



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR UBICADA EN LA ELIANA MEDIANTE SIMULACIÓN TRANSITORIA

AUTOR: CARLA CAMPAÑA NARANJO

TUTOR: RAFAEL ROYO PASTOR

COTUTOR: JORGE PAYÁ HERRERO

Curso Académico: 2013-14

ÍNDICE GENERAL

- **DOCUMENTO N°1: MEMORIA**
 - Memoria Descriptiva
 - Anejos

- **DOCUMENTO N°2: PRESUPUESTO**

DOCUMENTO N° 1

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

• MEMORIA DESCRIPTIVA:

1.	OBJETIVOS	9
2.	JUSTIFICACIÓN.....	9
2.1	Interés Tecnológico.....	9
2.2	Motivación Personal.....	10
3.	EVOLUCIÓN HISTÓRICA	11
3.1	Evolución de la Producción de Energía y Grado de Autoabastecimiento.....	11
3.2	Evolución del Consumo y la Intensidad Energética en España	13
3.3	Evolución y Distribución del Consumo de Energía en el Sector de la Edificación	16
3.4	Evolución Energética Comparada del Sector Doméstico Español.....	17
4.	SITUACIÓN ACTUAL	19
4.1	Contexto energético.....	19
4.2	Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España (2011-2020).....	20
4.3	Medidas Energéticas en el Sector de la Edificación.....	22
4.4	El Estándar Passivhaus.....	23
5.	CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LA VIVIENDA.....	25
5.1	Situación y Orientación de la Vivienda.....	25
5.2	Características Climatológicas del Emplazamiento	25
5.3	Distribución de la Vivienda.....	26
5.4	Características de la envolvente	27
5.5	Calefacción y A.C.S.	29
5.6	Consumo eléctrico.....	30
6.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN TRNSYS	33
6.1	Visión General	33
6.2	Introducción de los Datos Meteorológicos.....	34
6.3	Modelado de las Características de la Vivienda en TRNBUILD	35
6.3.1	Modelado de las distintas zonas térmicas y sus muros.....	36
6.3.2	Modelado de las ventanas	41
6.3.3	Modelado del sombreado fijo.....	42
6.3.4	Modelado de las infiltraciones	43
6.3.5	Modelado de las ganancias térmicas	45
6.3.6	Modelado de la climatización.....	52
7.	EVALUACIÓN DE LA MAGNITUD DEL CONSUMO CON EL MODELO	53

8.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA	58
8.1	Resultados Obtenidos.....	58
8.2	Conclusiones y Propuestas	67
9.	ESTUDIO DE MEJORAS PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO	68
9.1	Refrigeración Mediante Ventilación Natural.	68
9.2	Ajustar la Temperatura de Confort según la Zona y el Nivel de Ocupación.....	70
9.3	Elementos de Sombra contra la Sobreirradiación	77
9.4	Mejora del aislamiento de los Cerramientos de la Vivienda.....	81
9.5	Mejora de la Calidad de las Ventanas	85
10.	CONCLUSIONES	88
11.	AGRADECIMIENTOS	91
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	92
•	ANEJOS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dependencia energética en España y UE27.....	11
Figura 2. Evolución de la Producción Interior de Energía y del Grado de Autoabastecimiento.....	12
Figura 3. Efecto de las energías renovables en el sistema transformador.....	12
Figura 4. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final.....	13
Figura 5. Evolución del consumo de energía primaria.....	14
Figura 6. Evolución del consumo energético en edificios domésticos y de servicios.....	16
Figura 7. Consumo energético en edificios del sector doméstico.....	17
Figura 8. Consumo energético en edificios del sector servicios.....	17
Figura 9. Intensidad energética en el sector Edificios.....	18
Figura 10 Intensidad eléctrica en el sector Edificios.....	19
Figura 11. Evolución del precio del gasóleo en los últimos cuatro años.....	30
Figura 12. Consumo eléctrico en el año 2013.....	33
Figura 13. Datos meteorológicos Eliana.....	34
Figura 14. Datos meteorológicos Manises.....	35
Figura 15. Introducción de muros en TRNBuild.....	41
Figura 16. Asistente para la introducción de sobremientos.....	42
Figura 17. Efecto de las infiltraciones en una semana de invierno.....	44
Figura 18. Efecto de las infiltraciones en una semana de verano.....	44
Figura 19. Introducción de las infiltraciones en TRNSYS.....	45
Figura 20. Perfil horario entresemana.....	48
Figura 22. Introducción de las ganancias de iluminación en TRNBuild.....	48
Figura 23. Valores de calor sensible y latente emitidos por una persona según ISO 7730.....	49
Figura 24. Introducción de las ganancias debidas a los ocupantes en TRNBuild.....	50
Figura 25. Perfil horario de ocupación.....	50
Figura 26. Contador instantáneo de electricidad.....	51
Figura 27. Modelado de la refrigeración.....	53
Figura 28. Modelado de la calefacción.....	53
Figura 29. Potencia de calefacción demandada en el comedor [kW].....	55
Figura 30. Potencia de calefacción demandada en la habitación principal [kW].....	56
Figura 31. Evolución anual de la temperatura ambiente.....	59
Figura 32. Temperaturas de diversas zonas de la planta baja en invierno.....	59
Figura 33. Temperaturas de diversas zonas de la planta superior en invierno.....	60
Figura 34. Potencia de calefacción necesaria en diversas zonas.....	61

Figura 35. Temperatura de diversas zonas de la planta baja en verano.....	62
Figura 36. Temperatura de diversas zonas de la planta superior en verano	63
Figura 37. Potencia de refrigeración necesaria en diversas zonas.....	63
Figura 38. Potencia anual de calefacción necesaria en la vivienda.....	64
Figura 39. Potencia anual de refrigeración necesaria en la vivienda	65
Figura 40. Demanda energética de refrigeración antes y después de la ventilación natural	69
Figura 41. Demanda energética de calefacción antes y después de la programación de la temperatura.....	75
Figura 42. Demanda energética de refrigeración antes y después de la programación de la temperatura.....	76
Figura 43. Demanda energética de refrigeración antes y después de introducir persianas	78
Figura 44. Radiación solar transmitida por las ventanas de la cocina hacia el interior.....	79
Figura 45. Influencia del aislamiento de los cerramientos verticales en la demanda energética de climatización	81
Figura 46. Influencia del aislamiento del cerramiento de cubierta en la demanda energética de climatización	82
Figura 47. Demanda energética de calefacción antes y después variar el aislamiento	83
Figura 48. Demanda energética de refrigeración antes y después variar el aislamiento	83
Figura 49. Influencia del tipo de vidrio en la demanda energética de climatización	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del Plan de Ayudas a Proyectos Estratégicos 2008-2011	15
Tabla 2. Porcentaje de ahorro respecto a la cuantía invertida	15
Tabla 3. Datos geográficos de la vivienda	25
Tabla 4. Valores climatológicos de La Eliana.....	26
Tabla 5. Superficie útil de las distintas zonas de la vivienda	27
Tabla 6. Superficie acristalada de la vivienda.....	28
Tabla 7. Distribución y potencia de los distintos radiadores.....	29
Tabla 8. Electrodomésticos de la vivienda.....	31
Tabla 9. Bombillas instaladas en la vivienda	32
Tabla 10. Clasificación de los espacios de la vivienda	36
Tabla 11. Capas del cerramiento tipo outwall.....	37
Tabla 12. Capas del tabique tipo intwall.....	37
Tabla 13. Capas del cerramiento tipo intfloor.....	38
Tabla 14. Capas del tabique tipo entreplantas.....	38
Tabla 15. Capas del forjado tipo techo_sup	39
Tabla 16. Capas del cerramiento tipo roof	39
Tabla 17. Orientaciones creadas en TRNSYS.....	40
Tabla 18. Parámetros geométricos de los sombreadamientos.....	43
Tabla 19. Carga térmica sensible aportada por la iluminación interior.....	47
Tabla 20. Resultados ensayo contador instantáneo de electricidad.....	51
Tabla 21. Programación real de calefacción de la vivienda	54
Tabla 22. Energía consumida por la calefacción en cada zona	57
Tabla 23. Energía anual de climatización por metro cuadrado	66
Tabla 24. Consumo energético anual de refrigeración con y sin ventilación natural.....	69
Tabla 25. Condiciones de confort de calefacción en las habitaciones	70
Tabla 26. Condiciones de confort de calefacción en el comedor	71
Tabla 27. Condiciones de confort de calefacción en la cocina.....	71
Tabla 28. Condiciones de confort de calefacción en los baños.....	72
Tabla 29. Condiciones de confort de calefacción en los distribuidores	72
Tabla 30. Condiciones de confort de refrigeración en las habitaciones	73
Tabla 31. Condiciones de confort de refrigeración en el comedor.....	73
Tabla 32. Condiciones de confort de refrigeración en la cocina	74
Tabla 33. Condiciones de confort de refrigeración en los distribuidores y baños.....	74

Tabla 34. Ahorro energético conseguido con la ventilación natural y la programación de temperatura.....	77
Tabla 35. Ahorro energético obtenido con las mejoras implementadas.....	80
Tabla 36. Ahorro energético obtenido hasta el momento con las mejoras.....	84
Tabla 37. Características de los vidrios a analizar	86
Tabla 38. Características del vidrio seleccionado	87
Tabla 39. Ahorro energético total obtenido con cada una de las mejoras	88

1. OBJETIVOS

En este Trabajo Final de Grado se va a realizar la modelización y simulación de la demanda energética de una vivienda unifamiliar situada en el término municipal de La Eliana (Valencia). Para ello, se va a emplear un programa informático de simulación del comportamiento transitorio de sistemas térmicos y energéticos denominado TRNSYS.

El objetivo concreto de este trabajo consiste, por una parte, en analizar el comportamiento de la vivienda e identificar las posibles deficiencias desde el punto de vista energético. Por otra parte, se pretende proponer, simular y analizar posibles mejoras con el fin de optimizar el consumo energético y dotar a la vivienda de las máximas condiciones de confort.

Para cumplir este objetivo final se establecen diferentes objetivos intermedios que marcarán las fases del presente Trabajo Final de Grado.

El primer objetivo es la **recogida y análisis de los datos de la vivienda** motivo del estudio (planos, memoria de materiales, facturas energéticas de los últimos años, hábitos de los ocupantes...). Para esta primera fase se cuenta con la colaboración de los propietarios de la vivienda que también nos ayudarán a comprender el comportamiento y el consumo energético de la misma.

En segundo lugar se llevará a cabo la **implementación del modelo de la vivienda en TRNSYS**. Una vez realizado dicho modelo, se realizarán las simulaciones pertinentes que permitan la estimación de la demanda energética de climatización de partida o de referencia de la vivienda, es decir la situación inicial de la que partimos y que tratamos de mejorar.

A continuación se procederá a la determinación de **posibles mejoras** con la finalidad de reducir y optimizar el comportamiento energético de la vivienda, así como, de garantizar las máximas condiciones de confort en la misma. Asimismo, se llevará a cabo el **análisis de los resultados obtenidos** al implementar cada una de las mejoras, junto con un estudio comparativo del consumo y las condiciones de la vivienda en su situación inicial y tras implementar las citadas mejoras.

2. JUSTIFICACIÓN

2.1 Interés Tecnológico

Actualmente, la suficiente disponibilidad de energía es un elemento imprescindible para el correcto desarrollo de la humanidad y, por este motivo, la concienciación social sobre la necesidad de hacer un uso racional y eficiente de la misma está cada vez más extendida.

La energía es un bien necesario para llevar a cabo la mayoría de las acciones que se realizan a lo largo de un día en la vida cotidiana de cualquier persona. Para permitir que estas acciones puedan seguir realizándose es necesario el desarrollo de nuevos sistemas de generación energética, así como, el uso racional y eficiente de los mismos.

Estos aspectos junto con la evidente necesidad de reducir cada vez más el impacto ambiental que supone el consumo de energía son los principios básicos de toda política energética consistente.

Sin embargo, es importante entender que ahorrar y usar eficientemente la energía no es sinónimo de sacrificar o reducir el nivel de bienestar, al contrario, con un simple cambio de hábitos y actitudes se puede conseguir mejorar las condiciones de confort sin aumentar la energía consumida.

Es tanta la importancia que la optimización energética ha adquirido en nuestro país a lo largo de los últimos años que, ya desde el 2006, el Código Técnico de la Edificación (CTE) contempla un Documento Básico para el Ahorro de Energía. Este documento surge con el objetivo de mejorar la calidad de la edificación y promover la innovación y la sostenibilidad, concienciando a la sociedad de la relevancia de asumir valores ligados a la eficiencia energética en sus hogares.

Debido a la constante evolución del escenario energético que envuelve al sector de la edificación es imprescindible establecer y revisar periódicamente los requisitos mínimos de eficiencia energética exigidos en los edificios. Por este motivo, el Documento Básico de Ahorro de Energía de 2006 ha ido actualizándose con frecuencia siendo la última publicación en septiembre de 2013. Es en esta última actualización del CTE en la que se realiza la primera aproximación hacia un ambicioso objetivo: conseguir edificios de consumo de energía casi nulo antes de Diciembre de 2020.

En definitiva, la necesidad social, económica y ambiental de optimizar el uso de la energía junto con el apoyo de la normativa energética existente sitúa este Trabajo Fin de Grado en un marco de nuevos retos y oportunidades en el sector de la edificación en el que la rehabilitación energética de las viviendas ya existentes es un camino necesario de recorrer.

2.2 Motivación Personal

Desde el punto de vista personal, la sostenibilidad energética en todos sus aspectos es un tema que desde hace muchos años me ha llamado la atención por su carácter innovador y de necesaria investigación. Sin embargo, es a partir de la posibilidad que me brindó la empresa Effipeople de colaborar con ellos, cuando pude conocer esta rama desde una perspectiva más cercana y con ello despertar aún más las ganas de profundizar en ella.

Esta inquietud por la eficiencia energética y las nuevas energías me llevó a decantarme por este Trabajo Final de Grado, ya que encontré en él una nueva posibilidad para aproximarme a este ámbito de la ingeniería y adquirir nuevos conocimientos.

Por último, tanto la optimización energética como todos los ámbitos que abarca este concepto (nuevas formas de construcción, sostenibilidad el medio ambiente...), son temas que se encuentran a la orden del día, sobre todo, en una época en la que situación del país está inmersa en una notable crisis. Esto supone una motivación extra, ya que trabajar en un tema de actualidad es siempre un incentivo para el esfuerzo.

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

3.1 Evolución de la Producción de Energía y Grado de Autoabastecimiento

España se caracteriza por tener una estructura de consumo dominada por productos petrolíferos importados prácticamente en su totalidad, lo que, junto a una reducida aportación de recursos autóctonos, ha contribuido a una elevada dependencia energética, próxima al 80%, superior a la media europea (54%).

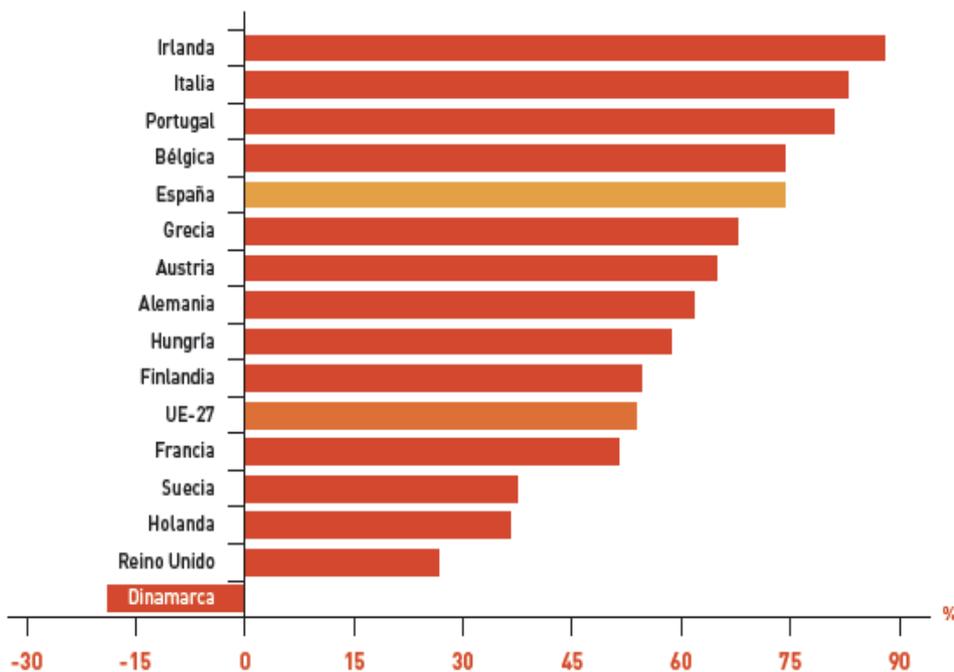


Figura 1. Dependencia energética en España y UE27

Esta situación experimenta un cierto cambio de tendencia a partir del año 2005, produciéndose una mejora progresiva de nuestro grado de autoabastecimiento hasta alcanzar el 26% en 2010.

