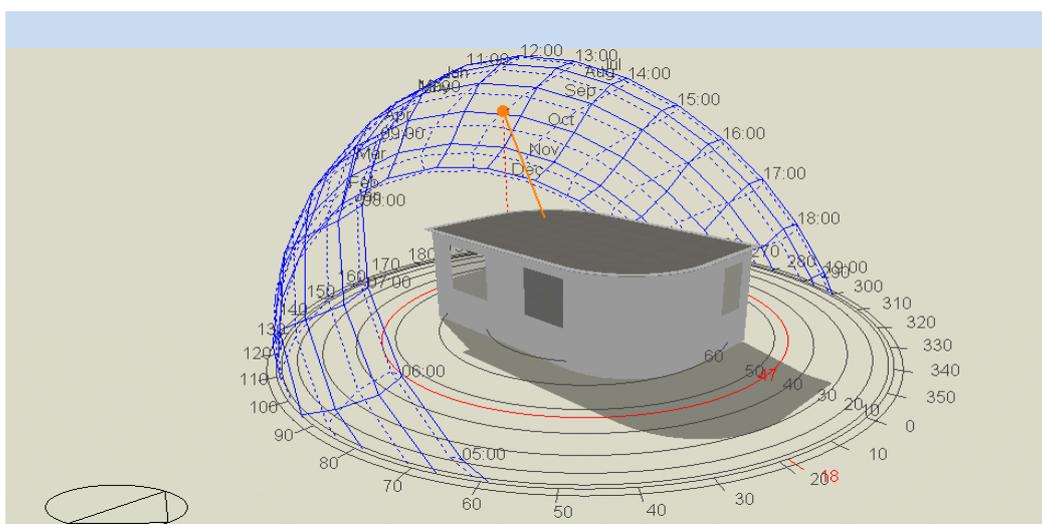


Figura 18. Trayectoria solar con respecto al punto central de la vivienda. DesignBuilder.

La *Figura 18* representa la trayectoria solar horaria a lo largo de todos los meses del año para cada una de las horas del día, observando una clara diferencia entre los meses de verano y los de invierno.

Entrando en un análisis más detallado, queda bien representado que en los meses de invierno la altura solar es claramente inferior a la de verano, donde se alcanza una altura solar máxima de aproximadamente 73° a las 12 horas solares, frente a una altura de 27° para esa misma hora el 21 de diciembre. La altura solar máxima para cada uno de los días se alcanza a las 12 horas solares, cuando el Sol se sitúa en el Sur en el hemisferio norte, como es el caso.

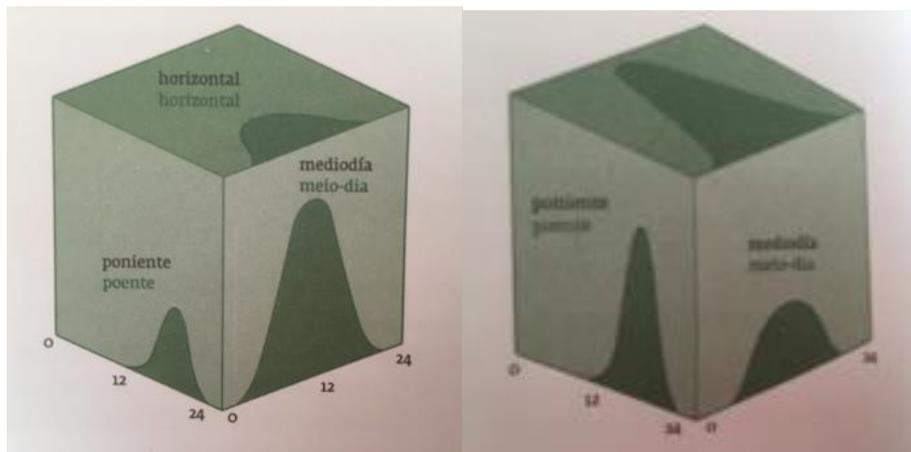


Figura 19. Influencia de la radiación solar en las diferentes fachadas y en el techo del edificio para invierno (izquierda) y verano (derecha). Imagen extraída del libro "De la casa pasiva al estándar passivhaus: la arquitectura pasiva en climas cálidos" (Wassouf, 2000)

Llevando este análisis al caso de estudio, se concluye que la vivienda recibirá radiación directa de forma bastante perpendicular sobre su cara sur en los meses de invierno, incidiendo con un menor ángulo sobre dicha fachada en verano, ya que el sol se encuentra con una mayor altura solar. Esto permite aprovechar una importante ganancia solar en los meses de invierno, donde la temperatura es inferior, a través de superficies acristaladas dispuestas en el muro exterior de dicha cara, sin que, en verano, la ganancia solar mencionada, llegue a tener un valor tan significativo, ya que resulta sencillo bloquearla mediante un voladizo o lamas horizontales, de tal forma que la radiación solar no incida de forma directa sobre las ventanas y, como consecuencia, tener un impacto negativo muy importante. Por el mismo motivo, se ha de prestar especial atención a la cubierta de la vivienda, donde en las horas centrales de los meses de verano, cuando la temperatura es normalmente muy elevada en Valencia, ya que recibe una gran radiación solar y es conveniente evitar que esto suponga una ganancia térmica importante a través del techo de la vivienda. Esto se debe a que por la declinación de La Tierra (Mazria, 1983), el Sol alcanza una altura de en torno a 70° respecto a la horizontal en los meses de verano, por lo que en las horas cercanas a las 12 horas solares, la radiación directa incide sobre la superficie de la cubierta casi perpendicularmente, lo que se traslada de inmediato a una ganancia térmica importante a través del techo de la vivienda.

Al margen de la altura solar, también es interesante estudiar la trayectoria solar respecto al acimut, saliendo y poniéndose el sol en el día más corto del año en el sudeste y sudoeste respectivamente con un acimut de 60° , y en contrapartida, haciéndolo por el noreste y noroeste con un ángulo con respecto al sur de 120° en este caso. Como consecuencia hay que tener en

cuenta que en la cara norte no se recibe apenas radiación solar y por tanto la ganancia térmica que se puede obtener a partir de esta fachada es sensiblemente inferior a la de las otras fachadas o a la del techo. Por este motivo, no es despreciable la radiación incidente en las caras este y oeste en los meses de verano, ya que en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, puede resultar una gran carga térmica que ha de ser contrarrestada para evitar que la temperatura interior de la vivienda alcance valores demasiado elevados. Asimismo, las mayores temperaturas suelen coincidir con las horas de la tarde de los meses de verano, cuando la radiación solar incide en su mayor parte en la fachada oeste de la vivienda, esto puede suponer una problemática si no se toma ninguna medida al respecto.

Es importante, por otro lado, la información relativa a la radiación solar, principalmente, para evaluar en cierto modo las ganancias que pueda tener la vivienda a través del calentamiento de los cerramientos y, sobre todo, las que se deben a la radiación solar que incide al interior de la vivienda a través de las superficies acristaladas, haciendo aumentar su temperatura. Se ha obtenido un archivo CSV del software Climate Consultant en el que se recogen datos de radiación global, directa y difusa.

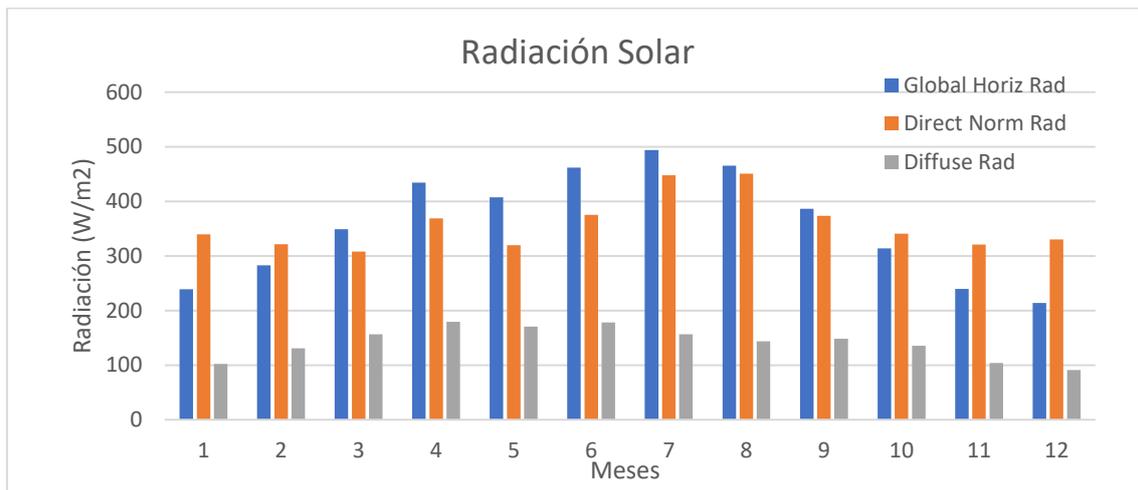


Gráfico 9. Radiación solar global, directa y difusa para los distintos meses en Valencia. Elaboración propia.

No obstante, como se puede ver en el Gráfico 9, la radiación difusa no tiene apenas importancia puesto que los valores son muy pequeños con respecto a la radiación directa, lo que indica que, normalmente, hay cielos despejados, o con pocas nubes, en la localidad de Valencia. La radiación global horizontal considera tanto la radiación difusa como la radiación directa, por lo que es un parámetro de utilidad en el análisis climático. Como se puede observar, en algunos meses la radiación directa supera a la radiación global, cuya explicación viene dada debido a que la radiación directa se mide de forma perpendicular a la posición del sol mientras que la radiación global se mide de forma horizontal al suelo, pudiendo tener un valor inferior. Este fenómeno se da particularmente en los meses de invierno debido a que la altura solar no es elevada, como se ha visto con anterioridad, y por tanto se registran valores mayores de radiación directa que de radiación global. Por este mismo motivo, la radiación global en los meses de verano presenta valores cercanos a 600 W/m^2 y en invierno apenas alcanza valores de 200 W/m^2 , lo cual no supone un parámetro de confianza en el estudio de la ganancia a través de las ventanas, ya que

se encuentra en las fachadas verticales, pero sí lo es para la ganancia a través del techo de la vivienda que, como se ha explicado en este mismo apartado de la memoria, tiene un valor muy elevado en los meses de verano, y ha de ser tenido en cuenta.

En cualquier caso, lo que va a permitir evaluar la ganancia a través de las ventanas de la vivienda será la radiación directa, que debe ser estudiada fundamentalmente en los meses de invierno en la cara sur de la casa y en los meses de verano en las caras este y oeste, ya que es cuando la radiación incide sobre la vivienda de forma más horizontal sobre las fachadas del edificio. Lógicamente, la radiación toma valores mayores en los meses de verano, principalmente en los meses de julio y agosto, sin embargo, tampoco es despreciable la radiación solar directa en los meses de invierno, lo cual puede ser beneficioso para tener una importante ganancia térmica en los meses de invierno.

4.3. Estudio vientos.

Un parámetro que se ha de ser tenido en cuenta es la dirección del viento además de otros aspectos asociados a éste.

Al igual que en el resto del análisis de los distintos parámetros que se han estudiado, Climate Consultant sirve como herramienta gráfica que muestra datos climáticos útiles. En este caso, el software muestra una rosa de vientos muy detallada en la que muestra información acerca la dirección del viento, además de su correspondiente velocidad, temperatura, humedad y frecuencia horaria, de forma porcentual, para cada una de las direcciones.

El software muestra la rosa de vientos desde enero hasta diciembre, y la mayor parte del tiempo estos proceden del punto cardinal oeste. Sin embargo, la rosa de vientos anual no proporciona información demasiado útil puesto que los datos plasmados son medias que no aportan una idea clara que permita mejorar la eficiencia energética de la vivienda. Por este motivo, se ha decidido hacer un estudio algo más concreto en el que se va a analizar de forma independiente la distribución del viento para un mes de invierno (*Figura 20*) y un mes de verano (*Figura 21*).

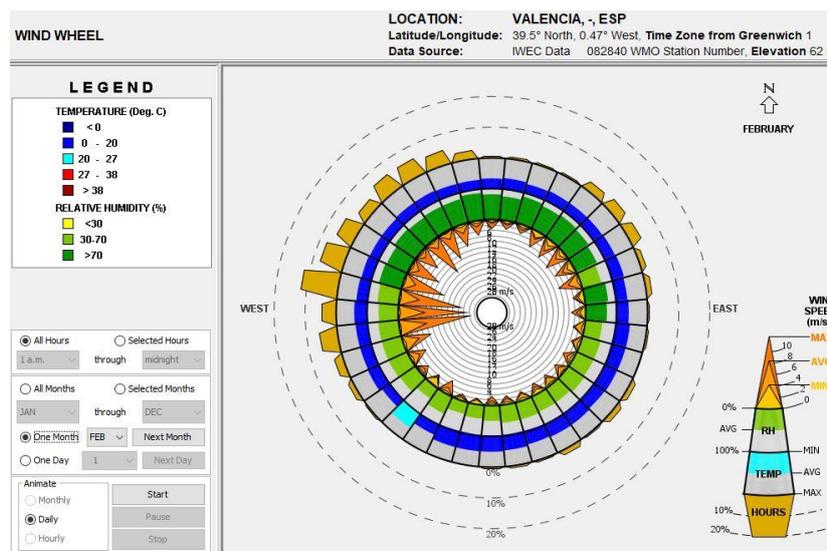


Figura 20. Rosa de vientos detallada para el mes de febrero en Valencia. Climate Consultant.

4.4. Humedad relativa.

Es necesario realizar también un análisis de los valores de humedad relativa que se dan en la localidad de Valencia, ya que resulta un parámetro que es fundamental controlar para cumplir con ciertas condiciones de confort en el interior de la vivienda. Por este motivo, se han obtenido los datos climáticos relativos a la humedad de la localización correspondiente exportándolos como archivo CSV para poder trabajar con ellos en la herramienta Excel.

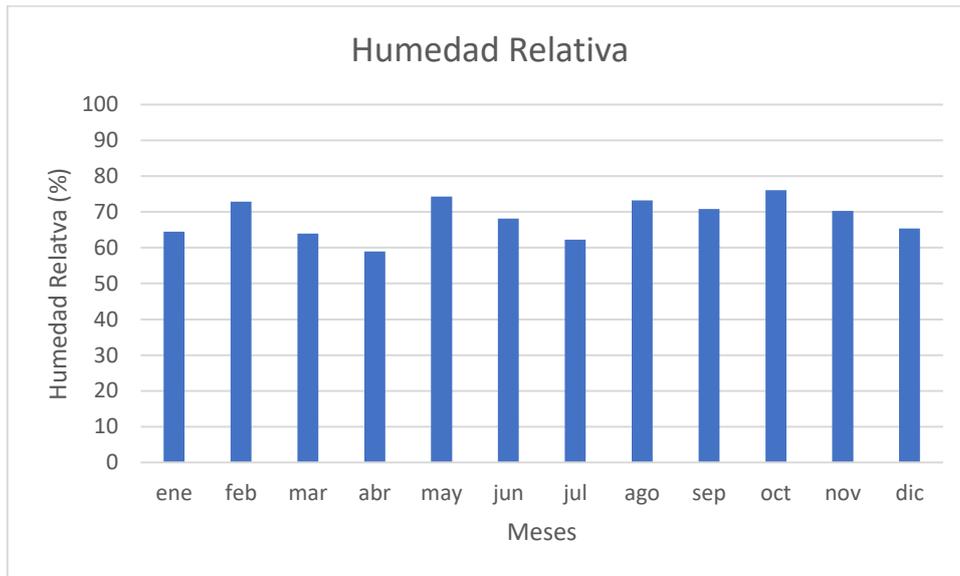


Gráfico 10. Humedad relativa exterior para los distintos meses en Valencia. Elaboración propia.

En el *Gráfico 10* se encuentran representados las medias mensuales de humedad relativa en porcentaje a lo largo de un año. La humedad relativa en Valencia, está en la mayoría de las ocasiones por encima del 60% alcanzando en varias ocasiones valores muy cercanos a 80% y superando dicho valor en días puntuales, como se puede contrastar, lo cual supone una problemática bastante importante a priori puesto que estos valores de vapor de agua contenido en el aire, se encuentran fuera del rango de las condiciones de confort impuestas por el RITE como se puede comprobar en la *Tabla 4* del apartado 3.2.2.7 *Actividad*. Además no existe una gran variación de temperatura entre los distintos meses del año, por lo que la humedad ha de ser controlada en todas las estaciones ya que es preferible no salir de lo baremos establecidos.

Esta humedad tan elevada en Valencia, como en otras localidades costeras, se debe principalmente a la cercanía al mar, lo que genera en muchas ocasiones un disconfort constante si viene acompañado de elevadas temperaturas, como es el caso.

4.5. Climograma de bienestar.

Al margen de los análisis realizados con anterioridad sobre distintos parámetros climáticos, puede llegar a resultar muy interesante prestar atención al climograma de bienestar.

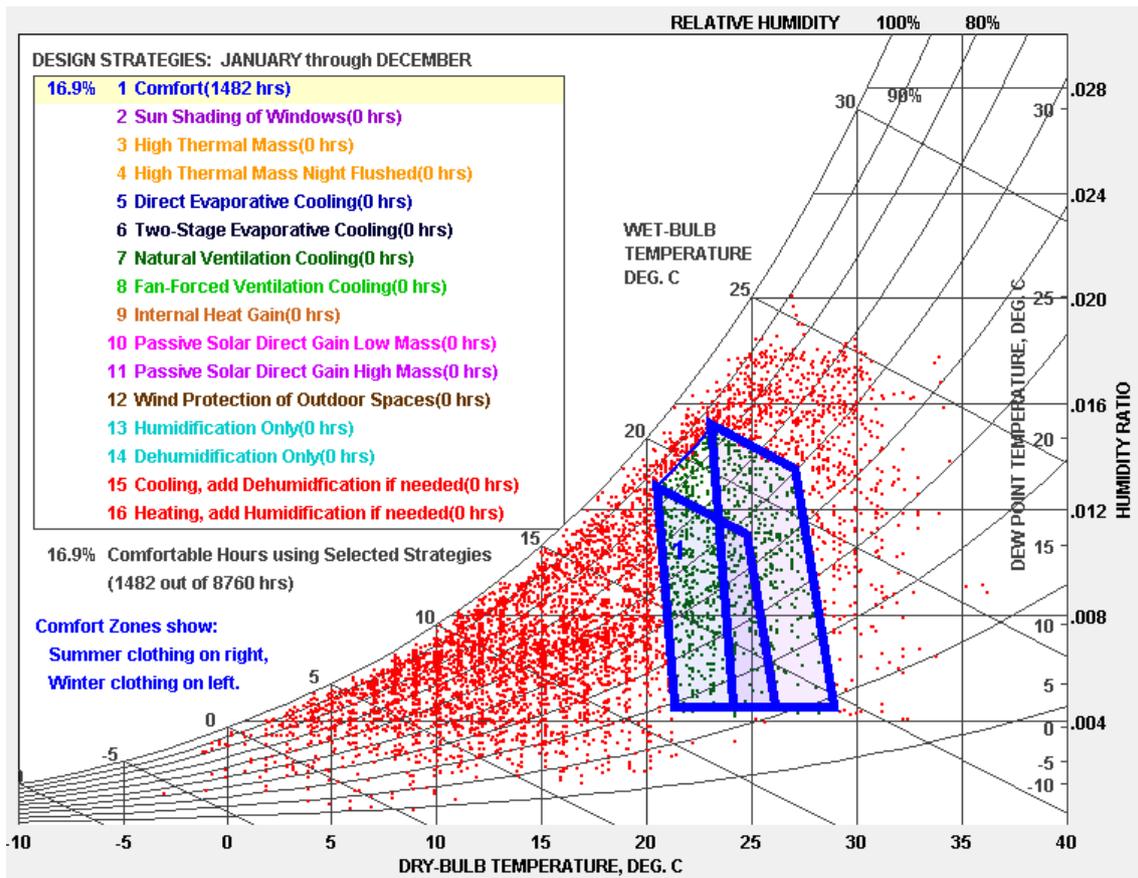


Gráfico 11. Climograma de bienestar en Valencia. Climate Consultant.

En el Gráfico 11 se puede ver representado sobre un diagrama psicrométrico una nube de puntos que simboliza las propiedades térmicas de cada una de las horas a lo largo del año.

Por otro lado, también están representadas las zonas de confort en función de los valores de temperatura que se hayan escogido con anterioridad. Estas zonas de confort se muestran de forma independiente en función de la ropa, es decir, la zona izquierda es la correspondiente a la zona de confort en el caso de una vestimenta coherente con el invierno, y la zona derecha para vestimenta de verano. En cualquier caso, queda finalmente encerrada un área de confort conjunta, en la cual, todos los puntos que se encuentren en su interior se traducen en el número de horas anuales en las cuales se está en condiciones de confort sin necesidad de aplicar ningún tipo de medida activa o pasiva, o lo que es lo mismo, las condiciones climáticas exteriores son suficientes para cubrir las necesidades térmicas de una persona.

