

Proyecto Fin de Carrera

Evaluación de dos procedimientos de
implementación BIM para la estimación de la
demanda energética de una vivienda
unifamiliar aislada

Autor :

Jorge Ferrer Rodríguez

Director :

José María Cózar Bartos

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza

Abril 2016

Evaluación de dos procedimientos de implementación BIM para la estimación de la demanda energética de una vivienda unifamiliar aislada

Resumen

El modelado de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), es el proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción.

Este proceso genera el modelo de información del edificio (también abreviado BIM), que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes. Este modelado permite, entre otras cosas, analizar las demandas energéticas del edificio en cuestión.

En el presente proyecto se utilizan y se comparan herramientas informáticas que dan soporte al proceso de modelado BIM, analizando sus prestaciones y su facilidad de uso. Se comparan los resultados obtenidos en el análisis de la demanda energética de calefacción de una vivienda unifamiliar aislada. Para tener una referencia de comparación para los resultados se calcula también la demanda energética en la herramienta oficial LIDER-CALENER.

El proceso que se ha llevado a cabo es el de caracterizar el caso de estudio con todas sus variables, para después introducir dichas variables en las diferentes herramientas informáticas y calcular la demanda energética. Se explica como introducir cada una de las diferentes variables en ambas herramientas para después obtener la demanda energética de la vivienda unifamiliar aislada.

Con los resultados de la demanda energética se pasa finalmente a comparar ambos resultados y procedimientos de cálculo.

Índice general

1. Introducción	Pág. 1
1.1 Motivación	Pág. 1
1.2 Procesos y objetivos	Pág. 2
1.3 Herramientas utilizadas	Pág. 3
2. Procedimientos para el cálculo de las demandas térmicas.	Pág. 4
3. Caso de estudio	Pág. 8
3.1 Localización	Pág. 8
3.2 Distribución vivienda	Pág. 9
3.3 Cerramientos	Pág. 12
3.4 Datos climáticos	Pág. 12
3.5 Perfiles de uso	Pág. 13
3.6 Puentes térmicos	Pág. 13
3.7 Ventilación de los recintos	Pág. 14
4. Introducción y gestión de datos	Pág. 15
4.1 LIDER + CALENER (HULC)	Pág. 15
4.2 SketchUp + OpenStudio + Energy ⁺	Pág. 17
4.3 Archicad + Edodesigner	Pág. 25
5. Informes	Pág. 32
5.1 LIDER + CALENER (HULC)	Pág. 32
5.2 SketchUp + OpenStudio + Energy ⁺	Pág. 33
5.3 Archicad + Edodesigner	Pág. 34
6. Resultados	Pág. 35
7. Conclusiones	Pág. 39
8. Referencias	Pág. 42
Índice de anexos	Pág. 45
Anexo 1. Características de los cerramientos	Pág. 47
Anexo 2. Informe Archicad en formato PDF	Pág. 53
Anexo 3. Solución para el cumplimiento del CTE	Pág. 57
Anexo 4. Estudio de la importancia de la radiación en las herramientas	Pág. 58

Índice de figuras

Fig 1. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final	Pág. 1
Fig 2. Consumo energético en España (2007)	Pág. 2
Fig 3. Herramientas utilizadas	Pág. 3
Fig 4. Reducción de tiempo mediante metodología BIM	Pág. 6
Fig 5. Situación de la vivienda en Riglos (Huesca)	Pág. 8
Fig 6. Orientación de la fachada principal	Pág. 8
Fig 7. Vista isométrica de la vivienda	Pág. 9
Fig 8. Altura planta primera	Pág. 9
Fig 9. Vista isométrica de la fachada principal	Pág. 9
Fig 10. Planta sótano vivienda	Pág. 11
Fig 11. Planta baja vivienda	Pág. 11
Fig 12. Primera planta vivienda	Pág. 11
Fig 13. Datos iniciales para la creación de proyecto en LIDER-CALENER (HULC)	Pág. 15
Fig 14. Vivienda modelada en LIDER-CALENER (HULC)	Pág. 16
Fig 15. Logotipos de los programas OpenStudio, SketchUp y Energy+	Pág. 17
Fig 16. Vista isométrica planta sótano	Pág. 18
Fig 17. Vista isométrica de la vivienda	Pág. 18
Fig 18. Creación de aberturas	Pág. 19
Fig 19. Función de abertura	Pág. 19
Fig 20. Surface Matching OpenStudio	Pág. 19
Fig 21. Render condiciones de contorno de una zona de la vivienda	Pág. 20
Fig 22. OpenStudio Inspector	Pág. 20
Fig 23. Localización y orientación de nuestra vivienda en el mapa con Google Maps	Pág. 21
Fig 24. Construcciones en OpenStudio	Pág. 22
Fig 25. Valor de la carga eléctrica y calendario en OpenStudio	Pág. 23
Fig 26. Temperatura de consigna alta	Pág. 24
Fig 27. Temperatura de consigna baja	Pág. 24
Fig 28. Logos de Graphisoft Archicad 19 y Graphisoft Ecodesigner	Pág. 25
Fig 29. Lista materiales en Archicad	Pág. 26
Fig 30. Altura de las diferentes plantas	Pág. 27
Fig 31. Planos en Archicad de la vivienda	Pág. 27
Fig 32. Corte del tejado con los muros	Pág. 28
Fig 33. Render de la vivienda en Archicad	Pág. 28
Fig 34. Ubicación del proyecto Ecodesigner	Pág. 29
Fig 35. Protección frente al viento y sombreado	Pág. 29
Fig 36. Render de las zonas de la planta primera	Pág. 30
Fig 37. Perfil de operaciones de la vivienda	Pág. 31
Fig 38. Resultados en LIDER-CALENER (HULC)	Pág. 32
Fig 39. Índice de la salida de OpenStudio	Pág. 33
Fig 40. Demanda de refrigeración en KWh mediante las herramientas BIM	Pág. 36
Fig 41. Demanda de calefacción en KWh mediante las herramientas BIM	Pág. 37

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución de la vivienda _____	Pág. 10
Tabla 2. Zona climática según la provincia _____	Pág. 12
Tabla 3. Perfiles de uso de la vivienda _____	Pág. 13
Tabla 4. Caudales de ventilación mínimo exigidos _____	Pág. 14
Tabla 5. Demandas de calefacción y refrigeración _____	Pág. 35
Tabla 6. Demanda de calefacción y refrigeración en Kwh mes a mes _____	Pág. 35
Tabla 7. Diferencias en los motores de cálculo _____	Pág. 38
Tabla 8. Comparativa de herramientas _____	Pág. 40



1. Introducción

1.1 Motivación

Una encuesta realizada por el Pew Research Center (Washington, EEUU) ^[1] en el año 2015 a 45.340 personas de 40 países distintos reveló que el cambio climático es la principal preocupación a nivel mundial. España figura como el país europeo donde mas preocupación hay por el cambio climático. Un 59% de los encuestados dicen estar preocupados ante el cambio climático, siendo un dato superior a la media europea que se encuentra en el 42%.

El cambio climático viene principalmente generado por la gran contaminación producida por el consumo energético. Este consumo puede venir del sector servicios, de la agricultura, de la industria, del transporte y del sector residencial. Por ello es lógico que hoy en día sea necesario optimizar la eficiencia energética de cualquier proceso que contamine el medio ambiente. En este punto, el Consejo Europeo de 17 de junio de 2010 fijó como objetivo ahorrar un 20% del consumo de energía primaria en el año 2020.

Según un estudio realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) ^[2], se puede ver como el sector residencial es un sector con gran demanda energética.

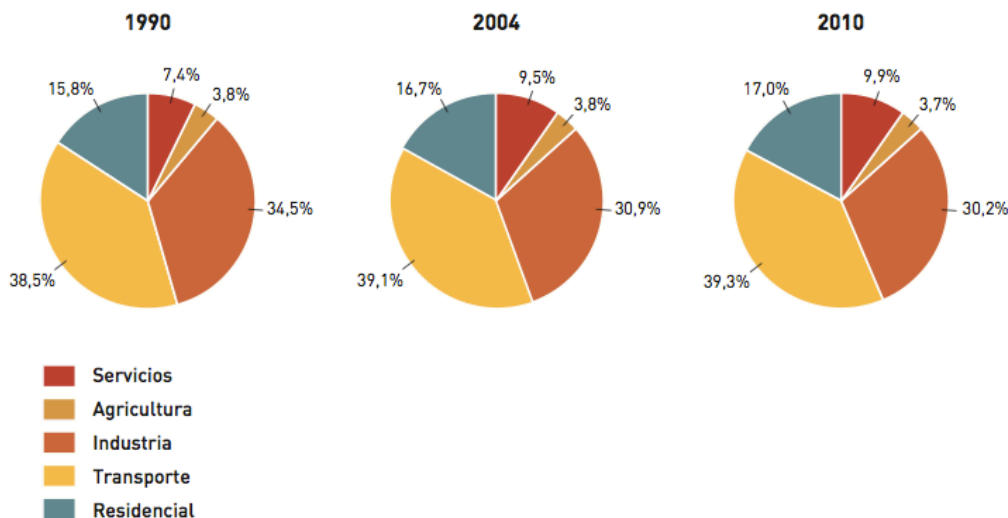


Fig 1. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final.

Además se puede ver como a lo largo de los años ha ido aumentando progresivamente, ya que en el año 1990 se encontraba en el 15,8%, pasando por el 16,7% en el año 2004 y llegando al 17% en el año 2010.

Es por ello que se trabaja hoy en día para reducir la demanda energética de las viviendas y hacerlas mas eficientes. Dicha reducción puede conseguirse, entre otras cosas, optimizando los materiales utilizados en la construcción. Para ello es importante realizar un correcto estudio de la demanda energética de la vivienda desde el inicio para intentar reducirla al máximo modificando los aspectos necesarios: materiales, orientación, distribución de suelos, etc.

Además si se observa el consumo energético de una vivienda se tiene que la calefacción y la refrigeración es la parte que mayor consumo tiene dentro de la vivienda, casi un 60%.

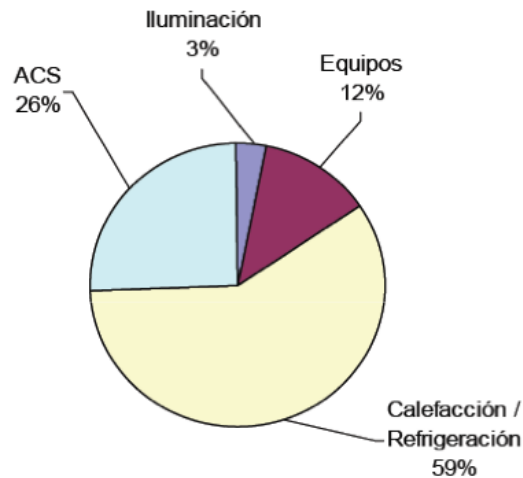


Fig 2. Consumo energético en España (2007)

1.2 Proceso y objetivos

En el presente proyecto se modelará una vivienda unifamiliar desde cero mediante dos herramientas informáticas que hacen uso de la tecnología BIM. Siguiendo el documento básico DB HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE) ^[3], se tratará de obtener la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en el interior de la vivienda. Dicha demanda energética se obtendrá en función del clima de la localidad de la vivienda, del uso de la vivienda, de la exposición solar y las características constructivas y de aislamiento de la misma.

El proceso que se realizará será el de inicialmente reunir todos los datos necesarios para el estudio (datos climáticos, uso, limitaciones, cargas térmicas, etc.) para después modelar la vivienda en ambas herramientas informáticas introduciendo los datos, y finalmente obtener la demanda energética anual y mensual.

Además se realizará el mismo proceso con la herramienta oficial LIDER-CALENER (HULC) en la cuál además de obtener la certificación de que la vivienda cumple los requisitos del CTE, se puede obtener la demanda energética.

Los objetivos del proyecto son :

- Realizar el modelo completo de una vivienda unifamiliar aislada haciendo uso de dos herramientas informáticas que se basan en la tecnología BIM.
- Comparar los resultados del análisis de la demanda térmica del edificio y de su proceso de cálculo mediante ambas aproximaciones, ayudándonos del cálculo realizado mediante LIDER-CALENER (HULC).
- Evaluar desde el punto de vista del usuario ambos métodos.

1.3 Herramientas utilizadas

En este proyecto lo que se va a realizar por tanto es una evaluación de cómo se introducen todos estos datos y los resultados que se obtienen con las siguientes herramientas informáticas:

- Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)
- SketchUp + OpenStudio + Energy⁺
- Archicad + Ecodesigner

El primer estudio se realizará sobre la herramienta LIDER-CALENER (HULC) ya que es la herramienta oficial y reconocida por el Ministerio de Fomento a través del CTE.

En segundo caso se utilizará el motor de cálculo energético Energy⁺, para ello se utilizará OpenStudio que se trata de una aplicación que permite modelar edificios. Esta simulación vendrá ayudada con el programa de diseño gráfico y modelado tridimensional SketchUp mediante un Plug-in. Esta opción resulta muy interesante ya que tanto Energy⁺ como OpenStudio son programas gratuitos.

Por último se utilizará Archicad, que se trata de un software de CAD completo, específico de arquitectura y construcción. Este programa cuenta con numerosos plugins, siendo uno de ellos el de análisis energético Ecodesigner.



Fig 3. Herramientas utilizadas

2. Procedimiento para el cálculo de las demandas térmicas

La normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE) establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley Orgánica de la Edificación (LOE). En esta normativa extensa se encuentran varios Documentos Básicos que tienen como objetivo establecer la forma y condiciones en las que deben cumplirse las exigencias. Será por tanto necesario delimitar los elementos estudiados de dicho CTE. En este proyecto se hace hincapié en el documento básico de Ahorro de Energía que tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía. Dentro de este documento básico se encuentra a su vez la exigencia básica HE 1: Limitación de la demanda energética, que es la parte en la que se detallan los pasos necesarios para calcular la demanda energética de la vivienda.

Aquí toma importancia la envolvente del edificio, ya que se trata de la parte que separa el interior de la vivienda con el exterior, y será por tanto un aspecto determinante a la hora de calcular la demanda energética.

La envolvente comprende las paredes exteriores, los suelos, los cristales, las puertas y las cubiertas, está en constante cambio energético con el cambiante ambiente exterior, por lo que su estudio debería realizarse de una forma dinámica.

La transferencia de calor que se produce en la envolvente del edificio se debe principalmente a las diferentes temperaturas entre la zona interior y la exterior. Esta transferencia de calor puede darse por 3 mecanismos o modos de transmisión:

- Radiación:
Los materiales de la envolvente se comportan de diferente manera, se tendrán los cerramientos opacos y los acristalamientos transparentes.
- Conducción:
En este caso se tendrá en cuenta la conductividad térmica de los materiales utilizados en los cerramientos, ya que es la propiedad que determina la capacidad para conducir calor.
Esta conductividad térmica habrá que tenerla en cuenta tanto en los cerramientos opacos como en los acristalamientos.
- Convección :
Se produce a través de un fluido, en este caso el aire. Transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. En este caso también habrá que tener en cuenta el calor latente generado por las personas.

Para poder realizar un estudio de la demanda energética se debe realizar un balance térmico de la vivienda.

El equilibrio térmico en la vivienda ocurre cuando la suma de las ganancias de calor y las pérdidas es igual a cero. Estas ganancias se pueden ver desglosadas en la siguiente ecuación

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0$$

donde los valores serían las ganancias y pérdidas referidas a : internas, solares, conducción, ventilación, evaporación y sistemas mecánicos de climatización.

Lo que se busca por tanto es obtener esa Q_m que sería el aporte necesario que habría que introducir a la vivienda para que tenga las condiciones de habitabilidad necesarias, es decir esta Q_m será la energía necesaria tanto de calefacción como de refrigeración para mantener las condiciones de confort interiores.

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e = Q_m$$

Por tanto habrá que estudiar dichas ganancias o pérdidas de calor:

- Ganancias internas Q_i :
Debidas a la disipación de todos los aparatos que consumen energía en el interior de la vivienda y al calor desprendido por las personas.
- Ganancias solares Q_s :
Debidas a la radiación solar que incide sobre la vivienda. Afecta tanto a los cerramientos opacos como a los acristalamientos. Cuando se da a través de los cerramientos opacos se denominan ganancias indirectas, mientras que si es a través de los acristalamientos se denominan ganancias directas.
- Ganancias o pérdidas por conducción Q_c :
Debidas a los flujos de calor que se generan en la envolvente del edificio. Dependiendo de la época de se tendrán ganancias o pérdidas.
- Ganancias o pérdidas por ventilación Q_v :
Debidas a la renovación de aire entre la zona interior y la exterior.
- Pérdidas por evaporación Q_e :
Debidas a la evaporación del agua, haciendo que parte del calor generado en el interior pase al exterior mediante el aire.

En la exigencia básica HE1 : Limitación de la demanda energética se establecen los datos necesarios para el cálculo de la demanda:

- Solicitaciones exteriores:
Donde estarían las acciones del clima sobre el edificio, para ello se establecen un conjunto de zonas climáticas para las que se define un clima de referencia.
- Solicitaciones interiores:
Donde se consideran solicitudes interiores las cargas térmicas generadas en el interior de la vivienda debidas a los aportes de energía de los ocupantes, equipos eléctricos e iluminación. En el apéndice C del Documento Básico se recogen los perfiles de uso de estas solicitudes, encontrándose :
 - Temperaturas de consigna de calefacción
 - Temperaturas de consigna de refrigeración
 - Carga interna debida a la ocupación
 - Carga interna debida a la iluminación
 - Carga interna debida a los equipos eléctricos

Además habrá que tener en cuenta el nivel de ventilación para los espacios habitables y no habitables.

Para ello existen herramientas informáticas que realizan la simulación mediante un modelo térmico de la vivienda. La única exigencia que se encuentra reflejada en el CTE en este aspecto es que el procedimiento de cálculo de dichas herramientas debe permitir obtener separadamente la demanda energética de calefacción y de refrigeración.

La herramienta informática oficial del CTE en estos momentos es LIDER-CALENER (HULC), en la cual además de poder obtener la demanda energética de las viviendas se puede obtener su certificación energética. Esta herramienta es muy útil en el ámbito español ya que además avisa si una vivienda no cumple con los requisitos mínimos establecidos en el CTE. Aun así tiene limitaciones si se quiere calcular en detalle la demanda energética. Por eso se trabaja con otras herramientas informáticas. Destacando por su mayor reconocimiento se tienen:

- Energy +
- TRNSYS
- Ecotect
- O el propio Calener en España

Sin embargo el problema de estas herramientas es que solo sirven para el cálculo de la demanda energética de la vivienda y no por para las demás partes del propio CTE como podría ser el estudio estructural o la seguridad frente a incendio. Es por eso que cada vez mas se están utilizando herramientas informáticas donde se puedan estudiar mas de una parte del CTE con el fin de no tener que repetir el mismo trabajo varias veces. Esta necesidad de realizar distintos cálculos sobre el mismo modelo de edificio llevó al nacimiento en la industria de la construcción el término BIM.

BIM = Building Information Modeling

O en español modelado de información de construcción. Actualmente mucha gente trabaja hoy en día con BIM aunque pocos son los que saben su significado. BIM no se trata de un tipo de software, ni del modelado 3D de la vivienda o edificio, ni de la base de datos estructural que contiene la información de todo lo relacionado con la vivienda. En realidad BIM es el conjunto de estas 3 ideas, junto a otras más. Es el proceso de generación y gestión de datos del edificio durante todo su ciclo de vida, desde el instante que se tiene la idea de crear una vivienda hasta por ejemplo su demolición. Con esta metodología se reduce el tiempo de estudio total.

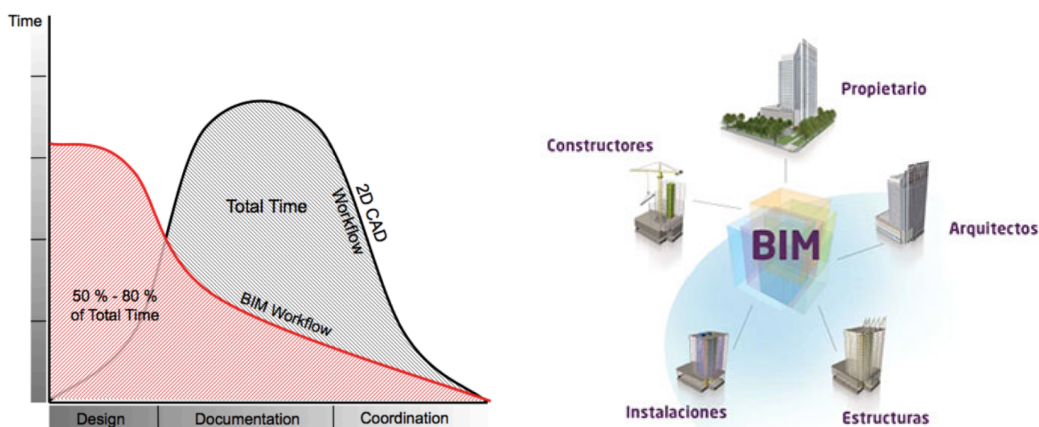


Fig 4. Reducción de tiempo mediante metodología BIM

Se va a explicar a partir de un ejemplo como se utilizaría esta metodología de trabajo para estudiar un edificio en general, y como en nuestro caso nos permite obtener un estudio energético en particular. Si se miran las palabras que componen BIM, se ve inicialmente Building. En este caso, tenemos el edificio o vivienda propiamente dicho. En esta parte se podrían introducir los planos 2D de la vivienda así como su representación en 3D, siendo uno de sus aspectos fuertes la correlación entre ambos. Es decir, un cambio en cualquiera de los planos 2D afectará al 3D, y viceversa. Si se continua estudiando BIM tenemos la palabra Information. En este caso puede agrupar numerosos datos, desde la climatología del lugar, los materiales de las estructuras, los detalles constructivos, costes, cálculo de cargas, etc. Por último se tendría Modeling, donde la idea es que se tiene un solo modelo creado donde se une todo lo anterior y que además se puede estudiar el modelo según quien lo esté utilizando, por ejemplo un arquitecto podría estudiar el modelo según los espacios habitables, mientras que un ingeniero estudiaría del mismo modelo sus cargas estructurales.