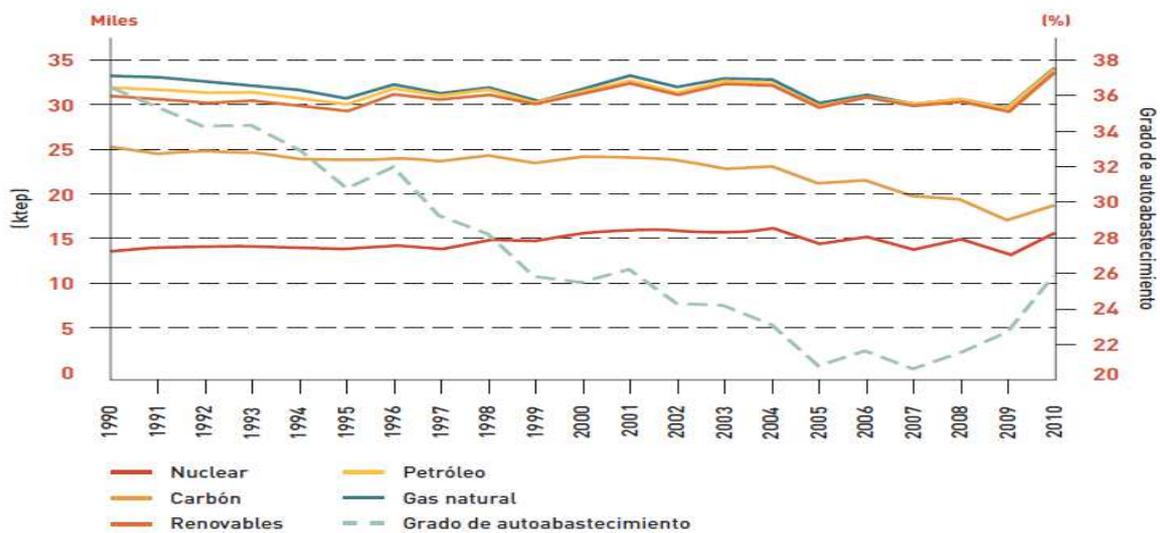


Figura 2. Evolución de la Producción Interior de Energía y del Grado de Autoabastecimiento

Si bien es un hecho que la dependencia energética nacional aún sigue siendo considerable, es también cierto, el efecto positivo que la intensificación de las políticas españolas y europeas, que posteriormente se detallarán, ha tenido en la mejora de nuestro grado de abastecimiento, al posibilitar una mayor cobertura, con recursos autóctonos, de la demanda energética nacional.

Una consecuencia adicional de todo ello ha sido la mejora de la eficiencia de nuestro sistema transformador, expresada ésta como la relación entre las demandas totales de energía final y primaria.

De esta forma, el mayor rendimiento asociado a las tecnologías de generación eléctrica basadas en energías renovables y gas natural y la participación progresiva de estas tecnologías, ha llevado a una reducción en las necesidades de energía primaria, potenciada, asimismo, por la moderación en la demanda final derivada de actuaciones de eficiencia energética.

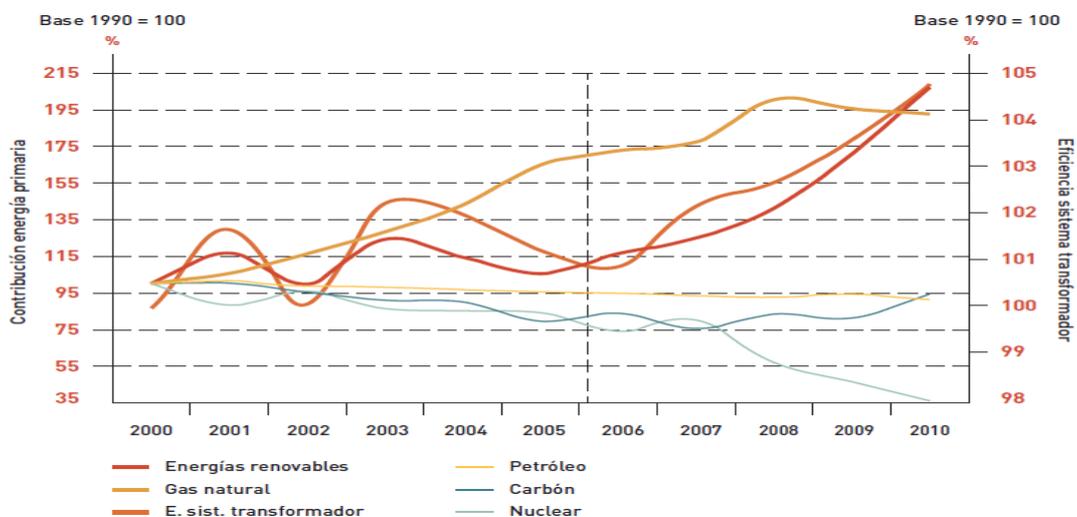


Figura 3. Efecto de las energías renovables en el sistema transformador

3.2 Evolución del Consumo y la Intensidad Energética en España

La demanda energética ha experimentado una tendencia al alza en las tres últimas décadas, a lo largo de las cuales han tenido lugar varias crisis energéticas y económicas a nivel mundial con un impacto negativo en la actividad económica y en la demanda energética de la mayoría de los países desarrollados.

No obstante, a principio de la década de los setenta, esta circunstancia sirvió de catalizador en la mayoría de países de la UE, para acometer políticas orientadas a reducir la dependencia energética y la mejora de la eficiencia. En España, esta reacción se manifestó con casi una década de retraso (hacia finales de los 70), lo que repercutió en la reconversión industrial de mediados de los 80.

La posterior expansión económica de nuestro país, desde su incorporación a la UE, trajo como consecuencia un incremento en el poder adquisitivo, que tuvo su reflejo en un mayor equipamiento automovilístico y doméstico, así como en un fuerte desarrollo del sector inmobiliario, factores, entre otros, que han sido decisivos en las tendencias al alza del consumo energético.

Si se analiza la distribución por sectores de la demanda, el sector transporte es el mayor consumidor, con el 39,3% del consumo final total, principalmente, basado en productos petrolíferos, lo que, en gran parte determina la elevada dependencia energética nacional. Le sigue en magnitud la industria, con un 30,2% del consumo, a continuación le siguen los sectores de usos diversos, entre los que destacan, con creciente protagonismo, los sectores residencial y servicios.

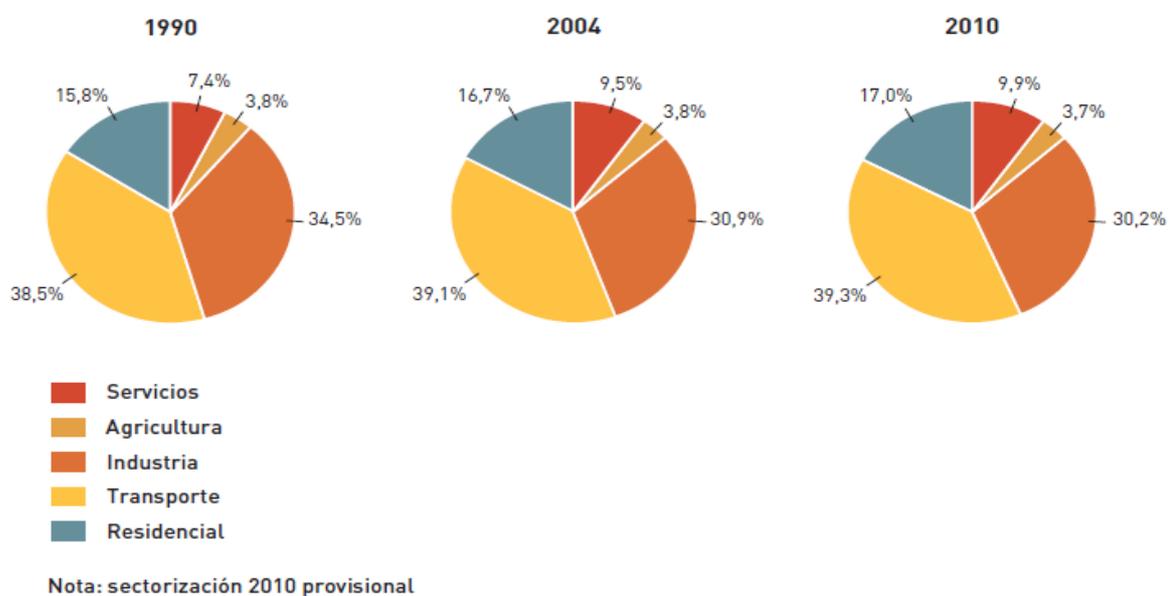


Figura 4. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final

Esta expansión progresiva del consumo energético hizo evidente la necesidad de iniciar distintas actuaciones encaminadas hacia el ahorro y la eficiencia energética.

Estas primeras medidas eficientes junto con una crisis económica muy acusada que se inicia en 2009 provocan que la tendencia en el consumo energético descienda respecto a los años anteriores como se puede ver en el gráfico siguiente:

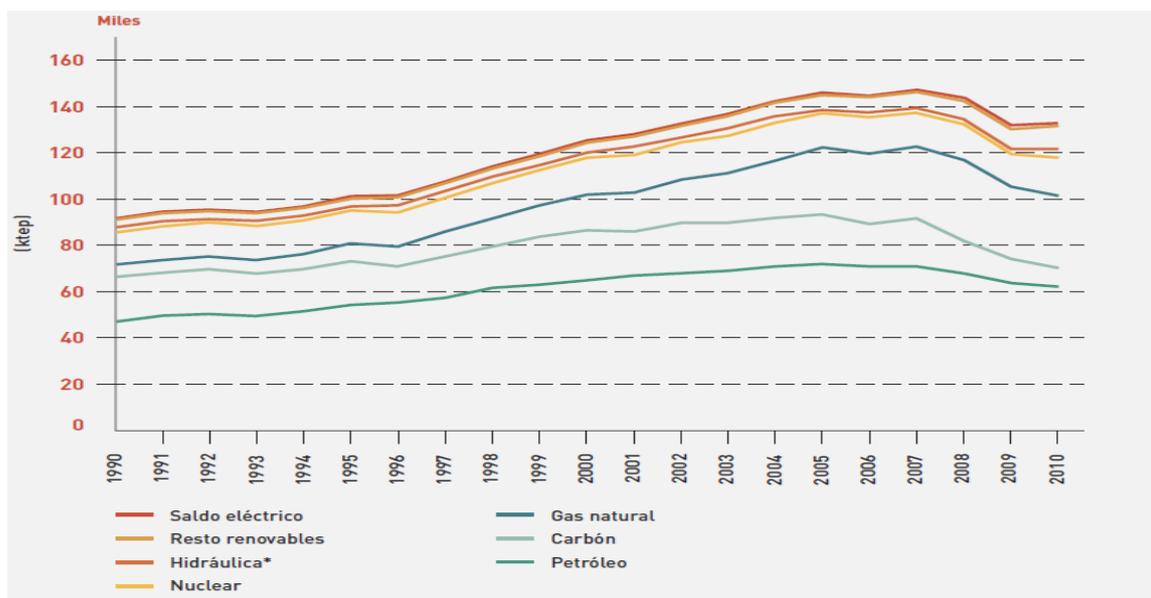


Figura 5. Evolución del consumo de energía primaria

Con el objetivo de seguir incentivando la realización de proyectos y actuaciones estratégicas, sectoriales y singulares innovadoras que favorezcan el ahorro y la mejora de la eficiencia energética se creó el Plan Ayudas a Proyectos Estratégicos 2008 – 2011.

Este programa es acorde con la normativa comunitaria en materia de ayudas de Estado, determinándose la cuantía de las ayudas de acuerdo con lo dispuesto en las Directrices Comunitarias sobre ayudas estatales a favor del medio ambiente 2008/C 82/01.

En el sector de industria, los proyectos que se subvencionaron trataban de grandes proyectos como la mejora de la producción de papel e impresión en el sector químico o la optimización en los procesos de producción de alimentos, bebida y tabaco entre otros. En ocasiones, los proyectos objeto de ayuda han supuesto el cambio de los procesos productivos y, en general, la sustitución de equipos e instalaciones por la Mejor Tecnología Disponible.

En el sector de la edificación, se subvencionaron inversiones en la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios existentes, en la renovación de instalaciones térmicas o de iluminación interior y en la construcción de edificios nuevos con alta calificación energética. Además, se llevaron a cabo inversiones, con carácter general, en equipos, instalaciones y sistemas que consumen energía (equipos de frío, sistemas de alimentación ininterrumpida o ascensores).

En cuanto al sector del transporte, las ayudas se destinaron a la renovación de las flotas para el transporte de personas y mercancías, por vehículos eléctricos, de hidrógeno e híbridos además de inversiones en cargadores y red de logística de suministro a vehículos eléctricos.

Por último, en el sector de Transformación de la Energía, las inversiones que se subvencionaron iban enfocadas hacia instalaciones de microgeneración o de cogeneración de mayor tamaño en sectores no industriales.

Los resultados del Programa, en términos de ahorro, fueron los que figuran en la tabla siguiente:

Sector	Ayuda pública [M€]	Ahorros E. final [ktep]	Ahorros E. primaria [ktep]	Emisiones evitadas CO ₂ [ktCO ₂]
Industria	149.6	131.5	195.1	426.7
Transporte	25.7	4.2	4.6	13.2
Edificación	96.5	63.5	136.2	280.8
Transformación de la energía	0.1	0.6	0.6	0.7
Servicios públicos	0.4	0.2	0.5	1.0
Total	272.2	199.9	337.0	722.5

Tabla 1. Resultados del Plan de Ayudas a Proyectos Estratégicos 2008-2011

Analizando los resultados se puede llegar a la conclusión de que los sectores más productivos en ahorro de energía tanto final como primaria y emisiones de CO₂ evitadas, son el sector de industria y sobre todo el de edificación ya que son los que mejores resultados obtienen respecto a la cuantía invertida como se puede observar a continuación:

	Ahorro E. Final [%]	Ahorro E. Primaria [%]	Emisiones CO ₂ Evitadas[%]
Industria	87	130	285
Transporte	16	17	51
Edificación	64	141	290

Tabla 2. Porcentaje de ahorro respecto a la cuantía invertida

Como consecuencia, las políticas de ahorro energético en los sectores de industria y sobre todo en edificación cobran una gran importancia.

3.3 Evolución y Distribución del Consumo de Energía en el Sector de la Edificación

En el año 2010, el consumo de energía final del sector de la edificación ascendió a 24.391 ktep, que respecto a los 93.423 ktep del consumo total de energía final a nivel nacional representa el 26,1%.

De este consumo, 16.377 ktep correspondían al sector de edificios de uso doméstico, es decir un 17,5% del consumo energético nacional y 8.014 ktep al sector de edificios destinados a servicios, que representan un 8,6% sobre el consumo energético total nacional.

En los años anteriores, se puede apreciar como el consumo energético de ambos sectores fue descendiendo de forma continuada hasta que llegados al año 2009 el sector de edificios domésticos cambia su tendencia y comienza a aumentar su consumo energético:

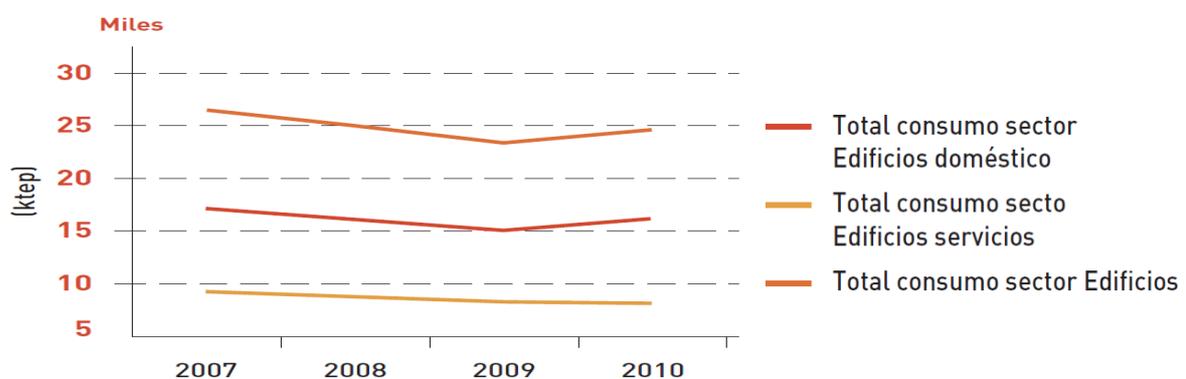


Figura 6. Evolución del consumo energético en edificios domésticos y de servicios

Como se ha podido observar, el sector doméstico de la edificación supone casi el doble de consumo energético que el de servicios. Además, a partir del año 2009 esta diferencia tiende a aumentar.

Si se analiza el reparto del consumo en el sector de edificios domésticos entre térmico y eléctrico, se observa que el consumo térmico es del orden de 11.223 ktep en 2010, más del doble del consumo eléctrico, de 5.154 ktep, para ese mismo año.

Al realizar una descomposición del consumo de energía final en este tipo de edificios se llega a los siguientes porcentajes: calefacción (47%), agua caliente sanitaria (27,4%), equipamiento (20,6%), iluminación (3,9%) y aire acondicionado (1,1%).

El bajo porcentaje del aire acondicionado, se debe a su uso en solamente unos meses del año por norma general, sin embargo, contribuye a generar picos de demanda eléctrica que contribuyen a ocasionar problemas locales en la continuidad del suministro eléctrico en los periodos de verano en los que se alcanzan las temperaturas exteriores más altas.

Por otra parte, hay que destacar que las instalaciones térmicas de la vivienda (calefacción y agua caliente sanitaria) representan casi tres cuartas partes del consumo energético del sector como se puede ver más adelante en la figura 7.

Por lo que respecta a los edificios del sector servicios, la distribución varía notablemente: calefacción (31,1%), aire acondicionado (26,2%), iluminación (22%), equipamiento (17,3%) y agua caliente sanitaria (3,3%)

En este caso, los mayores consumos se deben a la iluminación y a la refrigeración, mientras que el consumo en agua caliente sanitaria baja considerablemente respecto al sector doméstico.



Figura 7. Consumo energético en edificios del sector doméstico

Figura 8. Consumo energético en edificios del sector servicios

3.4 Evolución Energética Comparada del Sector Doméstico Español

Si se compara la intensidad energética en el sector doméstico español con el de otros países de la Unión Europea, se observa que a lo largo de los últimos años la intensidad energética en España (0,92 tep/vivienda) está en torno al 40% por debajo de la media europea (1,53 tep/vivienda), tomando como referencia datos de 2008.