De igual manera, todos los puntos que quedan fuera de esta zona de confort reproducen el número de horas al año en las que las condiciones climáticas son desfavorables, atendiendo a las propiedades térmicas de confort establecidas.

Profundizando en el análisis, es de interés destacar que, según las condiciones climáticas de la ubicación de la vivienda, en un gran número de horas es viable alcanzar las condiciones de confort en la vivienda sin la utilización de ninguna medida pasiva, más concretamente en casi 1500 horas anuales, lo que supone que el 16,9% del tiempo a lo largo del año se logra un confort

térmico de manera sistemática. Esto lo permite el clima mediterráneo gracias a la cercanía del mar, lo que se traduce en veranos e inviernos más suaves.

Esto resulta muy favorable con respecto a otras localizaciones de índole más fría, en la que la nube de puntos estaría desplazada hacia la zona izquierda del diagrama psicrométrico y por lo tanto no quedarían tantos puntos encerrados en la zona de confort, lo cual se traduciría en un mayor consumo en calefacción o en su defecto, en la elección de medidas correctas con el fin de lograr mayores diferencias de temperaturas entre el interior de la vivienda y el exterior de esta.

Por otra parte, es conveniente fijarse que la mayor parte de los puntos se encuentran en la parte media y alta del diagrama para una temperatura seca dada, lo cual quiere decir que la humedad relativa es bastante elevada en la mayoría de las ocasiones en la localidad de Valencia lo cual se ha de tener en cuenta a la hora del rediseño de la vivienda, ya que una humedad demasiado alta podría crear condiciones de desconfort en el interior del edificio. Esta humedad alta se debe en gran parte a la cercanía del mar.

4.6. Conclusión análisis climático.

Una vez se ha realizado un estudio de todos los parámetros relativos al clima con mayor importancia, es necesario buscar que estrategias pasivas son las más convenientes de estudiar y así poder ver la efectividad de estas.

En primer lugar, partiendo del análisis térmico y puesto que, como se ha mencionado anteriormente, el rango de temperaturas se acerca, en la mayoría de las ocasiones, a las condiciones interiores de confort, el aislamiento térmico de los cerramientos y de los huecos (ventanas, puertas...) no ha de ser tan exigente como en países más fríos, donde se alcanzan con frecuencia temperaturas por debajo de los 0°C y utilizan aislantes con muy baja transmitancia e incluso triple acristalamiento en las ventanas (Wassouf, 2000). En el clima mediterráneo no resulta tan necesario tanto aislamiento debido a que, al no existir una diferencia de temperatura muy elevada entre el interior de la vivienda y el exterior de la misma, la transmisión de calor a través de los cerramientos es inferior que en el caso de que la diferencia de temperaturas fuera más pronunciada. Esto se explica a partir de la definición de conductividad de un material, cuyas unidades hacen referencia a dicha diferencia de temperatura entre ambos lados del material entre los que se produce la transmisión de calor.

Todo esto hace pensar que, para conseguir una mejora energética importante, no hay que centrarse tanto en la elección de los materiales de construcción y su espesor, sino en la ganancia solar en los meses de invierno y la refrigeración pasiva cuando las temperaturas son elevadas. Sin embargo, no quiere decir que no haya que prestar nada de atención a la envolvente térmica de la casa, sino que el margen de mejora en ese aspecto es muy pequeño o casi inexistente, ya que las características iniciales del edificio ya construido en cuanto al aislamiento térmico son bastante favorables, como se ha visto con anterioridad.

Por otro lado, como se ha mencionado en el análisis de la trayectoria solar, la cara norte de un edificio situado en el hemisferio norte no recibe prácticamente radiación solar, por lo que, en cuanto al diseño de la casa, carece de sentido disponer de una gran superficie acristalada, ya

que supone un puente térmico al romper la continuidad del aislamiento de los cerramientos y sin obtener prácticamente ganancia solar (únicamente en las primeras horas de la mañana y últimas horas de la tarde de los meses de verano). Sin embargo, en las caras este y oeste la radiación es muy elevada en verano, es por ello por lo que una de las características básicas de las casas pasivas es que están orientadas al Sur. Esta orientación se ve reflejada en la distribución de los huecos, es decir, un edificio a sur suele tener más huecos dirigidos hacia ese punto cardinal. Sin embargo, a pesar de que las ganancias solares del edificio se producen en mayor medida a través de las ventanas, no se puede tampoco despreciar la radiación solar incidente sobre los cerramientos opacos como fachadas, cubiertas... Esto se debe a que, en climas cálidos, como es el caso, la radiación sobre los elementos opacos puede tener un gran impacto en cuanto al balance energético se refiere. Además, el hecho de que en la localización de la vivienda la temperatura sea muy suaves en los meses de invierno junto con la alta radiación solar a lo largo de dichos meses, permite que, con una buena distribución de las ventanas, se pueda llegar a valores de consumo en calefacción muy cercanos a 0 gracias a la ganancia solar a través de éstas.

Dicho todo esto acerca de la ganancia solar a través de las ventanas, se puede concluir que la mejor solución para optimizar el balance energético total es la de un edificio con una configuración alargada con orientación sur y con una menor superficie de huecos en las caras este y oeste, con el fin de evitar una gran ganancia solar en los meses de verano, así como una mínima superficie de acristalamiento en la cara norte puesto que la radiación solar incidente es muy reducida y las pérdidas energéticas por conducción térmica en los huecos son mucho mayores que en los cerramientos opacos. Además de adoptar una orientación sur, puede resultar conveniente tomar otra medida en cuanto a las caras este y oeste. Una solución sencilla y perfectamente válida sería a colocación de elementos que proyecten sombra sobre esta cara para reducir la radiación directa incidente.

Por ello, una medida que permitiría proteger a la vivienda de los vientos con una temperatura media fría, de entre 0 y 20°C, sería la de colocar delante de la cara oeste de la casa un obstáculo al viento que lo bloqueara total o parcialmente. Haciendo referencia a una de las medidas adoptadas en cuanto a la trayectoria solar, se puede entender que la solución de situar un elemento que sirva de obstáculo es común para resolver tanto el problema de una radiación excesiva en la cara oeste en verano como el de los vientos fríos en los meses de invierno. Este obstáculo podría ser un simple muro o bien una barrera de vegetación, como podrían ser árboles de hoja perenne. Si bien es cierto que la opacidad y hermeticidad de una barrera de árboles no es del 100%, de modo que parte de la radiación solar y del viento pasaría a través de las hojas y ramas alcanzando así la vivienda.

Por otro lado, en los meses de verano, la ventilación natural de un edificio en períodos en los que la temperatura es elevada permite una evacuación del calor almacenado en el interior de los materiales de construcción que poseen inercia térmica. Este intercambio de calor será posible cuando la temperatura del aire exterior sea inferior a la interior, y esto es posible gracias a los vientos fríos procedentes del mar en las horas nocturnas.

5. SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y ANÁLISIS

Ya dado por finalizado el modelado y edición del edificio puesto en estudio, se procede al cálculo de cargas térmicas con DesignBuilder utilizando la pestaña reservada para ello que se denomina “Simulación”. En primer lugar, antes de realizar la simulación, se han de escoger ciertos parámetros, entre ellos, el tipo de control, es decir, obtener los resultados por temperatura operativa o por temperatura del aire, en este caso, se va a seleccionar el control por temperatura operativa, puesto que, además de considerar la temperatura del aire en el interior de la vivienda, también considera la temperatura de los muros, que pueden transmitir calor en forma de radiación, según se explica en el apartado 3.2.2.7 *Actividad*. Otro aspecto importante a tener en cuenta es el nivel de precisión, es decir el valor de etapas de simulación por hora que, cuanto mayor sea este número, más precisa será la simulación a costa de un mayor tiempo de simulación por parte del software. En este caso se va a utilizar un paso por hora de 10, que aporta una precisión aceptable y no requiere una simulación excesivamente extensa en cuanto a tiempo se refiere. Por otro lado, también es imprescindible indicar el periodo de simulación que se desea calcular, así como los intervalos de tiempo en los que se van a mostrar los resultados en el informe (subhorario, horario, diario o mensual).

Antes de comenzar con el estudio de las estrategias pasivas, se pretende obtener los resultados de simulación para poder analizarlos, para ello se ha de escoger un periodo de simulación de un año completo. Además, deben de estar activados tanto el sistema de calefacción como el de refrigeración en la pestaña “HVAC”, ya que se pretende obtener las demandas de climatización. Además, en las opciones del modelo se debe seleccionar un sistema “HVAC Adecuado”, lo cual permite crear un sistema de cargas ideales de potencia infinita, de tal manera que sería capaz de combatir cualquier carga, por grande que sea. El hecho de no activar dichos sistemas impide obtener las cargas térmicas totales, ya que no existiría ninguna demanda de refrigeración o calefacción.

En primer lugar, se va a realizar un análisis de cargas detallado, identificando cuales son las ganancias y pérdidas térmicas de la vivienda en los periodos de calefacción y refrigeración. Para ello, primero se han de establecer dichos periodos, por lo que la evolución de las cargas totales (sensibles y latentes) de los sistemas es la siguiente, a lo largo del año:



Gráfico 12. Evolución diaria a lo largo del año de las cargas de climatización para el caso base. DesignBuilder.

En el *Gráfico 12* se puede observar la energía demandada diariamente en calefacción y refrigeración de la vivienda actualmente, que como es común presenta un consumo más elevado en calefacción que en refrigeración a lo largo de todo el año. Estas cargas de calefacción y refrigeración son las que se deben conseguir reducir con la implantación de las estrategias pasivas con el objetivo final de cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo que, para ello, la vivienda debe tener un consumo máximo de 15 kWh/(m²año) en calefacción y 15 kWh/(m²año) en refrigeración (PHI, 2016). Como es lógico, en los meses de invierno, la carga de calefacción toma valores muy importantes, así como en los meses estivales es la carga de refrigeración la que cobra mayor importancia. Además de carga sensible en el tiempo en el que existe una carga de refrigeración, también aparece una carga total que hace referencia a la suma de dicha carga sensible más la carga latente debido a la alta humedad, la cual se encuentra en ocasiones fuera de las condiciones de confort indicadas. El cómputo mensual tanto de la carga de calefacción como de refrigeración tienen los valores que se muestran a continuación:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,62	-91,71	-303,16	-251,46	-89,30	-2,64	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,25	-114,65	-403,31	-390,58	-124,36	-3,57	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	981,81	796,21	668,21	353,81	53,33	8,15	0,00	0,00	0,00	103,34	552,42	958,12

Tabla 7. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año para el caso base. DesignBuilder.

La carga de refrigeración se da aproximadamente desde el mes de junio hasta el mes de septiembre, ambos incluidos, siendo predominante la demanda de calefacción en el resto de los meses. En un cómputo anual, la carga de ambos sistemas ficticios se muestra a continuación:

$$\text{Carga Sensible Refrigeración} = Q_{\text{sens,ref}} = -744,88 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Carga Total Refrigeración} = Q_{\text{tot,ref}} = -1043,71 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Carga Total Calefacción} = Q_{\text{tot,cal}} = 4475,41 \text{ kWh/año}$$

Las cargas que han de ser disminuidos a los valores previamente indicados son las cargas totales, por lo que, por el momento, el valor de la carga sensible tiene únicamente la función de mostrar la importancia que tiene la elevada humedad en los meses de verano. Conociendo los valores absolutos de carga anual y que la superficie de la casa es de 23,5 m², la densidad energética total por m² resulta inicialmente:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-1043,71 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -44,41 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{4475,41 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 190,44 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Hay una evidente gran diferencia entre la carga de refrigeración y la de calefacción, pero como se ha visto en el punto 4 *ANÁLISIS CLIMÁTICO*, las condiciones climáticas de la localidad de Valencia son favorables en cuanto a las suaves temperaturas en los meses de invierno y la radiación solar que puede permitir reducir fácilmente el consumo de calefacción con una aplicación correcta de las medidas de mejora. En contrapartida, la elevada temperatura en los meses de verano, así como la excesiva humedad, añadido a las cargas internas que existan en la vivienda (ocupación, equipos...) dificulta en gran medida conseguir un confort térmico aceptable en el interior de la vivienda en la temporada estival.

Con el objetivo de realizar un estudio de medidas bien elaborado y efectivo, es necesario analizar de forma detallada las cargas que influyen en la evolución térmica de la casa. Se va a comenzar con el estudio de las ganancias internas y la ganancia solar, a partir de los cálculos obtenidos por el software:

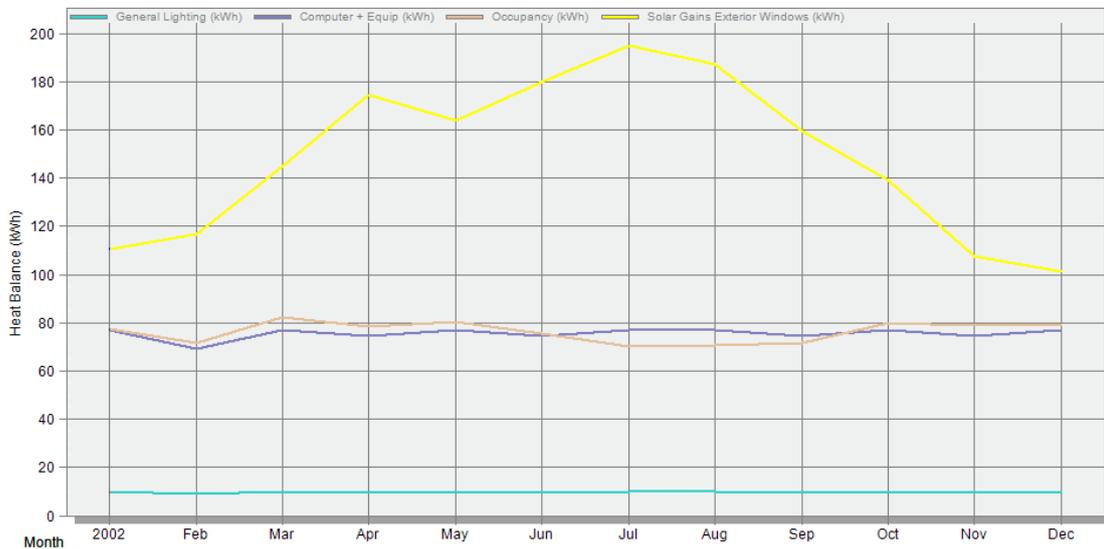


Gráfico 13. Evolución mensual a lo largo del año de las cargas internas y de la ganancia solar a través de los acristalamiento exteriores para el caso base. DesignBuilder.

En el *Gráfico 13* se encuentran representados gráficamente los flujos de calor mensuales de las ganancias internas y de la ganancia solar a través de las ventanas y la puerta exteriores. Esta última es la que resulta más importante a lo largo de todo el año que, como se ha mencionado con anterioridad en varias ocasiones, puede ser crucial en el balance térmico, no obstante, presenta una evolución no muy favorable, debido en parte a la incorrecta distribución de las superficies acristaladas y al nulo sombreado, ya que toma valores muy elevados en los meses centrales del año, correspondientes con el verano, y valores relativamente pequeños en los meses de invierno, lo que puede suponer un aumento importante de la demanda de climatización. Es por ello por lo que resulta imprescindible el aprovechamiento solar a partir de la orientación correcta de las ventanas para reducir la carga térmica en verano, así como aumentar la ganancia solar en los meses hibernales. Por otro lado, también tiene una influencia moderada la ganancia térmica debido a la ocupación y a la utilización de los equipos eléctricos y la cocina de la vivienda, no obstante, sobre este aspecto no se puede actuar debido a que la ocupación es la que indican los horarios impuestos por el CTE (Ministerio de Vivienda, 2013) representados en el *Gráfico 2* y *Gráfico 3* en el caso de la ocupación, y en el *Gráfico 4* para los

equipos. En cambio, la ganancia térmica debida a la iluminación (tecnología LED) son prácticamente despreciables en comparación con el resto de las cargas, por lo tanto, no tiene ningún interés actuar sobre este aspecto.

Por otra parte, también resulta imprescindible analizar el balance de flujo de calor a través de los cerramientos y envoltente del edificio, así como las ventilaciones y las infiltraciones:

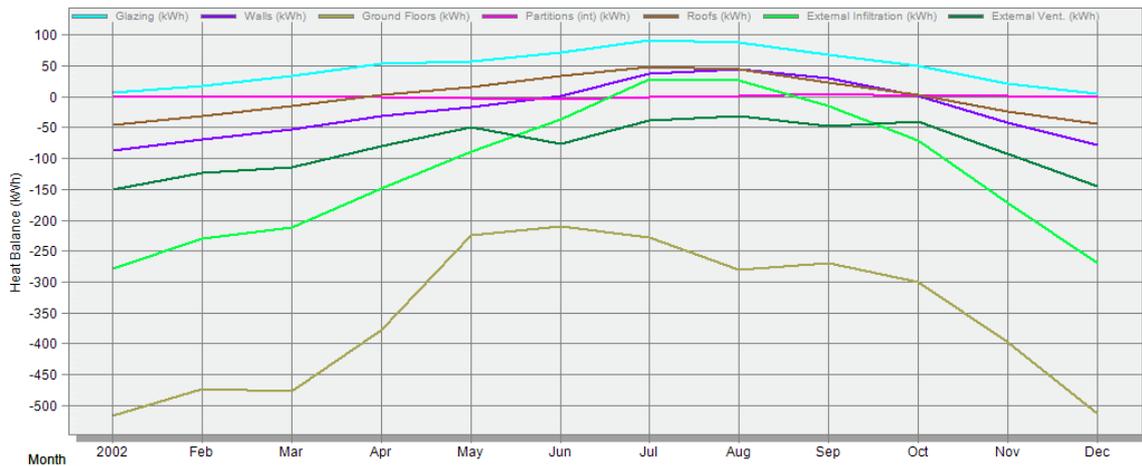


Gráfico 14. Evolución mensual a lo largo del año de los flujos de calor de las infiltraciones, ventilación y transmitancia a través de la estructura del edificio, para el caso base. DesignBuilder.

El Gráfico 14 recoge la evolución a lo largo del año de las ganancias térmicas debidas a la envoltente y las introducciones de aire exterior en el edificio considerando las medias mensuales, siendo a través de los cristales por donde se produce una mayor transmisión de calor con un sentido hacia el interior de la vivienda, cuyo balance sale positivo en todos los meses del año. También se contempla el calor transmitido a través de las paredes exteriores, el techo y el suelo. En el caso del techo y de las paredes, existe una trasmisión hacia el interior de la vivienda en los meses de verano y alcanza valores negativos en los meses de invierno en los que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es mayor. En cuanto al suelo, es lógico que exista una trasmisión de calor hacia este, ya que las temperaturas del terreno que se han definido son significativamente inferiores a la temperatura de la vivienda, sin embargo, es evidente que la diferencia de temperatura en los meses de invierno es mayor tomando valores más negativos. El hecho de que el suelo se comporte como “sumidero” puede ser muy beneficioso para evacuar el calor excedente en verano, pero bastante perjudicial en invierno. Lógicamente, este flujo de calor tan elevado no se debe únicamente a las bajas temperaturas del terreno a lo largo del año, sino que también tiene una influencia muy importante el hecho de que no existe ningún tipo de material aislante en el mismo como se puede comprobar en el apartado 3.2.2.4 *Parámetros constructivos del edificio*. de la memoria, por lo que en el estudio de estrategias pasivas se ha de plantear el hecho de introducir, o no, aislante en el suelo. Asimismo, como se ha visto en el punto 3.2.2.5.2 *Puente térmico del encuentro Muro-Suelo.*, el valor del puente térmico es muy elevado, el cual también ha de ser corregido.

También se han considerado la ventilación y las infiltraciones, cuyas ganancias térmicas toman valores negativos a lo largo de todo el año en el caso de las infiltraciones, siendo mayores en valor absoluto en los meses de invierno, por lo que resulta conveniente evitarlo para no tener una carga importante en las épocas de menor temperatura. En cuanto a la ventilación, puede

jugar un papel muy importante en los meses de verano, puesto que puede ser un sistema de evacuación de calor si se aprovechan correctamente las brisas marinas reduciendo la temperatura del interior de la vivienda.