El problema actualmente de esta metodología es que está iniciándose y por tanto hay pocas herramientas o programas que trabajen con ello. En este proyecto se va a trabajar con dos tipos diferentes de herramientas que hacen uso de la metodología BIM.

En el primer caso se utilizará la herramienta de OpenStudio junto SketchUp que mediante el motor de cálculo Energy⁺ se obtiene la demanda energética de la vivienda. Cualquier cambio que se produzca en SketchUp se verá reflejado en OpenStudio, por tanto al tener actualizada la vivienda se podrán hacer estudios en el programa de diseño y modelado SketchUp. Al contar con el modelado 3D en SketchUp se podría trabajar con otros plugins que doten a la herramienta de herramientas necesarias para el cálculo por ejemplo de las estructuras.

En el segundo caso se utiliza la herramienta ArchiCad cuya empresa ha apostado por esta forma de trabajo BIM. El problema es que trabaja con su propio motor de cálculo el cual no está todavía reconocido mundialmente. El punto fuerte de ArchiCad es que cuenta en el mismo programa con MEP MODELERTM que permite modelar y crear instalaciones ya sean eléctricas o sanitarias.

Se van a estudiar las diferentes herramientas mediante un caso de estudio de una vivienda unifamiliar aislada. El objetivo, además de obtener la demanda final de calefacción y refrigeración con ambas herramientas, es describir la forma en la que son introducidos las propiedades de la vivienda y evaluar el proceso de cálculo.

3. Caso de estudio

El estudio del proyecto se ha realizado sobre una vivienda unifamiliar aislada. A continuación se va a describir dicha vivienda con los datos necesarios para caracterizar su demanda energética.

3.1 Localización

La vivienda estudiada se encuentra ubicada en el municipio de Riglos en la provincia de Huesca. Se trata de una vivienda unifamiliar aislada.

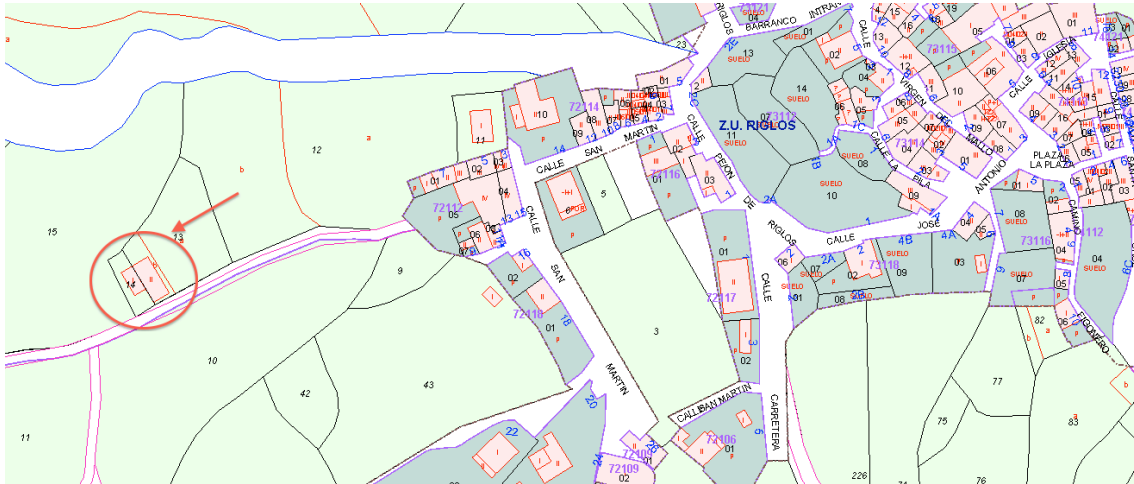


Fig 5. Situación de la vivienda en Riglos (Huesca)

La orientación de la fachada principal es de 60° respecto al Norte Geográfico.

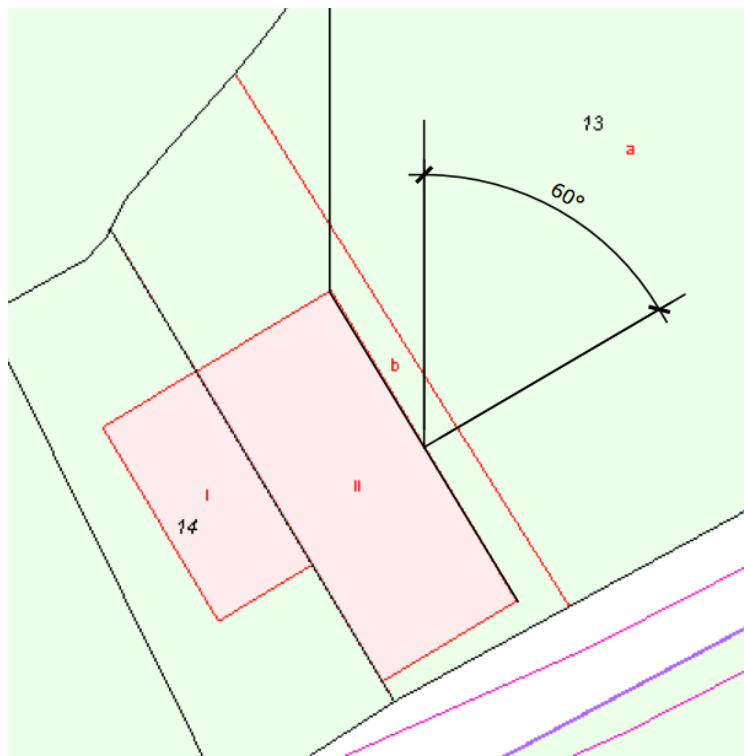


Fig 6. Orientación de la fachada principal.

3.2 Distribución vivienda

La vivienda consta de tres plantas (sótano, planta baja y primera planta).

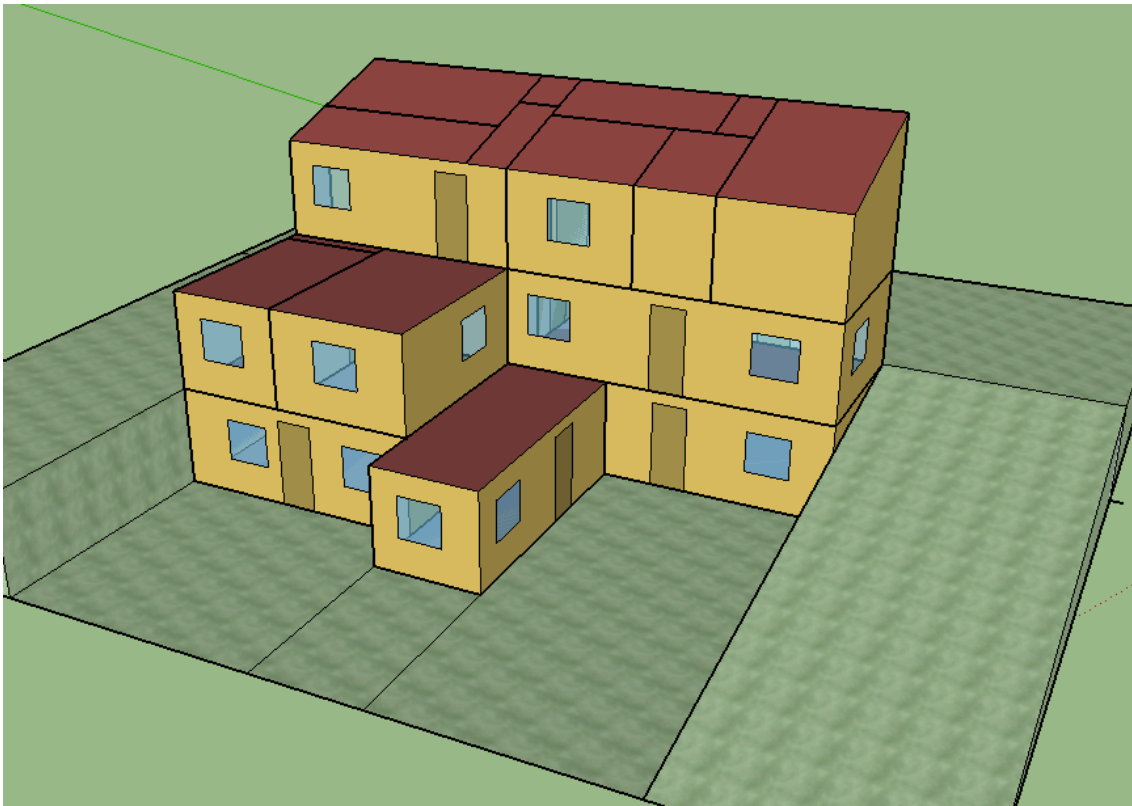


Fig 7. Vista isométrica de la vivienda

En la vista isométrica de la vivienda se pueden observar las tres plantas diferenciadas. Como se observa la planta sótano está semi-enterrada, donde varios muros están directamente en contacto con el suelo. Además, la vivienda cuenta con un forjado de cubierta inclinado en su última planta.

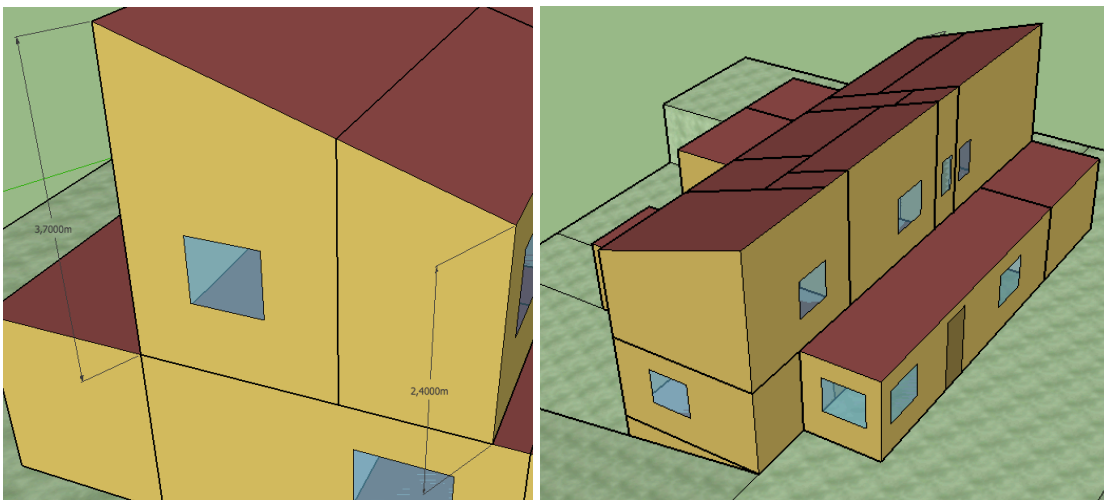


Fig 8 y 9: Altura planta primera y vista isométrica de la vivienda

La altura libre del sótano y la planta baja es de 2,4 metros, mientras que la primera planta (como se observa en la figura) es de 2,4 metros en la zona baja llegando a los 3,7 metros en la zona alta. Hay que aclarar además que en la fachada principal de la vivienda se realizó una obra para construir un cuarto de calderas y un porche.

Para el estudio de la demanda energética será necesario distribuir la vivienda según zonas. En la siguiente tabla se especifican las superficies útiles de cada planta:

Tabla 1. Distribución de la vivienda

EDIFICIO		
Zona	Planta	Superficie útil (m ²)
Salón	Sótano	32,57
Bodega		19,2
Baño		4,39
Hab 1.		16,2
Hab 2.		28,32
	TOT. Sótano	100,68
Salón-cocina	Planta baja	32,57
Baño 1		3,89
Baño 2		3,95
Salón		20,07
Hab 1.		10,72
Hab 2.		11,26
Cuarto calderas		6,66
Porche		19,06
	TOT. Planta baja	108,18
Hab 1.	Primera planta	14,12
Hab 2.		5,91
Hab 3.		11,12
Hab 4.		11,39
Baño		3,96
Pasillo		8,26
	TOT. Primera planta	54,76
	TOT. Vivienda	263,62

En este caso se tomarán como zonas no habitables el cuarto de calderas de la planta baja, y como zonas habitables las demás.

Planos de la vivienda :

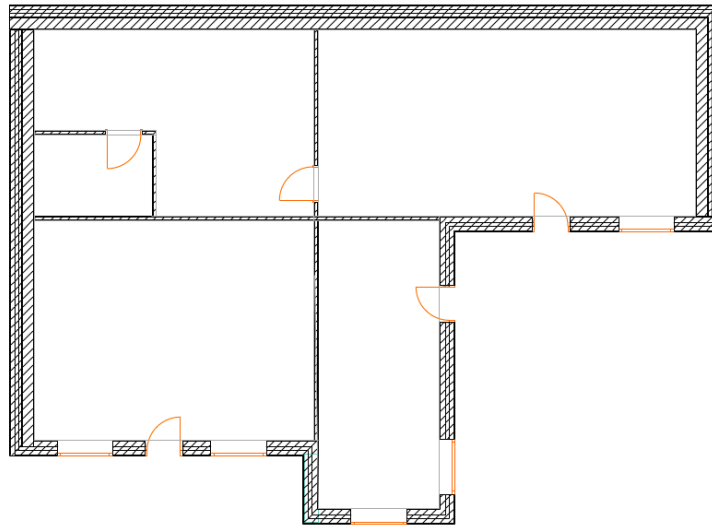


Fig 10. Planta sótano vivienda

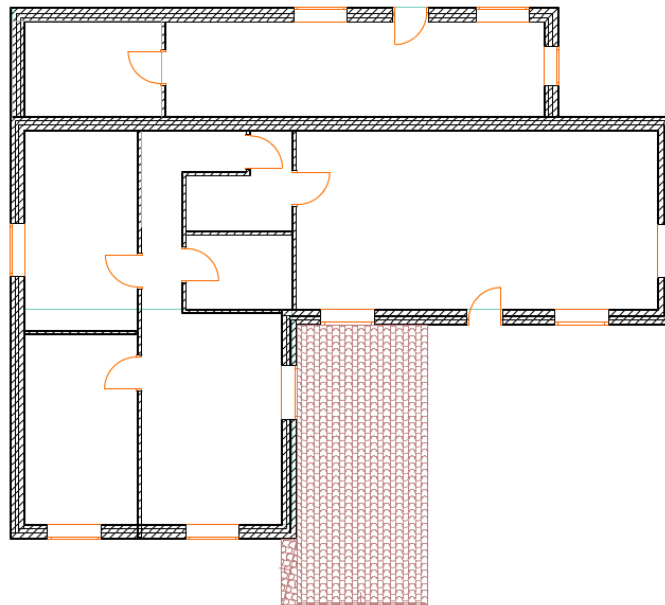


Fig 11. Planta baja vivienda

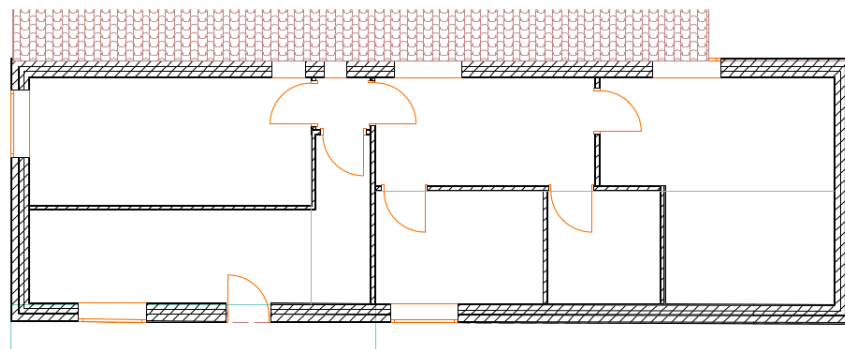


Fig 12. Primera planta vivienda

3.3 Cerramientos

Las características de los cerramientos se especifican en el anexo 1.

3.4 Datos climáticos

Para el cálculo de la demanda energética de la vivienda será necesario saber en que zona climática se sitúa según el Apéndice B del documento básico HE Ahorro de Energía.

Tabla 2. Zona climática según la provincia

Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1										h < 250				h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100			h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250

Mediante esta tabla se obtiene la zona climática de una localidad en función de su capital de provincia y su altura respecto al nivel del mar. En este caso la capital de provincia Huesca, y la altitud de Riglos es de 678 metros sobre el nivel del mar. Por ello la zona que le pertenece para el estudio es la D2.

Sabiendo esto se podrán utilizar los datos climáticos de referencia que se encuentran en el Documento Básico HE de Ahorro de Energía. Estos datos climáticos de referencia definen las solicitudes exteriores de cálculo para un año tipo a través de varios parámetros como temperatura, radiación solar, humedad, velocidad del viento, etc. Los datos oficiales que se encuentran en el *Documento descriptivo climas de referencia* por el Ministerio de Fomento vienen en formato .MEP.

3.5 Perfiles de uso

Para el cálculo y simulación diaria o mensual de la demanda energética de la vivienda a analizar hay que considerar una serie de cargas internas, así como las solicitudes interiores. En este proyecto se han utilizado los perfiles de uso normalizados para un uso residencial que encontramos en el Apéndice C del Documento Básico HE Ahorro de Energía.

Tabla 3. Perfiles de uso de la vivienda

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	*	*	*	*	*

Se utilizan estos perfiles normalizados ya que son los que se utilizan en la herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC).

3.6 Puentes térmicos

Habrán zonas en la envolvente de la vivienda por las que se transmita más fácilmente el calor hacia otras zonas. Se debe a que existe una variación en la uniformidad de la construcción, que puede deberse por ejemplo a un cambio de espesor del cerramiento o a una penetración de elementos con diferente conductividad, que hace que se reduzca la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento. El anexo 3 del Documento Básico HE Ahorro de Energía, establece como obtener dichos puentes térmicos.

Tanto en LIDER-CALENER como en Archicad no es necesario introducir dichos puentes térmicos ya que el programa los calcula. Sin embargo en OpenStudio habrá que introducirlos para que la herramienta los tenga en cuenta a la hora de hacer el estudio de la demanda energética. Su implementación se verá con más detalle en el apartado de OpenStudio.

3.7 Ventilación de los recintos

En este caso se necesita trabajar con el HS-3 del Código Técnico de la Edificación (CTE) que estudia la salubridad de los recintos, se utiliza para establecer el nivel de la ventilación en el interior.

Tabla 4. Caudales de ventilación mínimo exigidos

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

⁽¹⁾ Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Para calcular dicha ventilación se hace un estudio sobre la vivienda, tomando una ocupación de 4 personas. Por ello se tiene :

1) Cálculo de caudal de admisión:

$$\text{Dormitorios : } 5 \frac{1}{s \cdot \text{ocupante}} \times 4 \text{ ocupantes} = 20 \text{ l/s}$$

$$\text{Salas de estar y comedores : } 3 \frac{1}{s \cdot \text{ocupante}} \times 4 \text{ ocupantes} = 12 \text{ l/s}$$

En total 32 l/s de admisión

2) Cálculo de caudal de extracción:

$$\text{Cocinas: } 2 \frac{1}{s \cdot m^2} \times 35,14 \text{ m}^2 = 70,28 \text{ l/s}$$

$$\text{Baños : } 4 \text{ baños} \times 15 \frac{1}{s \cdot \text{baño}} = 60 \text{ l/s}$$

En total 130,28 l/s de extracción

Como el caudal de extracción es superior al de admisión se toma este caudal como el de ventilación de la vivienda.

Para poder trabajar con él se necesitará tenerlo en renovaciones/hora

$$130,28 \frac{l}{s} \times 3600 \frac{s}{h} \times 1 \frac{dm^3}{l} \times 1 \frac{m^3}{1000 \cdot dm^3} = 469 \text{ m}^3/h$$

La vivienda cuenta con un volumen útil de $765,69 \text{ m}^3$, por lo que se tendrá unas renovaciones/hora de :

$$\frac{469 \text{ m}^3/h}{765,69 \text{ m}^3} = 0,61 \text{ renovaciones /hora}$$

Por lo que al ser menor que la recomendada de 0,63 se trabajará con la renovación recomendada de aire de 0,63 renovaciones/hora.