Esta situación obedece, entre otras causas, a las características climatológicas de nuestro país que hace posible menores necesidades de calefacción, un 48% frente a casi el 70% de la media europea.

La tendencia decreciente que se puede apreciar en la figura 9 a partir de 2007 se debe por una parte a los programas de ahorro y eficiencia energética llevados a cabo en estos años en nuestro país y por otro lado a una crisis económica que ya empezaba a acechar en estas fechas.

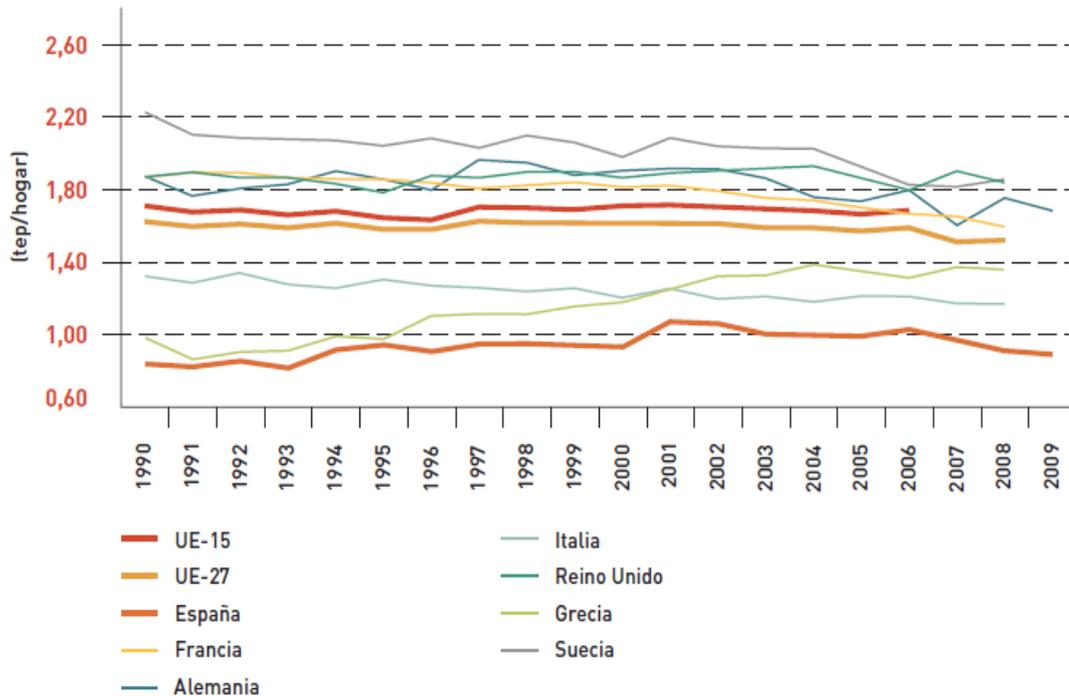


Figura 9. Intensidad energética en el sector Edificios

Si se hace el mismo estudio pero para la intensidad eléctrica (figura 10), se observa que a partir del año 2001 España se encuentra cada vez más cerca de la media europea, sin embargo, igual que en el consumo energético, la intensidad eléctrica española tiende a descender y alejarse de la media europea nuevamente a partir del año 2005.

Esta tendencia decreciente que se hace más notable a partir de 2007 se puede justificar nuevamente con los Planes de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética aprobados dentro del marco de la E4 junto con factores de declive de la bonanza económica del país.

Además, en países más fríos, la demanda de calefacción se cubre mediante instalaciones centralizadas de calderas que utilizan combustibles, como el gas natural y el gasóleo. Sin embargo, en un clima cálido como el español, existen muchas viviendas en las que no se dispone de instalaciones fijas de calefacción ya que en su lugar se hace uso de radiadores eléctricos.

En los últimos años, tanto las viviendas nuevas como las ya existentes se han ido dotando de instalaciones individuales o centralizadas, principalmente de gas natural, así como incorporando sistemas de producción de agua caliente sanitaria con apoyo de energía solar desde la aprobación del Código Técnico de la Edificación, que los hace obligatorios, esta es otra de las principales razones que justifica la tendencia decreciente en el uso de la electricidad.

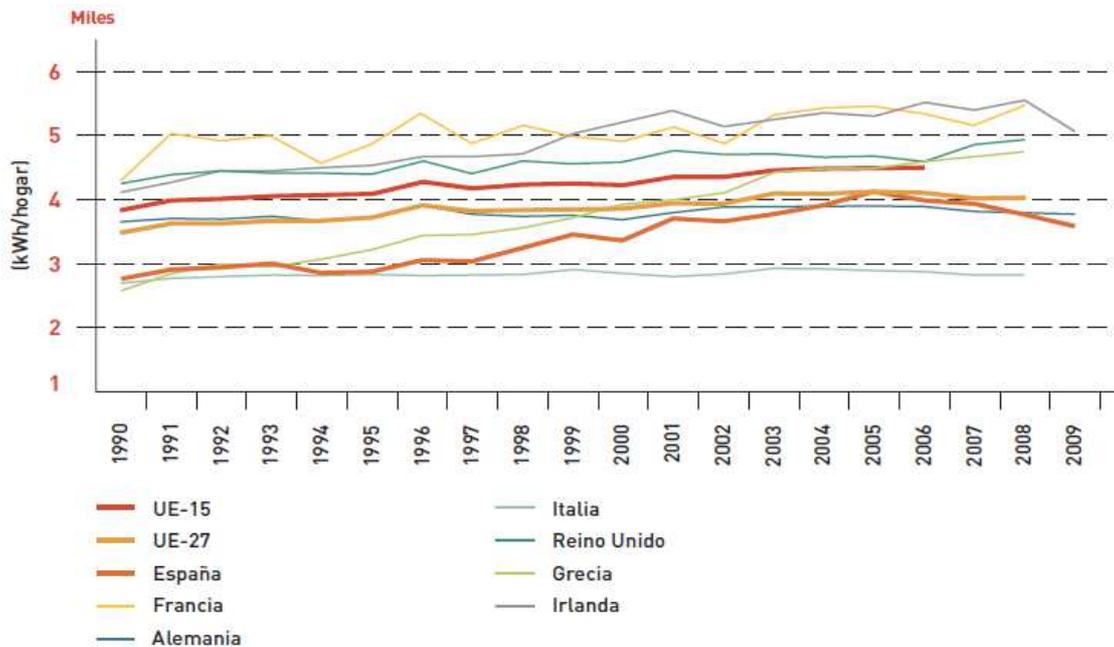


Figura 10 Intensidad eléctrica en el sector Edificios

4. SITUACIÓN ACTUAL

4.1 Contexto energético

El sector energético es un sector transversal a toda la economía. Los consumos de energía están presentes en todas las actividades económicas y suponen un gasto de explotación, en muchos casos relevante, en las cuentas de resultados de los agentes económicos.

Por ello, especialmente en un contexto de crisis como el actual en el que la disponibilidad de recursos naturales y energéticos es cada vez menor y a mayor coste, la necesidad de racionalizar esos recursos y aplicar estrategias de desarrollo sostenible, obliga a que en toda actividad se busque la eficiencia.

Bajo el significado de Eficiencia Energética se encuentra la reducción de consumo de energía, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort ni la calidad de vida, asegurando el abastecimiento, protegiendo el medio ambiente y fomentando la sostenibilidad.

Esta concienciación sobre la necesidad de reducir el consumo energético mediante medidas eficientes está cada vez más extendida en nuestro país y es por ello que en la mayoría de empresas, la eficiencia energética no es solo un valor en alza, sino también una obligación social y medioambiental.

En este contexto surge a nivel europeo la Estrategia Europa 2020, una estrategia de crecimiento de la UE para la década actual en la que se pretende que la UE posea una economía inteligente, sostenible e integradora. Estas tres prioridades, que se refuerzan mutuamente, pretenden contribuir a que la UE y sus Estados miembros generen altos niveles de empleo, productividad y cohesión social.

La Estrategia Europa 2020 fija unos planes ambiciosos en el ámbito de la energía basados en reducir las emisiones un 20% (ampliables hasta un 30%), incrementar el uso de la energía renovable hasta un 20% y mejorar un 20% en eficiencia energética.

A nivel nacional, actualmente se encuentra en vigor el segundo Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España (2011-2020) aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros el 29 de julio de 2011 y que da cumplimiento a lo exigido por la Directiva 2006/32/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos

4.2 Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España (2011-2020)

El sector de la edificación comprende, a efectos de este Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, los servicios que tienen un mayor peso sobre el consumo energético de los edificios, como son las instalaciones térmicas de calefacción, climatización, ventilación, producción de agua caliente sanitaria, las instalaciones de iluminación interior, así como el resto de equipamiento habitual en función de los sectores de actividad (electrodomésticos, frío comercial e industrial, ofimática, etc.).

Las medidas de ahorro y eficiencia energética en el sector de edificios se basan en las líneas de actuación que proponen las siguientes directivas:

- Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, como refundición de la anterior Directiva 2002/91/CE.
- Directiva 2006/32/CE, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

En la primera de ellas se establecen los requisitos mínimos de eficiencia energética que deben cumplir tanto los nuevos edificios como los ya existentes, su certificación energética, y las inspecciones periódicas de eficiencia energética a las que se han de someter.

Además, defiende el desarrollo de líneas de financiación y ayudas a través de los Planes de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética orientados a la reforma y renovación de los edificios, instalaciones y equipamiento para mejorar su eficiencia energética. Considera necesaria también la formación, información y concienciación, mediante programas y campañas informativas dirigidas a los agentes afectados.

En cuanto a la Directiva de uso final de la energía y los servicios energéticos, en el plano legislativo se ha modificado la Ley de Contratos del Sector Público, posibilitando la contratación en la modalidad de servicios energéticos.

También se han desarrollado líneas de financiación y de ayudas específicas para el apoyo de la ejecución de las medidas de ahorro energético a las empresas de servicios energéticos y al igual que la anterior directiva expresa la necesidad de campañas de formación y concienciación energética.

Por lo que respecta a los requisitos mínimos de eficiencia energética a los que se refiere la Directiva 2010/31/UE se establece que dichos requisitos se deben fijar de acuerdo a un “marco metodológico comparativo” común y en base a un “nivel óptimo de rentabilidad” donde se tengan en cuenta los costes de inversión, mantenimiento, operación, energía, etc. calculados para el periodo de vida útil del edificio.

De esta forma se pretende alcanzar un equilibrio óptimo de rentabilidad entre las inversiones realizadas y los ahorros económicos obtenidos a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Para comprobar la efectividad de las mejoras que se vayan implantando se plantean revisiones de las exigencias básicas de eficiencia energética definidas en el CTE de forma racional y escalonada que permitan recorrer el camino adecuado hasta alcanzar los ambiciosos objetivos de la Directiva para el año 2020.

Por lo tanto, las exigencias básicas de eficiencia energética que forman parte del CTE, son elementos claves en la política energética reglamentaria en el ámbito de la edificación, dotando de coherencia y unidad a la misma.

Complementariamente, de acuerdo con lo establecido en la nueva Directiva, se establece en 2013 un régimen sancionador en lo relativo a la certificación energética para garantizar su eficaz cumplimiento.

Por último, en lo relativo a edificios existentes, al margen de lo ya indicado con carácter general, se establece a través de un Real Decreto en 2013 que todos los edificios existentes, cuando se vendan o se arrienden, deben disponer de un certificado de eficiencia energética.

4.3 Medidas Energéticas en el Sector de la Edificación

Para cumplir los objetivos que se establecen en el ámbito de la edificación, el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 propone las siguientes medidas entre otras:

- **Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes**

Mediante la rehabilitación energética de la envolvente térmica en su conjunto o en alguno de los elementos que la componen se puede reducir la demanda energética en calefacción y refrigeración de los edificios existentes.

- **Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes**

Esta medida pretende reducir el consumo de energía de las instalaciones térmicas de calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria de los edificios ya existentes para conseguir que se cumplan los requisitos mínimos que fija la normativa actual.

- **Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes**

Se trata, por ejemplo, de sustituir las luminarias de la vivienda por otras de mayor rendimiento y eficiencia, regulables que permitan reducir la potencia instalada manteniendo las condiciones de confort visual establecidas.

- **Construcción de nuevos edificios y rehabilitación integral de existentes con alta calificación energética**

Reducir el consumo de energía mediante la promoción de edificios de nueva construcción y rehabilitación de los existentes, con alta calificación energética.

- **Construcción o rehabilitación de edificios de consumo de energía casi nulo**

Con esta medida se defiende la idea de que no sólo es necesario reducir el consumo energético para cumplir los requisitos mínimos establecidos sino que también es preciso disponer de edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto en los que la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida esté cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida la producida in situ o en el entorno.

- **Mejora de la eficiencia energética del parque de electrodomésticos**

Con esta medida se quiere reducir el consumo de energía a través de la mejora de la eficiencia energética del parque de electrodomésticos. Consiste en sustituir los viejos electrodomésticos por otros con la mejor clase de eficiencia energética de entre los que se comercialicen en el mercado en ese momento.

Bajo la necesidad de reducir el consumo energético y basándose en las medidas de ahorro y eficiencia energética surgen distintos estándares entre los que hay que destacar el Passivhaus.

4.4 El Estándar Passivhaus

El estándar Passivhaus es un estándar de eficiencia energética en el que se combinan de forma muy exigente tres aspectos: un elevado confort interior en invierno y en verano, un bajo consumo de energía y un precio asequible.

Este estándar se empezó a aplicar en 1991 en Centroeuropa y actualmente se han construido más de 15,000 viviendas de todo tipo repartidas en diferentes partes del mundo.

Este tipo de viviendas tratan de cubrir la poca energía que necesitan mediante energías renovables de forma que se consiga en ese supuesto alcanzar viviendas con coste energético de calefacción y refrigeración cero para el planeta.

Por otra parte, las viviendas Passivhaus no tienen que estar fabricadas con ningún estilo arquitectónico en especial ni se impone el uso de unos determinados materiales o productos.

Las edificaciones Passivhaus se basan en cinco principios básicos:

1. Aislamiento térmico

Es necesario un buen aislamiento térmico tanto en paredes exteriores como en cubierta para conseguir condiciones óptimas en el interior de la vivienda en verano e invierno. Según el clima de la zona donde esté situada la vivienda, existirá un grosor óptimo de aislamiento.

2. Ausencia de puentes térmicos

Gran parte de la energía se transmite a través de esquinas, ejes, juntas, etc. Se trata de lugares de geometría lineal o puntual del cerramiento exterior donde el flujo de energía es más grande que en el resto del cerramiento. Para eliminar los efectos de estos puentes térmicos se pueden llevar a cabo distintas medidas:

- No interrumpir la capa de aislamiento
- Unir y rellenar con la capa de aislamiento las juntas de elementos constructivos
- Usar un material con alta resistencia térmica en caso de que la interrupción de la capa de aislamiento sea inevitable

Mediante la aplicación adecuada de aislamiento en el Passivhaus, la transmitancia térmica lineal es reducida a valores por debajo de 0.01 W/mK.

3. Estanqueidad

La existencia de orificios en la envolvente de la vivienda da lugar, sobre todo durante los períodos fríos, grandes problemas energéticos. Se crean flujos de aire del interior al exterior que pueden llegar a provocar condensaciones en la construcción. Además la infiltración del aire exterior dentro de la vivienda causa una ausencia de confort en los habitantes de la misma.

La mayoría de edificios Passivhaus están dotados de un soporte mecánico para la renovación del aire interior. Si la estanqueidad de la casa no es la adecuada, el flujo de aire no seguirá el camino esperado y por tanto este mecanismo no funcionará de forma correcta suponiendo un mayor consumo energético.

La estanqueidad puede medirse mediante el sistema Blower-Door que consiste en un ventilador colocado en una puerta o ventana exterior creando una diferencia de 50 Pa. Para poder certificar una vivienda como Passivhaus es necesario un resultado inferior a 0.6 renovaciones de aire por hora.

4. Ventilación mecánica con recuperador de calor

Con esto se pretende recuperar gran parte de la energía que sale al exterior cuando se renueva el aire utilizado por aire de buenas características higiénicas. Para minimizar la demanda energética del edificio, se establece, cada hora, una renovación de aire de aproximadamente 1/3 del volumen de los espacios (de acuerdo con la EN 15251). Con este caudal de aire fresco, podemos aportar unos 10 W/m² de calor, y 7 W/m² de frío en el edificio.

Con esta medida se puede conseguir prescindir de un sistema convencional de calefacción. Para este tipo de edificios se fija un límite en la demanda de calefacción y refrigeración de aproximadamente 15 kWh/m² anuales.

5. Ventanas y puertas de altas prestaciones

Estos elementos suponen la parte más crítica de la envolvente y por ello es crucial su correcta instalación y ubicación. Se emplean ventanas de doble o triple cristal con carpinterías bien aisladas. Además, el vidrio empleado es de tipo bajo emisivo para aprovechar el calor en invierno y mantenerlo en el exterior en verano.

5. CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LA VIVIENDA

5.1 Situación y Orientación de la Vivienda

La vivienda unifamiliar motivo de estudio en este TFG se encuentra en un solar de 600 m² de forma rectangular perteneciente a La Eliana, un municipio de la provincia de Valencia situado en la comarca de Campo de Turia, al norte de la ciudad de Valencia.

Los principales datos geográficos de la Eliana se resumen a continuación:

Datos geográficos		
Latitud	Longitud	Altitud
39.566320	-0.530247	93.12 m

Tabla 3. Datos geográficos de la vivienda

La planta de la vivienda está girada 12° respecto al Sur medidos en sentido horario. De esta forma, la fachada principal que se observa desde la calle tiene orientación suroeste. Por el contrario, la orientación de la fachada trasera es noreste.