En términos generales, partiendo de los valores exportados de DesignBuilder y considerando los periodos de verano e invierno como Junio-Septiembre y Octubre-Mayo respectivamente, como se ha mencionado con anterioridad, se obtiene:

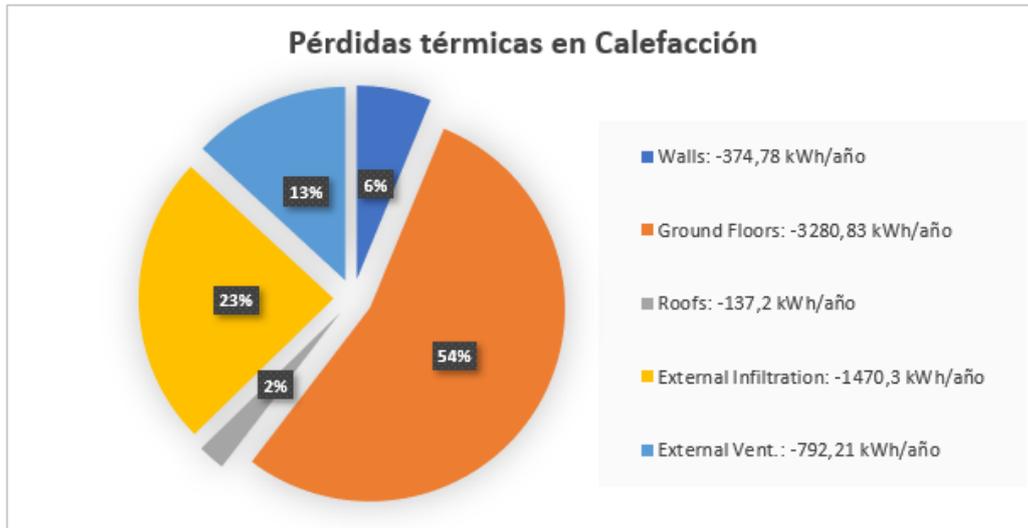


Gráfico 15. Sectorización de las distintas pérdidas térmicas en el periodo de calefacción. Elaboración propia.

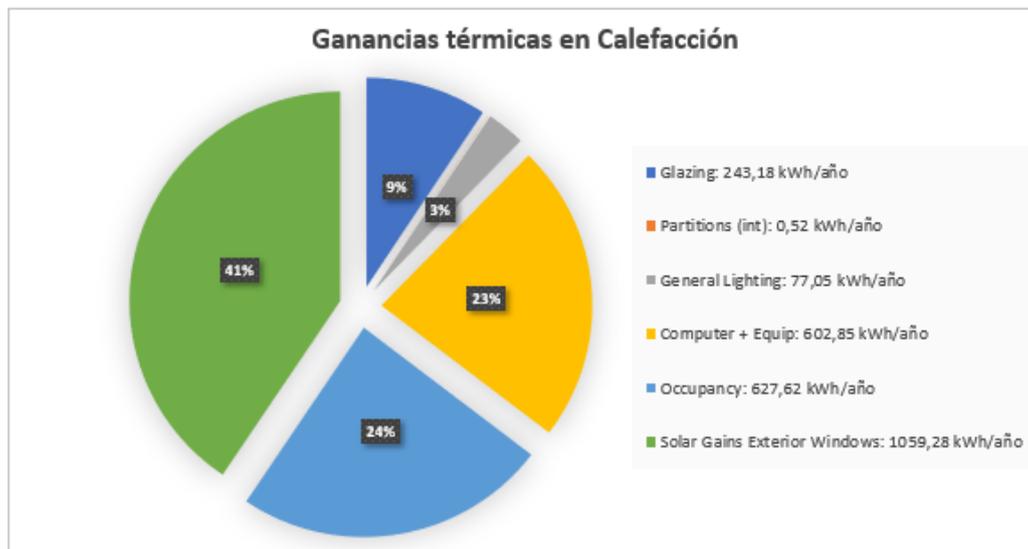


Gráfico 16. Sectorización de las distintas ganancias térmicas en el periodo de calefacción. Elaboración propia.

En el *Gráfico 15* y en el *Gráfico 16* se tiene un resumen anual del reparto de cargas entre las distintas transmisiones de calor entre el interior y el exterior de la vivienda en los meses en los que existe predominantemente demanda de calefacción. Como se ha explicado anteriormente en este mismo apartado, la pérdida térmica más importante se produce a través del suelo, suponiendo el 54% de todas las pérdidas en los meses de invierno, por lo que va a ser fundamental tenerlo en cuenta en el estudio de estrategias pasivas. Tampoco es despreciable, pero sí de un valor mucho menor comparativamente, el flujo de calor que existe hacia el exterior de la vivienda a través de las paredes y del techo, por lo que será conveniente realizar un estudio relativo al aislamiento para optimizar este aspecto. Lo que es evidente es que las pérdidas térmicas debidas a las infiltraciones exteriores y la ventilación mínima necesaria en los meses de invierno toma valores muy elevados, sobre todo en el caso de las infiltraciones, que han de ser controladas logrando una mayor hermeticidad del edificio.

Por otra parte, las ganancias térmicas durante el periodo de calefacción combaten parcialmente las pérdidas térmicas de la vivienda, pudiendo lograr de esta manera una reducción de la demanda de calefacción. Como se puede observar en el *Gráfico 16*, la ganancia térmica más importante resulta la correspondiente a la radiación solar incidente a través de los acristalamientos de la casa, con un 41% del total, por lo que, con una correcta distribución de las ventanas a lo largo de las fachadas de la casa, se puede conseguir una importante reducción del consumo térmico en calefacción. Evidentemente, como se ha explicado anteriormente, las ganancias térmicas generadas por la ocupación de la casa y el funcionamiento de los distintos equipos cobran valores también muy importantes, con un 24% y 23% del total respectivamente. Sin embargo, no se puede realizar ningún tipo de actuación sobre estos valores puesto que se deben a la propia presencia de las personas y a la utilización de los equipos, lo cual no puede ser potenciado de ninguna forma.

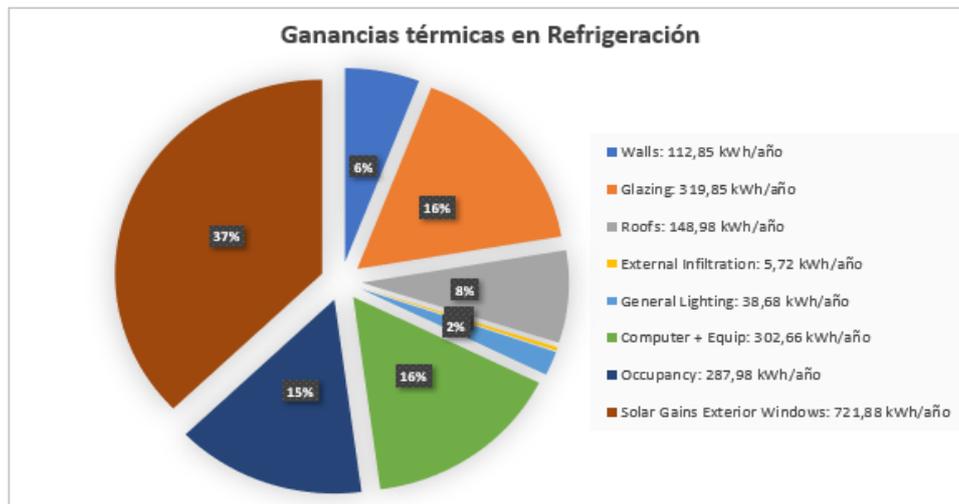


Gráfico 17. Sectorización de las distintas ganancias térmicas en el periodo de refrigeración. Elaboración propia.

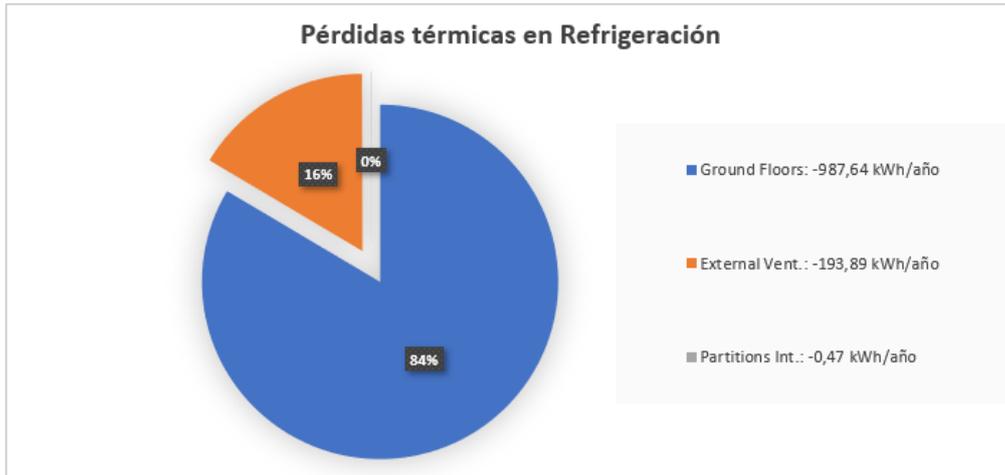


Gráfico 18. Sectorización de las distintas pérdidas térmicas en el periodo de refrigeración. Elaboración propia.

Realizando el análisis equivalente para el periodo en el que se demanda un consumo de refrigeración, se observa en el *Gráfico 17* que la ganancia térmica más importante también resulta la relativa a la radiación solar a través de las ventanas y de la puerta de la vivienda (37%), no obstante, en este caso, no resulta beneficioso, sino al contrario, supone una carga que ha de ser combatida por un sistema de climatización. Por este motivo, se ha de encontrar una solución que permita justamente la minimización de la radiación solar a través de las ventanas en los meses de verano y la maximización de esta en invierno. Entre estas soluciones se encuentra la orientación correcta del edificio, el ajuste de la superficie de acristalamiento en cada una de las caras de la vivienda y la correcta proyección de sombras sobre las ventanas en los meses de verano sin que esto suponga un impedimento a la ganancia solar en invierno.

Por otra parte, ha de ser tenida en cuenta la trasmisión de calor hacia el interior en los meses de verano a través de la envolvente de la vivienda debida a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la casa, lo que puede ser corregido parcialmente con un espesor de aislante correcto de los muros exteriores y el techo. Además, al contrario que en el periodo de calefacción, las ganancias térmicas debidas a la ocupación y los equipos suponen ahora una carga térmica, que no puede ser reducida por el mismo motivo que anteriormente.

Si se analizan las pérdidas térmicas, se puede observar, en el *Gráfico 18*, que el suelo permite una evacuación muy importante que supone una reducción importante de la carga térmica total de refrigeración. No obstante, esto entra en conflicto con el periodo de calefacción, en el que la evacuación de calor a través del suelo del edificio suponía un problema, por tanto, se debe llegar a una solución de compromiso con el fin de reducir el consumo lo máximo posible con la implantación de medidas en este aspecto concretamente. En adición, se consigue una evacuación muy importante con la ventilación nocturna de 4 renovaciones por hora en los meses de verano, que deberá ser optimizada en el estudio de mejoras para lograr una reducción de consumo importante.

6. ESTUDIO DE ESTRATEGIAS PASIVAS

Una vez identificadas las estrategias pasivas en los apartados 4. *ANÁLISIS CLIMÁTICO* y 5. *SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y ANÁLISIS* de la presente memoria, se va a hacer un estudio de las medidas de mejora de manera individual, cuantificando cada una de ellas por separado, y posteriormente analizarlas funcionando conjuntamente identificando asimismo la influencia entre estas.

6.1. Análisis individual de las estrategias pasivas.

6.1.1. Modificación de la orientación de la vivienda.

La primera estrategia pasiva es el giro de 90° de la vivienda en sentido horario respecto a su posición inicial, exponiendo una de las caras con una superficie de fachada mayor, en concreto la que actualmente se encuentra con orientación Este, hacia el punto cardinal Sur, con el objetivo de aumentar la ganancia solar en los meses de invierno a través de las ventanas situadas en dicha fachada y reduciendo, al mismo tiempo, la ganancia solar en las caras Este y Oeste del edificio en las primeras y últimas horas del día de los meses de verano, disminuyendo de esta manera la carga térmica.



Figura 22. Plano planta de la nueva orientación de la vivienda. Elaboración propia.

Esta medida se va a tomar como definitiva y va a servir como base sobre la cual se van a instaurar el resto de las estrategias pasivas, puesto que carece de sentido estudiar las demás medidas independientes a la orientación debido a que muchas de estas tienen en cuenta este aspecto. Otro de los motivos por el cual se va a realizar de esta manera es que es una estrategia pasiva básica que ha de ser tomada siempre, ya que cualquier otra orientación que no sea Sur en el hemisferio Norte, como es el caso, resulta perjudicial en cuanto a la eficiencia energética del edificio.

Por otro lado, se ha considerado la orientación mostrada en la *Figura 22* debido a que las ventanas que dan a la fachada Sur comunican con las dos zonas que se corresponde con la habitación y con el Salón-Cocina, siendo estas las zonas las que habitualmente tienen una ocupación mayor y por ello interesa que el mayor confort en los meses de invierno se logre en estas habitaciones. No obstante, el hecho de haber escogido la orientación opuesta no supondría una gran diferencia, porque las condiciones de confort en toda la vivienda serán muy similares.

Para comprobar qué impacto tendría esta medida, simplemente, sobre el detallado modelo generado en DesignBuilder se ha de aplicar la nueva orientación adoptada y simular otra vez obteniendo los resultados que se pueden contrastar con los obtenidos en el apartado 5. *SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y ANÁLISIS* de esta memoria viendo así la mejora de eficiencia energética conseguida con la aplicación de esta estrategia pasiva.

En primer lugar, es necesario calcular las cargas térmicas de calefacción y refrigeración y realizar una comparación con el caso real de la vivienda ya construida. Para ello han de permanecer activados los sistemas HVAC en el modo edición y simular nuevamente.

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,49	-64,99	-255,43	-221,12	-84,80	-1,54	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,60	-83,00	-346,13	-350,07	-119,09	-1,97	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	942,16	775,25	659,97	367,83	64,89	9,52	0,00	0,00	0,06	96,99	525,12	919,98

Tabla 8. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la nueva orientación. DesignBuilder.

Lo que supone una demanda anual, según la *Tabla 8*, para cada uno de los parámetros de:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -629,37 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -901,88 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4361,76 \text{ kWh/año}$$

Y por unidad de superficie útil de la vivienda:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-901,88 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -38,38 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{4361,76 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 185,61 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Que se corresponde con la siguiente reducción anual por metro cuadrado con respecto al caso inicial:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 44,41 - 38,38 = 6,03 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 190,44 - 185,61 = 4,83 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

Se puede entender por los resultados obtenidos que la aplicación de esta medida tiene un efecto más positivo en los meses de verano, puesto que de esta manera se está evitando que exista una ganancia solar muy elevada a través de las ventanas y cerramientos de las caras este y oeste de la vivienda, sin embargo, como se ha aumentado la superficie de la fachada sur, ahora existe una ganancia térmica importante ya que no existe de momento ningún tipo de sombreado sobre las ventanas. También existe una reducción en la demanda de calefacción, puesto que ha aumentado la superficie de acristalamiento en la cara Sur, donde incide de forma bastante perpendicular la radiación solar en las horas centrales del día en invierno, ya que anteriormente únicamente había una ventana y tras el estudio del cambio de orientación existen 2 huecos acristalados.

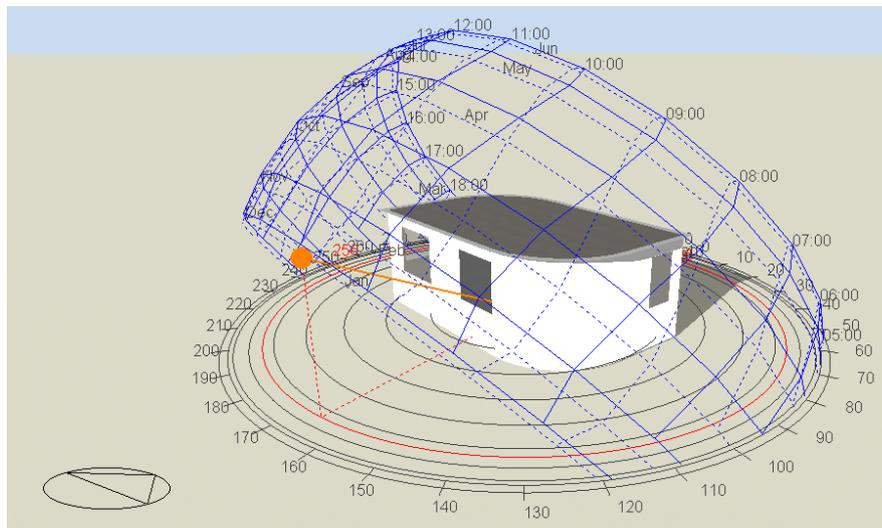


Figura 23. Posición del Sol con respecto a la vivienda el día 15 de diciembre a las 11:00 horas solares. DesignBuilder.

Es interesante realizar un breve análisis de la evolución de las ganancias solares a través de los acristalamientos, puesto que esta medida tiene una influencia directa sobre la radiación incidente en el interior de la vivienda aprovechando en cierto modo la trayectoria solar.

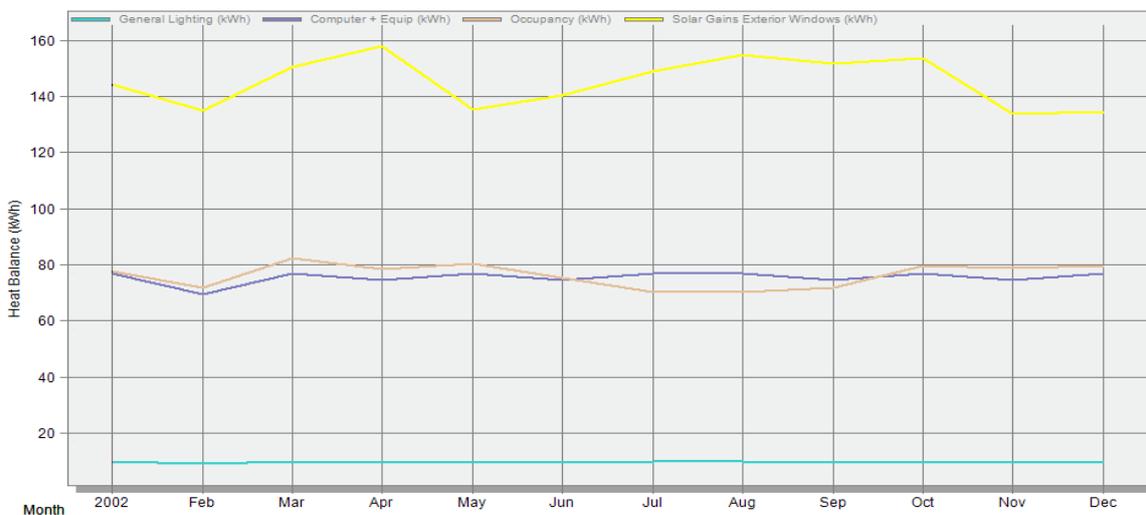


Gráfico 19. Evolución mensual a lo largo del año de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores con la nueva orientación. DesignBuilder

La evolución de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores representada en el *Gráfico 19* muestra un valor más constante a lo largo de todo el año, en contraposición a lo visto en el análisis inicial, en el que se observaba claramente que la ganancia solar era significativamente mayor en los meses de verano. Con la implantación de esta estrategia pasiva se ha logrado, por tanto, reducir la ganancia en los meses de verano, aumentándola al mismo tiempo a lo largo del invierno. Evidentemente, esta situación tiene un mayor margen de mejora referido a la superficie de acristalamiento y sombreado de las ventanas que han de ser aplicadas sobre esta nueva orientación.

6.1.2. Superficie de acristalamiento.

Otro de los parámetros que va a ser modificado es la superficie de acristalamiento de la vivienda en cada una de sus fachadas. Como se ha explicado anteriormente en el apartado 4. *ANÁLISIS CLIMÁTICO* de la presente memoria, interesa adquirir una superficie de ventanas elevada en la cara Sur para conseguir una ganancia solar importante, reducir lo máximo posible el acristalamiento en las caras Este y Oeste, y eliminar, si fuera viable, cualquier tipo de acristalamiento en la cara Norte, ya que supondría la interrupción de la continuidad del cerramiento sin la obtención de ningún beneficio.

Dicho esto, se va a diseñar en primer lugar el acristalamiento de la fachada Sur que, como se ha tomado la nueva orientación explicada en el punto 6.1.1 *Modificación de la orientación de la vivienda*, dispone ahora de una gran superficie de cerramiento en la que situar las ventanas. Resulta difícil saber que superficie de acristalamiento es la ideal para reducir el consumo lo máximo posible, por lo que se van a hacer varias iteraciones con el software hasta conseguir la mayor reducción de la demanda de calefacción.

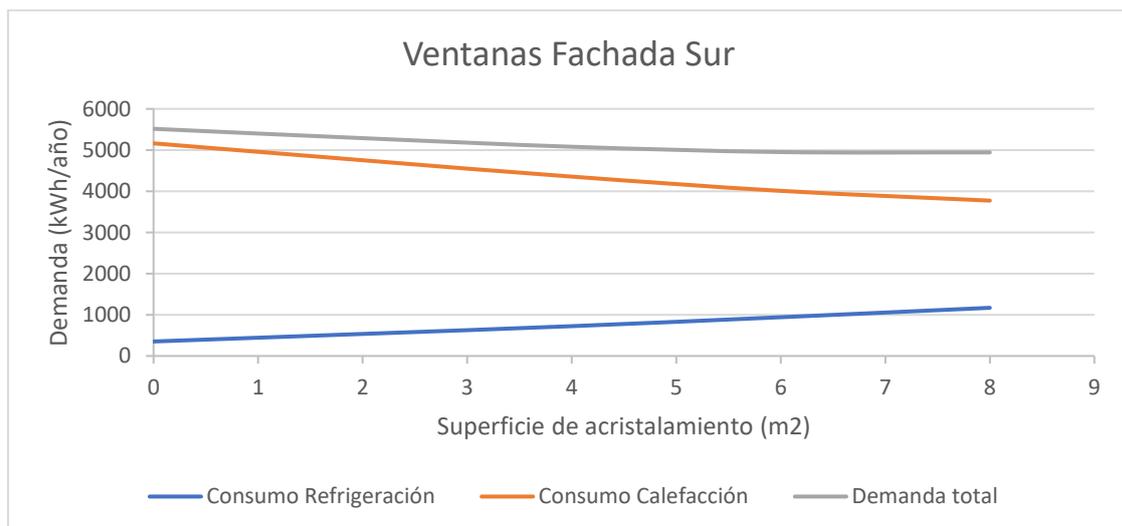


Gráfico 20. Demanda de climatización en función de la superficie de acristalamiento de las ventanas de la fachada Sur. Elaboración propia.