4. Introducción y gestión de datos

Una vez conocido los datos necesarios para poder calcular la demanda energética de nuestra vivienda se pasa a estudiar el procedimiento de introducción en cada uno de los programas.

4.1 LIDER + CALENER (HULC)

La primera herramienta que se va a utilizar es la herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC). Esta herramienta une por tanto los dos programas generales oficiales anteriormente empleados para la evaluación tanto de la demanda energética como del consumo energético. Es muy importante en el territorio español ya que desde el 14 de enero de 2016 tan solo son admitidos los certificados de eficiencia energética generados por ella. Además, las verificaciones del CTE deberán realizarse con ella. Sin embargo, no llega a ser lo suficientemente potente en el cálculo de la demanda energética ni abarca tanta información como por ejemplo las herramientas BIM que estudiaremos después, además de que su uso puede resultar algo complicado.

Lo primero que se encuentra a la hora de iniciar el programa es que se tiene que rellenar una ficha con datos administrativos, tales como los propios datos del proyecto (localización, año construcción, normativa, etc.) como los datos del certificador. Además habrá que especificar la zona climática donde se encuentra la vivienda (en este caso la zona D2) además de introducir la ventilación del edificio residencial que en este caso se tomará el valor por defecto de 0,63 renovaciones/hora.

Fig 13. Datos iniciales para la creación de proyecto en LIDER-CALENER (HULC)

Una vez que se tienen introducidos estos datos iniciales (que se pueden cambiar después) se puede pasar a la creación de la vivienda. Para crear la vivienda lo que se tiene que hacer es crear una planta que posteriormente se dividirá según las diferentes zonas. Para ello la herramienta cuenta con una zona de visualización 3D del

edificio donde se creará dicha planta. Sin embargo, aunque cuente con una zona de visualización 3D su creación no es sencilla. El proceso, normalmente, es el de cargar un plano, solo en formato .DXF, generado por otro programa como puede ser por ejemplo AutoCad o Archicad.

Una vez se tiene dicho plano cargado la mejor forma de crear la planta es introducir los diferentes vértices mediante coordenadas relativas. La otra forma es crear los diferentes puntos pinchando en los vértices del plano, pero esta forma da paso a error ya que a la hora de generar los puntos no se tiene ninguna referencia de si se han creado correctamente, entre otras cosas porque la carga del plano de .DXF se traduce en la representación a una imagen. Cuando se tienen las plantas creadas con sus divisiones (o habitaciones) el programa crea con ellos los diferentes forjados y muros. Por último a la hora de modelar la vivienda faltaría crear las diferentes aberturas en forma de ventanas y puertas. El resultado de este proceso sería el siguiente :

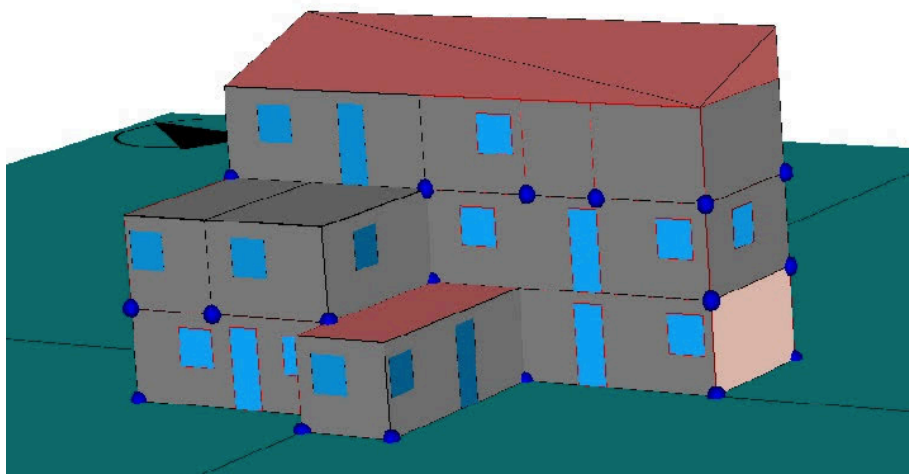


Fig 14. Vivienda modelada en LIDER-CALENER (HULC)

Ahora faltaría asignarle a cada una de las superficies del modelo los diferentes cerramientos. En este caso se parte con ventaja ya que al tratarse de una herramienta cuyo objetivo es certificar las viviendas en el territorio español, la base de datos tanto de los materiales como de los cerramientos es adecuada para esta vivienda. Se trabaja con los perfiles de uso estándar del CTE (siempre y cuando no cambiemos su archivo), por lo que en este caso no habrá que modificar nada.

Por último faltaría calcular los puentes térmicos que se encuentran en la vivienda, en este caso la propia herramienta los calcula teniendo en cuenta el CTE.

Con esto ya se podría calcular la demanda energética, cuyos resultados se verán en el apartado 5.1 del proyecto.

4.2 SketchUp + OpenStudio + Energy⁺

Antes de estudiar la introducción de datos de la vivienda se debe explicar como se relacionan estos programas. Inicialmente se creó Energy⁺ como un programa de simulación energética de edificios que trabaja bien en régimen dinámico y multizona. Es posiblemente la herramienta mas sofisticada que existe como herramienta de simulación, además de que cuenta con un gran apoyo de la comunidad en gran parte porque se trata de una herramienta gratuita. El problema es su interfaz de usuario para introducir los datos de la vivienda. Por ello nació OpenStudio, también gratuito, que hizo que mas sencilla la forma de introducir los datos de la vivienda. Sin embargo, ambas herramientas seguían teniendo el problema de que no contaban con un apartado de modelado tridimensional. A raíz de este problema OpenStudio creó un Plug-in para el programa SketchUp que permitía modelar completamente el edificio en este programa.

Una vez que se muestran las herramientas utilizadas en este apartado, se explica en que forma se ha trabajado. Lo primero se ha utilizado una versión de prueba de SketchUp en su versión 16.0.19913. Una vez instalado este programa se descarga a través de la página oficial de OpenStudio el paquete de su versión 1.10.0. La gran ventaja que tiene esta versión es que cuenta tanto con el propio programa de Openstudio y su Plug-in para SkecthUp como con la versión soportada de Energy⁺ 8.4.0.



Fig 15. Logotipos de los programas OpenStdudio, SketchUp y Energy⁺

Una vez instaladas las herramientas necesarias se pasa a modelar la vivienda. En este caso hay que crear los espacios tridimensionales que se amoldan al volumen de cada espacio de la vivienda. Se puede hacer de dos formas mediante SketchUp, la primera sería creando un cubo (a través del Plug-in) y modelar el espacio a partir de él, mientras que la segunda forma sería la de dibujar el plano de la vivienda y después extruir (de nuevo mediante el Plug-in) dicho plano dotándole de la altura del espacio. En este caso la mejor forma es la segunda.

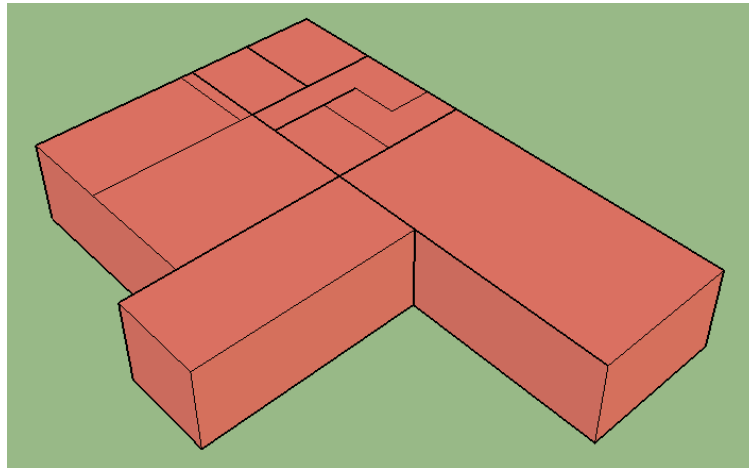


Fig 16. Vista isométrica planta sótano

De este modo se crean todas las plantas de la vivienda. Este Plug-in cuenta con la ventaja de que se pueden moldear los espacios como si se tratasen de un objeto de SketchUp, esto facilita por ejemplo la creación de la cubierta inclinada. Además hace que el estudio sea de todo el volumen de las zonas de la planta primera, que como veremos posteriormente no ocurre igual en las demás herramientas.

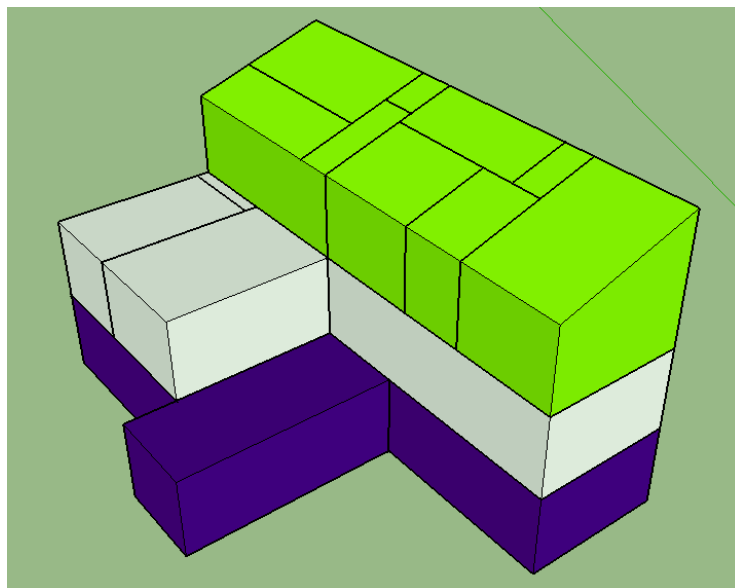


Fig 17. Vista isométrica de la vivienda

Como se ve, lo único que se ha hecho ahora es crear las zonas o espacios de las diferentes partes de la vivienda. Una de las herramientas del Plug-in es que puede renderizar la vista según varios criterios, como por ejemplo en la Fig 16 que se renderiza según los pisos de la vivienda, lo que ayuda a diferenciarlos mediante colores.

Una vez que se tienen los diferentes espacios de la vivienda habría que crear las diferentes aberturas, tanto las ventanas como las puertas. Se hace seleccionando cada zona donde hay una abertura y creándola como si fuera una superficie.

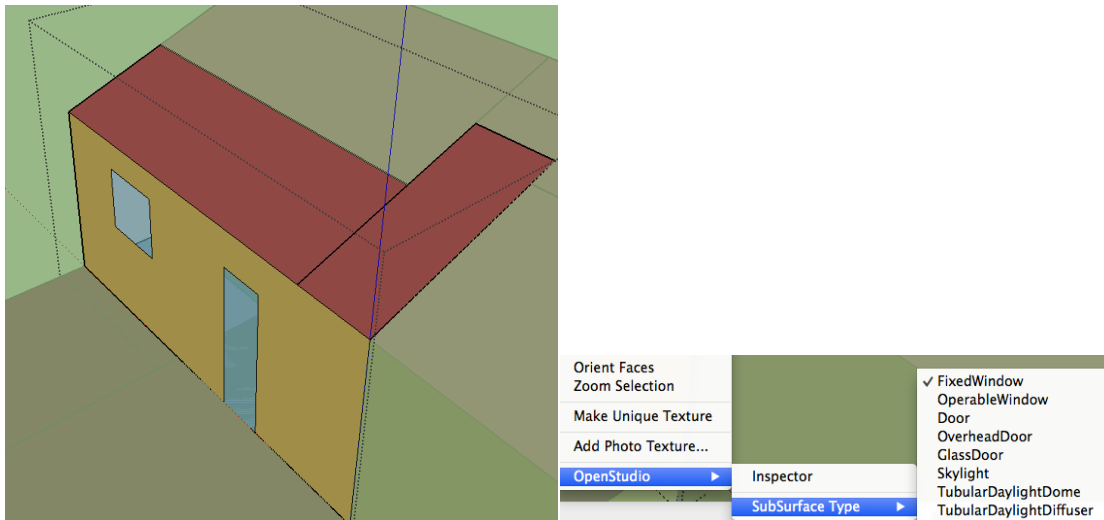


Fig 18 y 19. Creación de aberturas y función de abertura

Por defecto el programa creará todas las aberturas como si fueran una ventana. Para cambiarlo bastará con seleccionar dicha abertura y seleccionar su función en el apartado de OpenStudio. De esta forma se crean todas las aberturas exteriores de la vivienda. Para hacer el estudio se crearan además las aberturas interiores, es decir las puertas entre los diferentes espacios de la vivienda.

Una de las partes útiles del Plug-in es que para hacer este tipo de aberturas interiores es suficiente con que se creen en uno de los espacios.

Después de que se hayan creado todas las aberturas se puede realizar una de las funciones mas importantes del Plug-in.

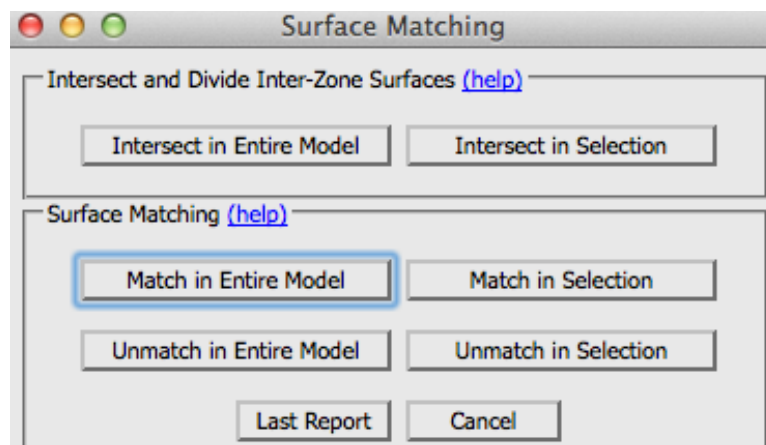


Fig 20. Surface Matching OpenStudio

Mediante “Intersect and Divide Inter-Zone Surfaces” lo que se hace es crear las diferentes intersecciones que pueden haber entre espacios, como en nuestro caso sería la creación de las puertas en los espacios contiguos.

Mediante “Surface Matching” lo que se hace es unir todas las superficies que están en contacto entre los espacios, como serían las paredes y los diferentes forjados entre pisos. Este paso es necesario en cualquier estudio energético que se haga en esta herramienta, ya que establece las condiciones de contorno de las diferentes superficies.

El Plug-in contiene un tipo de render en el cual se puede ver las diferentes condiciones de contorno de las superficies de una zona.
Si se hace un renderizado (con un corte) de una de las zonas de la primera planta se tiene lo siguiente:

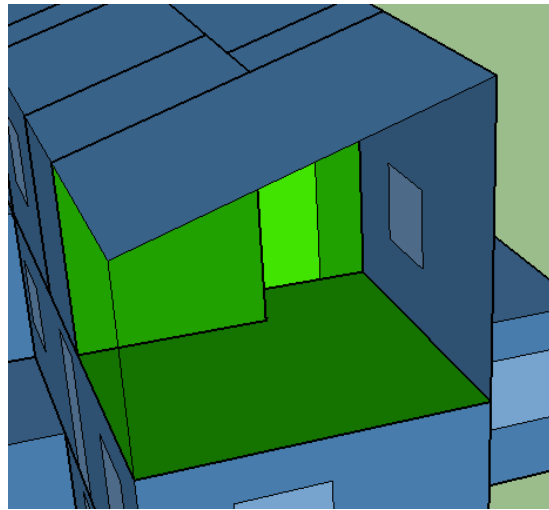


Fig 21. Render condiciones de contorno de una zona de la vivienda

Se pueden ver hasta 4 colores diferentes, como era de esperar. Un azul oscuro que representa una superficie que estaría en contacto con el exterior, un azul mas claro que representa una abertura en contacto con el exterior, un verde oscuro que representa una superficie interior en contacto con otra superficie interior y un verde claro que representa una abertura interior.

Esta forma de renderizado es una buena forma de comprobar si se está modelando bien la vivienda. Esta vivienda tiene la peculiaridad de que parte de los cerramientos de la planta sótano están en contacto con el terreno. Como ocurría a la hora de crear las puertas en las diferentes zonas, el programa por defecto establece que todas las superficies exteriores están en contacto con el exterior. Para arreglarlo bastará con seleccionar las superficies y cambiar su condición de contorno. Sin embargo para ello habrá que entrar en el “OpenStudio Inspector” que nos da toda la información necesaria de la vivienda.

Por ejemplo si seleccionamos una de estas superficies podemos cambiar su “Outside Boundary Condition” para que esté en contacto con el suelo (“Ground”).

Además como se ve en la Fig. 21 se puede establecer si una superficie está expuesta al sol o al viento, lo que viene muy bien para diferenciar los cerramientos en contacto con el terreno y los que no lo están.

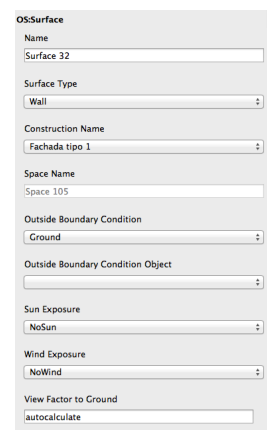


Fig 22. OpenStudio Inspector

Cuando se tiene la vivienda modelada se pasa a definir su orientación. Este es uno de los puntos fuertes del Plug-in introducido en SketchUp, ya que SketchUp es de la compañía Google.

Una de las funciones que tiene el propio programa de SketchUp es que se puede añadir una localización de nuestra vivienda a través de Google Maps. Con ello se crea un plano con una imagen de la zona donde se encuentra la vivienda. Simplemente con mover y orientar la vivienda en el plano hará que se tenga perfectamente orientada nuestra vivienda para el estudio.

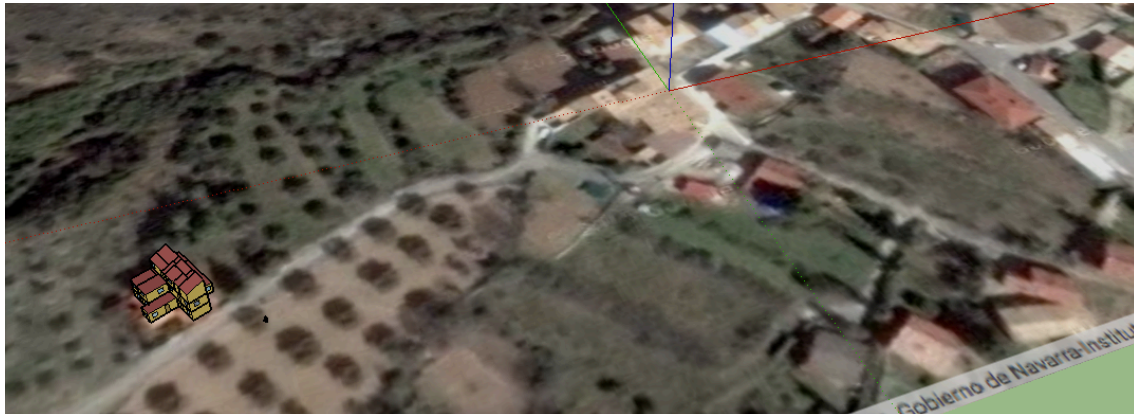


Fig 23. Localización y orientación de nuestra vivienda en el mapa con Google Maps

El siguiente paso sería introducir los datos climáticos de la zona de la vivienda. OpenStudio solo permite introducir los datos en formato .epw (Energy+ Weatherdata) y .ddy (Design Day data). Como se ha dicho antes el formato en el que se encuentran dichos datos climáticos en el CTE es el .MEP, es por ello que hará falta convertir los archivos a los formatos .epw y .ddy. Por ello se ha utilizado una librería ^[4] que no es mas que una conversión de los datos climáticos .MEP a los necesarios para OpenStudio. La acción de introducir los datos climáticos no se puede realizar a través del Plug-in de SketchUp si no que se debe utilizar el propio programa de OpenStudio.

Una vez introducidos los datos climáticos en el programa habría que pasar a introducir los diferentes tipos de cerramientos. Aunque esto se puede hacer mediante el Plug-in de SketchUp la mejor forma es a través del programa OpenStudio y utilizar solo el Plug-in para comprobar que se han introducido bien los diferentes tipos de cerramientos. OpenStudio cuenta con una biblioteca para los diferentes cerramientos (Constructions en inglés), así como para los materiales de dichos cerramientos. Sin embargo, el programa no cuenta con los cerramientos necesarios en este caso, puesto que se trata de un programa estadounidense donde no se usan los mismos tipos de cerramientos que en España. Por ello habrá que crear los cerramientos de nuestra vivienda a partir de los diferentes materiales. La creación es muy sencilla, ya que simplemente habrá que ir fijando los diferentes tipos de materiales especificando su espesor, densidad, conductividad térmica y calor específico, para después crear los cerramientos a partir de ellos. Una vez que se tienen todos los cerramientos necesarios se puede crear un "Construction Set" donde se introduzcan en las diferentes superficies o aberturas los diferentes cerramientos. Esto es muy útil ya que teniendo este "Construction Set" se le puede añadir a cualquiera de los espacios para que establezca sus cerramientos y nos evita ir uno por uno.