5.2 Características Climatológicas del Emplazamiento

El clima correspondiente a La Eliana es el mediterráneo, caracterizado por inviernos fríos y lluviosos y veranos secos y calurosos. Los meses más cálidos son Julio y Agosto con temperaturas medias máximas por encima de los 35°C, y los más fríos Diciembre y Enero con temperaturas medias mínimas de 5°C.

La humedad relativa oscila entre el 60 y el 75% manteniendo máximos y mínimos correlativos con las precipitaciones y temperaturas.

La precipitación media de la zona se puede considerar que oscila entre los 300 y 500 litros/metro². El periodo principal de lluvias es entre los meses de Septiembre a Noviembre, incluyendo un pico secundario en el mes de Abril, y el periodo de sequía corresponde a la estación estival.

A continuación se observa una tabla con los valores climatológicos normales recogidos por la Agencia Estatal de Meteorología tras el último estudio estadístico realizado (1971-2000):

Mes	T	TM	Tm	R	H
Enero	10.2	15.5	5.0	38	68
Febrero	11.5	17.0	6.0	32	65
Marzo	13.1	18.9	7.2	34	62
Abril	15.0	20.6	9.4	38	60
Mayo	18.2	23.5	12.9	36	62
Junio	22.0	27.2	16.9	20	61
Julio	24.9	30.1	19.8	14	62
Agosto	25.4	30.3	20.4	19	66
Septiembre	22.8	27.8	17.7	49	67
Octubre	18.4	23.4	13.3	74	68
Noviembre	13.9	19.0	8.9	54	69
Diciembre	11.2	16.1	6.3	50	70

Tabla 4. Valores climatológicos de La Eliana

Siendo,

T Temperatura media mensual/anual (°C)

TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)

Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)

R Precipitación mensual/anual media (mm)

H Humedad relativa media (%)

5.3 Distribución de la Vivienda

La vivienda que se va a analizar está distribuida en dos niveles sin garaje con un acabado exterior de ladrillo hueco enfoscado con caravista como revestimiento. La cubierta es inclinada formada por teja árabe apoyada sobre tableros.

En la planta baja se dispone de una terraza cubierta orientada al Sur, de amplias dimensiones, desde la que se accede a un distribuidor. Desde éste, se puede acceder a las distintas habitaciones de la planta baja: un amplio salón-comedor, una cocina que cuenta con una zona para desayunos y comidas rápidas, así como una terraza cubierta orientada al Norte, destinada a lavadero.

En esta misma planta, también se puede encontrar un baño completo y una habitación con diferentes usos como despacho o dormitorio.

En el mismo distribuidor, una escalera conecta la planta baja con el primer piso, compuesto de dos dormitorios dobles (uno de ellos con salida a una terraza descubierta), un baño completo, y un dormitorio principal que también cuenta con salida a una terraza descubierta y un baño privado.

En el cuadro siguiente se expresa la superficie útil de los distintos habitáculos que componen la vivienda:

	Espacios habitables	Superficie útil [m ²]
Planta baja	Cocina	20.10
	Baño 1	5.54
	Distribuidor 1	14.26
	Habitación D1	10.51
	Comedor	27.54
Planta piso	Baño principal	5.83
	Habitación principal	16.09
	Baño 2	6.38
	Distribuidor 2	14.56
	Habitación D2	16.58
	Habitación D3	13.35

Tabla 5. Superficie útil de las distintas zonas de la vivienda

5.4 Características de la envolvente

A continuación se describen los distintos materiales que componen los cerramientos de la vivienda.

Los **cerramientos verticales** que forman las cuatro fachadas, todos con la misma composición, están formados por ladrillo macizo (0.12m), cemento (0.015m), una capa aislante de poliestireno expandido de grosor 0.04m, ladrillo hueco (0.07m) y por último, en contacto con el interior de la vivienda, un enlucido de yeso de espesor 0.015m.

Respecto a la composición de la **cubierta**, se puede afirmar que está compuesta por bovedilla de hormigón (0.25m), ladrillo hueco (0.06m), una capa de cemento (0.02m), una capa aislante de poliestireno expandido de casi el doble de grosor que la situada en los cerramientos verticales y por último un acabado de teja cerámica que tiene un grosor de 0.015m.

En último lugar, la envolvente de la vivienda completa el **cerramiento en contacto con el terreno** formado por una capa aislante de poliestireno extruido de 0.025m de grosor, forjado sanitario de 0.4m y un acabado en el interior de la vivienda con plaquetas cerámicas de 0.015m de espesor.

Además de estos tres tipos distintos de cerramientos, la vivienda cuenta con tabiques internos que la dividen en las diferentes zonas.

No obstante, estos elementos junto con los descritos anteriormente se detallaran con mayor rigor en apartados posteriores donde se explica la implementación del modelo de la vivienda en el programa de simulación energética.

Por otra parte, la casa dispone de **ventanas** en sus fachadas, todas ellas con cristal simple de 6mm y carpintería metálica.

Se resume a continuación en una tabla la superficie acristalada según la zona y su orientación (la fachada orientada al Oeste no se ha incluido en la tabla ya que no dispone de ninguna ventana):

Zona	Acristalamiento Norte [m ²]	Acristalamiento Sur [m ²]	Acristalamiento Este [m ²]	Acristalamiento total [m ²]
Cocina	2.68	3.65		6.33
Baño1	0.63			0.63
Distribuidor1		1.71		1.71
Habitación D1			1.92	1.92
Comedor		3.84	3.92	7.76
Baño principal	0.63			0.63
Habitación		2.52		2.52
Baño 2	0.63			0.63
Distribuidor 2		1.45	1.82	3.27
Habitación D2	1.17			1.17
Habitación D3		2.52		2.52

Tabla 6. Superficie acristalada de la vivienda

5.5 Calefacción y A.C.S.

La vivienda dispone de un grupo térmico marca ROCA NGO 50/25 GT de 20.000 Kcal/h .Se trata de un sistema de alto rendimiento (superior al 80%) con el que se proporciona ACS y calefacción a los propietarios.

Esta caldera cuenta con un depósito de gasóleo de 1000 litros que se llena un poco más de la mitad dos veces al año suponiendo un consumo anual de 1400 litros.

En cuanto a la calefacción, la vivienda cuenta con un total de 13 radiadores instalados en las distintas zonas. En la siguiente tabla se detalla la distribución de los mismos así como la potencia de cada uno de ellos y la total instalada en cada zona:

	Zona	Número de radiadores	Potencia de cada radiador [kW]	Potencia total instalada [kW]
Planta baja	Cocina	1	1.49	1.49
	Baño 1	1	0.47	0.47
	Distribuidor 1	1	1.06	1.06
	Habitación D1	1	0.84	0.84
	Comedor	2	2.49	4.99
Planta piso	Baño principal	1	0.49	0.49
	Habitación	1	1.29	1.29
	Baño 2	1	0.54	0.54
	Distribuidor 2	1	1.08	1.08
	Habitación D2	1	1.33	1.33
	Habitación D3	1	1.07	1.07
Potencia total				14.65

Tabla 7. Distribución y potencia de los distintos radiadores

Como indica la tabla la vivienda tiene una potencia de calefacción total instalada de 14.65kW. Además, cuenta con una potencia de A.C.S. de 3.48 kW lo que conlleva una potencia total acumulada de 18.13 kW.

Este tipo de abastecimiento de A.C.S. y calefacción hace que sea imposible realizar un estudio comparativo del consumo a lo largo de varios años.

No obstante, a continuación se va a estimar el coste de estos 1400 litros de gasóleo anuales en los últimos años.

Como se ha dicho antes el depósito se llena con 700 litros dos veces al año, esto es en el mes de Enero y en el mes de Abril. Se observa en el gráfico siguiente la evolución del precio del gasóleo a lo largo de los últimos 4 años:

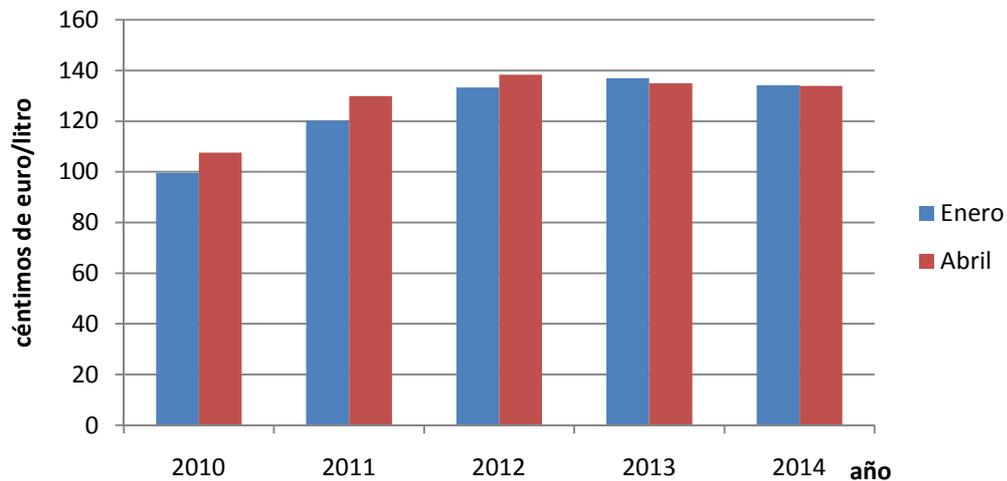


Figura 11. Evolución del precio del gasóleo en los últimos cuatro años

Se observa por una parte que el precio ha incrementado mucho respecto al año 2010, sin embargo, se puede afirmar que desde el año 2012 existe una cierta estabilidad. Por otra parte, en los primeros años de estudio se aprecia un mayor beneficio económico al comprar el gasóleo en el mes de Enero respecto del mes de Abril pero una vez más esta diferencia se estabiliza en los últimos años.

Con estos datos se puede estimar un precio medio del litro de gasóleo en 126.87 céntimos de euro lo que supone un coste anual en la vivienda de 1776.25 €.

5.6 Consumo eléctrico

En cuanto al consumo eléctrico, con lo anteriormente explicado se puede afirmar que éste únicamente hace referencia al gasto de electrodomésticos e iluminación y por tanto no afecta en lo que a la climatización de la vivienda se refiere.

Los principales electrodomésticos que se emplean en la vivienda son el frigorífico, el lavavajillas, la lavadora y el microondas. No obstante, el último tiene un uso esporádico que resulta difícil de cuantificar. Además se dispone de diversos aparatos electrónicos como ordenadores y televisión.

Se lleva a cabo una entrevista con los propietarios de la vivienda para averiguar sus hábitos en cuanto al uso de estos aparatos. Esta información junto con la disponible en los manuales de los equipos y en la página web del IDAE permite obtener la siguiente tabla:

Aparato	Potencia máxima[W]	Tiempo de funcionamiento diario [h]
Frigorífico	300	24
Lavadora	500	0.5
Lavavajillas	700	2
PC portátil 1	90	3
PC portátil 2	110	3
Televisor (cocina)	25	2
Televisor (comedor)	180	2
Televisor (habD1)	45	1

Tabla 8. Electrodomésticos de la vivienda

En el caso del frigorífico es importante tener en cuenta que los 300W corresponden a la potencia máxima cuando el compresor está en funcionamiento, sin embargo, cuantificar durante cuánto tiempo ocurre esto es muy difícil.

Por otra parte, la encimera instalada funciona también con electricidad, se trata de una vitrocerámica de 4 zonas con una potencia máxima de 3200W.

En última instancia, es necesario hablar de la iluminación como un factor muy importante en el consumo eléctrico. La vivienda está dotada de bombillas de bajo consumo de 12 y 20W tal y como muestra la tabla siguiente:

Zona	Número de luminarias	Potencia de cada luminaria [W]	Potencia total[W]
Cocina	2	20	40
Baño 1	1	12	12
Distribuidor 1	1	20	20
Habitación D1	2	12	24
Comedor	7	12	84
Baño principal	1	12	12
Habitación principal	2	12	24
Baño 2	1	12	12
Distribuidor 2	1	20	20
Habitación D2	2	12	24
Habitación D3	2	12	24

Tabla 9. Bombillas instaladas en la vivienda

A continuación, se han analizado las facturas durante el año 2013 con el fin de determinar los costes asociados al consumo eléctrico.

La compañía suministradora contratada es Iberdrola y es gracias a su servicio web que se dispone de los siguientes datos:

- Potencia mensual contratada: 5.5 kW
- Precio de la potencia facturada:
 - De Enero a Julio 0.059981€ / kW
 - De Julio a Diciembre 0.09767 € / kW
- Precio de la energía facturada:
 - De Enero a Marzo 0.150938 € / kWh
 - De Marzo a Julio 0.138658 € / kWh
 - De Julio a Octubre 0.124985 € / kWh
 - De Octubre a Diciembre 0.130485 € / kWh
- Impuesto sobre electricidad. Se obtiene de aplicar la fórmula siguiente:

$$\text{Impuesto electricidad} = \text{Precio total Energía} * 1,05113 * 4,864\%$$

- Alquiler equipos de medida: un equipo de medida contratado con un coste de 0.01874 € al día.

La empresa emite desde Enero hasta Abril facturas mensuales, sin embargo, a partir de esta fecha las facturas pasan a ser bimensuales. Para obtener la información con mayor claridad a la hora de analizarla en un gráfico de bloques se decide juntar los importes de los meses Enero y Febrero por un lado y Marzo y Abril por otro.

Así pues, teniendo en cuenta estos datos, se muestra a continuación el gráfico obtenido con los consumos de electricidad bimensuales durante el año 2013:

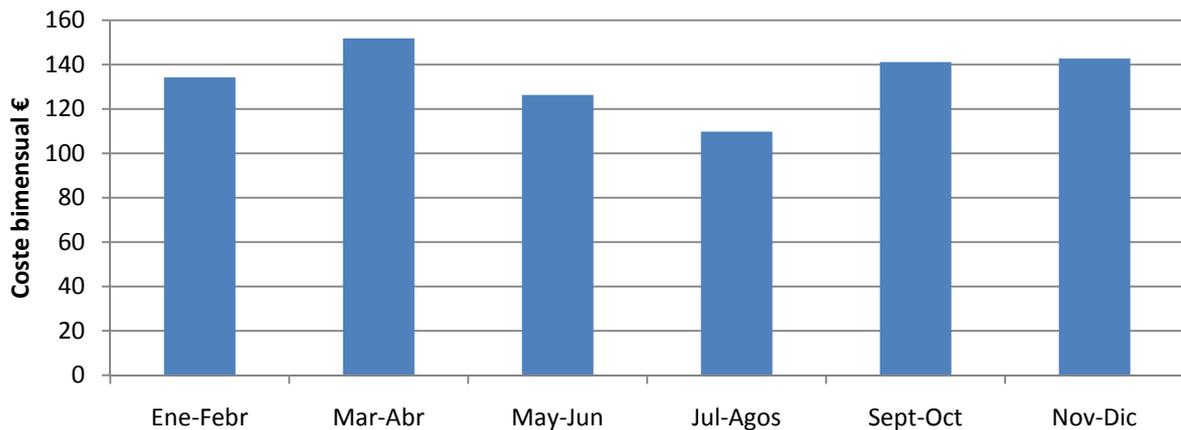


Figura 12. Consumo eléctrico en el año 2013

Se observa que el consumo habitual está en torno a los 140€ y que este dato baja en los meses de Mayo-Junio y sobre todo en los de Julio-Agosto.

Estos resultados concuerdan perfectamente con los datos obtenidos en las diferentes entrevistas con los propietarios de la vivienda ya que es en los meses de verano cuando suelen realizar distintos viajes y la casa está desocupada durante algunos periodos. Además, este descenso también se puede deber al aumento de las horas al día en las que el sol proporciona luz natural en la vivienda y por tanto esto se aprovecha para disminuir el tiempo que las luminarias se mantienen encendidas.

6. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN TRNSYS

6.1 Visión General

A continuación se detalla la implementación del modelo de la vivienda en el programa de simulación energética TRNSYS. Para llevar a cabo esta implementación se han seguido los planos y la memoria de materiales de la vivienda, así como información relevante proporcionada por sus habitantes (horarios, números de personas que residen en la vivienda, hábitos...).

TRNSYS para realizar el análisis térmico de viviendas permite crear un tipo de proyecto denominado “Building Project Multizone”. En este proyecto se enlazan entre sí diferentes componentes del programa denominados “Types” que permiten llevar a cabo la interacción de los distintos elementos de la vivienda entre sí.

6.2 Introducción de los Datos Meteorológicos

En primer lugar hablaremos del Type 109 denominado “Datos meteorológicos”. Como indica su nombre, este elemento sirve principalmente para la lectura de este tipo de datos a partir de un archivo externo. De esta forma, se pueden obtener valores como temperaturas o radiación solar en una superficie entre otros muchos.

Como se explica en el capítulo 5 la vivienda motivo de estudio se encuentra en el municipio de La Eliana, Valencia. Cuando se procede a introducir el archivo meteorológico externo para la vivienda aparece el problema de no disponer de datos en el lugar exacto de emplazamiento. Por ello, se lleva a cabo un estudio comparativo de la climatología en las zonas en las que se dispone de datos y se encuentran próximas a dicho emplazamiento.

Como muestra las siguientes figuras los datos meteorológicos de Manises resultan muy similares a los de la Eliana y por tanto se considera adecuado emplear dichos datos en el modelo de estudio de este trabajo.