En el *Gráfico 20* se puede observar la evolución de las demandas de refrigeración y calefacción en función de la superficie de acristalamiento. A medida que aumenta la superficie acristalada

de la fachada Sur, disminuye el consumo de calefacción debido al aumento de la ganancia solar a través de dichas ventanas, como se ha explicado en varias ocasiones anteriormente. Empero, al mismo tiempo, aumentaría el consumo en refrigeración por el mismo motivo, lo cual se podría corregir parcialmente impidiendo que la radiación solar alcance el cristal de las ventanas mediante algún tipo de sombreado. Si se toma como referencia la demanda total, como suma de ambos consumos, alcanza el valor mínimo para una superficie de acristalamiento de 6 m², a partir de la cual se mantiene prácticamente constante hasta cubrir toda la superficie de la fachada, por lo tanto, se tomará, en un primer momento, dicha superficie como óptima.

Sin embargo, este estudio no servirá para establecer la superficie de forma definitiva, porque el punto óptimo también dependerá de otras medidas relativas al sombreado de las ventanas, por lo tanto, no necesariamente la superficie óptima obtenida en el estudio de forma independiente de esta estrategia será la superficie seleccionada finalmente cuando funcionen todas las estrategias conjuntamente.

Por otro lado, también se ha de analizar la evolución de los consumos en función de la superficie de acristalamiento de las caras Este y Oeste, que tendrán la misma superficie puesto que tienen un comportamiento similar:

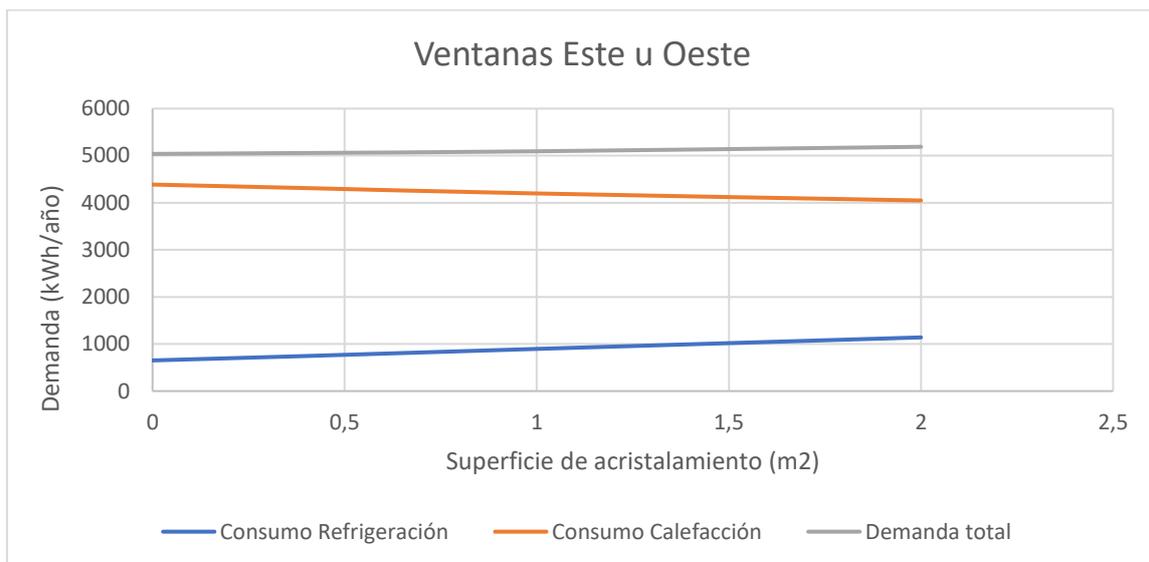


Gráfico 21. Demanda de climatización en función de la superficie de acristalamiento de las ventanas de las fachadas Este y Oeste. Elaboración propia.

Según se puede observar en el *Gráfico 21*, a medida que aumenta la superficie de ventanas acristaladas en las fachadas Este y Oeste, mayor es el consumo en refrigeración, debido a la ganancia solar resultante en las primeras y últimas horas del día en los meses de verano, en las que la radiación solar incide prácticamente de manera perpendicular sobre dichas fachadas. Al mismo tiempo, supone una reducción del consumo de calefacción en los meses de invierno, pero en términos absolutos, esta disminución siempre es menor que el aumento de demanda en refrigeración.

Como consecuencia, el punto óptimo de la superficie de acristalamiento en este caso, sin tener en cuenta otras medidas que puedan influir, sería de 0 m². Sin embargo, también se ha de tener

en cuenta posibles estrategias pasivas que se vayan a tomar posteriormente, como puede ser la ventilación natural a través de esas ventanas aprovechando la brisa marina procedente del punto cardinal Este, como se ha detallado en el apartado 4.3 Estudio de los vientos, o la proyección de sombras sobre las ventanas en los meses de verano. Por lo tanto, para el análisis de resultados finales de esta medida de mejora no se tomará el punto óptimo obtenido (0 m² de acristalamiento), sino que se optará por escoger un valor de 0,4 m² tanto para la ventana Este como la Oeste, que es más realista. Al igual que en las ventanas de la fachada Sur, este valor seleccionado, no tiene que ser necesariamente la superficie de acristalamiento final escogida en la implantación de todas las medidas conjuntamente.

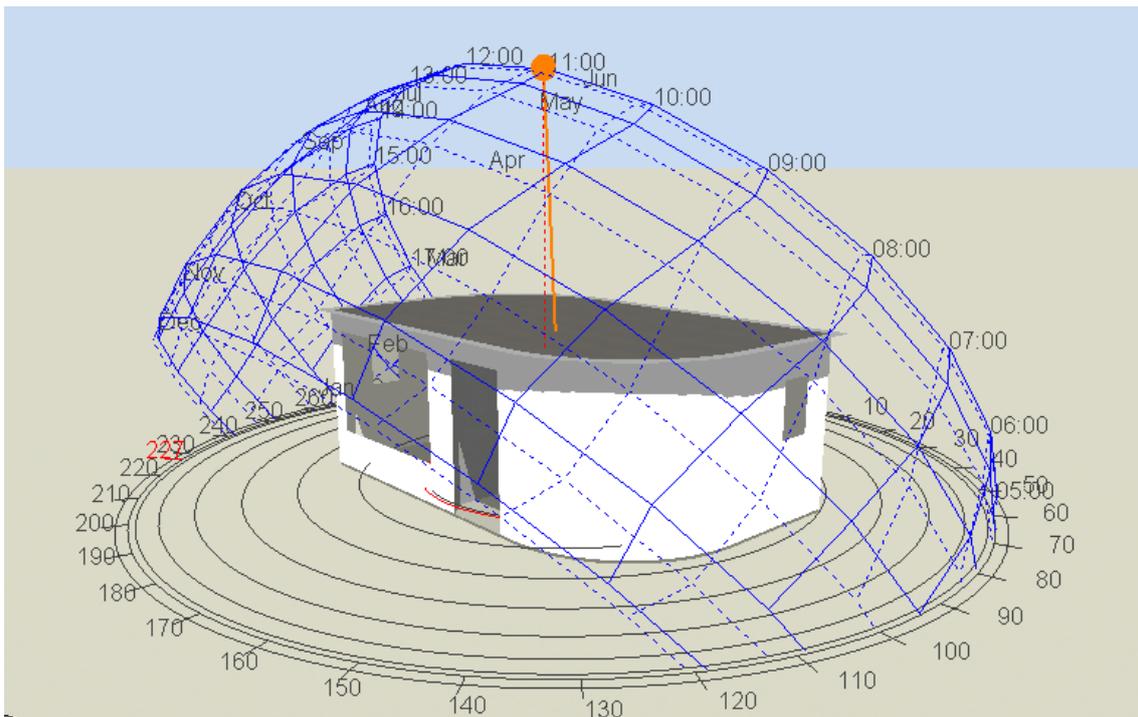


Figura 24. Posición del Sol respecto a la vivienda el día 15 de junio a las 11:00 horas solares con la nueva superficie de acristalamiento. DesignBuilder.

A nivel de diseño, se ha decidido finalmente trasladar la puerta de entrada desde la fachada Norte a la fachada Sur, desapareciendo cualquier tipo de acristalamiento en la cara Norte y situando las superficies correspondientes en el resto de las fachadas. De esta manera, se procede al cálculo de las cargas térmicas de calefacción y refrigeración y realizar una comparación con el caso inicial:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	-0,00	-1,24	-54,12	-241,46	-230,80	-115,43	-11,74	-0,07	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	-0,00	-1,29	-70,30	-329,94	-360,55	-154,14	-15,06	-0,07	0,00
Zone Heating (kWh)	855,43	718,42	618,72	352,21	65,46	9,88	0,00	0,00	0,00	76,89	469,89	842,06

Tabla 9. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con las nuevas ventanas. DesignBuilder.

Lo que supone una demanda anual para cada uno de los parámetros de:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -629,37 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -931,34 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4008,96 \text{ kWh/año}$$

Y por unidad de superficie útil de la vivienda:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-931,34 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -39,63 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{4008,96 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 170,59 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Que se corresponde con la siguiente reducción anual por metro cuadrado con respecto al caso en el que solamente se había orientado la vivienda:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 39,63 = -1,25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 170,59 = 15,02 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Los resultados obtenidos en la elección y cuantificación de esta estrategia pasiva indican una reducción evidente en el consumo de calefacción por el gran aumento en la superficie de acristalamiento en la fachada Sur, lo que implica un aumento en el consumo de refrigeración, que es contrarrestado prácticamente con la reducción de la superficie de las ventanas en las caras de las fachadas Este y Oeste. Esto mismo se puede ver reflejado en la evolución de la ganancia solar a lo largo de todo el año obtenida tras la simulación:

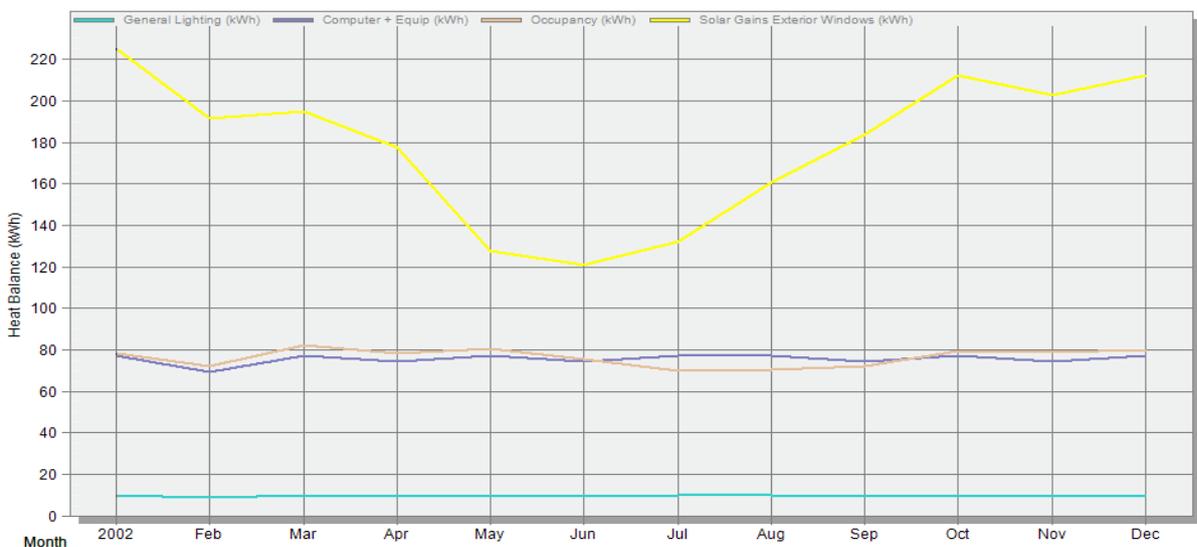


Gráfico 22. Evolución mensual a lo largo del año de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores con la nueva superficie de acristalamiento. DesignBuilder.

Como se puede observar en el *Gráfico 22*, con la implantación de esta medida, se ha logrado aumentar en gran medida la ganancia solar en los meses hibernales, manteniéndose prácticamente constante la ganancia solar en verano, la cual se podrá reducir mediante sombreados adecuadamente instalados en las ventanas.

6.1.3. Sombreado de la vivienda.

6.1.3.1. Sombreado de las ventanas de la fachada Sur mediante un voladizo.

Lógicamente, al orientar la vivienda hacia el Sur y exponer una mayor superficie de acristalamiento hacia ese punto cardinal, se estaría aumentando la ganancia solar en invierno a través de las ventanas de esa fachada, pero no es conveniente descuidar la ganancia solar por esas ventanas en los meses de verano. Por lo tanto, aprovechando que la altura solar es mayor en los meses estivales, como se explica en el apartado 4.2 *Trayectoria y radiación solar.*, si se coloca adecuadamente un voladizo sobre el acristalamiento en dicha fachada, se proyectaría una sombra sobre las ventanas en los meses más calurosos que evitaría la incidencia de radiación directa en el interior de la vivienda, elevando desfavorablemente la temperatura de la vivienda. Sin embargo, en invierno, el voladizo apenas influiría en la ganancia térmica, siempre que se diseñe correctamente, debido a que la altura solar en estos meses es bastante inferior.

Al igual que se ha realizado en el apartado 6.1.2 *Superficie de acristalamiento.* de la memoria, se buscará el punto óptimo a partir de una serie de iteraciones mediante simulaciones con DesignBuilder, siendo en este caso la longitud del voladizo la variable a optimizar. Por lo tanto, la evolución de la demanda térmica en función de la longitud viene representada a continuación:

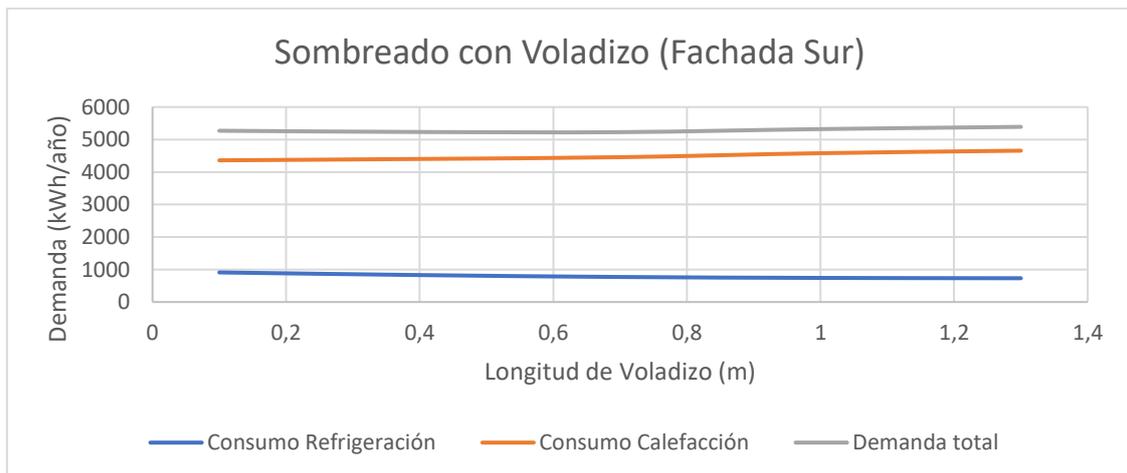


Gráfico 23. Demanda de climatización en función de la longitud del voladizo de la fachada Sur. Elaboración propia.

Como consecuencia de la implantación del voladizo sobre las ventanas, aumenta el consumo de calefacción, puesto que se proyecta una pequeña sombra inevitable sobre las ventanas del Sur en los meses de invierno. Sin embargo, también se produce una disminución del consumo de refrigeración, ya que, en las horas centrales de los meses de verano, este voladizo evitaría la

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

incidencia de radiación directa sobre el acristalamiento. El punto óptimo en este caso se corresponde con un voladizo de 0,7 m de longitud, que sería modificado si se considera necesario en el modelo final en el que se contemplan conjuntamente todas las medidas.

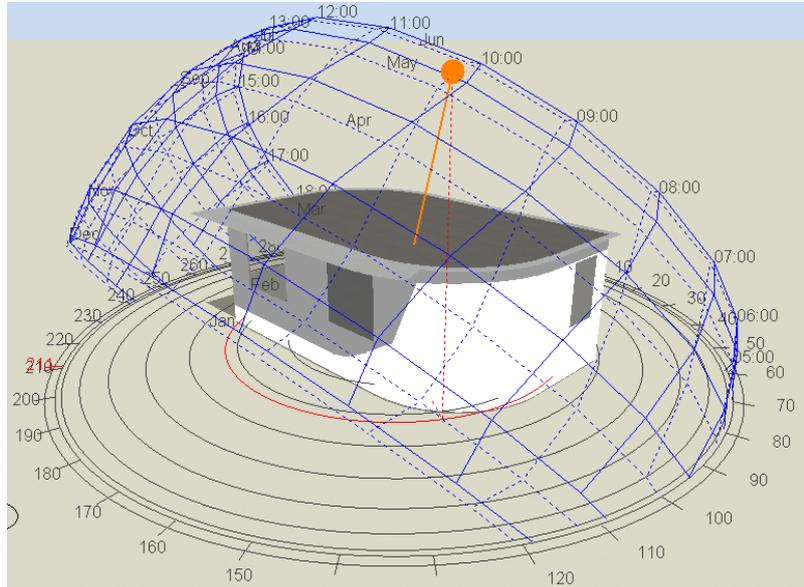


Figura 25. Sombras de la vivienda el día 15 de Mayo a las 10:00 horas solares con la nueva longitud de voladizo. DesignBuilder.

Con el voladizo ya optimizado, se puede analizar el cálculo de cargas totales comparándolo con lo obtenido en el caso base (Orientación Sur):

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,42	-54,49	-231,40	-181,19	-57,65	-0,54	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,43	-70,12	-317,57	-297,75	-84,09	-0,63	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	950,69	790,26	691,53	402,70	74,76	10,64	0,00	0,00	0,15	106,98	533,66	925,42

Tabla 10. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el voladizo. DesignBuilder.

Lo que supone una demanda anual para cada uno de los parámetros de:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -525,68 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -770,59 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4486,8 \text{ kWh/año}$$

Y por unidad de superficie útil de la vivienda:

$$Q_{ref} = \frac{-770,59 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -32,79 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{cal} = \frac{4486,8 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 190,92 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Que se corresponde con la siguiente reducción anual por metro cuadrado con respecto al caso en el que solamente se había orientado la vivienda:

$$\text{Red. } Q_{\text{tref}} = 38,38 - 32,79 = 5,59 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 190,92 = -5,31 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

En este caso, la cuantificación a nivel individual no es representativa de la mejora real de esta medida funcionando de manera conjunta, puesto que en el caso inicial el consumo de refrigeración es mucho menor con respecto al de calefacción. Sin embargo, cuando se consiga una reducción importante del consumo de calefacción, debido a medidas como el aumento de acristalamiento, el papel que jugará el voladizo será mucho más importante. En cualquier caso, la evolución de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores es la siguiente:

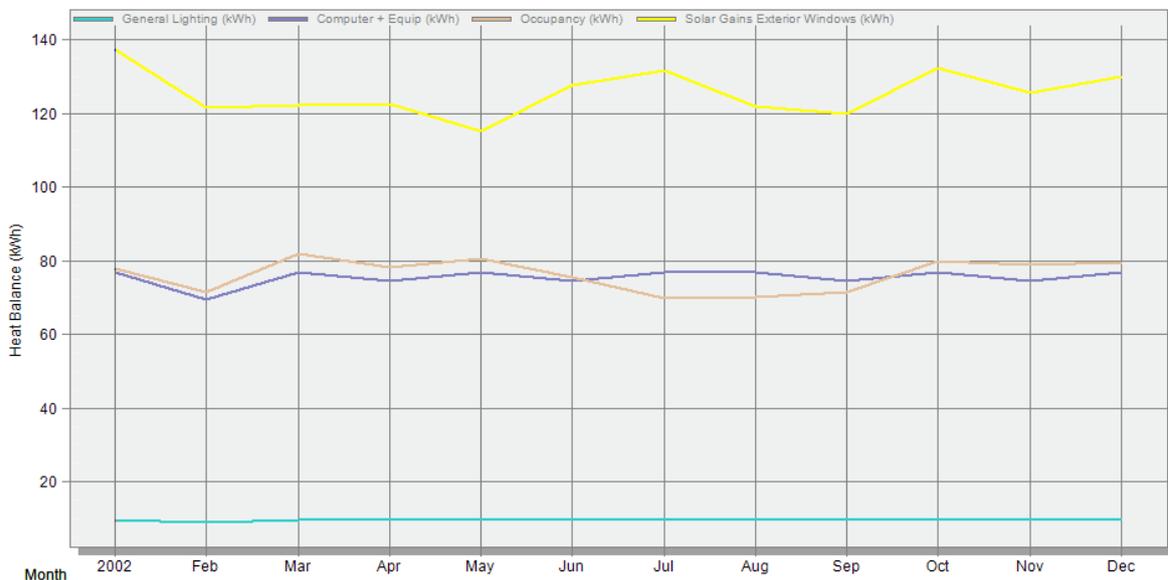


Gráfico 24. Evolución mensual a lo largo del año de la ganancia solar a través de las ventanas exteriores con la nueva longitud de voladizo. DesignBuilder.