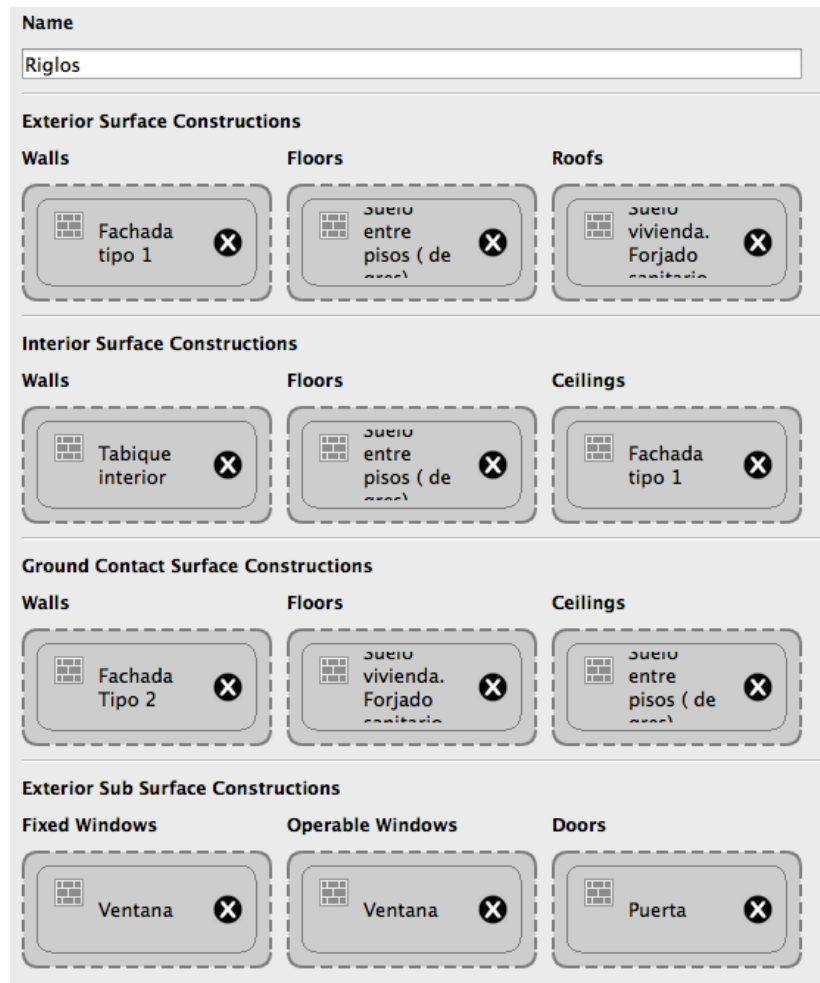


Fig 24. Construcciones en OpenStudio

Además de poder comprobar en el propio programa que se han introducido bien los cerramientos en sus superficies, se puede comprobar visualmente en SketchUp mediante "OpenStudio Inspector" y modificarlos por un cerramiento diferente. Este sería el caso de los muros en contacto con el terreno.

Una vez que se tienen todas las superficies de la vivienda con sus correspondientes cerramientos se deberían introducir los perfiles de uso de la vivienda. En este caso hay que introducir tanto las cargas eléctricas (las generadas por la iluminación y por los aparatos eléctricos) como las cargas generadas por las personas que ocupan la vivienda. OpenStudio divide la introducción de estas cargas en dos: el valor propio de la carga y su calendario. Siguiendo el Apéndice C del Documento Básico HE Ahorro de Energía tenemos los datos necesarios para cada una de las divisiones. Veamos por ejemplo como se introducirían las cargas relacionadas con los equipos eléctricos (Fig. 25).

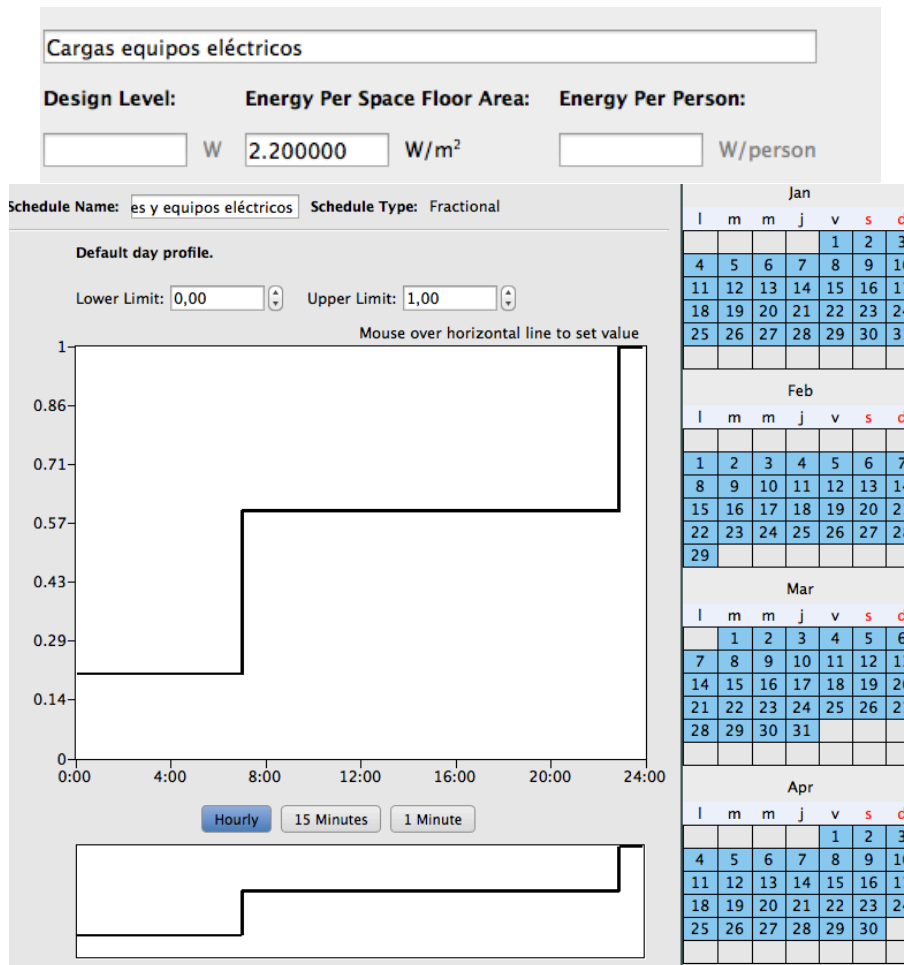


Fig 25. Valor de la carga eléctrica y calendario en OpenStudio.

Según el Apéndice del CTE tenemos que la carga máxima se tiene de 23 a 24 horas. Lo que se hace es en vez de crear 3 tipos de cargas para las 3 franjas horarias diferentes, se crea solo una que sería la máxima de $2,2 \text{ W/m}^2$ y después se hace un calendario fraccional donde el valor de 1 es el máximo, mientras que el valor de 0,2 representaría la franja horaria de 24h. a 7h. donde se tiene una carga de $0,44 \text{ W/m}^2$. Se tiene que realizar esto para cada de las cargas nombradas anteriormente.

Faltaría ahora introducir las condiciones que se desean en los espacios. En este caso se han introducido las condiciones que establecen en el CTE para las zonas habitables, en nuestro caso todas. Primero se establece la temperatura de consigna Alta ($^{\circ}\text{C}$). Como se ve en la Fig 26 se tiene que se han establecido unas temperaturas límites durante todos los días en el periodo entre el 1 de Junio y el 30 de Septiembre. En la que de 0h a 7h y de 23h a 24h la temperatura máxima sea de 27°C , de 16h a 23h sea de 25°C y se establece un límite alto (de 50°C) ya que no se tiene limitación en el periodo de 7h a 16h.

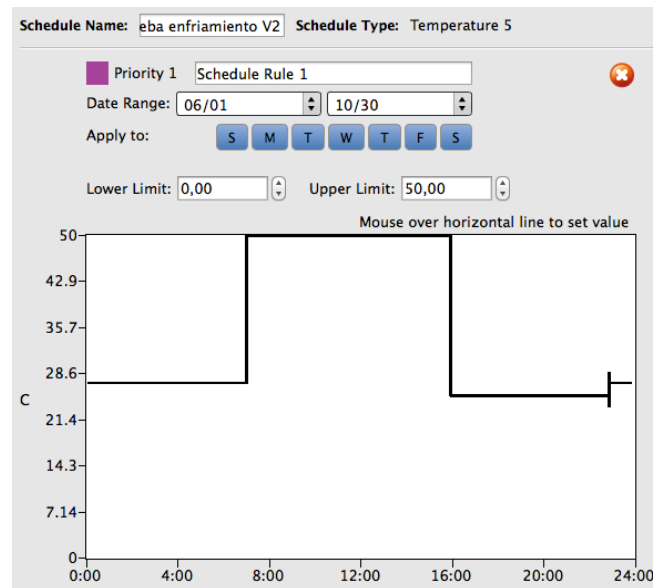


Fig 26. Temperatura de consigna alta

Y después se establece la temperatura de consigna Baja (°C)

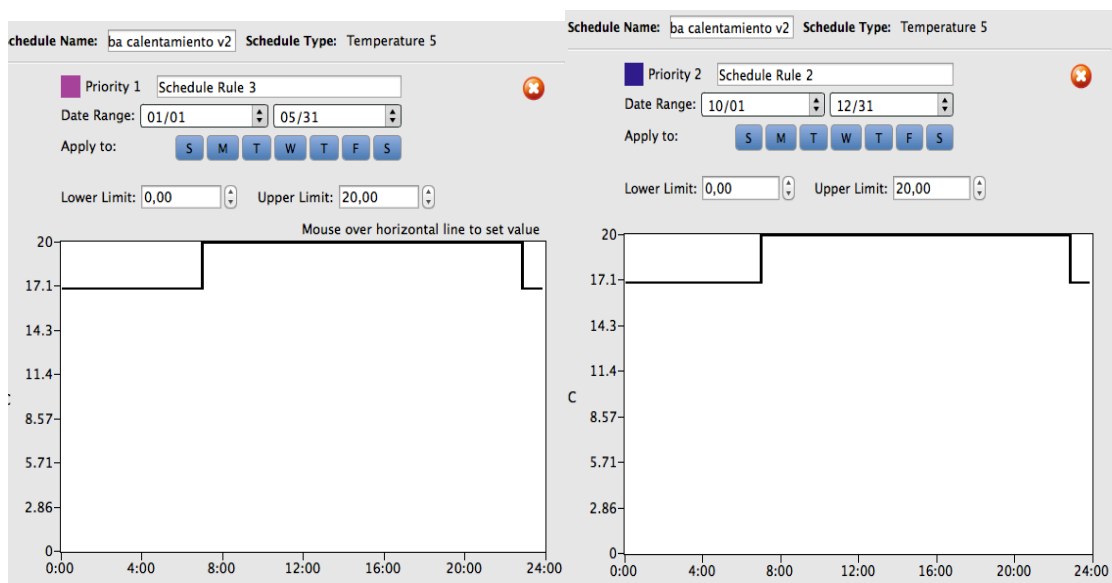


Fig 27. Temperatura de consigna baja

Donde hay que realizar dos calendarios aunque tengan la misma función ya que se reconocen dos periodos : del 1 de Enero al 31 de Mayo y del 1 de Octubre al 31 de Diciembre.

Con todo esto, según el propio tutorial/manual de OpenStudio, se podría realizar ya el estudio energético de la vivienda. Sin embargo, para que sea mas preciso habrá que contar con los puentes térmicos. OpenStudio no calcula, como ocurrirá en las otras dos herramientas, estos puentes térmicos por lo que habrá que introducirlos. Para ello hay que clasificar los puentes térmicos. Habrá que tener en cuenta los puentes térmicos tanto en las aberturas de las viviendas como en aquellos lugares donde haya una variación de la uniformidad de la construcción, generalmente en la unión de diferentes cerramientos.

Al tratarse de una vivienda sencilla se ha optado por utilizar el método simplificado especificado en el documento básico de puentes térmicos. Es por eso que se utilizan los mismos puentes térmicos que se usan en la herramienta LIDER-CALENAR (HULC). Se tiene por tanto que el valor de la transmitancia lineal ψ (W/mK) para los diferentes puentes térmicos es el siguiente :

- Unión solera con muro cerramiento = 0.14 W/mK
- Unión solera con muro de carga = 0.21 W/mK
- Forjado entre pisos = 0.28 W/mK
- Unión muro cerramiento con cubierta = 0.26 W/mK
- Ventana en fachada = 0.39 W/mK

El proceso de introducir los puentes térmicos en el estudio mediante de OpenStudio debería de realizarse siempre para que el resultado sea mas preciso, sin embargo se ha observado que la diferencia de introducirlos o no de esta forma es prácticamente inexistente ya que son pocos y representan una superficie de intercambio de calor muy pequeña respecto de la superficie total.

4.3. Archicad + Ecodesigner

La empresa húngara Graphisoft desarrolló el programa llamado Archicad orientado a la modelización de edificios mediante el proceso BIM. Además esta empresa inició una campaña llamada “Open BIM Program” con la función de facilitar la promoción global del concepto BIM para las nuevas edificaciones. Este programa le permite el usuario diseñar la vivienda desde el concepto hasta su edificación. Aunque el programa permite tanto trabajar mediante representaciones 2D como mediante representaciones 3D, su fuerte son las representaciones 2D. Además se pueden exportar planos en formato .DWG, .DXF, .IFC y del propio SketchUp. Cuenta con varios Plug-in capaces de hacer estudios estructurales, económicos o energéticos. En este caso trabajaremos con Ecodesigner, que es el Plug-in encargado de estudiar la demanda energética de la vivienda. Estos Plug-in vienen integrados en el propio programa, según el paquete que se haya comprado (ya que en este caso esta herramienta es de pago).

En este proyecto se ha trabajado con una versión de prueba, otorgada por Graphisoft, en su versión Archicad 19, es decir su última versión. Además se trabaja con la última versión de su Plug-in Ecodesigner.



Fig 28. Logos de Graphisoft Archicad 19 y Graphisoft Ecodesigner

La mejor forma de empezar a modelar la vivienda es creando la librería de materiales necesarios para crear los cerramientos y aberturas. Este proceso también se puede hacer durante y después de dibujar la vivienda pero a la hora de crear las diferentes plantas se representan directamente con la estructura de los cerramientos, con lo que si se crean inicialmente los cerramientos con sus materiales ayuda a la detección de posibles fallos en la modelización. De nuevo en esta herramienta no se cuenta con los cerramientos y materiales necesarios para el estudio de nuestra vivienda, por lo que habrá crearlos. A la hora de introducir dichos materiales y cerramientos se tienen varias formas, se pueden introducir a mano o se puede utilizar una librería .tif como por ejemplo la que se creó en el proyecto de OpenStudio. Además cuenta con un servidor en la nube llamado BIMCloud que se introdujo con el propósito de ayudar a la creación de proyectos entre varias personas. Lo que hace es que cualquier persona puede subir a esta nube los materiales que va utilizando para que otra persona lo pueda utilizar, y así trabajan al mismo tiempo.

En este caso se opta a crear de nuevo los materiales y cerramientos.

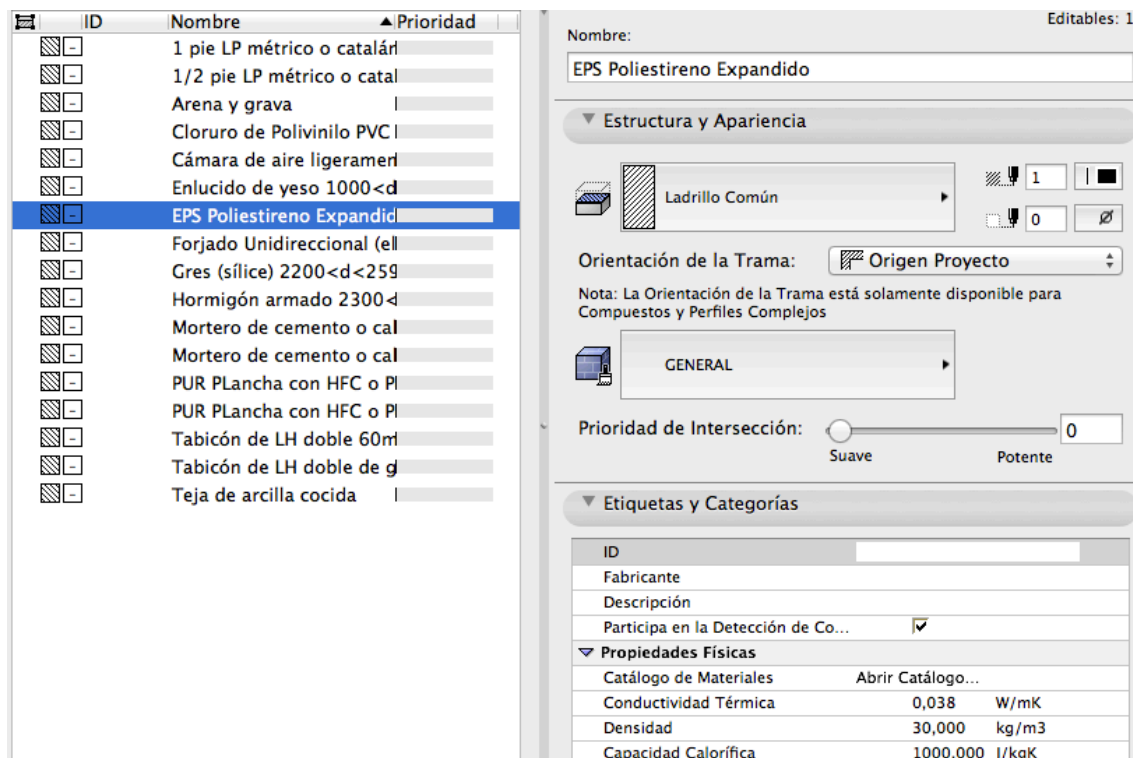


Fig 29. Lista materiales en Archicad

Como se ve en la Fig.29, se crean todos los materiales necesarios para el estudio donde nos piden la conductividad térmica, su densidad y su capacidad calorífica. Cuando se tienen los materiales necesarios de los cerramientos simplemente se crean seleccionando el espesor de cada uno de sus elementos.

Teniendo los cerramientos se puede pasar a dibujar la vivienda en 2D. Uno de los problemas de este programa es que no cuenta con la libertad que tiene por ejemplo SketchUp a la hora de modelar la vivienda. Entre otras cosas por ejemplo hay que definir las diferentes alturas de las plantas.

No.	Nombre	Cota de Nivel	Altura del Piso	
• 2	Primera Planta	5,58	4,16	<input checked="" type="checkbox"/>
• 1	Planta Baja	2,79	2,79	<input checked="" type="checkbox"/>
• 0	Sótano	0,00	2,79	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig 30. Altura de las diferentes plantas.

Como se ve hay que tener en cuenta tanto la altura libre como el cerramiento del forjado, ya que por ejemplo en la planta sótano tiene una altura libre de 2,4m y el forjado entre la planta sótano y la planta baja es de 0,39m que hay que tener en cuenta. Surgirá un problema en la planta primera con su altura al estar el tejado inclinado que se explicará posteriormente.

Teniendo las diferentes alturas de las plantas se puede pasar a crear cada una de ellas con su plano.