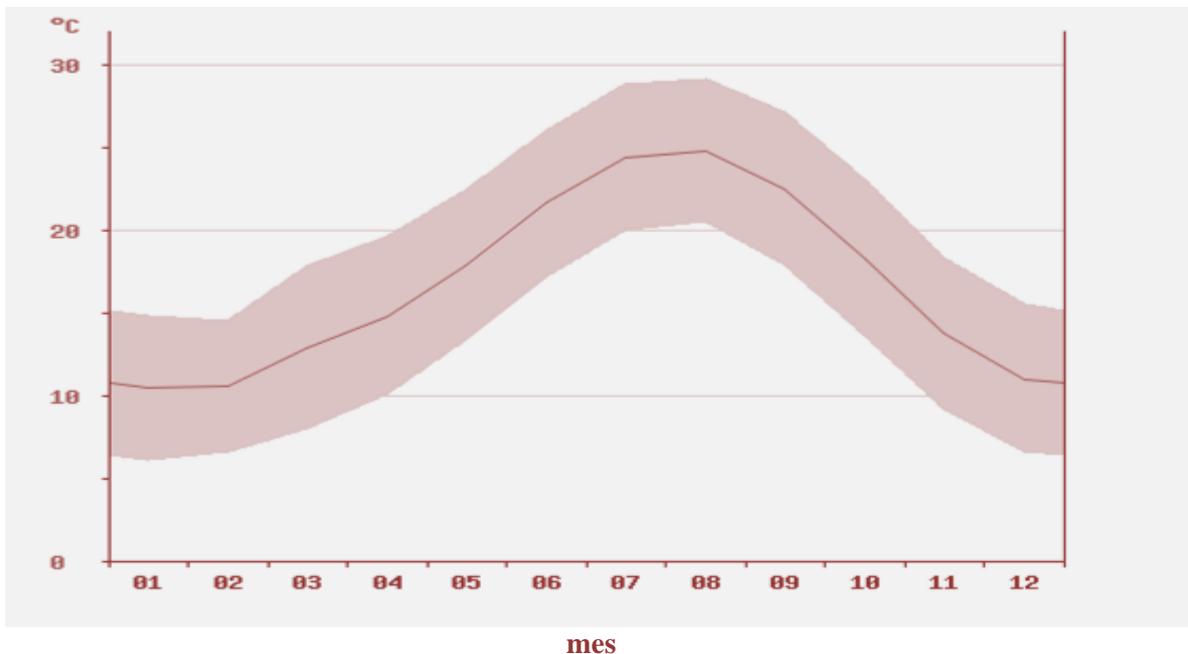


Figura 13. Datos meteorológicos Eliana

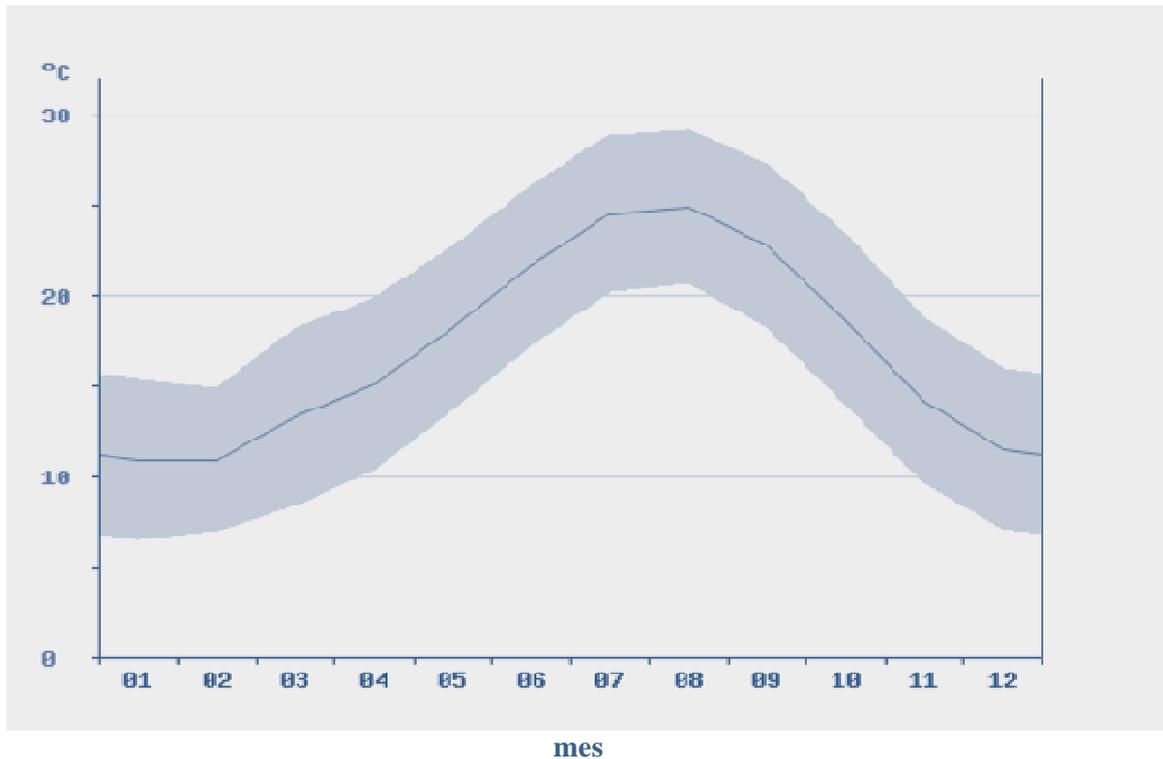


Figura 14. Datos meteorológicos Manises

6.3 Modelado de las Características de la Vivienda en TRNBUILD

El siguiente type que se procede a explicar es el Type 56 llamado “Edificio multizona”. Se trata de un elemento que crea un archivo tipo .bui en el cual se modela el comportamiento térmico de un edificio formado por diferentes zonas.

Para introducir o modificar estas zonas se trabaja con un subprograma propio de TRNSYS denominado TRNBuild desde el que se completan con detalle las características que recogerá el Type56.

Se procede ahora a explicar las distintas características que se han introducido en el modelo de estudio con TRNBuild.

6.3.1 Modelado de las distintas zonas térmicas y sus muros En primer lugar se crean las diversas zonas térmicas que componen la vivienda, para ello, se hace uso de la información contenida en los planos y que se detalla a continuación:

Zona térmica	Superficie [m ²]
Cocina	20.10
Baño 1	5.54
Distribuidor 1	14.26
Habitación D1	10.51
Comedor	27.54
Baño principal	5.83
Habitación principal	16.09
Baño 2	6.38
Distribuidor 2	14.56
Habitación D2	16.58
Habitación D3	13.35
Tejado	72.79

Tabla 10. Clasificación de los espacios de la vivienda

A posteriori se tienen que introducir los cerramientos de cada zona térmica. Para ello, previamente se procede a crear los diferentes tipos que se van a necesitar.

Esta información se obtiene nuevamente de los planos de la vivienda junto con la memoria de materiales que se puede encontrar en el pliego de condiciones de la misma.

Se detallan a continuación las características de los diferentes cerramientos y tabiques utilizados con los nombres que se han empleado en TRNSYS para definirlos, así como las características de cada uno de ellos:

- **OUTWALL:** se denomina así al cerramiento en contacto con el exterior y formado por las siguientes capas de exterior a interior:

Material	Espesor [m]	Conductividad [KJ/hmK]	Capacidad [KJ/KgK]	Densidad [Kg/m ³]
Ladrillo macizo	0.120	3.132	1.4	1800
Cemento	0.015	3.6	1	1800
Poliestireno expandido	0.040	0.13	1.5	25
Ladrillo hueco	0.070	1.764	0.9	1200
Enlucido de yeso	0.015	2.052	1	1200

Tabla 11. Capas del cerramiento tipo outwall

- **INTWALL:** tabique interior que separa las distintas zonas térmicas de una misma planta formado por:

Material	Espesor [m]	Conductividad [KJ/hmK]	Capacidad [KJ/KgK]	Densidad [Kg/m ³]
Enlucido de yeso	0.012	2.052	1	1200
Ladrillo hueco	0.120	1.764	0.9	1200
Enlucido de yeso	0.012	2.052	1	1200

Tabla 12. Capas del tabique tipo intwall

- INTFLOOR: se trata del cerramiento en contacto con el terreno, es decir, del suelo de la planta baja de la vivienda. De exterior a interior está formado por:

Material	Espesor [m]	Conductividad [KJ/hmK]	Capacidad [KJ/KgK]	Densidad [Kg/m ³]
Poliestireno extruido	0.025	0.144	0.8	40
Forjado	0.400	3.744	1	1500
Plaquetas cerámicas	0.015	3.78	1.2	2000

Tabla 13. Capas del cerramiento tipo intfloor

- ENTREPLANTAS: forjado que separa la planta baja y la primera planta de la vivienda. De arriba abajo está formado por:

Material	Espesor [m]	Conductividad [KJ/hmK]	Capacidad [KJ/KgK]	Densidad [Kg/m ³]
Plaquetas cerámicas	0.05	3.780	1.2	2000
Bovedilla de hormigón	0.270	5.148	1	1500
Enlucido de yeso	0.020	2.052	1	1200

Tabla 14. Capas del tabique tipo entreplantas

- TECHO_SUP: forjado de la planta superior que separa dicha planta de la zona térmica que hemos denominado tejado. Constituido de arriba a abajo por:

Material	Espesor [m]	Conductividad [KJ/hmK]	Capacidad [KJ/KgK]	Densidad [Kg/m ³]
Bovedilla de hormigón	0.270	5.148	1	1500
Enlucido de yeso	0.030	2.052	1	1200

Tabla 15. Capas del forjado tipo techo_sup

- ROOF: cerramiento exterior que forma el tejado de la vivienda. De exterior a interior está formado por los siguientes materiales:

Material	Espesor [m]	Conductividad [KJ/hmK]	Capacidad [KJ/KgK]	Densidad [Kg/m ³]
Teja cerámica	0.015	4.68	0.84	2300
Poliestireno expandido	0.070	0.13	1.5	25
Cemento	0.020	3.6	1	1800
Ladrillo hueco	0.060	1.764	0.9	1200
Bovedilla de hormigón	0.250	5.148	1	1500

Tabla 16. Capas del cerramiento tipo roof

Una vez definidos los distintos tipos de cerramientos se crean las orientaciones que podrán adoptar cada uno de ellos.

Como se ha explicado en el apartado 5 donde se detallan las características de la vivienda, ésta tiene su fachada principal girada 12° respecto de la orientación Sur medidos en sentido horario

En general el acimut se mide en grados desde el punto cardinal Norte en el sentido de las agujas del reloj, sin embargo, TRNSYS toma como referencia el Sur y va girando en sentido horario de manera que el Sur son 0° el Oeste 90° el Norte 180° y el Este 270° .

Por otra parte, la inclinación se mide desde la horizontal y en sentido horario.

Con esta información se crean las siguientes orientaciones:

Nombre	Acimut [°]	Inclinación [°]
NE	192	90
SO	12	90
SE	282	90
NO	102	90
Tej_Tras	192	30
Tej_del	12	30

Tabla 17. Orientaciones creadas en TRNSYS

Las orientaciones *tej_tras* y *tej_del* se han creado para poder definir correctamente el tejado de la vivienda. Como se puede observar se trata de dos orientaciones con el mismo acimut que las orientaciones NE y SO respectivamente pero cambiando su inclinación. De esta forma, se pretende crear una zona térmica no habitable denominada tejado en la que se emplearan estas dos orientaciones para representar fielmente la cubierta inclinada de cubierta de la vivienda.

Con los cerramientos y las distintas orientaciones definidas se procede a delimitar las distintas zonas térmicas.

En primer lugar se elige el tipo de cerramiento de entre los definidos anteriormente y su superficie.

A continuación, TRNSYS permite seleccionar la categoría del cerramiento entre diversas opciones: se emplea *external* para los cerramientos que dan al exterior, *adjacent* para los tabiques interiores que separan dos zonas térmicas en contacto y por último *boundary* para los cerramientos en contacto con el terreno.

Finalmente, se selecciona la orientación en el caso de ser un cerramiento tipo *external* o la zona térmica con la que delimita en caso de ser un tabique tipo *adjacent*. Se muestra a continuación un ejemplo:

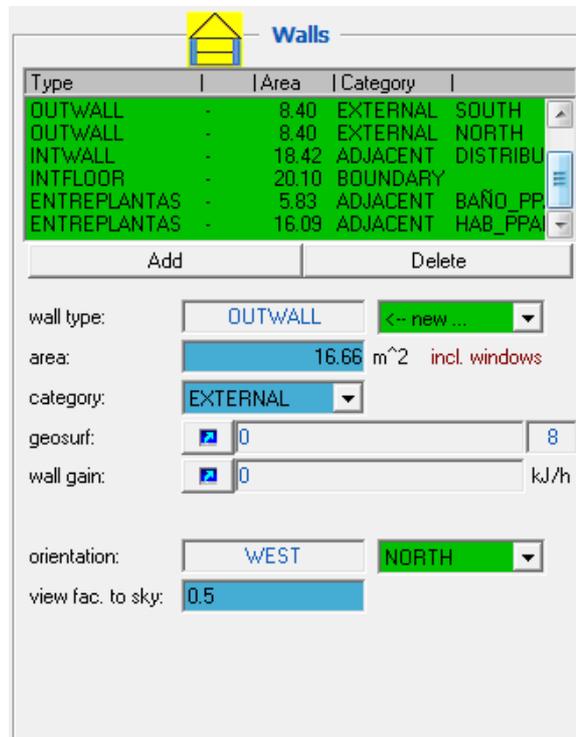


Figura 15. Introducción de muros en TRNBuild

6.3.2 Modelado de las ventanas Una vez modelados los muros de cada zona térmica se hace un estudio de las ventanas existentes en la vivienda así como sus características. Se observa que se trata de ventanas de cristal simple, claro, con un espesor de 6 mm y una transmitancia térmica de 5.73 W/ m²K.

La gran mayoría de ventanas se encuentran en la fachada principal con orientación SO por el contrario, en la fachada con orientación NO no se dispone de ninguna como se ha podido observar en el apartado de las características de la vivienda.

Para introducir una ventana en el modelo una vez se ha localizado el cerramiento en el que se encuentra basta con añadir a las características de dicho cerramiento la existencia de una superficie acristalada e introducir el tipo de cristal, las medidas de la ventana y la carpintería de la misma.

De esta forma se crean una a una todas las ventanas que tiene la vivienda.

6.3.3 Modelado del sombreado fijo Por otra parte, se tiene que tener en cuenta que la vivienda tiene sombreados fijos sobre algunas ventanas que provoca que no entre parte de la radiación solar.

El subprograma TRNBuild permite introducir un factor de sombreado en cada ventana. Este factor se puede definir de tres formas distintas: dependiendo de una programación que se crea previamente, dependiendo de una entrada procedente de otro type o introduciendo de forma manual un porcentaje constante de sombreado.

En este caso se va a utilizar la segunda opción, es decir, se introducirá en el proyecto un nuevo elemento que proporcione como salida el factor de sombreado de la ventana y éste se introducirá en el “Edificio multizona” como valor de entrada.

El elemento que se va a emplear es el Type 34 “Sombreado”. Este elemento cuenta con un asistente propio que permite introducir las dimensiones geométricas de la protección solar como podemos observar en la figura 16.

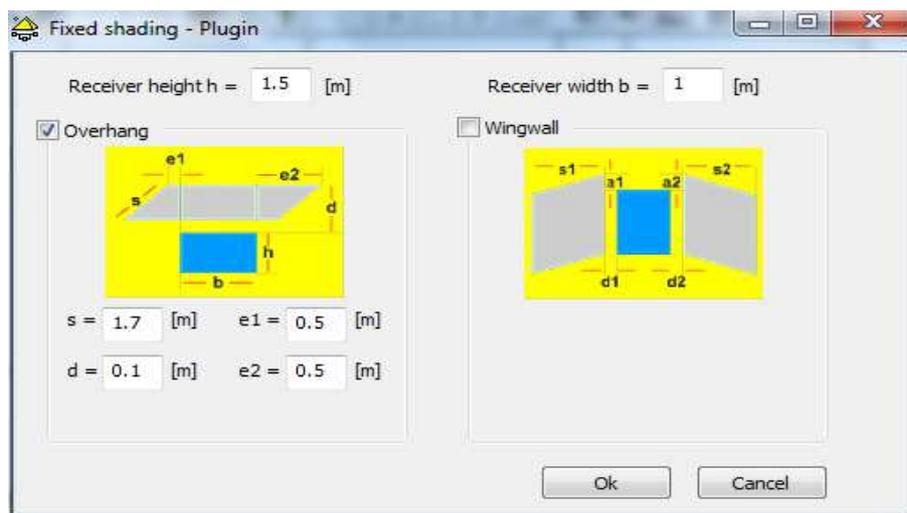


Figura 16. Asistente para la introducción de sombreados

El Type 34 calcula a partir de las dimensiones geométricas y la información meteorológica que obtiene del elemento “Datos meteorológicos” la radiación solar que recibe la ventana a lo largo del día con el sombreado instalado.

De esta forma se introducen los siguientes datos geométricos de sombreado para la vivienda:

Ventana sombreada	s [m]	e1 [m]	e2 [m]	d [m]
Cocina South	0.5	0.5	0.5	0.2
Cocina North	2.2	1	1	0.5
Distribuidor1 South	1.7	0.5	0.5	1
Comedor East	0.5	0.5	0.5	0.5
Comedor South	3	1.6	1.6	0.5

Tabla 18. Parámetros geométricos de los sombreados

6.3.4 Modelado de las infiltraciones Otra característica importante que se debe introducir en la vivienda para su simulación energética es el valor de infiltraciones. Para obtener un valor real sería necesario realizar un ensayo de hermeticidad con una herramienta diseñada para ello como por ejemplo el sistema Blower Door.

Este sistema mide las infiltraciones de la casa fijando una diferencia de presión de la misma con el exterior de 50 Pascales. Los resultados obtenidos con esta herramienta indican el nivel de hermeticidad de la vivienda pudiendo ir desde una que sea completamente hermética (0 renovaciones/hora), hasta una con una pésima estanqueidad (valores superiores a 10 renovaciones/hora).

Sin embargo, ante las dificultades que representa realizar este ensayo, se decide proceder de la siguiente manera: inicialmente se va a realizar una valoración de la sensibilidad de la vivienda de estudio frente a las infiltraciones y una vez obtenidas las conclusiones de este estudio se introducirá en el modelo el valor más adecuado para su simulación.