En el Gráfico 24 se puede observar que se ha conseguido reducir la ganancia solar gracias a la instalación de dicho voladizo.

6.1.3.2. Sombreado de las ventanas mediante estores.

La casa puesta en estudio consta de unos estores medio traslúcidos en la parte exterior de las ventanas que, en el caso inicial, se bajan según el horario aportado por el CTE, según se explica en el punto 3.2.2.4 *Parámetros constructivos del edificio*. de la presente memoria, un 30% durante las horas nocturnas (0-8h), lo cual apenas tiene influencia en el cálculo de cargas térmicas puesto que, durante dicho rango horario, la vivienda apenas recibe radiación solar. Es por ello por lo que existe un amplio margen de mejora en este aspecto ya que, ajustando un horario adecuado, se puede reducir en gran medida la demanda de refrigeración en los meses de verano sombreando las ventanas.

Para la optimización de la utilización de los estores exteriores se va a realizar un control por temperatura interior asignado a un horario específico para los meses de verano y de invierno. Para ello, en primer lugar, es necesario indicar el horario perteneciente a cada época del año y, como la función principal de los estores es bloquear la radiación solar para que no incida directamente sobre las ventanas, se diseñará primero el horario de funcionamiento del control en los meses de verano relativo al verano. Como se ha visto en el apartado 5. *SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y ANÁLISIS*, el consumo de refrigeración abarca principalmente desde junio hasta septiembre, ambos incluidos, sin embargo, también existen pequeños consumos en los meses de mayo y octubre, por lo que es interesante incluirlos también en el horario de verano. Por otro lado, como la función principal es la indicada, el horario será compatible con las horas de sol en la ciudad de Valencia, que son aproximadamente de 7:00-22:00. De esta forma, el horario de actuación del control desde el mes de mayo hasta octubre es el siguiente:

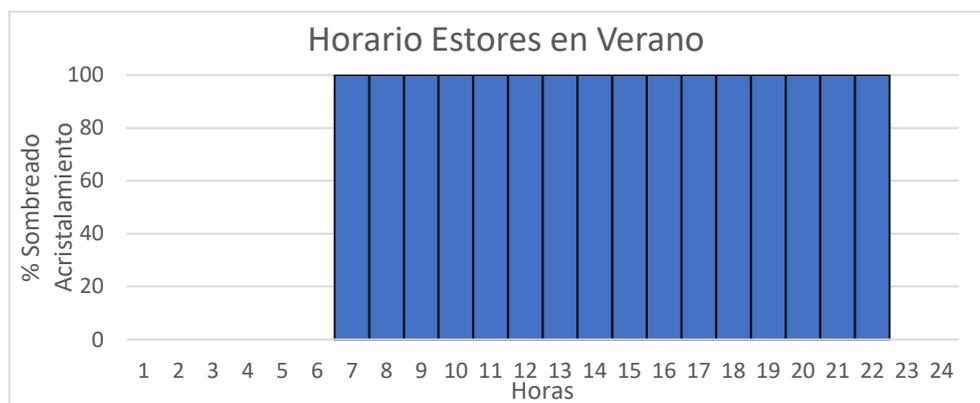


Gráfico 25. Horario de los estores en verano. Elaboración propia.

El horario del *Gráfico 25* no significa que desde las 7:00 hasta las 22:00 estén necesariamente bajados los estores, ya que además se ha impuesto un control de temperatura interior de 23°C, es decir, cuando la temperatura en el interior de la vivienda sea mayor a 23°C los estores bajarán completamente siempre y cuando se encuentre dentro del horario establecido. En el caso de que la temperatura interior sea mayor que 23°C en el interior durante las horas nocturnas, los estores permanecerán subidos, ya que se encontraría fuera del horario de funcionamiento.

En cuanto al resto de meses, en los que no hay demanda de refrigeración, el funcionamiento de dichos estores no dependerá del control de temperatura, sino que seguirá un horario de manera incondicional:

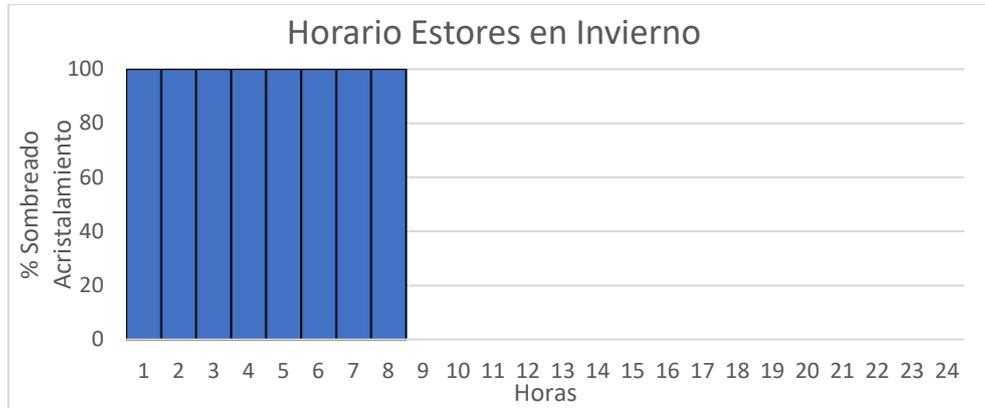


Gráfico 26. Horario de los estores en invierno. Elaboración propia

Con horario del *Gráfico 26* para los meses de invierno no se pretende conseguir una reducción de la ganancia solar a través de los acristalamientos exteriores, sino que sirve para disminuir el flujo de calor a través de las ventanas en las noches de invierno protegiendo en cierto modo las ventanas. No obstante, en comparación con el impacto que tiene esta medida en cuanto al sombreado de las ventanas, no supondrá una mejora sustancial el incorporar este último horario al control de los estores, por lo que podría omitirse, a pesar de que se ha considerado en este caso.

Una vez se han introducido en el programa todos los parámetros relativos a los estores, se pueden calcular las cargas térmicas

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-18,71	-147,42	-107,66	-15,18	0,00	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-25,73	-212,37	-191,34	-24,84	0,00	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	1127,60	925,78	790,47	449,74	102,82	2,40	0,00	0,00	0,00	142,48	630,99	1101,11

Tabla 11. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la mejora de estores. DesignBuilder.

Lo que supone una demanda anual para cada uno de los parámetros de:

$$Q_{ref} = -288,98 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{ref} = -554,29 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{cal} = 5273,39 \text{ kWh/año}$$

Y por unidad de superficie útil de la vivienda:

$$Q_{ref} = \frac{-554,29 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -23,59 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{cal} = \frac{5273,39 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 224,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Que se corresponde con la siguiente reducción anual por metro cuadrado con respecto al caso en el que solamente se había orientado la vivienda:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 23,59 = 14,79 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 224,4 = -38,79 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

Al igual que sucede con la implantación del voladizo, se observa un aumento excesivo del consumo de calefacción, sin embargo, al analizar esta medida de manera individual, el consumo inicial de calefacción es muy elevado, por lo que cuando se realice el estudio con una demanda de calefacción inferior gracias a la implantación del resto de medidas, la influencia de la instalación de los estores apenas tendrá influencia en este aspecto, dando por válida, por el momento, esta estrategia pasiva sirviendo como apoyo la gran reducción en términos relativos en la demanda de refrigeración con respecto al caso inicial.

6.1.3.3. Sombreado de la fachada Oeste mediante un porche.

Uno de los puntos que se ha identificado como débil, es la fachada Oeste, que recibe radiación directa de manera bastante perpendicular en las últimas horas de la tarde de los meses de verano, en las que la temperatura exterior tiende a ser muy elevada. De este modo, es conveniente proteger dicha cara de la vivienda mediante un elemento de sombreado que impida la incidencia directa de radiación, reduciendo de esta manera el consumo de refrigeración.

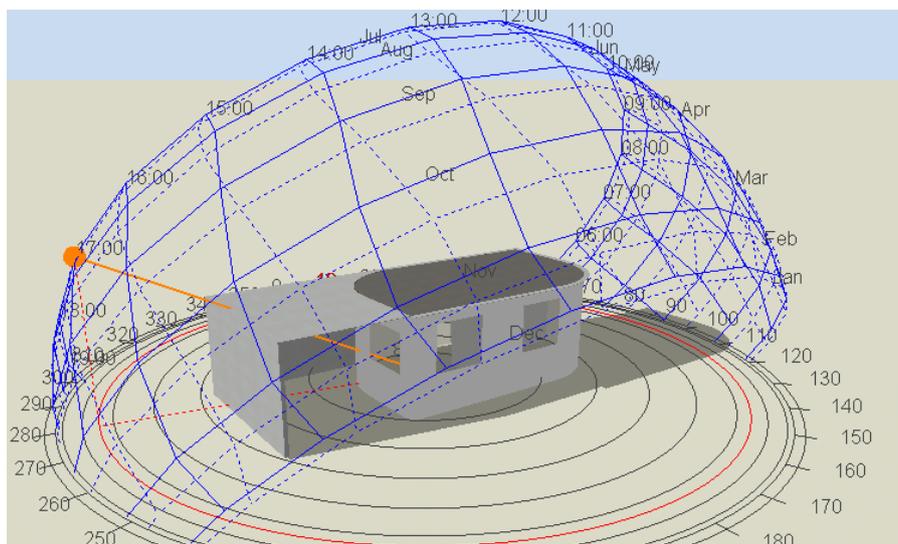


Figura 26. Sombra de la vivienda el día 15 de junio a las 17:00 horas solares con el porche. DesignBuilder

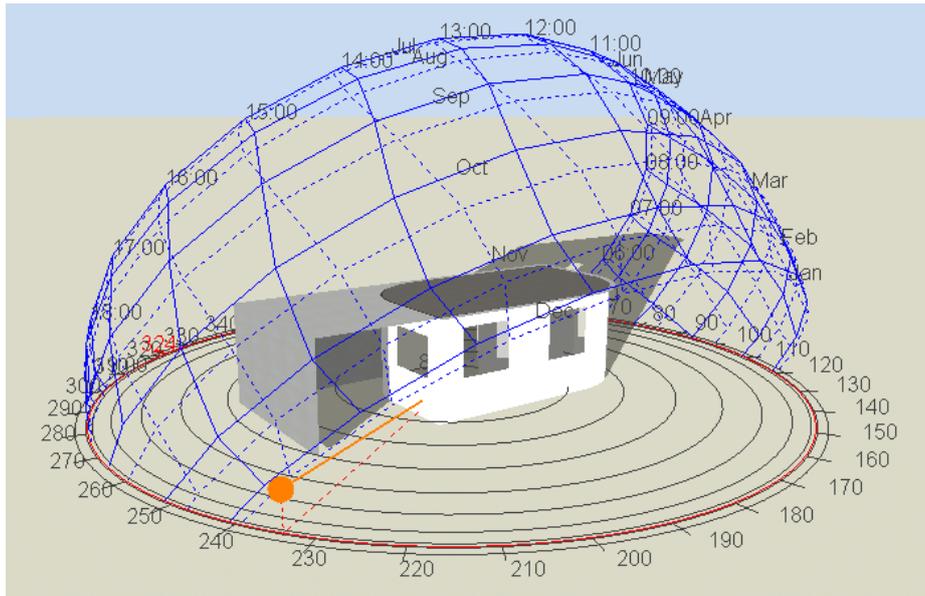


Figura 27. Sombra de la vivienda el día 15 de diciembre a las 16:00 horas solares con el porche. DesignBuilder.

Con este propósito, se ha diseñado de manera básica un porche, que puede servir como garaje para un automóvil, cuyas dimensiones son de 3 metros de ancho y 4,06 metros de largo, cuya única apertura al exterior es la correspondiente a la cara Sur para permitir, de esta manera, que incida, aunque levemente, la radiación solar en los meses de invierno sobre la fachada Oeste, como se puede observar en la *Figura 27*. Una vez insertado el porche como bloque de componente en el software, la simulación muestra los siguientes resultados:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,31	-52,08	-227,46	-197,86	-76,79	-1,64	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,31	-67,90	-311,95	-318,88	-108,97	-2,10	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	944,85	782,25	675,95	392,07	83,89	14,16	0,00	0,00	0,61	112,30	531,35	921,98

Tabla 12. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el porche. DesignBuilder.

Que supone un consumo anual de calefacción y de refrigeración de:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -556,15 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -810,11 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4459,41 \text{ kWh/año}$$

Que, a su vez, se traduce en las siguientes densidades energéticas por unidad de superficie útil:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-810,11 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -34,47 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{4459,41 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 189,76 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Lo cual conlleva una reducción de la demanda con respecto al caso inicial, en el que únicamente se ha modificado la orientación de la vivienda, de:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 34,47 = 3,91 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 189,76 = 4,15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

A pesar de que, en términos absolutos, con esta medida no se logra una reducción global de la demanda, en términos relativos, la reducción de la demanda de refrigeración es más importante que el aumento de consumo de calefacción.

6.1.3.4. Sombreado de Techo mediante Cubierta inclinada.

Con el propósito de sombrear el techo del edificio se ha optado por incluir un bloque de componente en forma de cubierta inclinada a dos aguas sobre el tejado, proyectando una sombra evitando que incida de forma directa la radiación solar sobre el techo de la vivienda, aumentando su temperatura y, consecuentemente, la de la vivienda. Esta cubierta inclinada se sostiene por dos sujeciones laterales de 50 cm a lo largo de las caras Sur y Norte de la vivienda, siendo la inclinación de esta de 30 ° con respecto a la horizontal. Las caras Este y Oeste se encuentran descubiertas, de modo que se permite la ventilación de la cubierta en el caso de que se implante finalmente la medida descrita en el apartado *6.1.4 Cubierta Vegetal*.

En el análisis de la medida de manera individual, se ha considerado que la cubierta tiene una transmitancia solar de 0, de modo que no permite que pase nada de radiación solar, lo cual se debe reconsiderar en el caso de implantar finalmente la cubierta vegetal, ya que sería necesaria la incidencia de luz solar sobre las plantas para que lleven a cabo la fotosíntesis.

Gracias a la trayectoria solar seguida por el Sol a lo largo del año, se busca disminuir en gran medida la radiación incidente sobre el cerramiento superior de la vivienda debido a que, en las horas centrales de un día de verano, el techo es el punto más crítico, ya que la radiación incide de forma muy directa. Evidentemente, esto también tendrá influencia en los meses de invierno, en este caso perjudicial, sin embargo, debido a que la altura solar es menor, no debe suponer una desventaja importante la implantación del sistema de sombreado.

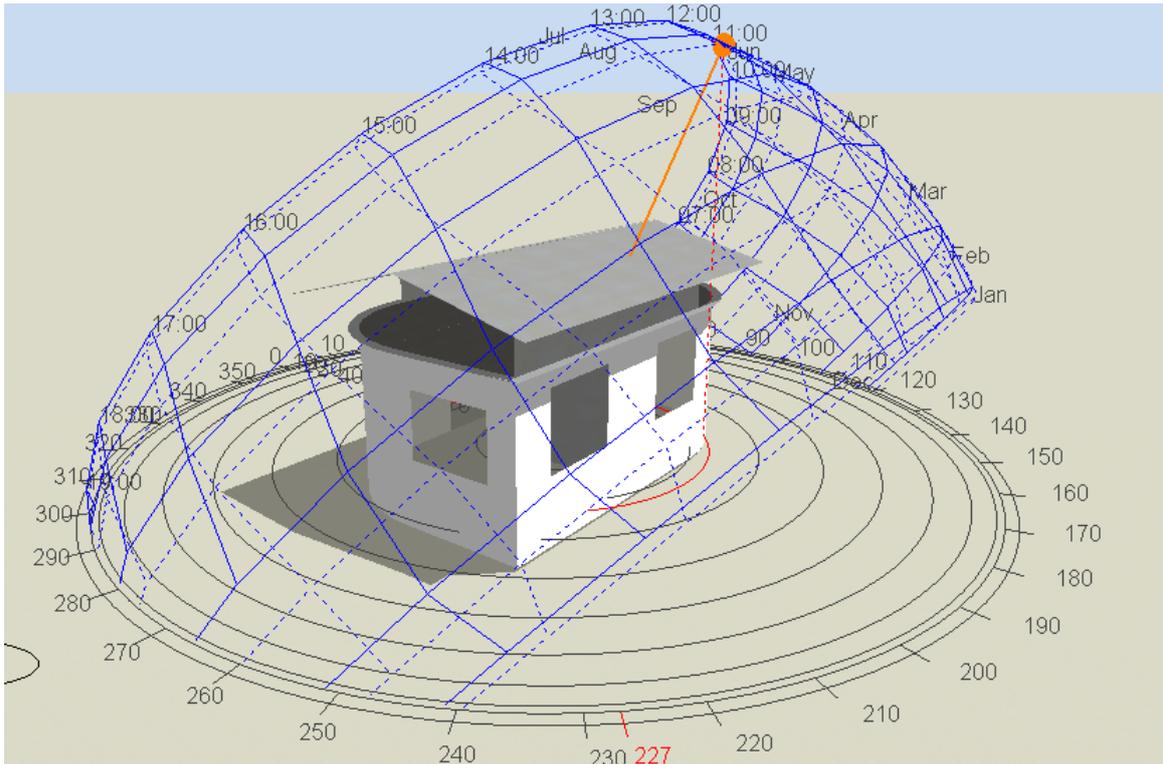


Figura 28. Sombra de la vivienda el día 5 de junio a las 11:00 horas solares con la cubierta inclinada. DesignBuilder.

Los resultados obtenidos tras la simulación, relativos a las cargas totales de refrigeración y calefacción vienen representados a continuación:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,19	-40,44	-212,83	-183,80	-64,49	-0,71	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,19	-52,95	-296,69	-301,42	-92,82	-0,83	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	943,11	781,57	675,20	386,03	71,99	10,60	0,00	0,00	0,04	98,11	526,51	920,66

Tabla 13. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con sombreado de techo. DesignBuilder.

Lo que supone, según la *Tabla 13* una demanda total anual para cada uno de los parámetros de:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -502,45 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -744,89 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4413,82 \text{ kWh/año}$$

Si se obtienen las densidades energéticas por unidad de superficie:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-744,89 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -31,69 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{4413,82 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 187,82 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Como comparación con el caso inicial, en el que únicamente se había considerado el cambio de orientación, se calcula la reducción en el consumo de refrigeración y calefacción:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 31,69 = 6,69 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 187,82 = -2,21 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

Los resultados obtenidos reflejan la influencia del sombreado del techo, reduciendo de manera destacable la demanda al sistema de refrigeración. No obstante, también se observa un pequeño aumento en el consumo de calefacción, que no resulta ser muy importante, como era de esperar.

6.1.4. Cubierta Vegetal.

Debido a la radiación incidente sobre el techo de la vivienda en las horas centrales de los días de verano, se ha planteado la posibilidad de añadir una cubierta vegetal para mitigar lo máximo posible el flujo de calor hacia el interior de la vivienda.

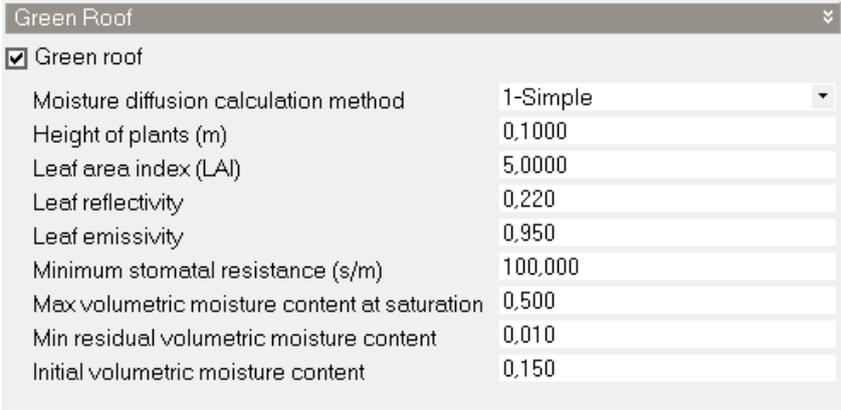
En términos generales, las propiedades térmicas de esta nueva capa añadida son las siguientes:

$$\text{Conductividad: } k = 0,3 \text{ W}/(\text{m K})$$

$$\text{Calor Específico: } C_e = 1000 \text{ J}/(\text{kg K})$$

$$\text{Densidad: } \rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

La cubierta vegetal implementada tiene las siguientes características:



Green Roof	
<input checked="" type="checkbox"/> Green roof	
Moisture diffusion calculation method	1-Simple
Height of plants (m)	0,1000
Leaf area index (LAI)	5,0000
Leaf reflectivity	0,220
Leaf emissivity	0,950
Minimum stomatal resistance (s/m)	100,000
Max volumetric moisture content at saturation	0,500
Min residual volumetric moisture content	0,010
Initial volumetric moisture content	0,150

Figura 29. Características de la cubierta vegetal. DesignBuilder.