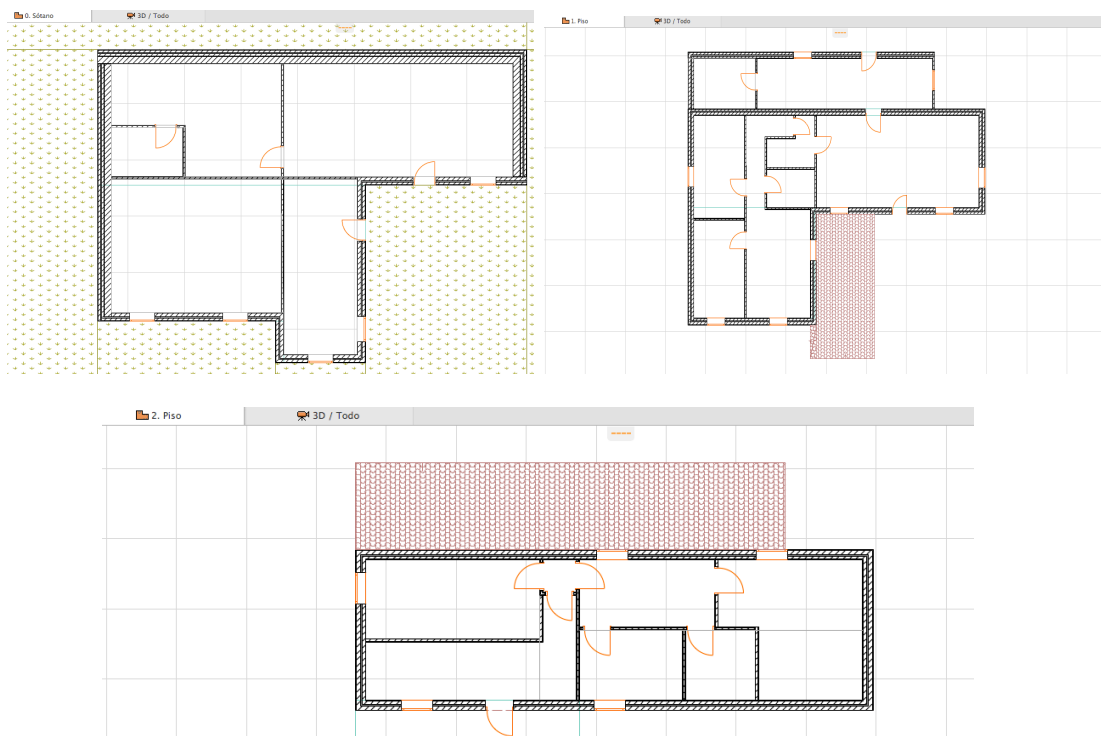


Fig 31. Planos en Archicad de la vivienda

Como se ve en la Fig 31 se representan los diferentes muros con sus propias dimensiones lo que ayuda al estudio. En OpenStudio por ejemplo se crean simplemente con una línea y se le asigna un cerramiento a dicha línea lo que puede surgir en algun fallo.

Lo que hace ahora el programa es crear la representación 3D a través de dichos planos y la altura que establecimos anteriormente. El problema surge entonces en la última planta ya que el programa la crea con la altura de la parte alta del piso. Lo que habrá que hacer es cortar los muros mediante una cubierta inclinada. Se hace de esta forma ya que el programa sí que permite crear cubiertas inclinadas con el ángulo que se necesite, que en nuestro caso es de 17,8°.

Para ello se introduce el forjado con esta inclinación para posteriormente cortar las partes sobrantes de los muros. En OpenStudio se solucionaría bajando simplemente los puntos finales de los muros.

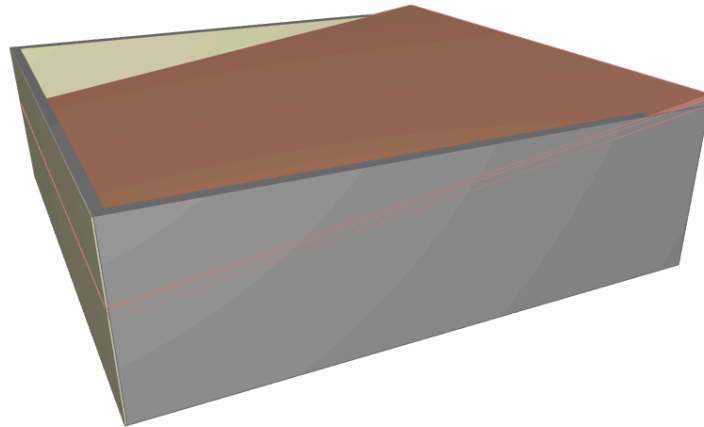


Fig 32. Corte del tejado con los muros

Teniendo ya la cubierta exterior de la vivienda faltaría introducir las diferentes puertas y ventanas, que en este caso se hace de forma simple introduciéndolas en los diferentes planos. En la parte de modelar faltaría simplemente introducir el terreno mediante una malla ya que para que Archicad sepa los cerramientos que están en contacto con el terreno se realiza con la malla.

El resultado tridimensional de la vivienda tendría la siguiente forma.

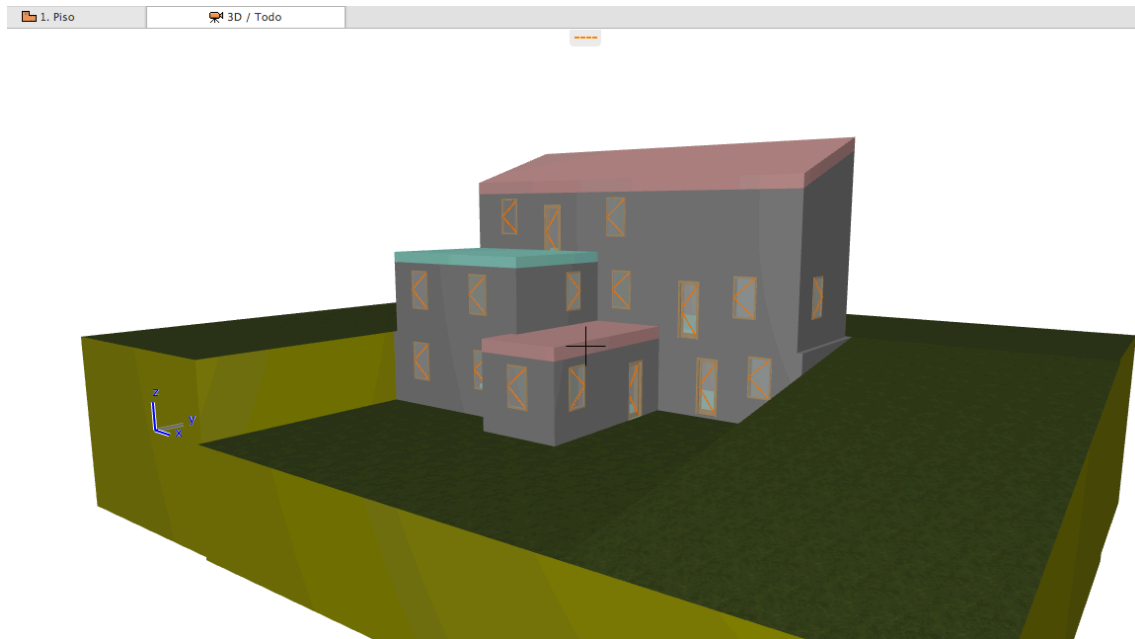


Fig 33. Render de la vivienda en Archicad

Una vez se tiene la vivienda modelada se puede pasar a la introducción de los datos específicos necesarios para el estudio energético. Todo esto se realiza desde el Plug-in Ecodesigner. Lo primero de todo será orientar la vivienda.

En este caso no se puede introducir la dirección y orientación a través de Google Maps, simplemente se puede comprobar si hemos introducido bien tanto su latitud como su longitud. En nuestro caso la fachada principal está a 60° del norte.

Ubicación del Proyecto

Nombre del Proyecto: Riglos (Huesca) [Editar...]

Dirección Completa: [Editar...]

Latitud: 42,34846656° N [Ciudades...]

Longitud: 0,72697190° O [Importar...]

Zona Horaria (UTC): (UTC+01:00) Hora estándar... [Exportar...]

Altitud (Nivel del Mar): 678,00 m

Norte del Proyecto: 60,00°

Nota: Cambiar la Ubicación del Proyecto afectará también a la posición del Sol. Abra el diálogo del Sol para cambiar su posición.

[Mostrar en Google Maps...]

Fig 34. Ubicación del proyecto Ecodesigner

Posteriormente habría que introducir los datos climáticos de la zona, en este aspecto el programa cuenta con dos maneras. Se pueden descargar directamente dichos datos climáticos a través del servidor de climatología de Strusoft o se pueden importar dichos datos climáticos. En este caso utilizamos la segunda forma para trabajar siempre con los mismos datos climáticos.

Además este programa cuenta con la opción de definir los alrededores de la vivienda. Con ello se evitaría modelar muros o edificaciones vecinas. Gracias a ello se puede definir la protección frente al viento de nuestra vivienda así como el sombreado. En este caso al tratarse de una vivienda aislada se puede decir que está desprotegido al viento en todas las zonas exteriores (el programa ya tiene en cuenta las características de la superficie con el mallado creado) además de que no hay ningún elemento que genere sombra al edificio.

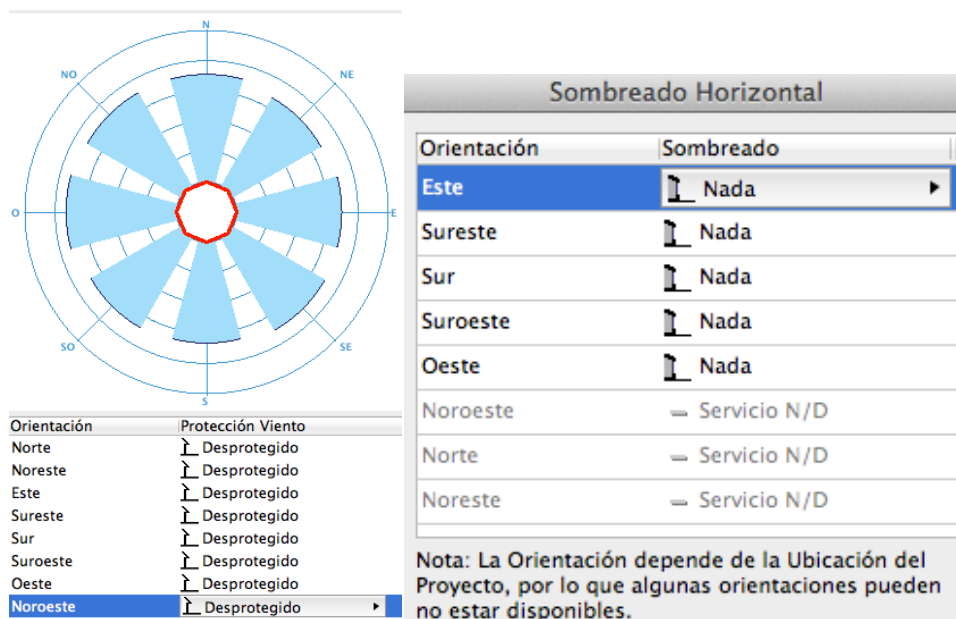


Fig 35. Protección frente al viento y sombreado

El estudio en Archicad se hace a través de bloques térmicos donde estos bloques a su vez vienen originados por zonas. Estas zonas se crean en los diferentes planos. A la hora de crearlos es suficiente con seleccionar la superficie de la habitación y el programa crea el volumen de la zona correspondiente por defecto a la altura de la planta.

El problema surge en la planta primera; al tratarse de un tejado inclinado hay un volumen de la habitación (la parte de arriba) que el programa no debería de estudiar. En este caso se trabajaría igual que a la hora de formar la cubierta de la vivienda, es decir cortando las partes superiores de las zonas.

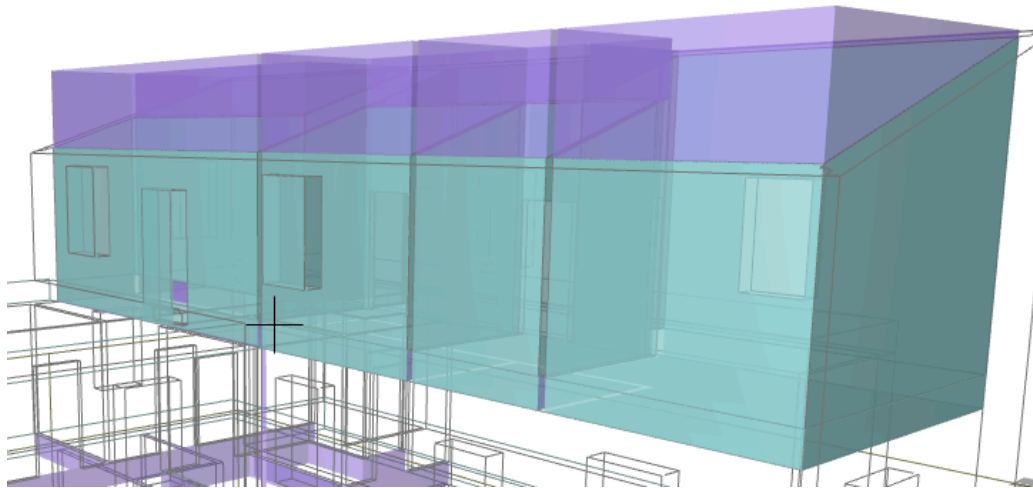


Fig 36. Render de las zonas de la planta primera

Este problema solo surge donde hay forjados inclinados, por lo que en la planta sótano y en la baja no se tendría problema.

Una vez se tienen todas las zonas que se va a estudiar (donde en este caso son todas las habitaciones de la vivienda, ya que son habitables) se pasa a introducirlas en bloques térmicos que son los que se utilizan para controlar el estudio. En este caso se han utilizado tres bloques térmicos correspondientes a cada uno de los pisos de la vivienda.

Falta por introducir las cargas internas de la vivienda así como las necesidades de la misma. En este programa esto se hace en la misma gráfica, en los llamados perfiles de operación.

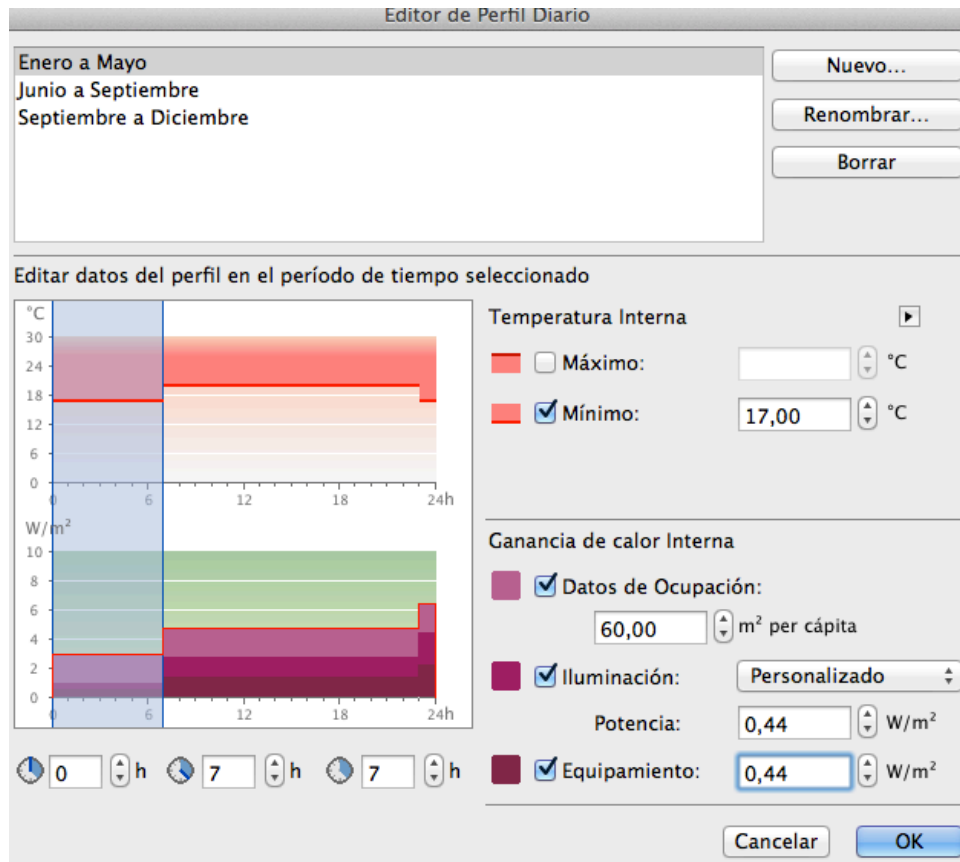


Fig 37. Perfil de operaciones de la vivienda

En esta figura se observan las dos gráficas que se tienen que introducir. La primera en la que relaciona la temperatura a lo largo del día se especifican los límites de temperatura que se desean para la zona. En este caso para el periodo correspondido entre Enero y Mayo se requiere tener una temperatura mínima de 17°C entre las 1h y las 7h, de 20°C entre las 7h y las 23h y de nuevo 17°C entre las 23h y las 24h. Es decir, la zona pintada de rojo es nuestra zona de confort deseada.

Mientras que en la gráfica inferior se han de introducir las cargas internas que afectan al estudio. En este caso se introducen 60 m² per cápita ya que se ha diseñado para que viva en ella una familia de 4 personas (para que así coincidan estos valores con los del CTE). Además se introduce la ganancia que se produce debido a la iluminación y al equipamiento. Esta ganancia se ha introducido siguiendo el CTE, es decir de 1h a 7h una ganancia de 0,44 W/m², de 7h a 23h una ganancia de 1,32 W/m² y en la última hora del día una ganancia de 2,2 W/m². Habría que hacer esto mismo para los tres periodos diferenciados : Enero a Mayo, Junio a Septiembre y de Octubre a Diciembre.

Con todo esto ya se puede pasar a realizar el estudio energético mediante Ecodesigner.

5. Informes

Con cada uno de estos programas se puede obtener de una forma u otra un informe energético mas o menos detallado en el que se obtenga la demanda energética de la vivienda.

Se pasa ahora a describir las diferentes salidas en los programas trabajados.

5.1 LIDER + CALENER (HULC)

Este programa está orientado a la certificación de eficiencia energética, y esto se nota a la hora de obtener un informe sobre el estudio energético de la vivienda.

En este caso se pueden obtener dos resultados, el primero en el que se comprueba el cumplimiento del HE1 del CTE y el segundo donde se obtiene la calificación energética de la vivienda a través del cálculo de consumos de la misma.

En este proyecto solo se utilizará el primero ya que en él se obtiene la demanda de calefacción y refrigeración de la vivienda estudiada, que en este caso es la siguiente:

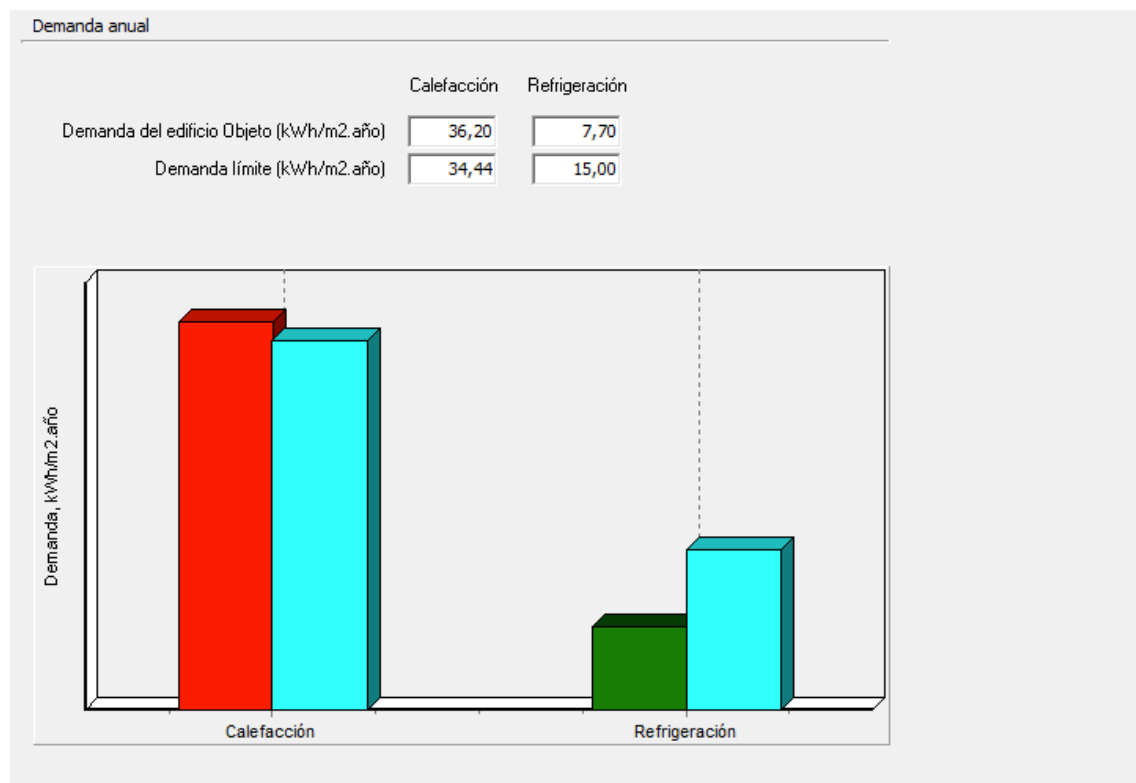


Fig 38. Resultados en LIDER-CALENER (HULC)

Como se ve, esta vivienda no cumple con los requisitos establecidos para esa zona climática. En el anexo 3 se proponen las medidas recomendadas a adoptar para poder cumplirlo.

Estos resultados se estudiarán posteriormente en el apartado 6 del proyecto comparándolos con los obtenidos con los otros dos programas.

5.2 SketchUp + OpenStudio + Energy⁺

En este caso SketchUp ya no se utiliza, y los resultados son devueltos a través de Energy⁺ y OpenStudio. Energy⁺ es el encargado de generar toda la información energética de la vivienda, mientras que OpenStudio simplemente lee esos datos y los utiliza para generar un informe.