Si se analiza el efecto que tiene un aumento progresivo del valor de infiltraciones en la vivienda durante la semana más fría y la más calurosa del año se obtienen los siguientes gráficos:

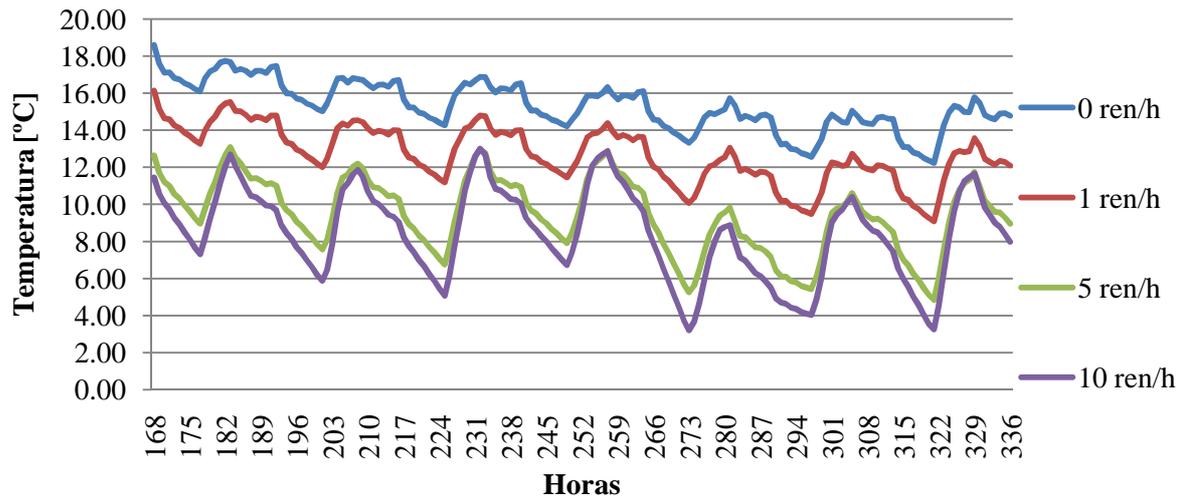


Figura 17. Efecto de las infiltraciones en una semana de invierno

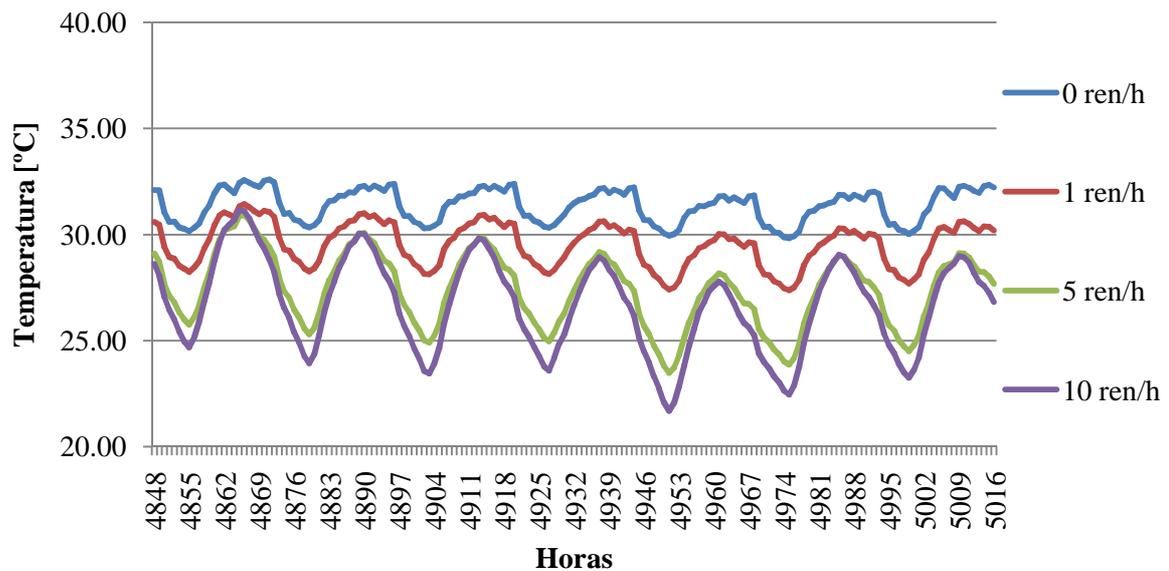


Figura 18. Efecto de las infiltraciones en una semana de verano

Se puede observar como al aumentar de 0 renovaciones/hora a 1 renovación/hora en ambos casos la temperatura en la vivienda disminuye en torno a 3°C. Si este valor se aumenta a 5 renovaciones/hora la evolución de la temperatura comienza a experimentar picos muy marcados bajando en general 5°C respecto al caso anterior. Por último, al introducir un valor de 10 renovaciones/hora a penas se nota descenso de la temperatura, únicamente los picos de mínima temperatura de cada día se acentúan todavía un poco más.

Como conclusión se puede afirmar que la temperatura sigue una línea de tendencia exponencial respecto al aumento del valor de renovaciones, es decir, para un valor en torno a 2 renovaciones/hora el aumento del mismo supone una variación notable en la temperatura de la vivienda, sin embargo, cuando se trata de un valor a partir de 10 renovaciones/hora un aumento del mismo apenas incide en la temperatura interior.

Se decide, por tanto, introducir en el modelo un valor de 2 renovaciones/hora que podría simular una vivienda con una estanqueidad media.

El subprograma TRNBuild cuenta con una pestaña para introducir este dato de forma manual en cada zona. Se procede de dicha forma a introducir el valor acordado en todas las zonas térmicas.

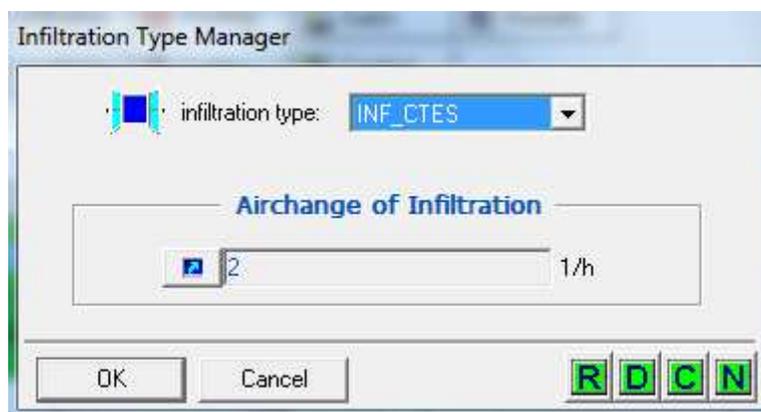


Figura 19. Introducción de las infiltraciones en TRNSYS

6.3.5 Modelado de las ganancias térmicas Una vez introducidas las infiltraciones de la vivienda se procede a modelar los aspectos referentes a las cargas térmicas de la misma.

Cuando se habla de carga térmica sobre un edificio o vivienda, se entiende que se habla de un fenómeno que tiende a modificar la temperatura interior del aire o su contenido en humedad.

En este sentido se puede establecer una primera clasificación de las cargas térmicas, según su incidencia:

- Cargas térmicas sensibles: aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: las que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire).

En este caso, se prestará especial interés en las cargas térmicas sensibles.

Por otro lado, el conocimiento de las cargas térmicas es imprescindible, como paso previo, para acometer la tarea de diseñar el sistema de acondicionamiento del aire interior de una vivienda.

Según la procedencia de estas cargas térmicas se pueden diferenciar dos grandes grupos:

- Cargas térmicas procedentes del ambiente exterior del edificio
- Cargas térmicas generadas en el interior del edificio

En el primer grupo tienen cabida las cargas a través de los cerramientos y de las ventanas, las cargas introducidas a través de la ventilación y las debidas a las infiltraciones.

Este tipo de cargas ya han sido tenidas en cuenta anteriormente a la hora de modelar otros aspectos de la vivienda como las infiltraciones, la ventilación, los cerramientos y las ventanas de modo que no es necesario introducirlas nuevamente.

Por este motivo, en este apartado se va a centrar la atención en el segundo grupo de cargas térmicas, las generadas en el interior del edificio. Estas pueden ser a su vez de distintos tipos:

- Cargas generadas por las personas
- Cargas de iluminación
- Cargas generadas por equipos y electrodomésticos

El cálculo de la carga sensible debida a las aportaciones internas de la vivienda (Q_{sai}) se determinará con la suma de todas ellas:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad (1)$$

Donde,

Q_{sil} es el valor de la ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior de la vivienda (W);

Q_{sp} es la ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes de la vivienda (W);

Q_{se} es la ganancia interna de carga sensible debida a los diversos aparatos existentes la vivienda, como aparatos eléctricos, ordenadores, etc. (W).

Para el cálculo de la **ganancia interna de carga térmica sensible aportada por la iluminación interior (Q_{sil})** en cada una de las zonas térmicas de la vivienda se considerará, si se trata de lámparas incandescentes, que un 10% de la potencia absorbida se transformará en luz mientras que el resto se transformará en calor que se disipa por radiación (80%) y convección (10%).

En el caso de tubos fluorescentes, un 25% se transforma en luz otro 25% se disipa por radiación hacia las paredes que rodean cada zona térmica, y el resto por conducción y convección. Debe tenerse en cuenta, además, el calor emitido por la reactancia limitadora, que representa un 25% de la potencia absorbida por la lámpara.

En la vivienda que se está estudiando todas las lámparas se consideran de descarga y por tanto se aplica el segundo caso.

Además, sólo se va a tener en cuenta las zonas térmicas cuyas ganancias tengan más relevancia. De esta forma se considera que las cargas térmicas producidas tanto en los baños como en ambos distribuidores no tendrán influencia ya que son zonas de paso o de estancia muy breve.

En la tabla siguiente se detalla la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior en las zonas térmicas consideradas relevantes al respecto:

Zona térmica	Potencia total absorbida [W]	25% Radiación [W]	50% Convección [W]
Cocina	50	12.5	25
Habitación D1	30	7.5	15
Comedor	105	26.25	52.5
Habitación principal	30	7.5	15
Habitación D2	30	7.5	15
Habitación D3	30	7.5	15

Tabla 19. Carga térmica sensible aportada por la iluminación interior

Para introducir estos valores en el modelo de la vivienda en TRNSYS se crea en primer lugar un perfil horario para cada zona térmica. En él, se tomará un valor de 1 en la franja horaria en la que se consideren todas las luces encendidas, un valor de 0.5 para momentos del día en los que sólo se empleen algunas de las luces de las que se dispone y un valor de 0 cuando se consideren todas las luces apagadas.

Además, se distinguirá entre fin de semana y entre semana. Se muestra a continuación como ejemplo los perfiles horarios del comedor:

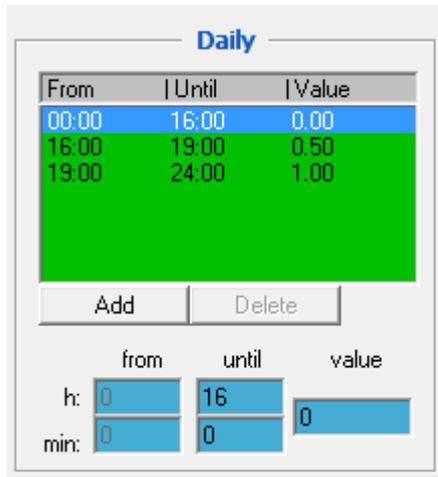


Figura 20. Perfil horario entre semana

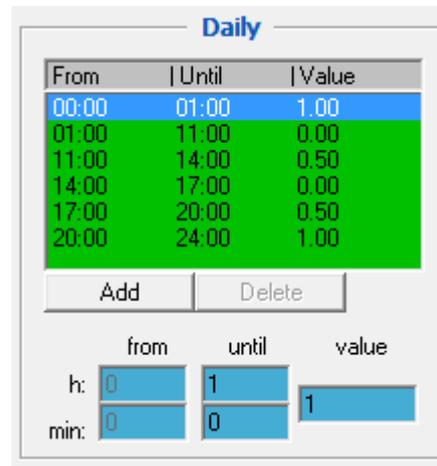


Figura 21. Perfil horario fin de semana

Una vez creados los perfiles de cada zona se introduce, en el asistente de TRNBuild específico para ello, los valores de las ganancias calculados en la tabla anterior y se asocian con el perfil horario correspondiente como muestra la figura 22:

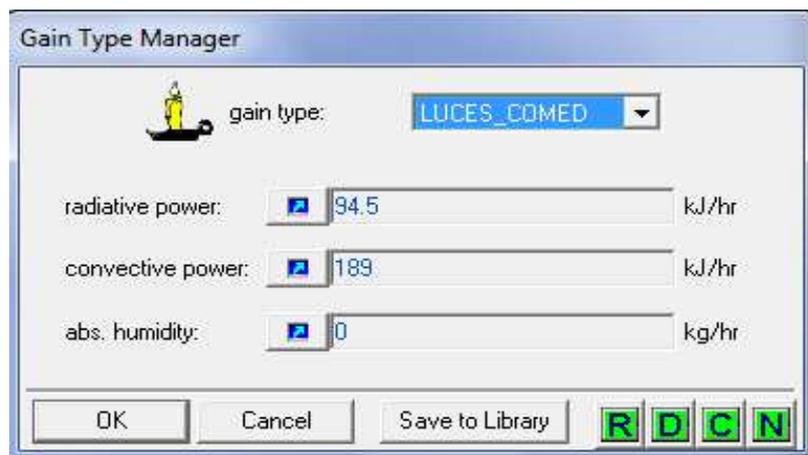
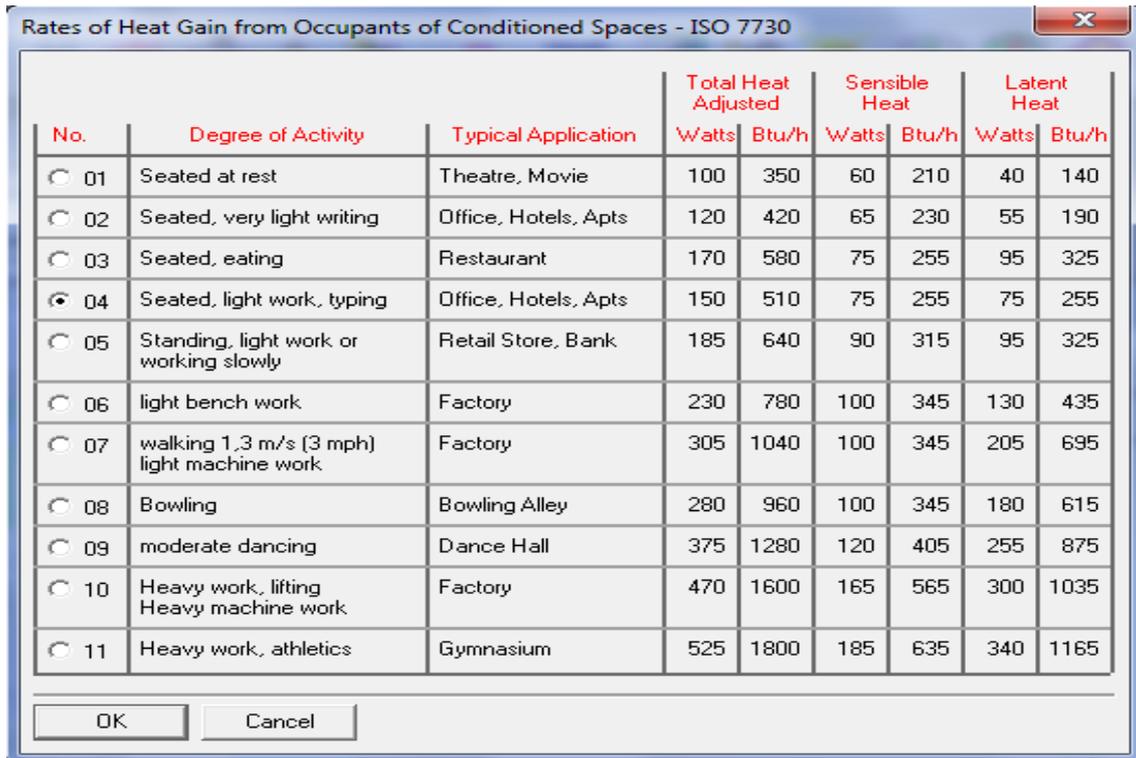


Figura 22. Introducción de las ganancias de iluminación en TRNBuild

A continuación, se estudia la **ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes de la vivienda (Qsp)**.

Para ello, es necesario referirse a la norma ISO 7730: “*Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*”. En ella, se presentan métodos para la predicción de la sensación térmica general y del grado de incomodidad de las personas expuestas a ambientes térmicos moderados.



No.	Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adjusted		Sensible Heat		Latent Heat	
			Watts	Btu/h	Watts	Btu/h	Watts	Btu/h
<input type="radio"/> 01	Seated at rest	Theatre, Movie	100	350	60	210	40	140
<input type="radio"/> 02	Seated, very light writing	Office, Hotels, Apts	120	420	65	230	55	190
<input type="radio"/> 03	Seated, eating	Restaurant	170	580	75	255	95	325
<input checked="" type="radio"/> 04	Seated, light work, typing	Office, Hotels, Apts	150	510	75	255	75	255
<input type="radio"/> 05	Standing, light work or working slowly	Retail Store, Bank	185	640	90	315	95	325
<input type="radio"/> 06	light bench work	Factory	230	780	100	345	130	435
<input type="radio"/> 07	walking 1,3 m/s (3 mph) light machine work	Factory	305	1040	100	345	205	695
<input type="radio"/> 08	Bowling	Bowling Alley	280	960	100	345	180	615
<input type="radio"/> 09	moderate dancing	Dance Hall	375	1280	120	405	255	875
<input type="radio"/> 10	Heavy work, lifting Heavy machine work	Factory	470	1600	165	565	300	1035
<input type="radio"/> 11	Heavy work, athletics	Gymnasium	525	1800	185	635	340	1165

Figura 23. Valores de calor sensible y latente emitidos por una persona según ISO 7730

Basándose en esta norma, TRNBuild dispone de una tabla (figura 23) con los valores de calor sensible y calor latente emitidos por una persona en función de la actividad que esté realizando.