Una vez añadida esta nueva capa en el cerramiento correspondiente al techo, el cálculo de cargas totales obtenido viene representado diariamente a continuación a lo largo de un año completo:

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,24	-47,63	-233,87	-202,03	-72,73	-0,81	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,24	-62,18	-324,98	-328,34	-103,91	-0,97	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	925,47	761,94	650,43	360,18	56,55	8,13	0,00	0,00	0,00	84,43	508,01	898,70

Tabla 14. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la cubierta vegetal. DesignBuilder.

Lo que supone una demanda anual para cada uno de los parámetros de:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -557,32 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -820,61 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4253,84 \text{ kWh/año}$$

Y por unidad de superficie útil de la vivienda:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-820,61 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -34,92 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{4253,84 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 181,01 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Que se corresponde con la siguiente reducción anual por metro cuadrado con respecto al caso en el que solamente se había orientado la vivienda:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 34,92 = 3,46 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 181,01 = 4,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Además de la sombra proyectada por las plantas sobre la cubierta del edificio, al añadir la cubierta vegetal se está aportando un mayor aislamiento al techo, de tal forma que se consigue una reducción no despreciable del consumo de calefacción y de refrigeración.

6.1.5. Aislamiento de la Envolvente.

6.1.5.1. Aislamiento de Suelo.

Actualmente, no existe ningún tipo de material aislante situado en el suelo de la vivienda, ya que consta únicamente de un mortero y de una losa de hormigón sobre el terreno. Por este motivo, se registra una evacuación de calor de la casa a través del suelo muy elevada, que es conveniente que sea controlada, teniendo en cuenta que esta evacuación de calor es muy beneficiosa en los meses de verano.

Es por ello por lo que es necesario observar la evolución de las demandas de calefacción y refrigeración, así como la total (como suma de ambas), en función del espesor de aislante incorporado en el suelo, y a raíz de eso, seleccionar el punto óptimo y ver su influencia en un análisis más exhaustivo.

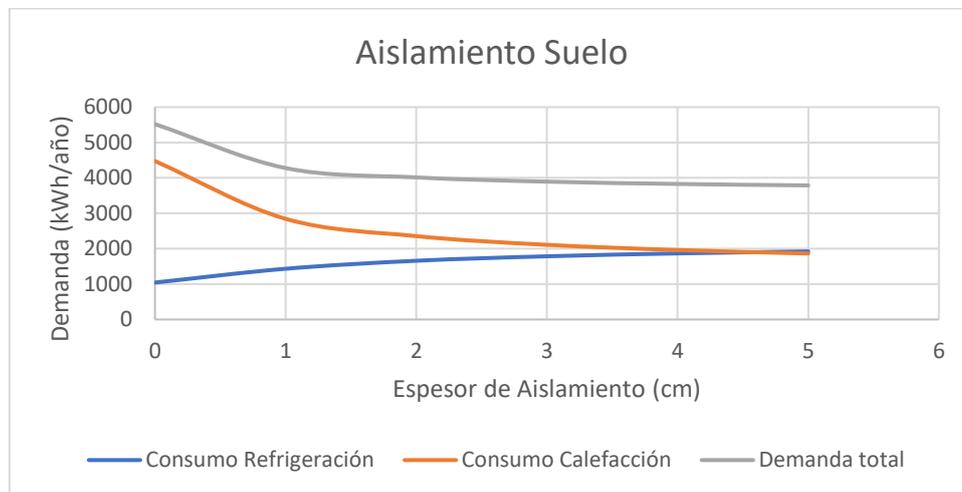


Gráfico 27. Demanda de climatización en función del espesor de aislamiento del suelo. Elaboración propia.

Se observa en el *Gráfico 27* que a medida que aumenta el espesor de aislante en el suelo, aumenta el consumo de refrigeración, ya que se dificulta la evacuación de calor a través de este, y a su vez, disminuye el consumo de calefacción, como era previsible a priori de la simulación. Entrando en detalle, la ausencia de aislante no es adecuada ya que, el hecho de incorporar apenas 1 cm de aislante se traduce en una reducción muy significativa del consumo de calefacción, sin provocar un aumento excesivo de la demanda de refrigeración, lo cual es muy positivo porque inicialmente se tiene un consumo muy elevado en los meses fríos, pudiendo reducirlo en gran medida con esta estrategia pasiva. Para espesores mayores de aislante, la reducción de la demanda total se suaviza, llegando a un valor prácticamente constante para el espesor de 4 cm, por lo que se tomará este como el punto óptimo. Se ha de insistir en que el valor escogido en el análisis individual de las medidas no tiene que ser necesariamente el valor final seleccionado y, con mayor motivo en esta medida, ya que puede suponer una herramienta muy útil para cumplir con la certificación de edificio de consumo casi nulo al presentar cambios tan bruscos en los consumos de calefacción y refrigeración ante pequeños cambios en el espesor, en otras palabras, puede funcionar como “moneda de cambio” entre la demanda de calefacción y la de refrigeración.

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

Por lo tanto, para un espesor de 4 cm de espesor del aislante XPS del suelo, se obtienen las siguientes evoluciones de las cargas de los sistemas:

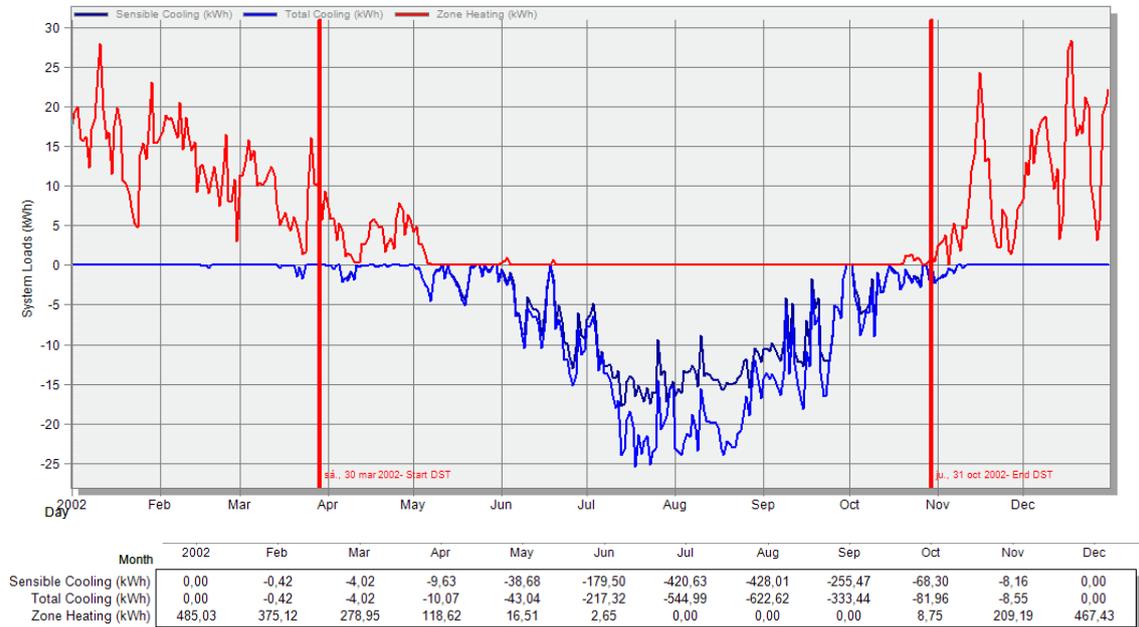


Figura 30. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el aislamiento de suelo. DesignBuilder.

En la Figura 30 se observan cambios evidentes con respecto al caso inicial, ya que se ha logrado equilibrar prácticamente ambos consumos a lo largo de un año completo. En el cómputo anual, las cargas de los sistemas toman los siguientes valores absolutos:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -1412,81 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -1866,42 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 1962,26 \text{ kWh/año}$$

A partir de estos resultados, se obtienen las demandas por unidad de superficie útil de la vivienda:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-1866,42 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -79,42 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{1962,26 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 83,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Lo que supone una reducción con respecto al caso inicial de:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 79,42 = -41,04 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 83,5 = 102,11 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

Se obtiene un aumento muy importante en el consumo de refrigeración en los meses de verano, sin embargo, la reducción de la carga total de calefacción es aún más drástica si cabe. Todo esto se explica a partir de la nueva evolución mensual del flujo de calor a través del suelo de la casa:

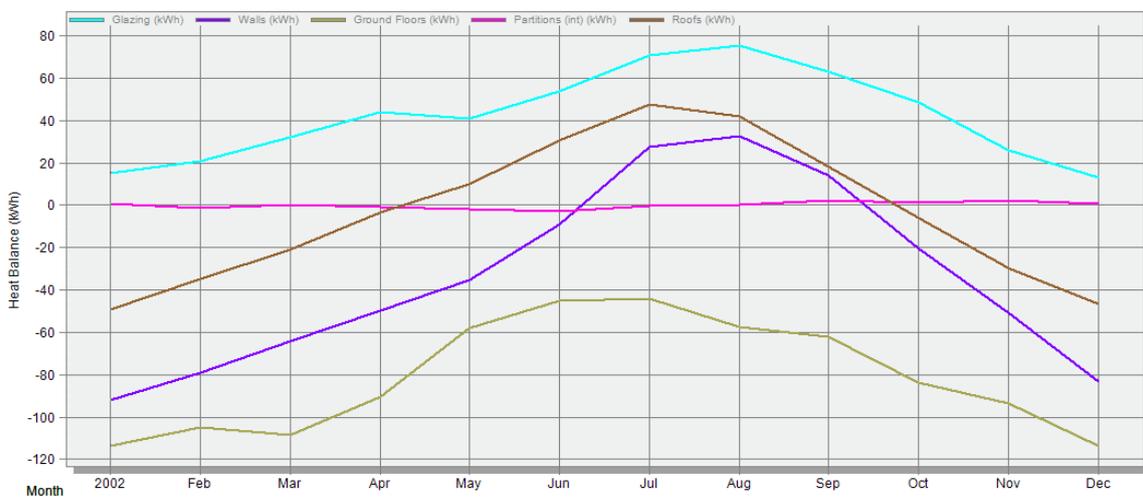


Gráfico 28. Evolución mensual a lo largo del año del flujo de calor a través del suelo con el nuevo espesor de aislamiento. DesignBuilder.

En comparación con el caso inicial, el flujo de calor a través del suelo en contacto con el terreno se ha reducido en gran medida a lo largo de todo el año, que se traduce en lo dicho anteriormente sobre la reducción del consumo de calefacción y el aumento del consumo de refrigeración.

6.1.5.2. Aislamiento de Fachadas.

Resulta interesante estudiar la influencia que tiene el aislamiento de los muros exteriores de la vivienda en cuanto al cálculo de cargas térmicas totales, con el fin de mejorar la eficiencia energética de la casa que ocupa este proyecto. En primer lugar, se va a hacer un breve estudio de la evolución de las demandas de climatización en función del espesor de aislamiento, con el propósito final de seleccionar lo más favorable:

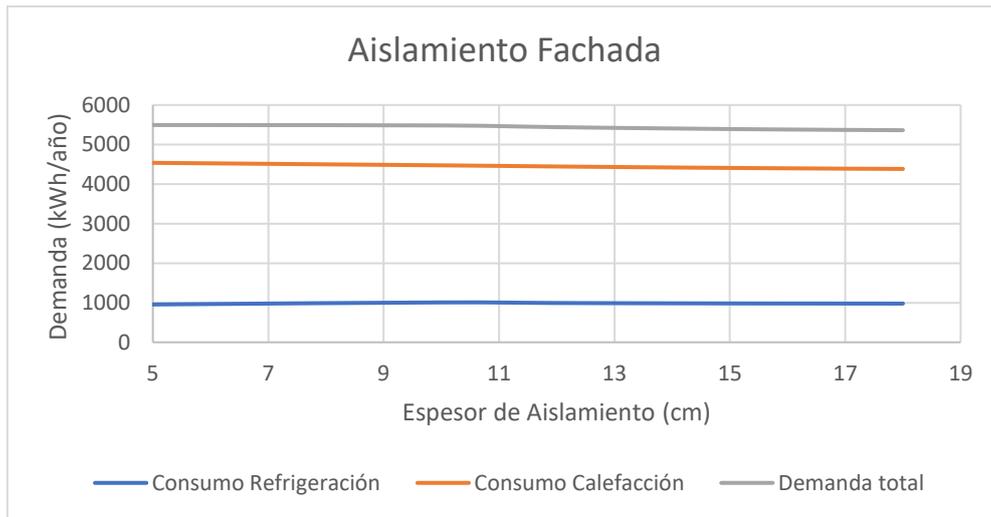


Gráfico 29. Demanda de climatización en función del espesor de aislamiento de las fachadas. Elaboración propia.

A medida que se aumenta el espesor de aislamiento en los muros exteriores se reduce la demanda total de climatización, sobre todo la relativa al sistema de calefacción, presentando variaciones más suaves en el caso del sistema de refrigeración. Evidentemente, según lo visto en el *Gráfico 29*, cuanto mayor sea el aislamiento, mejores resultados se obtienen en cuanto a la demanda de climatización, sin embargo, por cuestiones económicas, se va a seleccionar un espesor de 16 cm ya que, a partir de este punto, la disminución del consumo frente al aumento del espesor de aislamiento comienza a ser muy pequeña.

Para este aumento de espesor, resultando finalmente de 16 cm en todas las fachadas exteriores de la vivienda, incluyendo el muro correspondiente al hidropónico que, en un primer momento, el espesor de XPS era de 4 cm, como se puede observar en el apartado *3.2.2.4 Parámetros constructivos del edificio.*, el cálculo de cargas térmicas a lo largo del año es el que queda representado a continuación:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,56	-63,24	-245,17	-211,15	-81,72	-1,47	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,68	-80,85	-332,90	-335,88	-114,90	-1,87	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	906,52	747,35	638,22	355,37	61,31	9,11	0,00	0,00	0,07	93,93	506,30	887,47

Tabla 15. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el nuevo aislamiento de fachada. DesignBuilder.

Lo mostrado en la *Tabla 15* supone los siguientes valores totales anuales:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -604,31 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -868,08 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4205,65 \text{ kWh/año}$$

Por unidad de superficie útil de la vivienda, las densidades energéticas anuales para calefacción y refrigeración son:

$$Q_{ref} = \frac{-868,08 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -36,93 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{cal} = \frac{4205,65 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 178,96 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Lo cual supone una reducción de consumo respecto al primer caso, en el que la única medida tomada es la orientación correcta del edificio, de:

$$\text{Red. } Q_{ref} = 38,38 - 36,93 = 1,45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{cal} = 185,61 - 178,96 = 6,65 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

A pesar de que se observan reducciones moderadas en las cargas térmicas, el aislamiento de las viviendas cobra mayor importancia en localizaciones con temperaturas extremas, en las que la diferencia entre el interior y el exterior de la vivienda es muy elevada y la transmisión de calor a través de los cerramientos puede tomar valores muy altos. En el caso de Valencia, que tiene un clima Mediterráneo, el aislamiento no tiene tanto interés debido a las suaves temperaturas, pero, no por ello, no ha de tenerse en cuenta. Por esta misma razón se selecciona el espesor indicado de 16 cm, evitando así una transmisión de calor demasiado elevada.

6.1.5.3. Aislamiento de cubierta.

Por último, en cuanto al aislamiento de la vivienda, es interesante analizar la posibilidad de mejorar el espesor de aislante del techo del edificio y evaluar la implantación de esta estrategia.

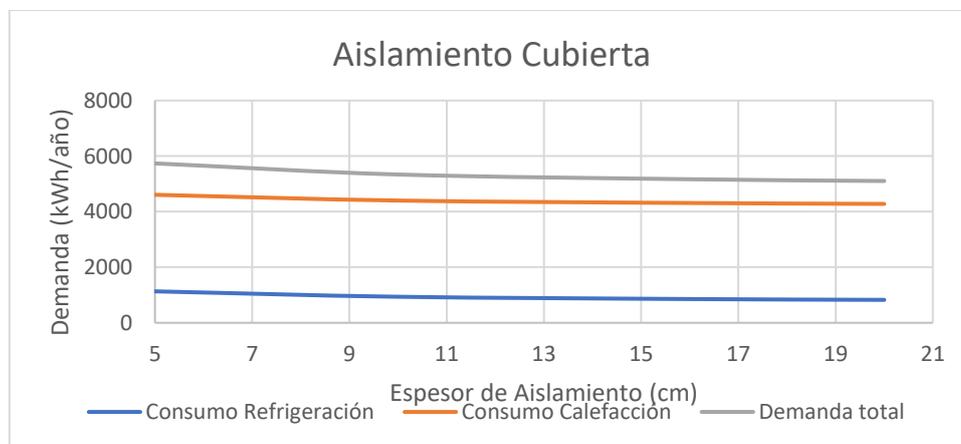


Gráfico 30. Demanda de climatización en función del espesor de aislamiento de la cubierta. Elaboración propia.

En el *Gráfico 30* se puede observar una evolución muy similar a la presentada en el apartado *6.1.5.2 Aislamiento de Fachadas*. de la presente memoria, por lo tanto, se escogerá el mismo valor de espesor de aislamiento que el seleccionado en dicho apartado, que se corresponde con 16 cm, frente a los 12 cm que posee actualmente la vivienda. De esta forma, los consumos anuales de refrigeración y calefacción tras la simulación son los siguientes para el espesor indicado:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,82	-57,15	-242,80	-209,58	-77,97	-1,16	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,87	-73,57	-332,27	-336,26	-110,68	-1,46	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	931,05	767,36	654,60	365,05	63,02	9,12	0,00	0,00	0,04	93,93	518,16	909,24

Tabla 16. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el nuevo aislamiento de cubierta.. DesignBuilder.

Los valores representados en la *Tabla 16* suponen una demanda total anual para cada uno de los parámetros de:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -589,48 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -855,11 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 4311,58 \text{ kWh/año}$$

Por unidad de superficie:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-855,11 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -36,38 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{4311,58 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 183,47 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Lo cual implica la siguiente reducción de las demandas de climatización en relación con el caso inicial:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 36,38 = 2,00 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 183,47 = 2,14 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

La reducción no es tan elevada como en el caso del aislamiento de las fachadas debido, en parte, a la evidente diferencia de superficie total entre las fachadas y el techo, la existencia de un aislamiento inicial más elevado en el caso del techo (12 cm) que en las fachadas (10 cm), y por la existencia del hidropónico en una de las fachadas que supone un margen de mejora importante, el cual no es aprovechado en la estrategia pasiva relativa al aislamiento de la cubierta.

6.1.6. Hermeticidad en la vivienda.

Uno de los aspectos que tiene un margen de mejora muy importante es la hermeticidad en la vivienda, ya que las infiltraciones que se producen en la misma implican una carga térmica muy elevada a lo largo de todo el año, en particular en los meses de invierno, como se puede contrastar en el apartado 5. *SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y ANÁLISIS*

Actualmente en el edificio, existen 2,13 renovaciones por hora según se obtuvo en el Blower Door Test, valor muy elevado si se trata de una vivienda con el objetivo de ser un edificio de consumo casi nulo, por lo tanto, si se utiliza como referencia el valor aportado por *passivhaus* de un máximo de 0,6 renovaciones por hora para un diferencial de presión de 50 Pa, lo cual viene recogido en la *Tabla 1* del documento *Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética* (PHI, 2016), el cálculo de cargas obtenido tras la corrección de dicho valor en DesignBuilder y su correspondiente simulación, es el siguiente:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,99	-64,30	-228,19	-195,93	-78,51	-1,19	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,28	-80,74	-282,01	-265,51	-102,25	-1,73	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	743,08	611,92	510,58	265,44	28,29	5,15	0,00	0,00	0,00	55,32	404,75	727,69

Tabla 17. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la nueva hermeticidad. DesignBuilder.