A la hora de simular la vivienda en OpenStudio se puede establecer que información queremos que genere Energy⁺. Sin embargo hay que tener en cuenta que existe cierta información, denominada principal, que se genera siempre como por ejemplo la demanda de calefacción y refrigeración.

Entre la información que se puede generar con Energy⁺ está por ejemplo la temperatura a lo largo del año en las zonas habitables o la temperatura (tanto interior como exterior) de cada uno de los cerramientos. Esta información generada con Energy⁺ queda registrada en una base de datos .sql. El propio programa OpenStudio tiene un apartado donde se genera un informe mediante esta base de datos. En este informe se detalla mediante tablas y gráficos la información principal de la vivienda. Sin embargo tiene el problema de que al tratarse de una herramienta de EEUU los resultados vienen dados con otras unidades, como por ejemplo ft² para superficie o BTU para la energía. En la última actualización del programa OpenStudio, la 1.10.0, se ha introducido la opción de obtener otro informe energético donde no es mas que la representación de los valores principales de la base de datos a través de un archivo .html. Esta opción es mejor que la anterior ya que además de que se obtiene mucha mas información, se puede obtener en las unidades deseadas que en este caso serían m² y Kwh. El índice de la información que se puede obtener es el siguiente :

[Top](#)
[Annual Building Utility Performance Summary](#)
[Input Verification and Results Summary](#)
[Demand End Use Components Summary](#)
[Source Energy End Use Components Summary](#)
[Component Sizing Summary](#)
[Surface Shadowing Summary](#)
[Climatic Data Summary](#)
[Envelope Summary](#)
[Shading Summary](#)
[Lighting Summary](#)
[Equipment Summary](#)
[HVAC Sizing Summary](#)
[System Summary](#)
[Outdoor Air Summary](#)
[Object Count Summary](#)
[Energy Meters](#)
[Sensible Heat Gain Summary](#)
[Standard 62.1 Summary](#)
[LEED Summary](#)

Fig 39. Índice de la salida de OpenStudio

Como complemento, el paquete utilizado de OpenStudio 1.10.0 cuenta a su vez con el programa ResultsViewer. Este programa utiliza de nuevo el archivo .sql generado en Energy⁺ y tiene como función mostrar la información secundaria que se solicitó en OpenStudio. Se podría obtener por ejemplo una gráfica de la temperatura en una zona habitable a lo largo del año.

5.3 Archicad + Ecodesigner

En este caso se pueden elegir dos formas de salida de los resultados, la primera donde se obtienen los resultados en formato .xls (es decir para ser utilizados en Excel) y la segunda forma donde se crea un .pdf donde el programa hace un informe energético de la vivienda.

En formato .xls :

En total genera un archivo diferente por cada una de las zonas térmicas, en este caso se han generado tres archivos (sótano, planta baja y planta primera), y un archivo para el conjunto de la vivienda.

Los archivos .xls generados para cada una de las zonas térmicas cuentan con dos hojas. En la primera se encuentra la información sobre el área y volumen del bloque térmico, el valor U (W/m^2K) de las diferentes estructuras y aberturas de la zona, así como su área y espesor. La segunda hoja tiene información sobre el perfil de operación que se introdujo anteriormente, es decir se tiene para cada una de las horas del año las ganancias por iluminación, equipos y calorífica. Además se tiene el rango de temperaturas en el cual debe estar dicha zona. Esta segunda información no es muy útil ya que la hemos tenido que introducir anteriormente para hacer el proceso de cálculo, por lo que simplemente podría servir para comprobar que se introdujo todo correctamente.

El archivo .xls generado para el conjunto de la vivienda tiene 2 hojas, la primera llamada “Valores Clave de proyecto” y la segunda con el nombre “ Resultados Detallados – por Mes”.

En la primera se encuentra toda la información de la vivienda (ubicación, altura, datos climáticos), los valores U (W/m^2K) promedios y lo que interesa en este proyecto que es las cargas de diseño de calefacción y refrigeración demandadas por la vivienda.

En la segunda hoja se tienen desglosadas dichas demandas por mes.

En formato .pdf :

Se puede crear según las necesidades. Normalmente se utiliza para obtener los resultados de los archivos .xls en formato gráfico, sin embargo llama la atención que existen gráficas y tablas que no se pueden generar a través de la información de los archivos .xls.

En este apartado aparece la tabla donde se obtiene el día y la hora donde se obtienen los picos de calefacción y refrigeración, así como la opción de poder generar gráficas donde se vea, para cualquier día del año, la temperatura exterior y la interior resultante.

En el anexo 2 se pueden observar los reportes que proporciona Archicad + Ecodesigner para el ejemplo de estudio.

6. Resultados

Una vez obtenidos los diferentes informes de resultados para cada una de las herramientas se pueden comparar entre sí.

Lo primero que se va a comparar es la energía demandada al año por metro cuadrado, tanto de calefacción como de refrigeración, en la vivienda.

Tabla 5. Demandas de calefacción y refrigeración

	Demanda Calefacción (KWh/m ² año)	Desviación Calefacción	Demanda Refrigeración (KWh/m ² año)	Desviación Refrigeración
LIDER + CALENER	36,20		7,70	
SketchUp + OpenStudio + Energy ⁺	36,37	0,47%	8,05	4,55%
Archicad + Ecodesigner	43,55	20,30%	5,60	-27,27%

Observando la tabla se puede afirmar que el estudio realizado por SketchUp+OpenStudio+Energy⁺ obtiene una buena aproximación, ya que los resultados tanto de calefacción como de refrigeración son muy parecidos a los obtenidos por LIDER+CALENER.

Por otro lado tenemos que la demanda de calefacción con la herramienta de Archicad+Ecodesigner es mas elevada que en las dos otras herramientas, mientras que la demande de refrigeración es menor.

La mejor forma de poder estudiar estos datos es analizar dichas demandas anuales en periodos mensuales.

Tabla 6. Demanda de calefacción y refrigeración en Kwh mes a mes

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Calefacción	Archicad	2819,63	1876,07	1315,12	439,91	127,54	0,00	0,00
	OpenStudio	1445,25	1043,71	895,77	592,08	340,98	66,59	5,99
Refrigeración	Archicad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-201,60	-679,37
	OpenStudio	0,00	0,00	0,00	0,00	-33,64	-314,68	-643,35

		Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Calefacción	Archicad	0,00	0,00	253,79	1633,91	2735,78	11201,74
	OpenStudio	8,24	119,37	1209,99	1603,33	2024,23	9355,54
Refrigeración	Archicad	-430,94	-129,81	0,00	0,00	0,00	-1441,72
	OpenStudio	-666,59	-411,79	-0,71	0,00	0,00	-2070,76

En el lado de la refrigeración, se puede decir que los resultados son bastante parecidos (salvo en el mes de Septiembre donde sí que existe una gran variación). Sin embargo en lado de la calefacción, que dada la situación de la vivienda en España es

el aspecto mas importante, sí que se diferencian las demandas entre ambas herramientas.
Ayudándonos además de la representación gráfica se analizará el porqué de estas variaciones.

Donde gráficamente quedaría para la refrigeración :

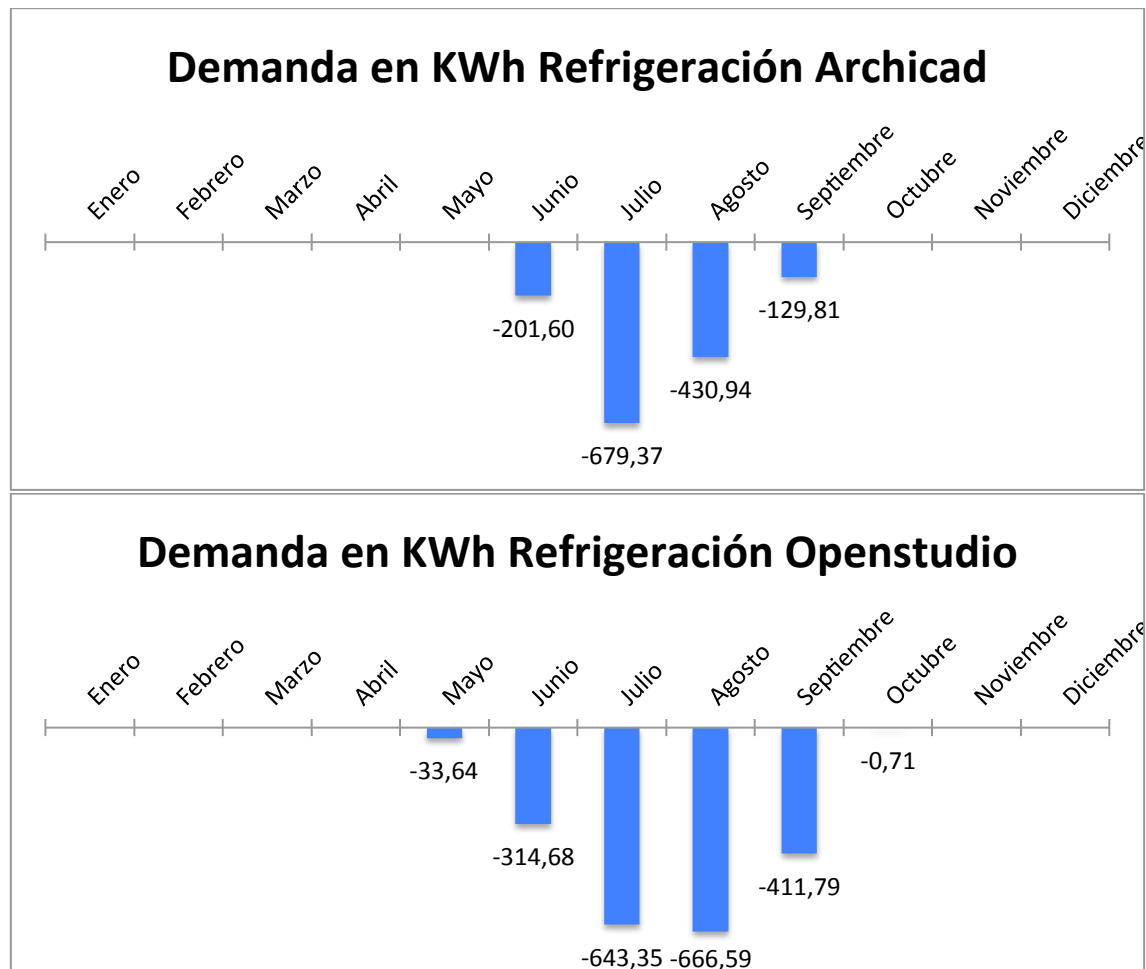


Fig 40. Demanda de refrigeración en KWh mediante las herramientas BIM

Como era de esperar, son en los meses de verano donde se obtiene una demanda de refrigeración en la vivienda. Estos meses (y más en esta zona viendo el archivo de los datos climáticos de la zona) es cuando existe una mayor radiación solar.

Este aspecto es importante ya que como se comenta en el Anexo 4 la radiación es un aspecto importante a la hora de calcular la demanda de refrigeración. Como se verá en dicho anexo no es posible justificar estas diferencias ya que se desconoce en detalle los modelos de transmisión de calor empleados en cada uno de los casos, sobretodo para el estudio realizado por Archicad.

Y gráficamente para la calefacción queda de la siguiente manera :

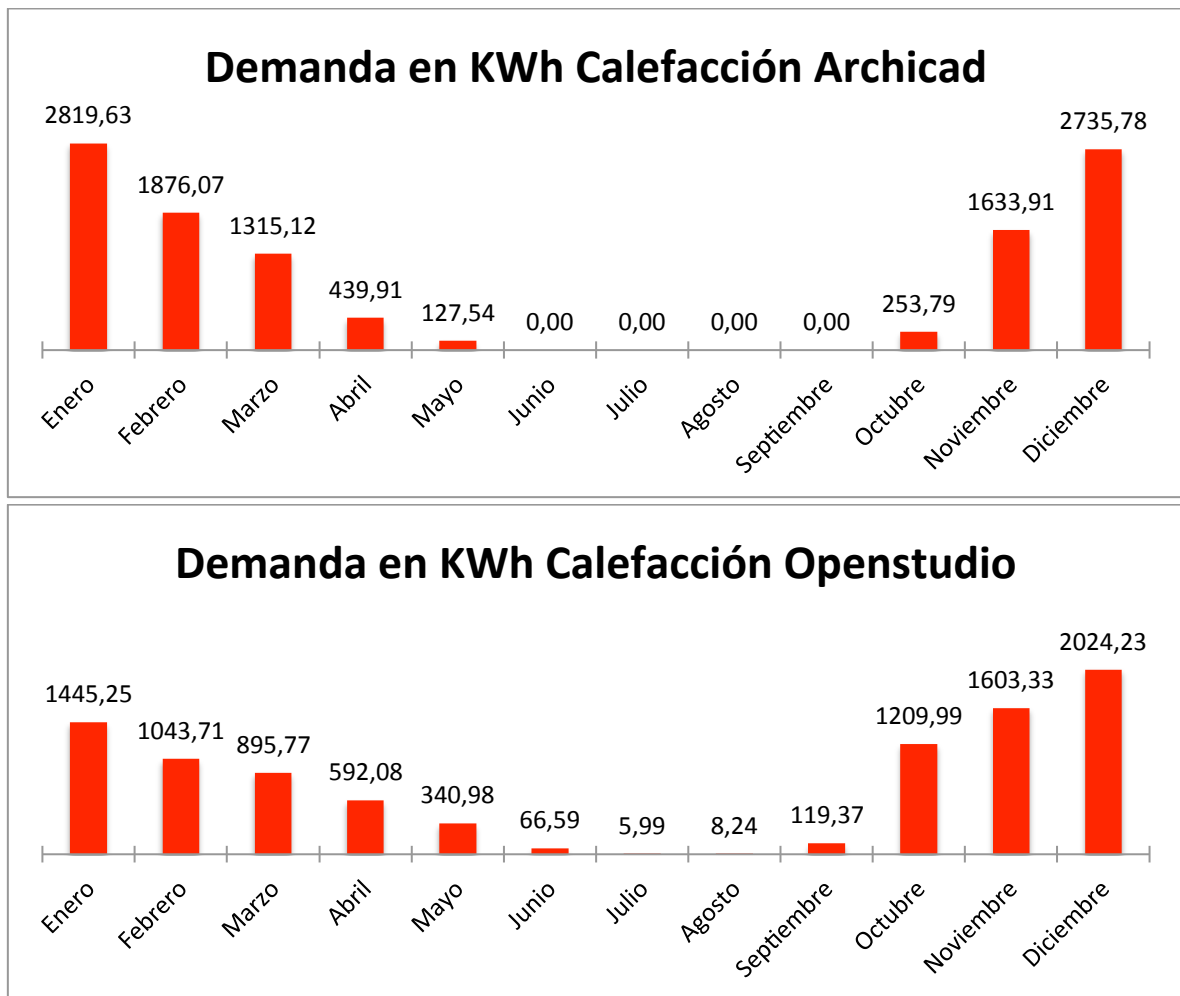


Fig 41. Demanda de calefacción en KWh mediante las herramientas BIM

Es aquí donde los resultados muestran mayores diferencias. Lo que mas llama la atención es la elevada demanda que se obtiene en Archicad tanto en los meses de enero como diciembre en comparación con OpenStudio. Además en OpenStudio se obtiene una gran demanda de calefacción para el mes de octubre y se obtiene demanda para los meses entre junio y septiembre (aunque sea escasa) cosa que no se obtiene en el estudio de Archicad. Con los datos climáticos que se utilizan es más fácil que se obtenga una demanda de calefacción en esos meses a que no se obtenga, ya que en esos datos climáticos se tienen algunos días fríos en los cuales es necesario calefactar para llegar a los límites de los perfiles de uso que se introdujeron en ambos programas.

Para poder entender el porque de las diferencias entre ambas herramientas hay que explicar las diferencias de cálculo entre ellas.

Hay que señalar que OpenStudio utiliza Energy⁺, un motor de cálculo reconocido mundialmente y cuya forma de cálculo se puede estudiar en los diferentes manuales, mientras que en el motor de cálculo de ArchiCad es Ecodesigner, del que no se conoce explícitamente la forma de cálculo, simplemente se sabe que está basado en el motor de cálculo DOE2.2. Para este estudio se asumirá que el motor de Archicad no es muy diferente al de DOE2.2.

Este motor de cálculo fue producido por James J. Hirsch & Associates en colaboración con el laboratorio nacional Lawrence Berkeley de Estados Unidos.

Veamos entonces algunas diferencias entre ambos motores de cálculo.

Tabla 7. Diferencias en los motores de cálculo

Energy⁺	Ecodesigner (basado en DOE2.2)
Posibilidad de simulación cada 10 minutos	Simulación horaria
Las cargas térmicas se calculan en base a un determinado paso de simulación y después se pasa a simular la instalación. Si en un paso de simulación no se ha podido hacer frente a una demanda se recoge en el siguiente paso horario.	Sólo se calculan las cargas en la base horaria, es decir si una demanda no se ha podido satisfacer no se tiene en cuenta en la siguiente franja horaria.
Permite obtener la temperatura superficial de los cerramientos	No permite obtener la temperatura superficial de los cerramientos
Tienen en cuenta la reacción temporal de los sistemas	Asume que los sistemas y equipos reaccionan instantáneamente

Como se observa los motores de cálculo realizan de diferente forma los cálculos para la demanda de energía. En estos métodos toma mucha importancia matemática la radiación, por ello se ha hecho un estudio en el Anexo 4 donde se ve la importancia que tiene la radiación en el cálculo energético.

Si bien, el usuario a la hora de hacer un estudio energético con alguna de estas herramientas no presta atención a la forma en la que los motores de cálculo energético trabajan si no que buscan que los resultados se asemejen a la realidad y las herramientas sean prácticas.

Con los resultados obtenidos se podría decir que ambas herramientas simulan bien la demanda energética de la vivienda global aun existiendo discrepancias en los resultados.

En todo caso me decantaría por la herramienta que utiliza Energy⁺ como motor de cálculo al tener una mayor implantación y reconocimiento.

7. Conclusiones

En el presente proyecto, siguiendo los objetivos propuestos, se ha realizado el estudio energético de una vivienda unifamiliar aislada, desde la introducción de los datos hasta su salida, mediante las herramientas informáticas SketchUp + OpenStudio + Energy⁺ y Archicad + Ecodesigner que hacen uso de la tecnología BIM.

Tras la realización de cada uno de los apartados del proyecto se pueden extraer las siguientes conclusiones :

- Se ha realizado el modelo completo de una vivienda unifamiliar aislada mediante dos herramientas que hacen uso de la tecnología BIM (SketchUp + OpenStudio + Energy⁺ y Archicad + Ecodesigner).
- Se han comparado los valores de demanda energética obtenida con ambas herramientas, tomando como referencia los resultados obtenidos mediante el programa LIDER-CALENER (HULC).
Al utilizar dos motores de cálculo diferentes no se obtienen los mismos resultados. La principal discrepancia se da en la distribución mensual de la demanda de calefacción en los meses de enero, octubre y diciembre. Además de la diferencia de demanda de refrigeración en los meses de junio y septiembre. Los valores anuales de demanda son similares en ambos casos, al no disponerse de información en detalle sobre el proceso de cálculo de cada modelo no es posible entrar en mayor detalle.
- Desde el punto de vista del usuario ambas herramientas resultan adecuadas para modelar viviendas. Sin embargo, la herramienta que utiliza el motor de cálculo Energy⁺ es mas potente y ofrece unos resultados mas precisos y contrastados.
- Se ha evaluado el proceso de introducción y de salida de datos, donde a modo de resumen se analiza en la tabla 8.

Tabla 8. Comparativa de herramientas

		SketchUp + OpenStudio + Energy ⁺	Archicad + Ecodesigner
	Localización	Mediante Google Maps	Mediante coordenadas
Introducción de datos		Tiene libertad a la hora de generar la geometría al tratarse de un software de modelado en 3D	Tiene ciertas restricciones al no tratarse de un software de modelado en 3D. En este caso se ha visto el problema a la hora de generar la cubierta inclinada
	Cerramientos	Es poco intuitivo ya que en el modelado de SketchUp no se puede ver la forma y espesor del cerramiento en tiempo real si no que solo se ve una línea	Más intuitivo que en OpenStudio al poderse ver el espesor del cerramiento en los planos de la vivienda
	Datos climáticos	En formato .epw y .ddy . Hay que incluirlos	En formato .epw . Se pueden tanto descargar desde su servidor como incluirlos
	Perfiles de uso	Gran libertad a la hora de introducir los perfiles de uso, lo que hace que sea mas complicado introducirlos	Mayor facilidad a la hora de introducir los perfiles de uso. Sin embargo no tiene tantas posibilidades
	Puentes térmicos	Hay que introducirlos manualmente	Los calcula la herramienta
	Ventilación	Se introducen a la vez que los perfiles de uso	Poca posibilidad a la hora de especificar la ventilación de los recintos
Salida de datos	Formatos de salida	Se obtiene una base de datos en formato .sql. Por ello se puede tratar con numerosos programas. OpenStudio genera informes a través de dicha base de datos	Se obtiene en formato .xls y .pdf
	Información	Obtiene una gran cantidad de información gracias al motor de cálculo Energy ⁺	Escasez de resultados. Es posible que no sean suficientes si se quiere hacer un estudio mas detallado

Con el fin de continuar con el trabajo realizado se proponen ciertos trabajos futuros que se pueden realizar a raíz de este proyecto :

- Profundizar en los modelos de cálculo de ambas herramientas. Este proceso será más sencillo en Energy⁺ que en Ecodesigner al disponerse de mayor información de su método de cálculo.
- Utilizar este modelo de vivienda con diferentes herramientas que también hacen uso de la tecnología BIM como serían Cype o Revit con la intención de comparar sus resultados con las herramientas utilizadas en este proyecto.