De esta forma, en cada zona se selecciona la actividad que los habitantes de la vivienda vayan a realizar en ella y se asocian nuevamente a un perfil horario los valores obtenidos.

En este caso, el factor introducido en cada franja horaria estará referido al número de habitantes que se encuentren en ese momento del día desarrollando la actividad seleccionada tal como se muestra en las figuras siguientes:

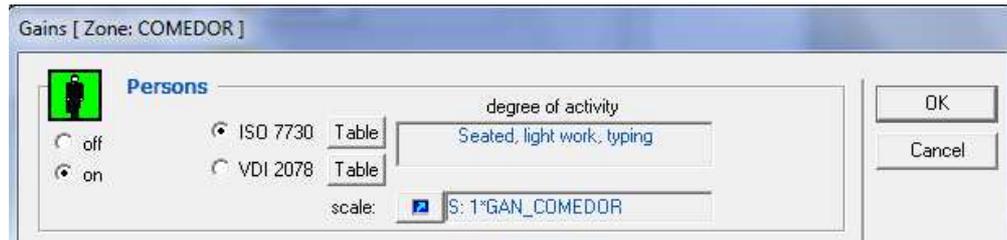


Figura 24. Introducción de las ganancias debidas a los ocupantes en TRNBuild



Figura 25. Perfil horario de ocupación

Para acabar de introducir las cargas térmicas queda valorar la **ganancia interna de carga sensible debida a los diversos aparatos existentes la vivienda (Qse)**.

Llegados a este punto se considera oportuno tener en cuenta en este cálculo únicamente las cargas térmicas debidas a los electrodomésticos y a los fuegos situados en la cocina ya que el resto de aparatos como ordenadores y televisión no se emplean con un horario determinado. Además, en el caso de los ordenadores, no existe una zona fija destinada a su uso ya que se trata de ordenadores portátiles.

Por tanto, en la cocina se añaden dos ganancias térmicas. Por un lado debida a la vitrocerámica y por otro lado debida al frigorífico (el resto de electrodomésticos tales como el microondas o el lavavajillas se desprecian debido a su escaso y esporádico uso).

En ambos electrodomésticos resulta muy difícil saber cuál es la potencia media a la que funcionan y cuánto consumen. Por ejemplo, en la vitrocerámica este valor depende de los fogones que estén encendidos y del nivel al que se le hagan funcionar, además, este tipo de electrodoméstico funciona de forma pulsátil, es decir, se enciende y se apaga de forma secuencial durante su uso.

Respecto al frigorífico, se considera que aún funcionando las 24 horas del día únicamente emite calor mientras el compresor está encendido y esto tiene lugar cada distinto tiempo en función de la cantidad de comida que contenga, el tiempo que esté abierta la puerta, la temperatura exterior, etc.

Para obtener con exactitud la potencia media de funcionamiento en un uso normal de estos dos electrodomésticos y poder introducir este valor en el modelo se decide emplear un contador instantáneo de electricidad.

Este aparato se instala acoplando un sensor al cable fase del cuadro eléctrico de la vivienda y mediante un transmisor y un monitor muestra en tiempo real, al instante, el consumo eléctrico en kWh, la potencia en kW, los costes y las emisiones de CO₂.

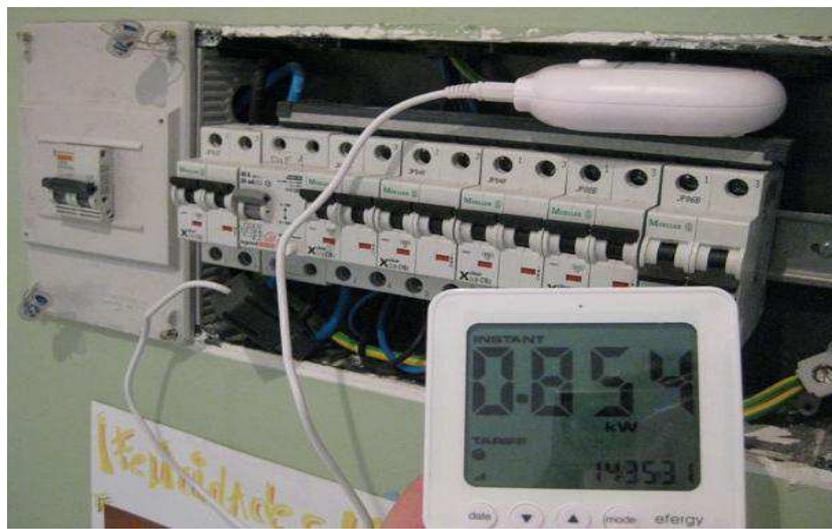


Figura 26. Contador instantáneo de electricidad

Los resultados obtenidos en el ensayo se resumen en la siguiente tabla:

	Energía consumida [Wh]	Tiempo en funcionamiento [h]	Potencia media [W]
Vitrocerámica	447.5	0.5	895
Frigorífico	2088	24	87

Tabla 20. Resultados ensayo contador instantáneo de electricidad

Del mismo modo que con las cargas térmicas anteriores, la potencia obtenida de la vitrocerámica se asocia a un perfil horario que indique las horas al día en las que se encuentra funcionando.

En el caso del frigorífico no es preciso asociar esta ganancia a un perfil horario de funcionamiento ya que su uso es ininterrumpido.

6.3.6 Modelado de la climatización Como último paso en el modelado de la vivienda se estudian las características referentes a la climatización.

Al hablar de climatización se deben tener en cuenta tres aspectos:

- Calefacción
- Refrigeración
- Ventilación

En lo referente a los dos primeros, el subprograma TRNBuild permite introducir las condiciones de temperatura deseadas dentro de cada zona térmica que controlarán la activación del sistema de aire acondicionado o de calefacción según sea necesario.

Estas condiciones de confort pueden ser introducidas de tres formas distintas: mediante un valor constante de temperatura que actuará a lo largo de las 24 horas del día; a través de una programación en la cual se deciden distintas condiciones de confort según el día en el que se encuentre y la franja horaria del mismo y por último un valor de temperatura dependiente de la salida de algún otro elemento de la simulación.

En este caso se decide introducir tanto la calefacción como la refrigeración funcionando las 24 horas del día y todos los días de la semana para así poder obtener la potencia necesaria que cumpla con las condiciones de confort establecidas.

Por tanto, la calefacción se ha programado para que se encienda cuando la temperatura interior de la vivienda sea inferior a 20°C, mientras que la refrigeración se conectará cuando la temperatura sobrepase los 25°C.

Además, se selecciona la opción que permite realizar la simulación con un valor de potencia máximo ilimitado.

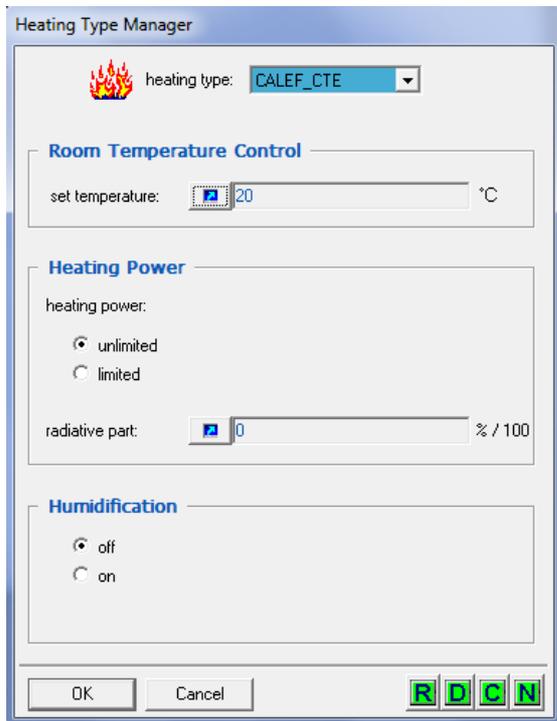


Figura 27. Modelado de la calefacción

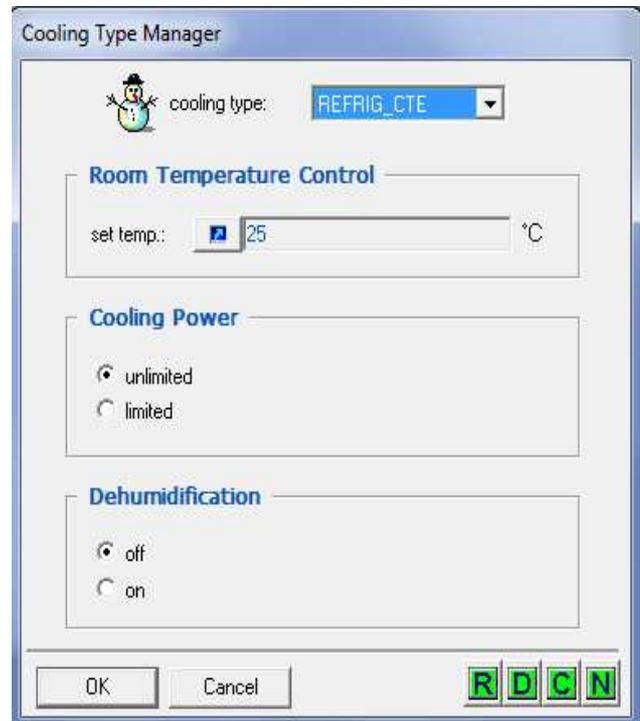


Figura 28. Modelado de la refrigeración

En cuanto a la ventilación, inicialmente se decide no definir ninguna ya que el único sistema de ventilación que posee la vivienda es mediante la apertura de ventanas y se considera lo más adecuado realizar un primer análisis del comportamiento de la misma sin recurrir a esta medida.

7. EVALUACIÓN DE LA MAGNITUD DEL CONSUMO CON EL MODELO

Una vez definido el modelo de la vivienda en TRNSYS con el que se va a simular el comportamiento térmico de la misma es necesario validarlo. Para ello, hay que comprobar que los resultados obtenidos con dicho modelo se corresponden con la realidad.

Puesto que se dispone del dato de consumo anual de gasóleo y se sabe que únicamente la calefacción y el A.C.S. son obtenidas mediante este combustible se decide emplear esta información para la validación.

Inicialmente, al introducir las características del modelo para su simulación energética se impuso como referencia para la calefacción y refrigeración las condiciones consideradas de confort con la finalidad de poder analizar la demanda energética de climatización. Estas condiciones se correspondían con una temperatura mínima de 20°C y una máxima de 25°C.

Sin embargo, para poder validar el modelo se deben modificar estos datos e imponer las condiciones más próximas al funcionamiento actual de la vivienda.

A pesar de tratarse de una vivienda principal, debido a los horarios escolares y de trabajo de los propietarios la calefacción está programada para mantener distintas temperaturas en función de la franja horaria del día en la que se encuentre.

A continuación se puede observar esta programación:

Horario	Temperatura [°C]
7.00-8.00	18
8.00-18.00	15
18.00-00.00	20
00.00-7.00	16

Tabla 21. Programación real de calefacción de la vivienda

Además, se considera la posibilidad de que durante los meses de verano siempre que la temperatura en el interior de la vivienda supere los 25°C y que la temperatura exterior sea inferior a ésta se abran las ventanas.

Esta medida es importante para la validación ya que actualmente la vivienda no dispone de sistema de aire acondicionado y es de esta forma como se refrigera la misma en los meses más calurosos. Si no se tuviese esto en cuenta, el valor de energía necesaria para la climatización saldría muy lejano a la realidad.

Una vez modificados estos parámetros en el modelo se comprueba que los resultados de la simulación coinciden con la información aportada por los propietarios.

En primer lugar se analiza la potencia de calefacción por horas demandada a lo largo de un año en el comedor:

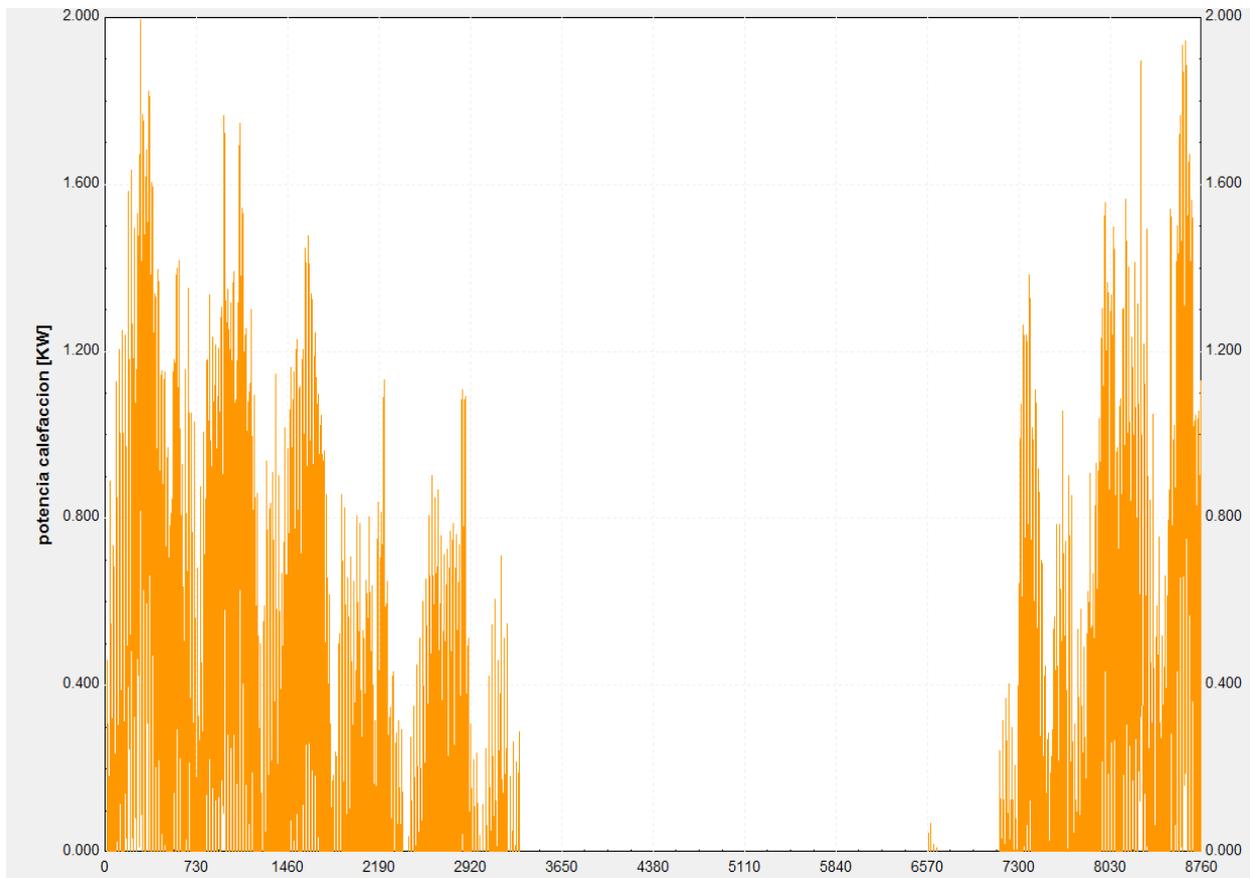


Figura 29. Potencia de calefacción demandada en el comedor [kW]

Se puede apreciar que durante los primeros meses del año se requiere una elevada potencia de calefacción. Sin embargo, se observa un marcado descenso al llegar al mes de Abril (hora de simulación 3000) que acaba dando lugar a un consumo nulo durante los meses centrales del año. Posteriormente, cuando llega el mes de Octubre (hora de simulación 7300) vuelve a ascender uniformemente la potencia demandada hasta alcanzar valores máximos en el mes de Diciembre.

Estos resultados coinciden con la información aportada por los habitantes de la vivienda que aseguran no necesitar calefacción de Abril a Octubre.