Que, en términos anuales, se obtienen los siguientes valores de las cargas de climatización, según la *Tabla 17*:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -570,10 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -734,52 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 3352,21 \text{ kWh/año}$$

Por metro cuadrado útil de la vivienda, se obtiene lo siguiente respecto a las demandas de refrigeración y calefacción:

$$Q_{\text{cal}} = \frac{3352,21 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 142,65 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Lo que supone la importante reducción de consumo con respecto al caso inicial de:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 31,26 = 7,12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 142,65 = 42,96 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Tal y como se puede observar, la reducción de consumo, lograda a partir de la mejora de la estanqueidad al aire de la casa, es muy elevada, sobre todo la relativa a la demanda de calefacción en los meses de invierno, puesto que la diferencia de temperatura entre el exterior de la vivienda y las condiciones de confort establecidas es mayor que en verano.

Tiene interés estudiar la nueva evolución durante todo el año de las cargas térmicas debidas a las infiltraciones, obtenido tras la simulación:

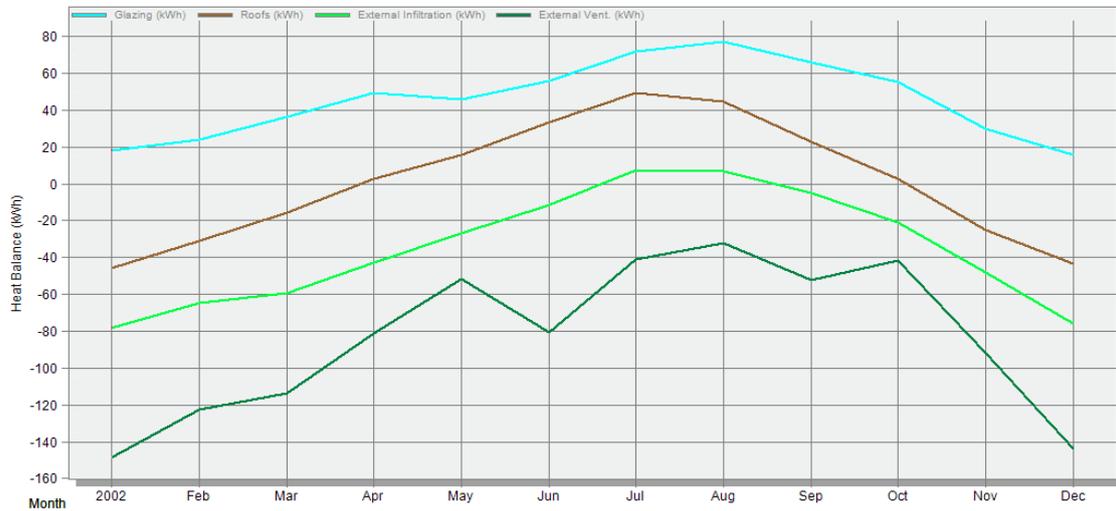


Gráfico 31. Evolución mensual a lo largo del año de la carga térmica de las infiltraciones con la mejora de hermeticidad. DesignBuilder.

En comparación con la evolución experimentada inicialmente, el Gráfico 31 muestra valores de flujo de calor mensuales relativos a las infiltraciones más discretos a lo largo de todo el año. Esto, junto con el hecho de que forma parte de los criterios de exigidos por el estándar Passivhaus, hace indicar que la aplicación de esta medida de mejora es primordial para lograr los objetivos previamente establecidos.

6.1.7. Rotura del puente térmico del encuentro Muro-Suelo.

Otro de los puntos débiles que ha sido identificado, como se menciona en el punto 3.2.2.5.2 *Puente térmico del encuentro Muro-Suelo.*, por lo que es conveniente eliminar por completo la influencia de dicho encuentro, de forma que se reduzca el flujo de calor lo máximo posible. Para ello, se va a establecer en DesignBuilder un valor de 0 W/(mK) para el puente térmico del Muro-Suelo. No es necesario corregir el encuentro Muro-Techo, ya que, inicialmente, el puente térmico tenía un valor de 0 W/(mK) y por tanto no influía negativamente.

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

Dicho lo anterior, el cálculo de cargas térmicas tras la mencionada modificación viene representado a continuación:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,62	-62,37	-233,05	-200,25	-78,58	-1,19	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,78	-80,63	-321,49	-324,63	-112,01	-1,59	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	819,40	674,06	567,55	304,31	40,88	6,61	0,00	0,00	0,00	70,95	450,42	801,59

Tabla 18. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la rotura del puente térmico del encuentro Muro-Suelo. DesignBuilder.

Valores de la *Tabla 18* que se ven resumidos anualmente en:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -577,06 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -842,13 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 3735,78 \text{ kWh/año}$$

Y por unidad de superficie útil de la vivienda:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-842,13 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -35,84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{3735,78 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 158,97 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Lo que se ve traducido en una reducción de la densidad energética anual por la implementación de esta estrategia pasiva de:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 35,84 = 2,54 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{\text{cal}} = 185,61 - 158,97 = 26,64 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Con la mejora del puente térmico en el encuentro indicado se consigue una reducción muy importante, quedando de la siguiente manera la evolución mensual a lo largo de todo el año del flujo de calor existente a través del suelo del edificio:



Gráfico 32. Evolución mensual a lo largo del año del flujo de calor a través del suelo con la rotura del puente térmico. DesignBuilder.

Como se puede observar en el *Gráfico 32*, el flujo de calor a través del suelo presenta una evolución muy similar a la del caso inicial, pero mínimamente favorable. El hecho de que no se pueda apreciar grandes cambios con la implantación de esta medida se debe a que la transmisión de calor a través del suelo es muy elevada debido a la ausencia de aislante inicialmente, por lo tanto, antes cambios no muy grandes de dicho flujo, no se ve apenas afectada la gráfica frente al caso de partida. Esto se debe a que, en las casas convencionales, en las que no se ha hecho un diseño enfocado al ahorro energético, la influencia de los puentes térmicos es mínima, por lo que no se aprecia una gran diferencia, no obstante, ha de prestarse atención a los puentes térmicos en las casas pasivas, ya que, al reducirse el consumo, comienzan a cobrar una mayor importancia.

6.1.8. Mejora de ventilación.

En cuanto a la ventilación de la vivienda, se deben cubrir unas necesidades básicas por cuestiones de salubridad y, además, se puede utilizar la ventilación para conseguir reducir las cargas térmicas en verano introduciendo aire más frío en el interior de la vivienda. La mejora de la ventilación de la casa se realizará mediante ventilación natural con el fin de reducir el consumo, y con un recuperador de calor con un funcionamiento continuo durante todo el año para satisfacer el caudal mínimo exigido.

6.1.8.1. Ventilación Natural.

Con el fin de conseguir una mejora de la ventilación natural en el periodo de refrigeración, se va a establecer un control por temperatura exterior asignado a un horario constante que abarcará desde el mes de abril hasta el mes de octubre, ambos incluidos. La ventilación natural será de 15 renovaciones por hora, que es aproximadamente el número de renovaciones que se obtienen

mediante la ventilación calculada con DesignBuilder con una apertura de las ventanas del 25% de la superficie total acristalada. La ventilación natural se hará siempre y cuando el aire exterior tenga una temperatura mínima de 19°C y una temperatura máxima de 25°C, dentro del horario establecido. Este control de temperatura exterior se realiza para evitar que en momentos en los que la temperatura exterior sea muy elevada o, en su defecto, muy pequeña, el aire entre en el interior de la vivienda y suponga una carga térmica en lugar de un ahorro de consumo.

Una vez impuestos estos criterios en el programa, la simulación muestra los siguientes resultados:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sép	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,84	-53,47	-235,17	-206,30	-69,24	-1,26	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,84	-68,91	-319,52	-328,85	-98,10	-1,58	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	793,43	653,22	548,18	311,73	53,68	0,44	0,00	0,00	0,12	95,48	435,78	776,32

Tabla 19. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con la nueva ventilación. DesignBuilder.

En este caso se va a hacer caso omiso al consumo de calefacción, ya que esta medida de mejora únicamente hace referencia al consumo de refrigeración. Además, el consumo de refrigeración no es el real, puesto que para implementar esta medida de mejora se ha suprimido el caudal mínimo de aire exigido por limitaciones del software (el caudal mínimo de aire exigido se tendrá en cuenta en el apartado 6.1.8.2 *Recuperador de Calor*). Dicho esto, a partir de la Tabla 19, el consumo total de refrigeración en verano toma el siguiente valor total y por unidad de superficie, respectivamente:

$$Q_{\text{tot,ref}} = -817,79 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-817,79 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -34,77 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

Lo que conlleva una reducción pequeña, que se verá incrementada con la aplicación del resto de medidas de mejora:

$$\text{Red. } Q_{\text{ref}} = 38,38 - 34,77 = 3,61 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$$

6.1.8.2. Recuperador de Calor.

Como resulta necesario aportar un caudal mínimo, es interesante estudiar la implementación de un economizador o recuperador de calor, ya que de esta manera se puede cumplir con el caudal mínimo de aire exigido por el DB HS del CTE (Ministerio de Fomento, 2017b), que para este caso es de aproximadamente 0,85 renovaciones por hora, según se indica en el apartado 3.2.2.8 *Calefacción, refrigeración y ventilación (HVAC)* y, además no supone una pérdida energética tan elevada como si se hiciera si el recuperador.

En este caso se ha seleccionado un recuperador de calor entálpico de alta eficiencia, por lo que recupera calor sensible y calor latente. Concretamente, se ha escogido el recuperador entálpico modelo Komfort EC D5B180-E que alcanza una eficiencia del 90% para un caudal de 50 m³/h (0,85 renov/h), como se puede leer del *Gráfico 33* que se muestra a continuación. No obstante, en el software se ha introducido una eficiencia del 85% como margen de seguridad para evitar que una posible pérdida de eficiencia en el equipo pudiera falsear los resultados, en cualquier caso, sigue siendo una eficiencia muy elevada.

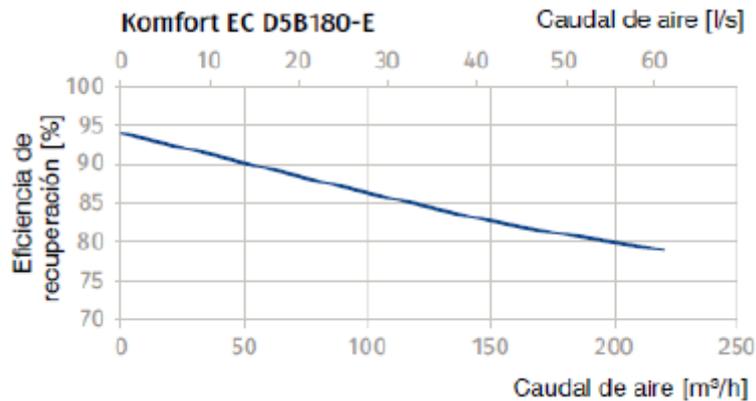


Gráfico 33. Eficiencia de recuperación de calor en función del caudal de aire.

Según estas condiciones, se añade el economizador y un caudal constante a lo largo de todo el año de 0,85 renov/h en el software en el espacio reservado para la ventilación mecánica en la pestaña de HVAC y se simula de nuevo, obteniendo los siguientes resultados:

Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sensible Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,98	-58,29	-251,24	-221,17	-82,03	-1,63	0,00	0,00
Total Cooling (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,98	-72,82	-341,67	-354,69	-114,78	-1,93	0,00	0,00
Zone Heating (kWh)	814,83	671,20	565,49	304,73	43,76	10,00	0,00	0,00	0,11	72,80	449,56	797,34

Tabla 20. Cargas térmicas de climatización para los distintos meses del año con el recuperador de calor.. DesignBuilder.

De tal manera que las cargas térmicas anuales, según la *Tabla 20*, toman los siguientes valores:

$$Q_{\text{sens,ref}} = -615,34 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,ref}} = -886,87 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 3729,82 \text{ kWh/año}$$

Por unidad de superficie útil del edificio:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-886,87 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -37,73 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{cal} = \frac{3729,82 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 158,72 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Esto supone una respectiva reducción de consumo con respecto al caso inicial de:

$$\text{Red. } Q_{ref} = 38,38 - 37,73 = 0,65 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$\text{Red. } Q_{cal} = 185,61 - 158,72 = 26,89 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

La reducción de consumo de refrigeración es muy pequeña, lo cual es debido a que, inicialmente, la ventilación a lo largo de todo el día en los meses de verano no supone una carga térmica importante, por lo que el margen de mejora en ese aspecto era de partida muy pequeño. Por otro lado, la mejora energética en cuanto al periodo de calefacción es muy importante, ya que la introducción constante de aire frío al interior de la vivienda en los meses de invierno supone una carga muy elevada, que es reducida enormemente mediante el recuperador de calor, que intercambia calor entre el aire de impulsión y el de retorno, aumentando la temperatura del aire exterior.

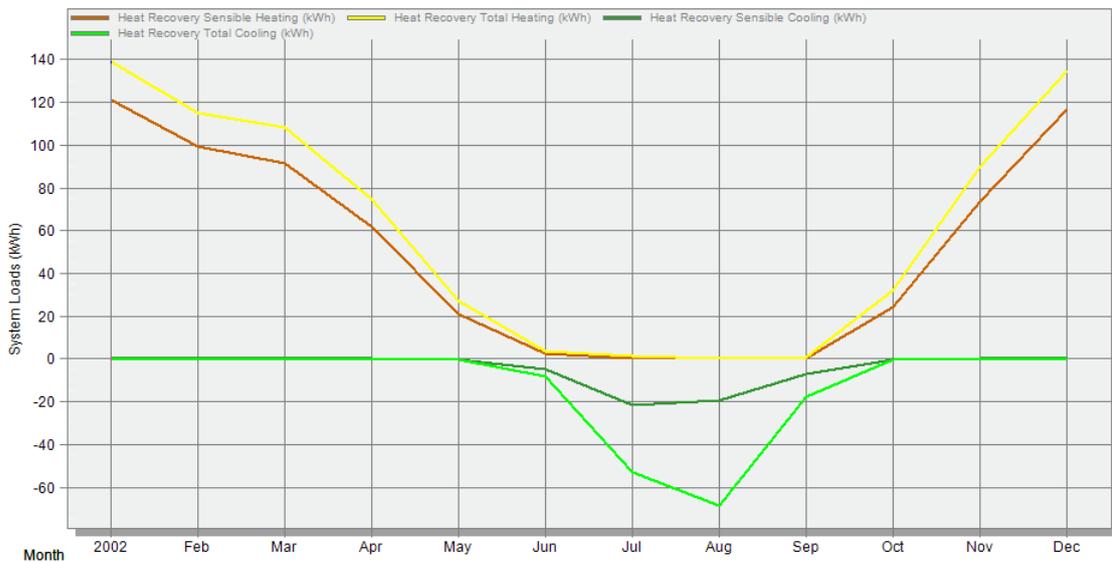


Gráfico 34. Evolución mensual a lo largo del año de la recuperación de calor. DesignBuilder.

En el Gráfico 34 se puede observar como en los meses de invierno la recuperación de calor, tanto sensible como latente, toma valores mucho más elevados que en el periodo estival, que está relacionado directamente con la reducción de consumo.

6.1.9. Resumen de medidas cuantificadas individualmente.

Una vez analizadas individualmente cada una de las medidas, es conveniente recoger la información relativa a la demanda total de refrigeración y calefacción de cada una de estas para poder tener una visión más global, en la *Tabla 21*:

	Demanda de Refrigeración (kWh/año)	Demanda de Calefacción (kWh/año)	Demanda de Refrigeración (kWh/(m ² *año))	Demanda de Calefacción (kWh/(m ² *año))	Medidas Pasivas
Caso base	1043,71	4475,41	44,41	190,44	-
Medida 1	901,88	4361,76	38,38	185,61	Orientación
Medida 2	931,34	4008,96	39,63	170,59	Orientación + Superficie de acristalamiento
Medida 3	770,59	4486,8	32,79	190,93	Orientación + Sombreado Voladizo
Medida 4	554,29	5273,39	23,59	224,40	Orientación + Sombreado Estores
Medida 5	810,11	4459,41	34,47	189,76	Orientación + Sombreado Porche
Medida 6	744,89	4413,82	31,70	187,82	Orientación + Sombreado Cubierta
Medida 7	820,61	4253,84	34,92	181,01	Orientación + Cubierta vegetal
Medida 8	1866,42	1962,26	79,42	83,50	Orientación + Aislamiento Suelo
Medida 9	868,08	4205,65	36,94	178,96	Orientación + Aislamiento Fachada
Medida 10	855,11	4311,58	36,39	183,47	Orientación + Aislamiento Cubierta
Medida 11	734,52	3352,21	31,26	142,65	Orientación + Hermeticidad
Medida 12	842,13	3735,78	35,84	158,97	Orientación + Rotura Puente Térmico
Medida 13	817,79	-	34,80	-	Orientación + Ventilación Natural
Medida 14	886,87	3729,82	37,74	158,72	Orientación + Recuperador de calor

Tabla 21. Resumen de las demandas de climatización para cada una de las estrategias pasivas. Elaboración propia.

En este proyecto se van a implementar todas las medidas que se han analizado de forma individual bien de manera directa, o bien modificando alguno de sus aspectos, pero en ningún caso se va a descartar ninguna de las medidas. Sin embargo, a pesar de que todas las medidas estudiadas puedan aportar una mejora energética en mayor o menor medida, probablemente no sería conveniente adoptar todas ellas por una supuesta elevada inversión frente a un ahorro de consumo no suficientemente importante, teniendo un periodo de retorno que determine la no rentabilidad de la estrategia pasiva. No obstante, a lo largo de este proyecto no se ha elaborado un análisis de inversión, ya que queda fuera del alcance del trabajo, pero es algo que resulta interesante que puede ser objeto de estudio de un futuro proyecto.

6.2. Análisis conjunto de las estrategias pasivas.

La importancia del análisis de las medidas de manera individual reside principalmente en la identificación de la influencia de cada una de ellas sobre el consumo final de climatización, sin embargo, el estudio no sería completo si no se lleva a cabo el análisis de las estrategias pasivas funcionando de forma conjunta, puesto que existen influencias o interferencias entre estas que repercuten directamente en la efectividad de cada una de las medidas independientes.

Por este mismo motivo, se ha elaborado un nuevo modelo en DesignBuilder en el que se han incorporado todas las medidas previamente estudiadas individualmente, realizando pequeñas modificaciones para optimizar el modelo, que se exponen a continuación:

-Superficie de acristalamiento: La superficie de acristalamiento en la fachada Sur se ha ajustado a 4,65 m² manteniendo los 2,2 m² correspondientes a la puerta y disminuyendo la ventana de esta cara a 2,45 m². Por otro lado, se ha mantenido la superficie de las ventanas en el resto de las fachadas. Este ajuste se ha realizado atendiendo al hecho de que, al encontrarse la vivienda en un clima cálido, es relativamente sencillo reducir en gran medida el consumo de calefacción, no siéndolo en el caso de la refrigeración, por lo tanto, una reducción de la superficie de acristalamiento implica una disminución de la ganancia solar a través de las ventanas, permitiendo disminuir la demanda de refrigeración, sacrificando parte del ahorro de energía en los meses de invierno, llegando a una solución de compromiso.

-Sombreado con cubierta inclinada: El sombreado de la cubierta no es totalmente compatible con la cubierta vegetal, puesto que las plantas necesitan luz solar para su supervivencia, por lo tanto, con el fin de no eliminar ninguna de las dos estrategias pasivas, se ha decidido establecer una transferencia del 30% de los bloques de componente correspondientes a la cubierta inclinada, que podría simular una plancha de madera o metal perforada en un 30% de su superficie, de tal forma que se proyecte una sombra importante sobre la cubierta sin perjudicar en gran medida a la cubierta vegetal.

-Aislamiento del suelo: El espesor de aislamiento del suelo es el aspecto más influyente en las cargas térmicas tanto de calefacción como de refrigeración, de modo que aunque en el apartado *6.1.5.1 Aislamiento de Suelo* de la presente memoria se obtuvo un espesor óptimo de 4 cm, en el análisis conjunto de las medidas, un espesor de aislamiento tan elevado implica un valor de consumo muy pequeño de calefacción que toma un valor de 5,74 kWh/(m²año), sin embargo, la demanda de refrigeración se dispara a un valor de 18,42 kWh/(m²año), mientras que el objetivo a cumplir es de 15 kWh/(m²año) para cada uno de los consumos. Por este motivo, disminuyendo el espesor de material aislante XPS a 2 cm se pretende lograr disminuir el consumo de refrigeración, aumentando colateralmente la demanda de calefacción, que no supone un problema ya que, en primera instancia, cumple con el objetivo con un amplio margen.

Las mencionadas anteriormente son las estrategias pasivas que han sido modificadas en alguno de sus aspectos, el resto de medidas de mejora se mantienen tal y como se han definido en sus oportunos apartados en el punto *6.1 Análisis individual de las estrategias pasivas*.