8. Referencias

- [1] <http://www.pewglobal.org/files/2015/07/Pew-Research-Center-Global-Threats-Report-TOPLINE-FOR-RELEASE-July-14-2015.pdf>
- [2] IDAE, *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020. 2ª Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España*, 2011
- [3] Página del Código Técnico de la Edificación CTE : <http://www.codigotecnico.org>
- [4] Climas para el cumplimiento del CTE en formato EPW : <http://blog.rvburke.com/2015/08/03/climas-para-el-cumplimiento-del-cte-en-formato-epw-energyplus-weather-format-parte-2/>
- [5] IDAE, *Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios*, Nov. 2007
- [6] Página del software Archicad : <http://www.graphisoft.com/archicad/>
- [7] Página del software OpenStudio : <https://www.openstudio.net>
- [8] Página del software SketchUp : <https://www.sketchup.com/es>
- [9] IDAE, *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020. 2ª Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España*, 2011
- [10] A. Jonsson, A. Ross, *Evaluation of control strategies for different smart window combinations using computer simulations*, *Solar Energy*, 2010, pp. 1-9.
- [11] K. Yoshimura, Y. Yamada, M. Okada, *Optical switching of Mg-rich Mg-Ni alloy thin films*, *Applied Physics Letters* 81, 4709, 2002.
- [12] VIP Energy software homepage : <http://www.strusoft.com/index.php/en/products/vip-energy>
- [13] Botey y Bassols, Xavier, *The use of heat transfer functions for heat flow computation through multilayer walls*, Jan 2013
- [14] Z. Dandan, H. Tianzhen, Y. Da , *A detailed Comparison of Three Building Energy Modeling Programs : Energyplus, DeST, and DOE 2.1 E*, Tsinghua University, China
- [15] A. Simge, *A Comparison of EnergyPlus to DOE-2.1E: Multiple Cases Ranging from a Sealed Box to a Residential Building*, Texas A&M University
- [16] J. Andreas, R. Arne, Y. Yamada, *Energy simulations on switchable mirrors – comparisons between three simulation tools*, Uppsala University, Sweden
- [17] Página del Código Técnico de la Edificación CTE : <http://www.codigotecnico.org>



ANEXOS

Índice de anexos

Anexo 1. Características de los cerramientos _____	Pág. 47
1.1 Sistema envolvente del edificio _____	Pág. 47
1.1.1 Fachadas _____	Pág. 47
Muro de cerramiento	
Muro de carga	
1.1.2 Suelos _____	Pág. 48
Forjado Sanitario o solera	
1.1.3 Cubierta _____	Pág. 49
Tejado	
1.1.4 Huecos verticales _____	Pág. 50
Ventanas	
Puertas	
1.2 Sistemas de compartimentación _____	Pág. 50
1.2.1 Particiones verticales _____	Pág. 50
Tabiques interiores	
1.2.2 Forjados entre pisos _____	Pág. 51
Forjado, suelo de gres	
1.2.3 Huecos verticales interiores _____	Pág. 51
Puertas	
1.3 Materiales utilizados _____	Pág. 52
Anexo 2. Informe Archicad en formato PDF _____	Pág. 53
Anexo 3. Solución para el cumplimiento del CTE _____	Pág. 57
Anexo 4. Estudio de la importancia de la radiación en las herramientas _____	Pág. 58

Índice de figuras

Fig 1. Muro de cerramiento	Pág. 47
Fig 2. Muro de carga	Pág. 48
Fig 3. Forjado sanitario o solera	Pág. 49
Fig 4. Tejado	Pág. 49
Fig 5. Tabiques interiores	Pág. 50
Fig 6. Suelo de gres	Pág. 51
Fig 7. Relación entre la transmitancia con el ancho de cámara, obtenida del IDEA	Pág. 57
Fig 8. Habitación de estudio	Pág. 58

Índice de tablas

Tabla 1. Listado de materiales	Pág. 52
Tabla 2. Estudio sin ventana	Pág. 59
Tabla 3. Estudio con ventana	Pág. 60

ANEXO 1. Características de los cerramientos

La vivienda consta de 3 plantas que son el sótano, la planta baja y la primera planta. Cada planta cuenta con diferentes dimensiones, que serían :

- Sótano : 100.68 m² de superficie útil.
- Planta baja : 108.18 m² de superficie útil.
- Primera planta : 54.76 m² de superficie útil.

Lo que hace que la vivienda tenga un total de 263,62 m² útiles.

Se pasa ahora a caracterizar los diferentes cerramientos de la vivienda.

1.1 Sistema Envolvente del edificio

1.1.1 Fachadas

Muro de cerramiento

Listado de capas :

1- Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1450<d<1600	2 cm
2- 1/2 pie LP métrico o catalán 80mm<G<100mm	12 cm
3- Cámara de aire ligeramente ventilada	1 cm
4- EPS Poliestireno expandido (0,037 W/mK)	8 cm
5- Tabicón de LH doble (60 mm<E<90mm)	9 cm
6- Enlucido de yeso 1000<d<1300	2 cm
ESPESOR TOTAL	34 cm

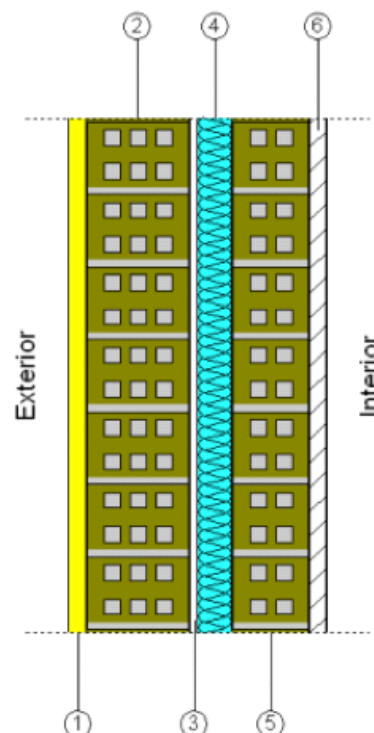


Fig 1. Muro de cerramiento

Muro de carga

Listado de capas :

1- Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	2 cm
2- 1 pie LP métrico o catalán $80\text{mm} < G < 100\text{mm}$	24 cm
3- Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	2 cm
4- Cámara de aire ligeramente ventilada	7 cm
5- EPS Poliestireno Expandido ($0,037 \text{ W/mK}$)	8 cm
6- Tabicón de LH doble Gran Formato $60\text{mm} < E < 90\text{mm}$	9 cm
7- Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	2 cm
ESPESOR TOTAL	54 cm

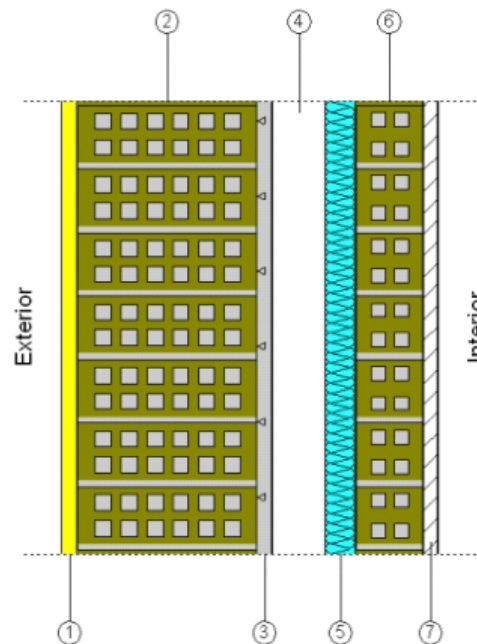


Fig 2. Muro de carga

1.1.2 Suelos

Forjado Sanitario o solera

Listado de capas :

1- Gres (sílice) $2200 < d < 2590$	2 cm
2- Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	6 cm
3- EPS Poliestireno Expandido ($0,037 \text{ W/ m}^2\text{K}$)	8 cm
4- Cloruro de polivinilo (PVC)	1 cm
5- Hormigón armado $2300 < d < 2500$	40 cm
6- Arena y grava $1700 < d < 2200$	20 cm
ESPESOR TOTAL	77 cm

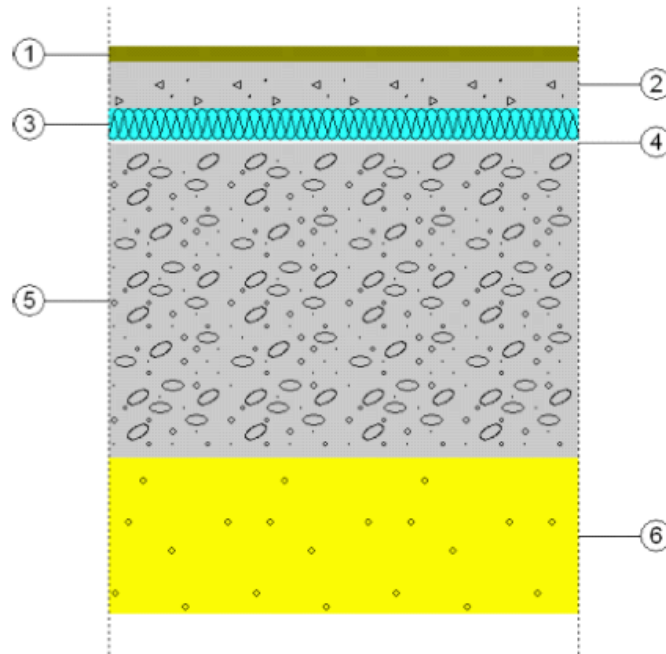


Fig 3. Forjado sanitario o solera

1.1.3 Cubierta Tejado

Listado de capas:

1- Teja de arcilla cocida	2 cm
2- Cloruro de polivinilo (PVC)	2 cm
3- Cámara de aire	8 cm
4- EPS Poliestireno Expandido (0,037 W/mK)	8 cm
5- Forjado unidireccional (elemento resistente)	25 cm
6- PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Impermeable a gases (0,025 W/mK)	2 cm

ESPESOR TOTAL 47 cm

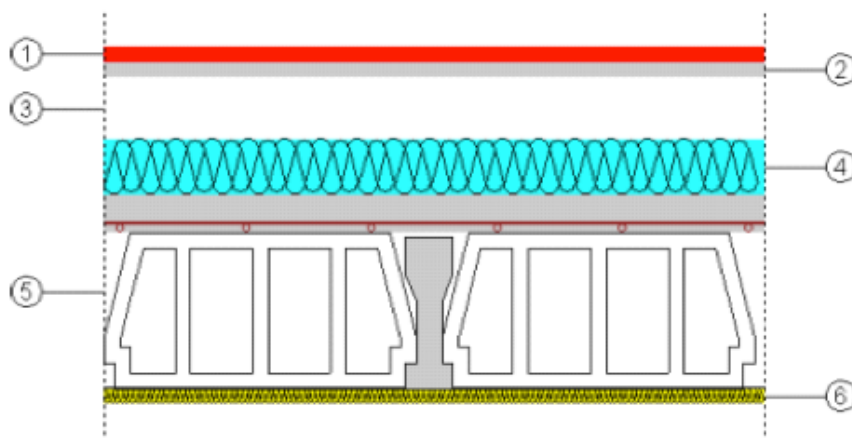


Fig 4. Tejado

1.1.4 Huecos verticales Ventanas

Las ventanas tienen una dimensión de :

- Alto = 1000 mm
- Largo = 1050 mm

Están formadas por vidrio doble (4-12-4) sin tratamiento cuya transmitancia térmica es de $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Los marcos de las ventanas son de madera de densidad baja cuya transmitancia térmica es de $U = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Puertas

Las puertas exteriores tienen una dimensión de :

- Alto = 2110 mm
- Ancho = 850 mm
- Espesor = 45 mm

Cuentan con una transmitancia térmica de $U = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$

1.2 Sistemas de compartimentación

1.2.1 Particiones verticales Tabiques interiores

Listado de capas :

1- Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	1,5 cm
2- Tabicón de LH doble $60\text{mm} < E < 90\text{mm}$	7 cm
3- Enlucido de yeso $1000 < d < 11300$	1,5 cm
ESPESOR TOTAL	10 cm

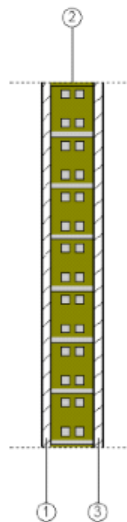


Fig 5. Tabiques interiores

1.2.2 Forjado entre pisos Forjado, suelo de gres

Listado de capas :

1- Gres (sílice) 2200<d<2590	2 cm
2- Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1250	4 cm
3- EPS Poliestireno Expandido (0,027 W/mK)	4 cm
4- Forjado unidireccional (Elemento resistente)	25 cm
5- PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Permeable a gases (0,03W/mK)	2 cm
6- Enlucido de yeso 1000<d<1300	2 cm
ESPESOR TOTAL	39 cm

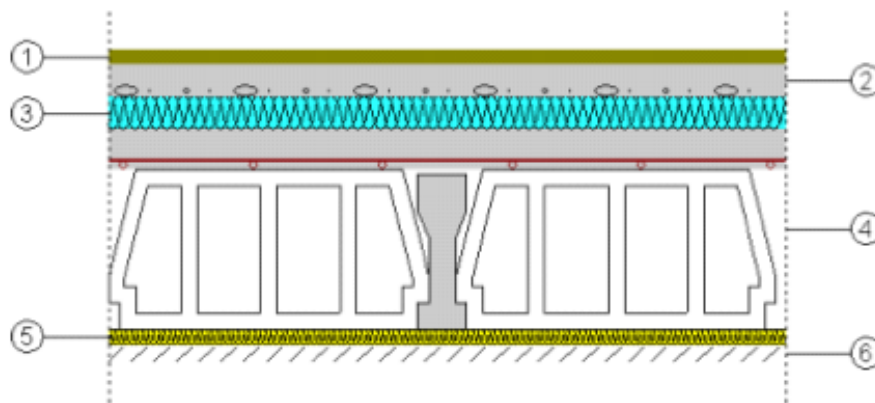


Fig 6. Suelo de gres

1.2.3 Huecos verticales interiores Puertas

Las puertas interiores tienen una dimensión de :

- Alto = 2110 mm
- Ancho = 850 mm
- Espesor = 35 mm

Cuentan con una transmitancia térmica de $U = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$

1.3. Materiales utilizados

Los materiales utilizados en los diferentes cerramientos son los siguientes.

Tabla 1. Listado de materiales

Material	e (cm)	ρ (Kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp(J/K gK)	RT (m ² K/ W)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1250	4	1125	0,55	1000	0,0727
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1250	6	1125	0,55	1000	0,109
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1450<d<1600	2	1525	0,8	1000	0,025
1/2 pie LP métrico o catalán 80mm<G<100mm	12	900	0,512	1000	0,234
EPS Poliestireno Expandido	4	30	0,0375	1000	1,07
EPS Poliestireno Expandido	7	30	0,0375	1000	1,87
Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	7	930	0,432	1000	0,162
Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	9	930	0,432	1000	0,208
Enlucido de yeso 1000<d<1300	1,5	1150	0,57	1000	0,0263
Enlucido de yeso 1000<d<1300	2	1150	0,57	1000	0,0351
Gres (sílice) 2200<d<2590	2	2395	2,3	1000	0,0087
Cloruro de polivinilo (PVC)	0,5	1390	0,17	900	0,0294
Hormigón armado 2300 <d<2500	40	2400	2,3	1000	0,0087
Arena y grava 1700<d<2200	20	1450	2	1050	0,1
Teja de arcilla cocida	2	2000	1	800	0,02
Cloruro de polivinilo (PVC)	2	1390	0,17	900	0,118
PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Impermeable a gases 0.025W/mK	2	45	0,025	1000	0,8
PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Impermeable a gases 0.03 W/mK	2	45	0,03	1000	0,667

Abreviaturas utilizadas			
e	Espesor (cm)	Cp	Calor específico (J/KgK)
ρ	Densidad (Kg/m ³)	RT	Resistencia térmica (m ² K/W)
λ	Conductividad (W/mK)		

ANEXO 2. Informe Archicad en formato PDF

Evaluación energía vivienda Riglos

[Número de Proyecto] Riglos (Huesca)

Valores Clave

Datos generales del proyecto

Nombre Proyecto:	Riglos (Huesca)
Ubicación Ciudad:	
Latitud:	42,35° N
Longitud:	0,73° O
Altitud:	667,00 m
Origen de Datos Climáticos:	zonaD2.epw
Fecha de Evaluación:	03/04/2016 17:04:44

Datos de geometría del edificio

Área bruta de la planta:	312,52	m²
Área de Suelo Tratado:	255,74	m²
Área del Envoltente Exterior:	658,79	m²
Volumen ventilado:	746,36	m³
Ratio acristalamiento:	3	%

Datos de rendimiento de la estructura

Infiltración a 50Pa:	3,88	AAH
----------------------	------	-----

Coefficientes de transfer.

Promedio Edificio Entero:	0,52
Pavimentos:	0,40 - 0,40
Externo:	0,25 - 2,73
Subterráneo:	--
Aberturas:	2,00 - 3,41

Valor U [W/m²K]

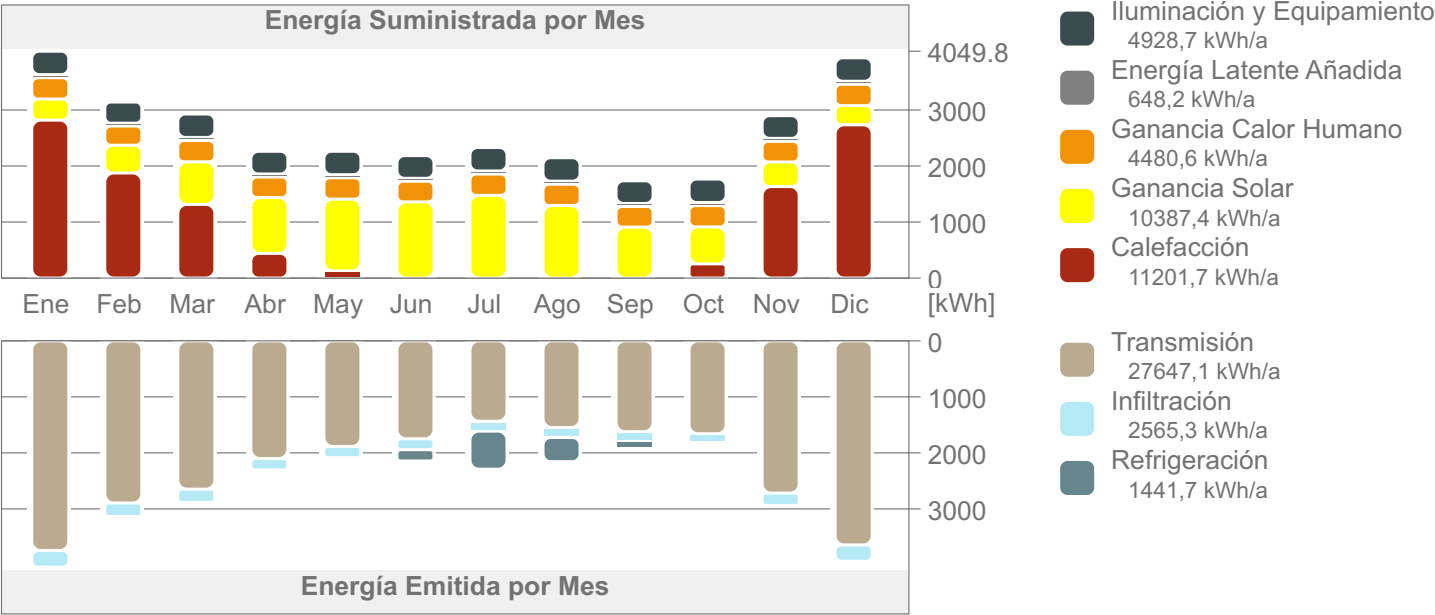
Valores Anuales Específicos

Energía calorífica Neta:	43,80	kWh/m²a
Energía refrigerante Neta:	5,64	kWh/m²a
Energía Neta Total:	49,44	kWh/m²a
Consumo de Energía:	68,71	kWh/m²a
Consumo de Combustible:	68,71	kWh/m²a
Energía Primaria:	57,82	kWh/m²a
Coste Combustible:	38,54	Euros/m²a
Emisión CO ₂ :	4,16	kg/m²a

Días-Grado

Calefacción (HDD):	3183,85
Refrigeración (CDD):	1493,65

Balance Energético del Proyecto



Bloques Térmicos

Bloque Térmico	Zonas Asignado(a)	Perfil de Operación	Área Bruta de la m²	Volumen m³
001 Sótano	5	Residencial	123,42	280,05
002 Planta Baja	7	Residencial	121,06	278,93
003 Planta Primera	7	Residencial	68,04	187,38
Total:	19		312,52	746,36

001 Sótano - Valores Clave

Datos de la Geometría

Área bruta de la planta:	123,42	m ²
Área suelo tratado	100,92	m ²
Área de estruct. compleja:	232,31	m ²
Volumen ventilado:	280,05	m ³
Ratio acristalamiento:	2	%

Temperatura Interna

Min. (07:00 Feb 15):	15,68	°C
Media Anual:	23,32	°C
Max. (16:00 Jul 21):	33,32	°C

Horas de carga no satisfechas

Calefacción:	135	hrs/a
Refrigeración:	0	hrs/a

Coeficientes de transfer.