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

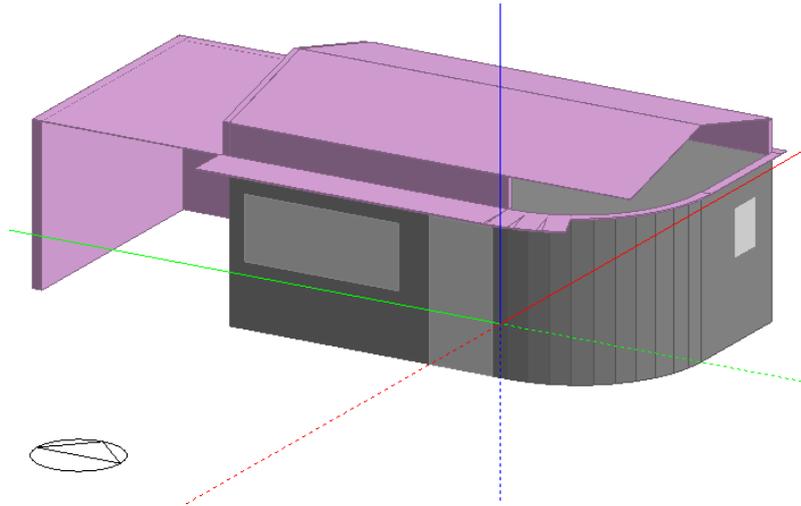


Figura 31. Modelado de la vivienda con todas las estrategias pasivas implementadas.

Medidas Pasivas	Demanda de Refrigeración (kWh/año)	Demanda de Calefacción (kWh/año)	Demanda de Refrigeración (kWh/(m ² *año))	Demanda de Calefacción (kWh/(m ² *año))	Ahorro Energético (%)
-	1043,71	4475,41	44,41	190,44	0%
(+) Orientación	901,88	4361,76	38,38	185,61	5%
(+) Aislamiento Suelo	2005,29	2189,47	85,33	93,17	24%
(+) Aislamiento Fachada	1976,84	2024,64	84,12	86,15	27%
(+) Aislamiento Cubierta	1912,72	1959,96	81,39	83,40	30%
(+) Rotura Puente Térmico	1910,09	1507,84	81,28	64,16	38%
(+) Cubierta Vegetal	1841,1	1428,7	78,34	60,80	41%
(+) Superficie de Acristalamiento	1770,7	1312,46	75,35	55,85	44%
(+) Sombreado Voladizo	1455,87	1380,2	61,95	58,73	49%
(+) Sombreado Porche	1371,73	1396,03	58,37	59,41	50%
(+) Hermeticidad	1333,36	627,66	56,74	26,71	64%
(+) Sombreado Cubierta	1289,97	645,08	54,89	27,45	65%
(+) Sombreado Estores	686,86	659,4	29,23	28,06	76%
(+) Recuperador de Calor	449,4	315,2	19,12	13,41	86%
(+) Ventilación Natural	352,35	320,57	14,99	13,64	88%

Tabla 22. Resumen de las demandas de climatización para las estrategias pasivas funcionando de manera conjunta. Elaboración propia.

En la *Tabla 22* se puede observar la evolución de los consumos de refrigeración y calefacción a medida que se han ido implantando cada una de las estrategias pasivas en el modelo de DesignBuilder, y se puede identificar la reducción progresiva de estos.

Una vez han sido incorporado todas las estrategias pasivas con las pertinentes modificaciones, se calcula con la herramienta de simulación de DesignBuilder, obteniendo los siguientes resultados:

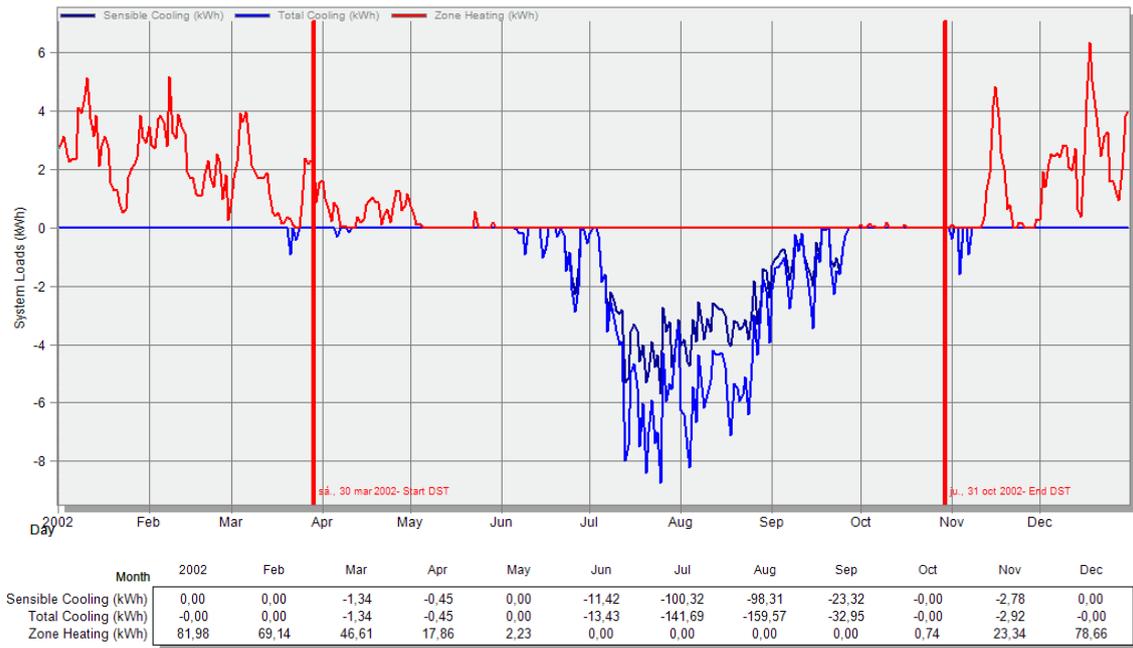


Figura 32. Evolución diaria a lo largo del año de las cargas de climatización para el caso base. DesignBuilder.

Como se puede observar en la Figura 32, la demanda diaria y mensual de climatización ahora toma valores muy inferiores a los resultados obtenidos en el análisis inicial de la vivienda, lo cual se puede contrastar en el Gráfico 12. Evolución diaria a lo largo del año de las cargas de climatización para el caso base. DesignBuilder..

En cuanto al consumo de refrigeración y calefacción anual, se obtienen los siguientes valores tras la simulación con el software:

$$Q_{\text{tot,ref}} = -352,35 \text{ kWh/año}$$

$$Q_{\text{tot,cal}} = 320,57 \text{ kWh/año}$$

Estos valores obtenidos son mucho menores que los aproximadamente 1000 kWh/año y 4000 kWh/año de refrigeración y calefacción, respectivamente, del punto de partida en el que no se ha implementado ninguna estrategia pasiva. No obstante, para comprobar si se cumple con la certificación de edificio de consumo casi nulo, es necesario calcular el consumo por unidad de superficie útil de la vivienda, según se muestra a continuación:

$$Q_{\text{ref}} = \frac{-352,35 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = -14,99 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

$$Q_{\text{cal}} = \frac{320,57 \text{ kWh}}{23,5 \text{ m}^2} = 13,64 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ año})$$

Los valores máximos exigidos por el estándar Passivhaus son 15 kWh/(m²*año) tanto para el consumo de calefacción como para el de refrigeración, por lo que los resultados obtenidos cumplen con dichos criterios de Passivhaus y por tanto se puede concluir que se ha cumplido con los objetivos previamente establecidos.

6.3. Comparativa con el caso inicial.

Todo este análisis queda incompleto sin realizar una comparativa del nuevo diseño de la vivienda con el caso inicial, en el que aún no se ha implantado ninguna de las medidas de mejora. El propósito final de este estudio es la obtención del ahorro económico, así como la cantidad de emisiones de CO₂ equivalentes evitadas con la reducción del consumo energético logrado tras la selección de las estrategias pasivas.

En primer lugar, es necesario calcular la reducción de consumo total con respecto al caso inicial, por lo tanto, tomando los valores obtenidos en los apartados 5. *SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y ANÁLISIS* y 6.2. *Análisis conjunto de las estrategias pasivas.*, del presente documento:

$$\text{Red. } Q_{\text{tot,ref}} = 1043,71 - 352,35 = 691,36 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Red. } Q_{\text{tot,cal}} = 4475,41 - 320,57 = 4154,84 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Red. } Q_{\text{tot}} = \text{Red. } Q_{\text{tot,ref}} + \text{Red. } Q_{\text{tot,cal}} = 691,36 + 4154,84 = \mathbf{4846,2 \text{ kWh/año}}$$

Con el nuevo diseño de la vivienda se consigue una reducción de consumo energético anual de 4846,2 kWh/año. Para el cálculo del ahorro económico en refrigeración y calefacción, se va a considerar que el consumo se cubre con una bomba de calor con un COP de 2,5 y con una caldera de gas con un rendimiento del 92% (Parlamento Europeo y Comisión Europea, 2009), de forma que el consumo anual de energía primaria sería el siguiente:

$$\text{Electricidad:} \quad \text{Red. Consumo Ref.} = \frac{\text{Red. } Q_{\text{tot,ref}}}{\text{COP}} = \frac{691,36}{2,5} = 276,54 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Gas Natural:} \quad \text{Red. Consumo Cal.} = \frac{\text{Red. } Q_{\text{tot,ref}}}{\eta} = \frac{4154,84}{0,92} = 4516,13 \text{ kWh/año}$$

Tomando un precio medio de la electricidad de 0,125 €/kWh, y un precio de 0,054 €/kWh de la Tarifa de Último Recurso de gas (TUR1), el ahorro económico total que resulta se calcula a continuación:

$$\text{Ahorro Electricidad} = \text{Red. Consumo Ref.} * 0,125 = 276,54 * 0,125 = 34,57 \text{ €/año}$$

$$\text{Ahorro Gas} = \text{Red. Consumo Cal.} * 0,054 = 4516,13 * 0,054 = 243,87 \text{ €/año}$$

$$\text{Ahorro Total} = \text{Ahorro Electricidad} + \text{Ahorro Gas} = 34,57 + 243,87 = 278,44 \text{ €/año}$$

Además del ahorro económico, que resulta ser bastante importante en relación al tamaño de la vivienda, es muy interesante estudiar las emisiones de kg de CO₂ equivalentes evitadas, ya que uno de los propósitos de este tipo de arquitectura es el logro de un desarrollo energético sostenible asociado al respeto por el medio ambiente. La cantidad de CO₂ equivalentes por unidad de energía es de 0,2433 kg CO_{2, eq}/kWh para el gas natural y 0,4651 kg CO_{2, eq}/kWh para la electricidad según indica el IDAE (*CALCUGEI*, n.d.), por lo tanto:

$$\text{Ahorro kg CO}_{2, \text{eq}} \text{ Elect.} = \text{Red. Consumo Ref.} * 0,4651 = 276,54 * 0,4651 = 128,62 \text{ kg CO}_{2, \text{eq}}/\text{año}$$

$$\text{Ahorro kg CO}_{2, \text{eq}} \text{ Gas.} = \text{Red. Consumo Cal.} * 0,2433 = 4516,13 * 0,2433 = 1098,77 \text{ kg CO}_{2, \text{eq}}/\text{año}$$

$$\text{Ahorro kg CO}_{2, \text{eq}} \text{ Total} = 128,62 + 1098,77 = 1227,39 \text{ kg CO}_{2, \text{eq}}/\text{año} = 1,227 \text{ ton CO}_{2, \text{eq}}/\text{año}$$

Es evidente que la reducción de las emisiones de CO₂ es muy elevada y a pesar de que, normalmente, se tiene en cuenta en mayor medida el parámetro económico, es crucial considerar la huella de carbono de la vivienda. Por otro lado, si consideramos que la vivienda tiene una vida útil de 50 años aproximadamente, el ahorro económico y de emisiones a lo largo de toda la vida útil de la casa aporta una visión más global del impacto de las medidas pasivas:

$$\text{Ahorro Económico Total} = 278,44 * 50 = 13.922 \text{ €}$$

$$\text{Ahorro Emisiones Totales} = 1,227 * 50 = 61,35 \text{ ton CO}_{2, \text{eq}}$$

Con la implantación de las medidas se consigue un ahorro de aproximadamente 14.000 € que, teniendo en cuenta que es una vivienda de dimensiones muy pequeñas, resulta una suma muy importante a lo largo de la vida útil de esta. Por otro lado, se evitan más de 60 toneladas de gases de efecto invernadero (CO₂ equivalente), lo que hace indicar que, si se construyeran un gran número de casas pasivas, gran parte de la problemática medioambiental actual quedaría subsanada, a falta de otras muchas soluciones ajenas al consumo de los edificios.

7. CONCLUSIONES

El presente proyecto ha comprendido desde el cálculo de cargas térmicas de la vivienda, mediante el modelado detallado de la vivienda con el programa DesignBuilder, hasta el estudio de las estrategias pasivas necesarias para cumplir con los criterios de edificio de consumo casi nulo en climatización, impuestos por Passivhaus.

Con el estudio de las medidas pasivas de mejora energética se ha conseguido reducir el consumo en refrigeración desde 44,41 kWh/(m²año) hasta 14,99 kWh/(m²año) y en calefacción desde 190,44 kWh/(m²año) hasta 13,64 kWh/(m²año), siendo los criterios de Passivhaus de 15 kWh/(m²año) para cada uno de los consumos y unas infiltraciones de 0,6 renov/h, los cuales se cumplen tras la implantación de las estrategias pasivas.

Por otro lado, en cuanto al análisis económico, se ha conseguido un ahorro económico al disminuir los consumos de climatización de 278,44 €/año que, a priori, no parece un valor elevado, sin embargo, teniendo en cuenta que la vivienda es pequeña y que el gasto inicial es de 314,87 €/año, el porcentaje de ahorro económico es de un 88,43%, el cual es un valor muy importante. Desde el punto de vista medioambiental, el hecho de rediseñar la vivienda para convertirla en un edificio de consumo casi nulo, evita unas emisiones de CO₂ importantes que ascienden a un valor de 1,23 toneladas CO_{2,eq}/año, lo cual evita que se acelere más aún el cambio climático debido al efecto invernadero.

A lo largo de este proyecto se hace referencia al desarrollo sostenible, no obstante, solamente se centra en la reducción del consumo energético. En cambio, la construcción con materiales como el hormigón, muy contaminante en su fabricación, y el aislamiento XPS, que se obtiene a partir del petróleo, lleva asociado un impacto ambiental muy elevado, que con la utilización de materiales naturales se podría evitar.

Este estudio no busca la remodelación de la vivienda ya existente en la UPV, ya que algunas de las medidas no son aplicables sobre un edificio ya construido, sin embargo, se pretende que sea útil en la construcción de nuevas viviendas con construcción mediante tecnología de impresión 3D que sean esencialmente iguales, en un clima cálido como el de Valencia.

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO

Se pretende, en este apartado, realizar una estimación de los costes del estudio presente, únicamente considerando el trabajo de I+D+I, sin tener en cuenta la inversión que vendría indexada a cada una de las medidas, que quedará pendiente para un futuro trabajo como continuación de este, ya que se encuentra fuera del alcance de este proyecto. El presente presupuesto incluye los costes de personal, de material inventariable y de material fungible de acuerdo con las recomendaciones en la elaboración de presupuestos en actividades I+D+I (UPV, 2017).

1.1. Costes de personal.

Los costes asociados a la mano de obra del personal de plantilla de la UPV que ha participado en el presente proyecto y del investigador responsable del trabajo, vienen determinados por el coste horario y por el número de horas dedicadas a este proyecto, que se encuentran recogido en la siguiente tabla:

Categoría Profesional	Coste (€/h)	Horas	Coste total (€)
Responsable del proyecto	51,8	24	1.243,20 €
Experto	37,7	40	1.508,00 €
Colaborador	17,4	5	87,00 €
Investigador responsable	23,4	420	9.828,00 €
TOTAL	-	-	12.666,20 €

Tabla 23. Costes del personal asociado al proyecto.

Las horas de la *Tabla 23* han sido estimadas en función del tiempo dedicado al proyecto por cada uno de los colaboradores. En el caso del investigador responsable del proyecto se ha calculado considerando una media diaria de 3,5 horas durante 4 meses.

1.2. Costes de material inventariable.

En este se presupuesta la amortización de los equipos utilizados a lo largo del proyecto, así como la utilización del software necesario para la elaboración del mismo.

El único equipo utilizado a lo largo del proyecto, durante 4 meses, es un ordenador portátil, de modelo Acer Aspire E5 521g 8269, que tiene un coste total de 465,72€ y se ha considerado un periodo de amortización total de 6 años, por lo tanto, siendo el porcentaje de utilización de este equipo el 100%, el coste de amortización será:

$$\text{Coste Amort.} = \frac{465,72 \text{ €}}{6 * 12 \text{ meses}} * 4 \text{ meses} = 25,87 \text{ €}$$

Por otro lado, el coste asociado a los programas utilizados se recoge en la *Tabla 24*:

Software	Utilización	Precio anual	Coste Total
DesignBuilder	55%	1.199,00 €	659,45 €
THERM	5%	-	-
Climate Consultant	5%	-	-
AutoCAD	5%	2.123,55 €	106,18 €
Microsoft Office 2019	30%	229,99 €	69,00 €
TOTAL	-	-	834,62 €

Tabla 24. Costes asociados a los programas utilizados en el proyecto.

1.3. Costes de material fungible.

En este apartado solo se van a considerar los gastos asociados a la impresión del documento, que equivale a un total de: 9,58€.

El resto de los materiales utilizados se van a considerar dentro de los costes indirectos en el apartado 1.4. *Presupuesto total*.

1.4. Presupuesto total.

Considerando todos los costes de los apartados anteriores, y considerando unos costes indirectos del 25% de los costes directos, según se recomienda, se obtienen los costes totales:

Costes	Cantidad
Personal	12.666,20 €
Material Inventariable	860,49 €
Material Fungible	9,58 €
Indirectos (25%)	3.384,07 €
TOTAL	16.920,34 €

Tabla 25. Costes totales asociados al proyecto.

El coste total del presente trabajo, según la *Tabla 25*, asciende a la cantidad de dieciséis mil novecientos veinte euros y treinta y cuatro céntimos (16.920,34 €).

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2006). UNE-EN ISO 7730:2006. [Http://Www.Aenor.Es/](http://www.aenor.es/).
- Alonso, F., María, L., & Riocerezo, G. (n.d.). *DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA VIVIENDA EN ESPAÑA*. Retrieved from https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/pdf/CD7DD6BD-2F2A-4737-B8C3-2113291E69A3/99250/dsv1.pdf
- Autodesk. (2019). Autocad software versión 2019.
- Code, T. B., Cte, S., Water, D. H., Tbc, T., Technical, S., Code, B., & Presidencia, M. D. E. L. a. (2006). RITE 2007. Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios. *Real Decreto*.
- CSIC, & IDAE. (2015). *Calificación de la eficiencia energética de los edificios*. 34. *de gases de efecto invernadero de biocarburantes CALCUGEI*. (n.d.). 1–47.
- DesignBuilder (2016). DesignBuilder software versión 4.7.0.027
- Doe, U. S. D. of E. (2013). EnergyPlus Energy Simulation Software.
- EN ISO 10211. (2017). Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations. *Cen*.
- Europeo, P., & Europea, consejo de la U. (2010). Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. *DOUE*.
- Feist, W. (2019). *Cool, Temperate Climate*. (December).
- Gobierno de España. (2010). Catálogo de elementos constructivos. In *Código técnico de la edificación CTE*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2007). Comentarios RITE 2007. *Instituto Para La Diversificación y Ahorro de La Energía (IDAE)*.
- Mazria, E. (1983). *El libro de la energía solar pasiva*. Retrieved from https://www.google.es/search?source=hp&ei=51f1XLD6iYKladW8tvgD&q=el+libro+de+la+energía+solar+pasiva&oq=el+libro&gs_l=psy-ab.1.1.35i39l2j0i67l6j0l2.955.2393..3813...1.0..1.352.1788.1j6j1j2.....0....1..gws-wiz.....6..0i131.JK3O9PEiRic
- Ministerio de Fomento. (2015). DA DB-HE / 3 (Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía). *Boletín Oficial Del Estado*.
- Ministerio de Fomento. (2017a). Documento básico HE ahorro de energía. *Código Técnico de La Edificación (CTE)*.
- Ministerio de Fomento. (2017b). Documento Básico HS - Salubridad. *Documento Básico HS Salubridad*.
- Ministerio de Vivienda. (2013). Código Técnico de la Edificación (CTE). *Real Decreto 314/2006 de 17 de Marzo*.
- Parlamento Europeo, & Europea, C. de la U. (2009). Directiva 2009/125/Ce Del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009. *Communication*.

Análisis de la demanda energética de un edificio construido mediante tecnología de impresión 3D y estudio de mejoras para cumplir con certificación de edificio de consumo casi nulo.

Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea. Directiva 2012/27/UE. , Diario Oficial de la Unión Europea § (2012).

PHI, P. H. I. (2016). Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard. *Passive House Institute*.

THERM. (2016). *Therm*.

Viviendas, dispositivos y construcción 3D | Bemore3D. (n.d.). Retrieved May 29, 2019, from <https://bemore3d.com/>

Wassouf, M. (2000). *De la casa pasiva al estándar : la arquitectura pasiva en climas cálidos*. Editorial Gustavo Gili.