Pavimentos:	0,40 - 0,40
Externo:	0,25 - 0,46
Subterráneo:	-
Aberturas:	2,00 - 3,14

Valor U [W/m²K]

Provisiones Anuales

Calefacción:	4001,19	kWh
Refrigeración:	339,31	kWh

Picos de Carga

Calefacción (08:00 Feb 15):	5,03	kW
Refrigeración (19:00 Jul 21):	3,33	kW

002 Planta Baja - Valores Clave

Datos de la Geometría

Área bruta de la planta:	121,06	m ²
Área suelo tratado	100,33	m ²
Área de estruct. compleja:	252,60	m ²
Volumen ventilado:	278,93	m ³
Ratio acristalamiento:	4	%

Temperatura Interna

Min. (06:00 Dic 26):	15,00	°C
Media Anual:	23,24	°C
Max. (16:00 Jul 21):	35,22	°C

Horas de carga no satisfechas

Calefacción:	172	hrs/a
Refrigeración:	26	hrs/a

Coeficientes de transfer.

Pavimentos:	-
Externo:	0,25 - 2,73
Subterráneo:	-
Aberturas:	2,00 - 3,16

Valor U [W/m²K]

Provisiones Anuales

Calefacción:	4661,62	kWh
Refrigeración:	717,63	kWh

Picos de Carga

Calefacción (08:00 Feb 15):	6,31	kW
Refrigeración (18:00 Jul 21):	4,95	kW

003 Planta Primera - Valores Clave

Datos de la Geometría

Área bruta de la planta:	68,04	m ²
Área suelo tratado	54,49	m ²
Área de estruct. compleja:	173,88	m ²
Volumen ventilado:	187,38	m ³
Ratio acristalamiento:	3	%

Temperatura Interna

Min. (06:00 Ene 13):	15,00	°C
Media Anual:	23,35	°C
Max. (16:00 Jul 29):	35,00	°C

Horas de carga no satisfechas

Calefacción:	165	hrs/a
Refrigeración:	23	hrs/a

Coeficientes de transfer.

Pavimentos:	-
Externo:	0,25 - 1,74
Subterráneo:	-
Aberturas:	2,00 - 3,41

Valor U [W/m²K]

Provisiones Anuales

Calefacción:	2538,93	kWh
Refrigeración:	384,78	kWh

Picos de Carga

Calefacción (08:00 Feb 15):	3,58	kW
Refrigeración (18:00 Jul 29):	2,67	kW

Datos de Diseño HVAC

Bloque Térmico	Demanda de		Demanda de		Interno	
	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
001 Sótano	4001	5.0 08:00 Feb 15	339	3.3 19:00 Jul 21	15.7 07:00 Feb 15	33.3 16:00 Jul 21
002 Planta Baja	4661	6.3 08:00 Feb 15	717	5.0 18:00 Jul 21	15.0 06:00 Dic 26	35.2 16:00 Jul 21
003 Planta Primera	2538	3.6 08:00 Feb 15	384	2.7 18:00 Jul 29	15.0 06:00 Ene 13	35.0 16:00 Jul 29
Todos los Bloques Térmicos:	11201	14.9 08:00 Feb 15	1441	10.8 18:00 Jul 29		

Número de Horas Usadas en el Año:

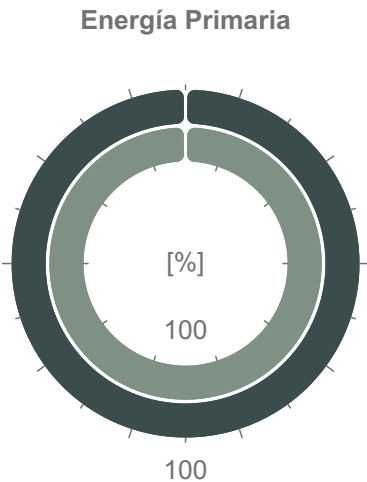
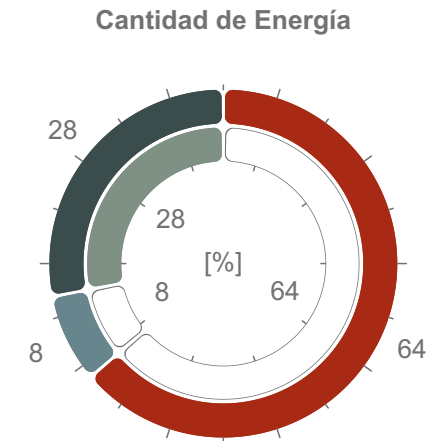
Calefacción: 2693 hrs
Refrigeración: 427 hrs

Horas de carga no satisfechas en el año:

Calefacción: 172 hrs
Refrigeración: 26 hrs

Consumo de energía por Objetivos

Nombre Destino	Energía			CO ₂ Emisión kg/a
	Cantidad kWh/a	Primario kWh/a	Coste Euros/a	
Calefacción	11201	0	0	0
Refrigeración	1441	0	0	0
Servicio de Agua Caliente	0	0	0	0
Ventiladores	0	0	0	0
Iluminación & aparatos	4928	14786	9857	1064
Total:	17572	14786	9857	1064



ANEXO 3. Solución para el cumplimiento del CTE.

Se ha hecho este anexo para remarcar el cambio importante que ha experimentado el CTE.

Al hacer el estudio con la herramienta LIDER-CALENAR se ha observado que la vivienda estudiada no cumple con los requisitos del CTE.

Para poder cumplir con la demanda se podrían realizar las siguientes funciones (teniendo en cuenta que se quiere tener el mismo perfil de uso) :

- Cambiar la orientación de la vivienda.
- Variar el porcentaje de aberturas de la vivienda.
- Aumentar el aislamiento, ya sea en cerramientos opacos o en los huecos verticales.

Si no se quisiera variar la orientación de la vivienda ni variar el porcentaje de aperturas se tendría que cambiar el aislamiento de alguno de los cerramientos.

Si se observan las ventanas se tiene que están formadas por un vidrio doble (4-12-4) sin tratamiento cuya transmitancia térmica es de $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

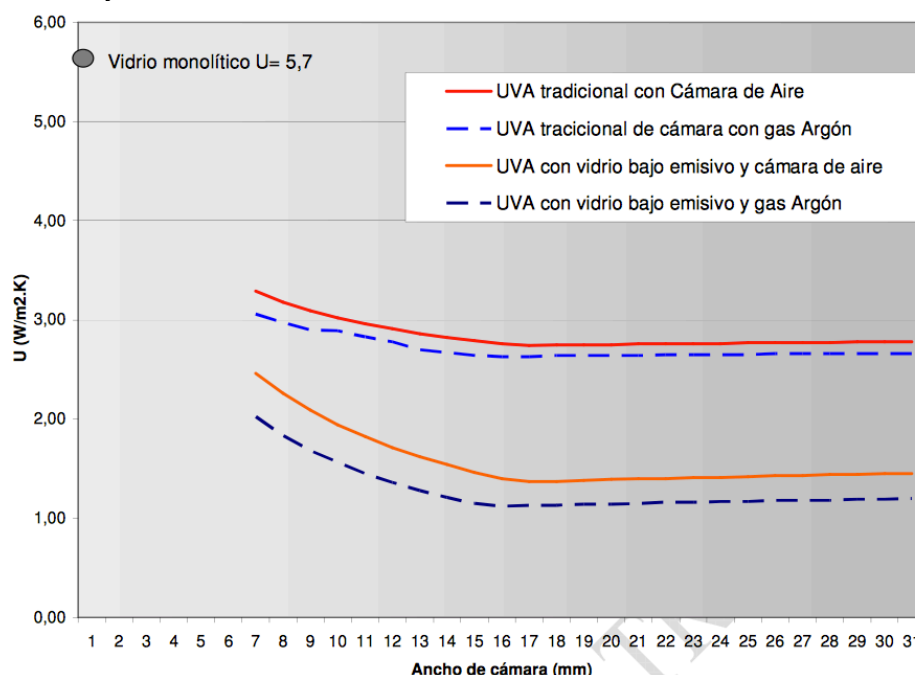


Fig 7. Relación entre la transmitancia con el ancho de cámara, obtenida del IDAE

Como se ve se podrían utilizar ventanas con vidrio bajo emisivo que reducirían la U de las ventanas. Sin embargo está el problema de su precio elevado.

Otra opción es cambiar el espesor del aislante en alguno de los cerramientos opacos de la vivienda. Como se ve en el anexo 1 los diferentes cerramientos tienen un aislante con un espesor de 8 cm. Eso hace años hubiera sido mas que suficiente a la hora de cumplir el CTE y las demandas energéticas, sin embargo con el cambio del CTE se ha observado que para diferentes zonas (como en este caso para la D2) es prácticamente necesario utilizar espesores mayores a los 12 cm.

ANEXO 4. Estudio de la importancia de la radiación en las herramientas

Lo que se quiere estudiar es la importancia de la radiación en los resultados de las demandas de calefacción con ambas herramientas.

Para ello se estudia un caso sencillo donde se tiene una sola habitación con una superficie útil de 5x3 metros, y con una altura útil de 2,4 metros.

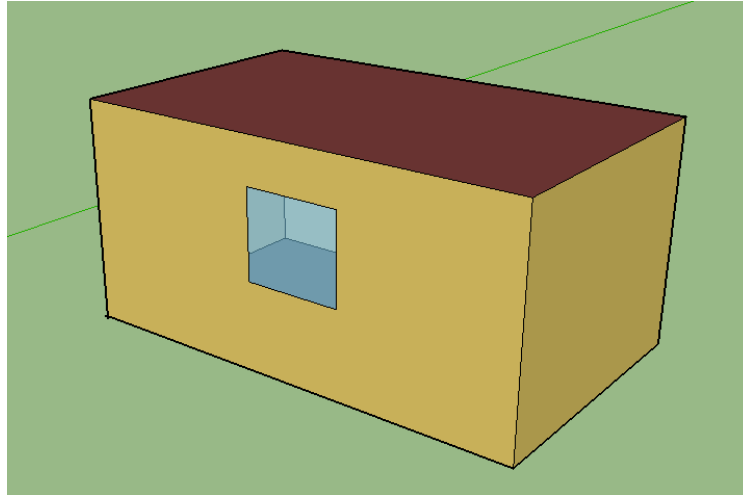


Fig 8. Habitación de estudio

Lo que se va a hacer es un estudio de dos casos : uno con el recinto sin ventana, y otro con ventana.

Además en ambos se va a hacer el estudio para diferentes temperaturas interiores que se desean a lo largo del año : 17, 19, 21, 23 y 25 °C.

La zona climática es la misma que en el proyecto, es decir la D2.

Para los diferentes cerramientos se han utilizado los propios del proyecto:

- Para las paredes : Muro de cerramiento
- Para el suelo : Forjado sanitario o solera
- Para el techo : Cubierta
- La ventana tiene un valor U de 3,57 W/m²K.

Los resultados mes a mes son los siguientes :

SIN VENTANA - Valores en Kwh

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
17 °C	Ecodesigner Calefacción	170,74	116,46	89,39	39,56	14,44	0,28	0,00	0,00	0,00	13,06	93,60	161,34	698,87
	Energy+ Calefacción	145,11	115,88	87,10	42,37	21,27	24,61	15,68	15,83	18,87	19,89	105,65	141,15	753,41
	ERROR RELATIVO	0,16	0,01	0,03	0,07	0,38	1,96	2,00	2,00	2,00	0,41	0,12	0,13	0,08
19 °C	Ecodesigner Calefacción	207,37	149,20	124,33	68,84	31,04	3,31	0,00	0,00	0,71	33,27	128,68	197,87	944,63
	Energy+ Calefacción	195,37	143,08	141,22	85,95	90,40	49,64	20,42	19,73	30,21	37,21	134,75	171,39	1119,37
	ERROR RELATIVO	0,06	0,04	0,13	0,22	0,98	1,75	2,00	2,00	1,91	0,11	0,05	0,14	0,17
21 °C	Ecodesigner Calefacción	244,42	182,33	160,12	101,90	51,46	9,90	0,00	0,08	7,19	61,49	164,09	234,82	1217,79
	Energy+ Calefacción	206,10	171,45	145,10	119,91	70,48	77,82	46,88	45,14	67,51	72,31	164,09	201,83	1388,62
	ERROR RELATIVO	0,17	0,06	0,10	0,16	0,31	1,55	2,00	1,99	1,61	0,16	0,00	0,15	0,13
23 °C	Ecodesigner Calefacción	281,87	215,83	196,63	136,57	75,46	21,40	0,39	1,67	23,63	95,64	199,65	272,17	1520,91
	Energy+ Calefacción	256,97	198,05	181,80	174,48	149,85	106,53	75,77	74,07	96,14	101,84	193,61	262,44	1871,55
	ERROR RELATIVO	0,09	0,09	0,08	0,24	0,66	1,33	1,98	1,91	1,21	0,06	0,03	0,04	0,21
25 °C	Ecodesigner Calefacción	319,70	249,69	233,72	171,83	105,53	42,21	5,41	7,96	45,97	131,31	235,58	309,91	1858,82
	Energy+ Calefacción	287,98	225,77	232,49	204,05	180,08	135,58	105,30	103,64	105,15	142,13	223,29	293,19	2238,65
	ERROR RELATIVO	0,10	0,10	0,01	0,17	0,52	1,05	1,80	1,71	0,78	0,08	0,05	0,06	0,19

CON VENTANA - Valores en Kwh

			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
17 °C	Ecodesigner	Calefacción	198,60	133,28	97,19	37,24	12,21	0,19	0,00	0,00	0,00	13,05	107,98	188,97	788,71
	Energy+	Calefacción	172,01	138,48	133,29	105,03	74,72	31,49	8,30	8,19	24,28	64,96	126,08	166,89	1053,72
	ERROR RELATIVO		0,14	0,04	0,31	0,95	1,44	1,98	2,00	2,00	2,00	1,33	0,15	0,12	0,29
19 °C	Ecodesigner	Calefacción	241,72	171,88	138,11	69,21	27,53	2,15	0,00	0,00	0,47	34,42	149,49	232,00	1066,98
	Energy+	Calefacción	206,37	169,31	167,24	137,71	106,76	59,95	25,85	25,21	48,99	97,89	159,04	201,15	1405,49
	ERROR RELATIVO		0,16	0,02	0,19	0,66	1,18	1,86	2,00	2,00	1,96	0,96	0,06	0,14	0,27
21 °C	Ecodesigner	Calefacción	285,26	210,87	180,18	106,83	50,31	8,27	0,00	0,00	6,07	66,34	191,15	275,44	1380,72
	Energy+	Calefacción	241,27	200,43	201,55	130,80	170,24	91,74	55,97	54,51	80,02	131,44	192,33	235,70	1795,99
	ERROR RELATIVO		0,17	0,05	0,11	0,20	1,09	1,67	2,00	2,00	1,72	0,66	0,01	0,16	0,26
23 °C	Ecodesigner	Calefacción	329,20	250,24	223,12	147,19	76,73	18,46	0,05	0,88	21,99	105,49	232,98	319,29	1725,62
	Energy+	Calefacción	276,40	231,79	236,15	204,20	174,26	124,20	88,57	87,16	112,36	165,43	225,89	270,49	2196,91
	ERROR RELATIVO		0,17	0,08	0,06	0,32	0,78	1,48	2,00	1,96	1,35	0,44	0,03	0,17	0,24
25 °C	Ecodesigner	Calefacción	373,52	289,96	266,70	188,61	108,77	37,49	3,35	6,11	47,11	147,45	275,20	363,52	2107,79
	Energy+	Calefacción	311,73	263,36	271,00	237,87	208,66	157,13	121,93	120,57	145,20	199,76	259,69	305,49	2602,40
	ERROR RELATIVO		0,18	0,10	0,02	0,23	0,63	1,23	1,89	1,81	1,02	0,30	0,06	0,17	0,21

Se observa que cuando se hace el estudio sin ventana la diferencia llega como mucho al 20,67% cuando se demanda una temperatura en el interior de 23°C. Donde hay más discrepancias es en los meses marcados de amarillo, donde la radiación solar del exterior aumenta.

Sin embargo cuando se introduce una ventana los errores aumentan, llegando a existir una diferencia de 28,76% entre los 2 valores.

En el estudio con una ventana además de verse las diferencias en los meses con mayor radiación (de Mayo a Septiembre) se observan también en los meses restantes. Esto se debe a la forma que en la cual las herramientas hacen el modelo matemático para la simulación térmica.

Normalmente los programas de simulación energéticos están organizados de la siguiente manera:

- Pretratamiento
- Simulación
- Postratamiento

La etapa de pretratamiento suele ser costosa por su tamaño en tiempo y precisa de ciertos conocimientos previos. La función de esta etapa es crear un modelo-D (de definición del modelo), sin embargo este modelo generalmente es diferente de unos programas a otros, por lo que en este primer paso ya pueden haber diferencias entre los modelos. A la hora de hacer el modelo-D se divide entre la física y la geometría del modelo, donde hay una fuerte relación entre ambos. Generalmente a cada elemento geométrico (superficie o volumen) se le asignan objetos físicos (flujos de calor, etc.) que se aplican sobre los geométricos para obtener cantidades absolutas de la magnitud física. Normalmente para hacer el balance energético sobre los volúmenes de la vivienda se estudian el flujo de calor convectivo (W/m^2) o una densidad de flujo de aire (kg/sm^2) que aporta entalpía específica (kJ/kg) al volumen.

La etapa de postratamiento es simplemente la forma que tienen de mostrar los resultados las diferentes herramientas.

La etapa importante es la de simulación, la función de esta etapa es crear un modelo-S donde se resuelvan por algún medio las ecuaciones físicas. Estas ecuaciones relacionan los objetos geométricos y los físicos, los cuales varían en el espacio y en el tiempo. Para poder hacer esta etapa se suelen tomar ciertas hipótesis.

La temperatura de un lado de un muro provocaría densidades de flujo de calor en todas las caras de todos los demás muros, sin embargo esto aumentaría mucho las funciones de transferencia en cada muro, por lo que solo se tiene en cuenta la función de transferencia de un lado del muro al otro y los demás se desprecian. Por lo que cada zona o recinto de una vivienda se ve influenciado simplemente por sus adyacentes y se desprecia los que no están en contacto.

En el caso de la transmisión de calor a través de muros, se supone que la conducción es unidimensional y perpendicular a la pared. En este caso se supone un modelo lineal y se resuelve la ecuación infinitesimal (por algún método como sería por diferencias finitas o por la transformada de Laplace) y se evalúa la relación entre la densidad del flujo de calor en una superficie respecto a los cambios de temperatura sufridos en ese mismo lado del muro y en el opuesto. Un modelo físico se dice que es lineal cuando la suma de dos soluciones es otra solución o cuando un múltiplo también es otra solución. En este caso por ejemplo la densidad de flujo de calor en un lado del muro se podría obtener como superposición del flujo de calor en ese lado debido a los cambios de temperatura en ese lado y al flujo de calor de ese mismo lado pero con los

cambios de temperatura del otro lado del muro. Se dice por tanto que la temperatura representa la excitación del modelo mientras que la respuesta del modelo es la densidad de flujo de calor.

En estas herramientas se relacionan la excitación y la respuesta por sistemas lineales, por lo que se denomina generalmente función de transferencia de energía.

Por lo que visto hasta aquí se podría decir que el modelo completo de un edificio se trata de un modelo lineal lo que facilitaría su estudio ya que todo se superpone, sin embargo el intercambio de energía por radiación hace que el modelo no sea completamente lineal.

Parece ser por tanto que es en el estudio de la radiación donde se diferencian nuestras dos herramientas de cálculo (Energy⁺ y Ecodesigner) ya que se sabe que ambas herramientas utilizan ecuaciones diferenciales para la radiación solar.