No obstante, se va a analizar la potencia de calefacción en otra zona de la vivienda para mayor seguridad. A continuación se contemplan los kW de calefacción demandados por la habitación principal durante un año:

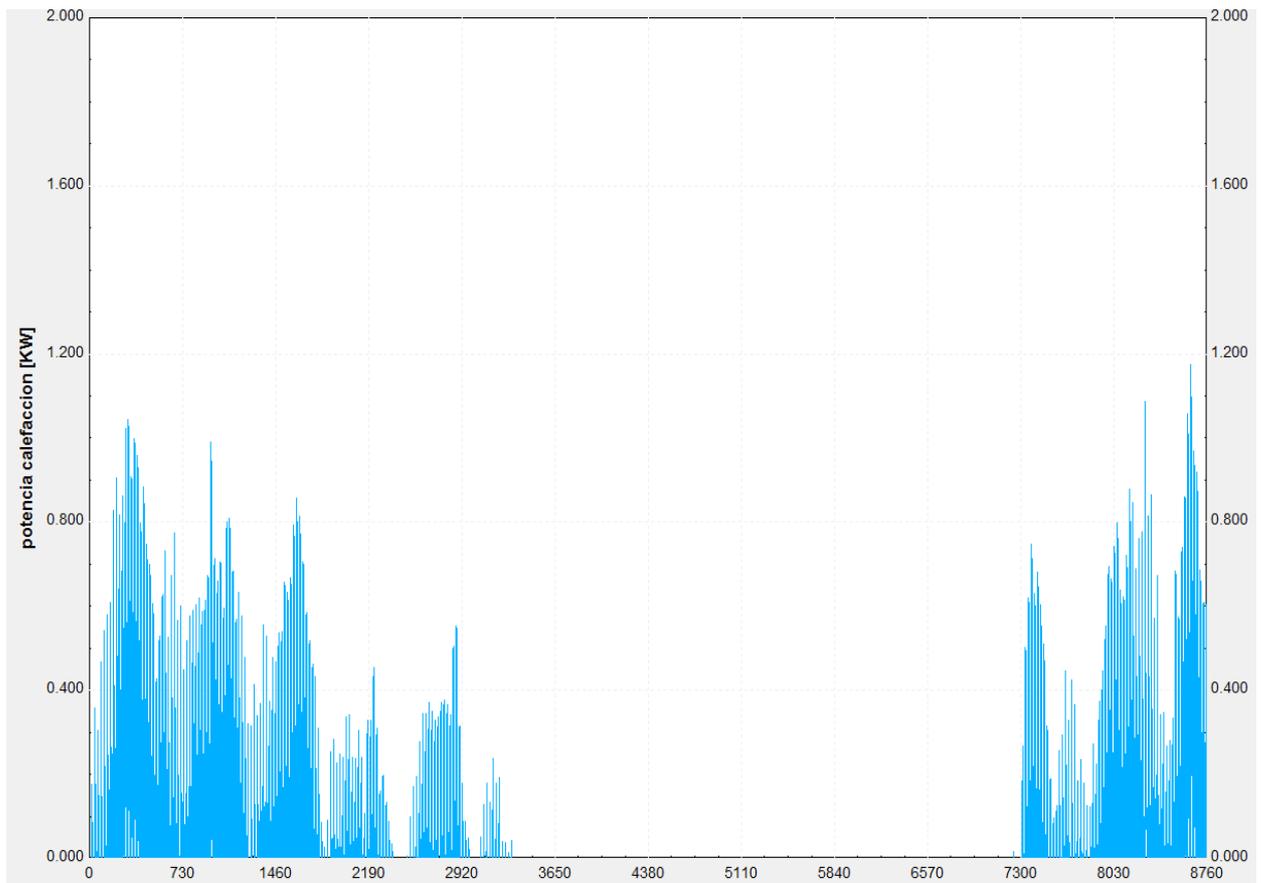


Figura 30. Potencia de calefacción demandada en la habitación principal [kW]

Se observa que el gráfico sigue la misma tendencia que el anterior pero con valores aparentemente inferiores. Este resultado sustenta la información aportada por los propietarios que explican que el comedor es la zona más fría de la vivienda.

Por último, se estudia la energía total demandada por la calefacción para contrastar este dato con el consumo de gasóleo de la vivienda que se recuerda estaba en 1300 litros anuales.

Sin embargo, no hay que perder de vista que estos 1300 litros corresponden tanto al consumo de calefacción como al de A.C.S. Por ello, previamente hay que obtener el gasto de combustible referido únicamente a calefacción.

Si se asume que un 25% del consumo total de gasóleo corresponde A.C.S. (porcentaje medio según estadísticas de IDAE) se puede llegar a la conclusión de que la vivienda emplea 1005 litros de gasóleo en calefacción cada año.

Una vez se ha obtenido este dato, se recogen los resultados proporcionados por la simulación respecto a la energía consumida por la calefacción en cada zona de la vivienda. Estos datos se recogen en la siguiente tabla:

	Espacios habitables	Energía anual de calefacción [MJ]
Planta baja	Cocina	4,305.6
	Baño 1	720
	Distribuidor 1	2,590.2
	Habitación D1	2,353.32
	Comedor	5479.2
Planta piso	Baño principal	1,183.32
	Habitación ppal	2,057.4
	Baño 2	1,374.84
	Distribuidor 2	1,903.32
	Habitación D2	2,694.24
	Habitación D3	1,714.32
Total		27,033.84

Tabla 22. Energía consumida por la calefacción en cada zona

Según el modelo, la energía total de calefacción demandada por la vivienda durante un periodo de un año son 27,033.84 MJ. Además, este tipo de grupos térmicos tienen un rendimiento que está alrededor del 80%.

Si se tienen en cuenta estos dos parámetros se puede calcular la energía real consumida a partir de la siguiente expresión:

$$Energía\ consumida\ [MJ] = \frac{Energía\ útil\ [MJ]}{rendimiento} \quad (2)$$

Se obtiene con este cálculo una energía consumida de 33,792.3 MJ.

Por otra parte, el gasóleo tiene un poder calorífico de 35.93 MJ/litro. Con este dato se puede obtener finalmente el consumo en litros de gasóleo empleado en calefacción:

$$\text{Combustible necesario [litros]} = \frac{\text{Energía consumida [MJ]}}{\text{PCI combustible [} \frac{\text{MJ}}{\text{l}} \text{]}} \quad (3)$$

Este cálculo proporciona un valor de 940.55 litros de gasóleo consumidos en calefacción por la vivienda cada año.

Se comprueba por tanto que este valor es muy próximo al real (1005 litros) y se puede, por tanto, dar como válido el modelo realizado mediante TRNSYS.

8. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA

8.1 Resultados Obtenidos

Una vez el modelo ha sido evaluado, se realizan las simulaciones para estudiar la evolución del comportamiento térmico y de la demanda en climatización de la vivienda. Los resultados de estas simulaciones se analizan a continuación.

Para poder obtener unos resultados claros y significativos los datos que se analizarán serán los siguientes:

- Evolución de la temperatura en distintas zonas de la vivienda durante la semana más fría de invierno
- Evolución de la temperatura en distintas zonas de la vivienda durante la semana más calurosa de verano
- Consumo de calefacción y refrigeración en dichas semanas
- Consumo anual de calefacción y refrigeración de la vivienda completa

Antes que nada, se estudia la evolución de la temperatura ambiente a lo largo de un año para seleccionar los días más críticos de verano e invierno.

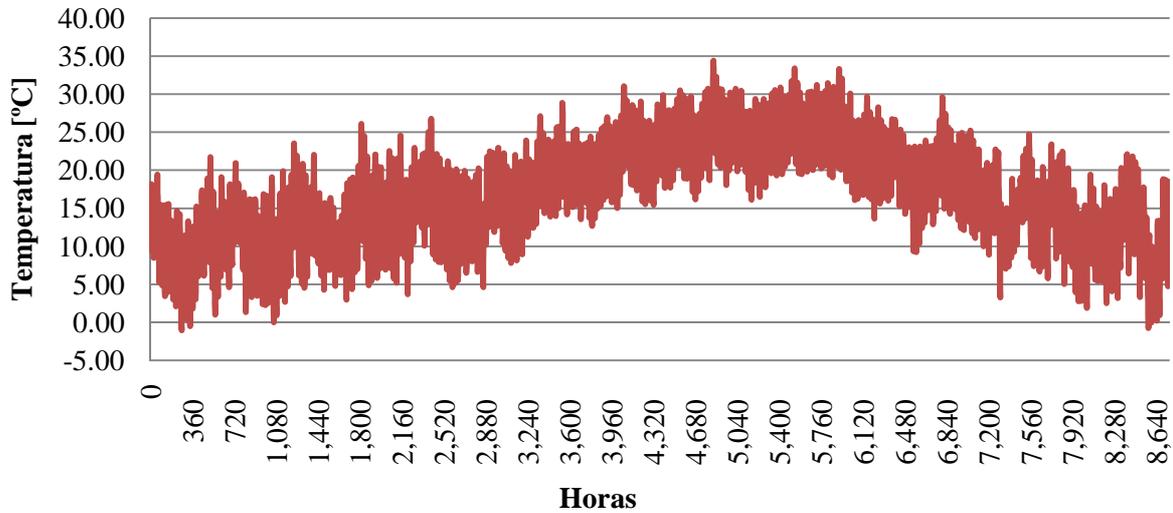


Figura 31. Evolución anual de la temperatura ambiente

Como se puede observar en la figura anterior, los días más fríos se producen a principio y a final de año. Sin embargo, es a final del mes de Julio (hora 4900) cuando se pueden apreciar las temperaturas más elevadas. Siguiendo este razonamiento se selecciona por una parte la semana del 7 al 14 de Enero y por otra parte la del 24 al 31 de Julio como semanas críticas para el análisis de la climatización.

En primer lugar, una vez determinadas las fechas, se analiza la evolución de la temperatura en las principales zonas de la planta baja durante la semana del 7 al 14 de Enero:

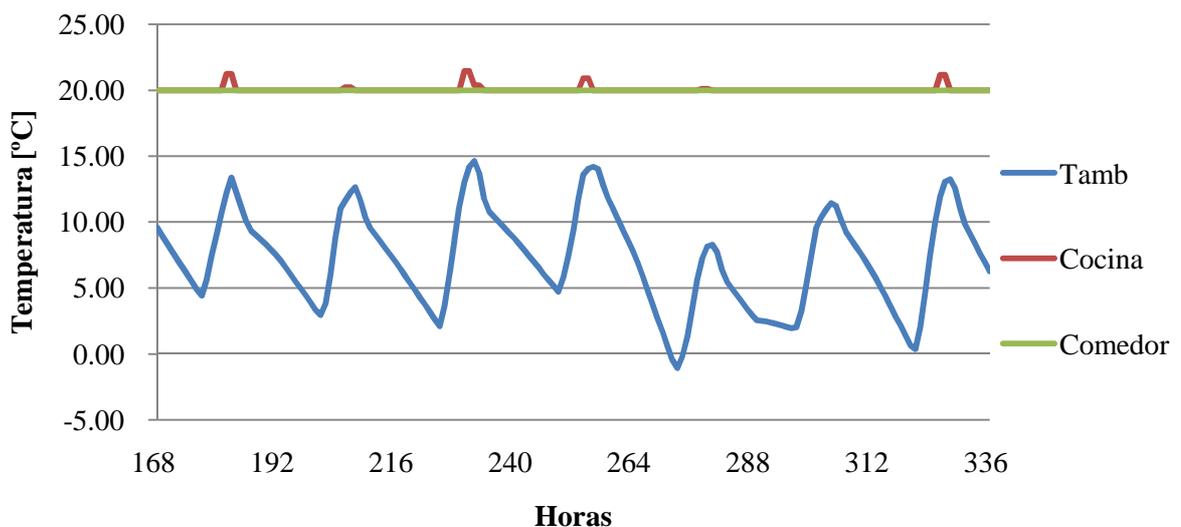


Figura 32. Temperaturas de diversas zonas de la planta baja en invierno

En el gráfico anterior se aprecia que la temperatura del comedor se mantiene constante en un valor de 20°C. Este valor coincide con el de mínima temperatura de confort establecido en el modelo lo que implica que esta zona precisa de calefacción las 24 horas del día para poder mantener esta condición durante el invierno.

Por otra parte, en la cocina, existen momentos en los que se supera la temperatura de consigna por si sola y por tanto se deja de consumir calefacción.

Estos picos de temperatura coinciden con los máximos de la temperatura ambiente lo que hace pensar que posiblemente la temperatura en esta zona sea constantemente superior a la del resto de zonas. Esto se puede deber a las cargas térmicas debidas a los diferentes electrodomésticos y a la vitrocerámica que se han considerado en dicha zona.

La siguiente gráfica muestra la evolución de la temperatura en el mismo periodo de tiempo pero para las zonas más significativas de la planta superior:

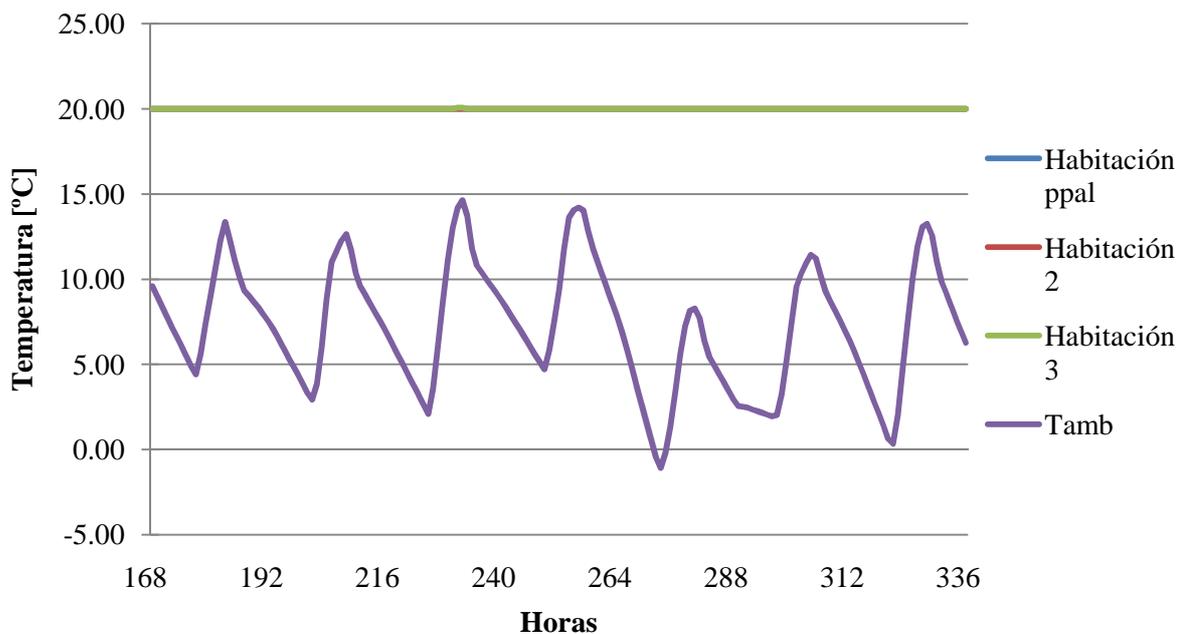


Figura 33. Temperaturas de diversas zonas de la planta superior en invierno

Se puede observar de nuevo como las temperaturas de todas las zonas quedan solapadas en la línea de 20°C lo que implica que en todo momento se encuentran por debajo de la temperatura mínima de consigna y requieren del uso de calefacción para poder alcanzarla.

A continuación, se muestra el consumo de calefacción del comedor, la cocina y la habitación principal durante estos siete días:

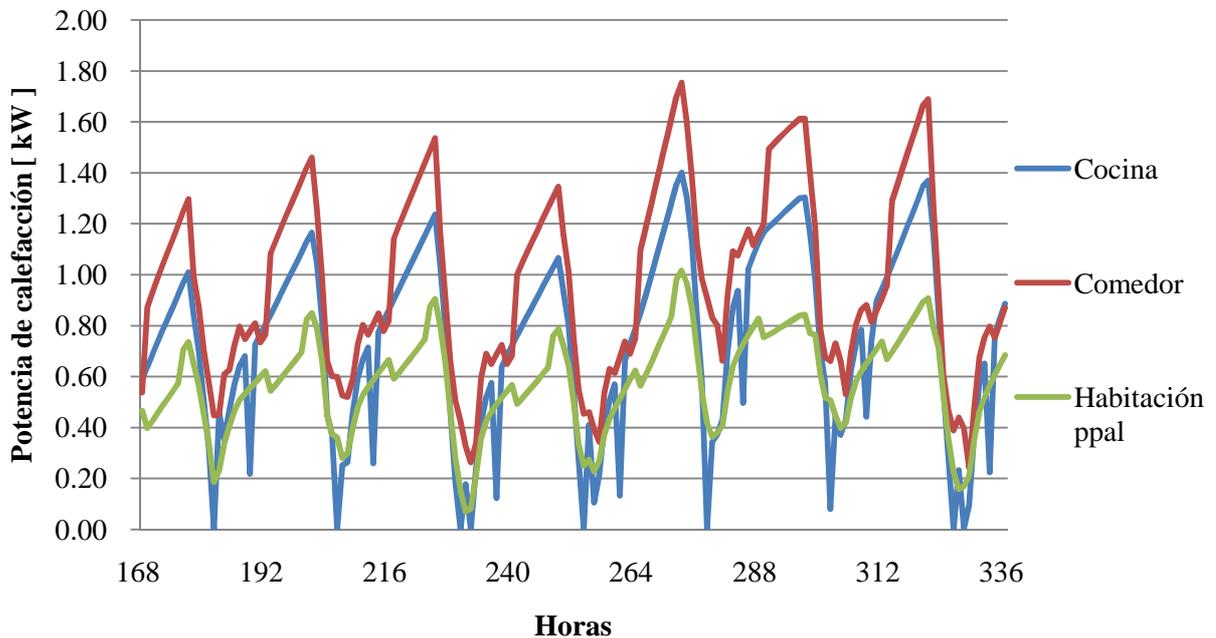


Figura 34. Potencia de calefacción necesaria en diversas zonas

En el gráfico anterior destaca a primera vista la elevada potencia de calefacción necesaria en el comedor para mantener la temperatura de confort establecida. Esto puede ser debido a que la fachada principal de esta zona, a pesar de tener orientación Sur, posee todas sus ventanas sombreadas durante la mayor parte del día debido a la existencia de elementos de sombreado fijo que impiden que entre la radiación solar.

Otro aspecto importante que se observa en el mismo gráfico es que la cocina dispone de momentos en los que no necesita el uso de calefacción para alcanzar la temperatura mínima de confort.

Esto coincide con lo que se observaba al analizar la evolución de la temperatura en esta zona ya que veíamos que ésta se encontraba por encima de los 20°C sin necesidad de climatización en algunas horas debido a las ganancias.

En cuanto a la habitación principal, se puede ver que tiene una demanda media de calefacción que en la mayor parte del tiempo está por debajo de la de las otras dos zonas.

Por último, se aprecian ligeros picos descendentes en la demanda de las tres zonas que se deben a las ganancias térmicas provocadas por la iluminación y las personas cuando se encuentran en la vivienda. En la cocina los picos son más bruscos debido a las ganancias de la vitrocerámica y el frigorífico.

A continuación se realiza el mismo estudio pero para los días 24 al 31 de Julio donde aparecían las temperaturas más elevadas del año.

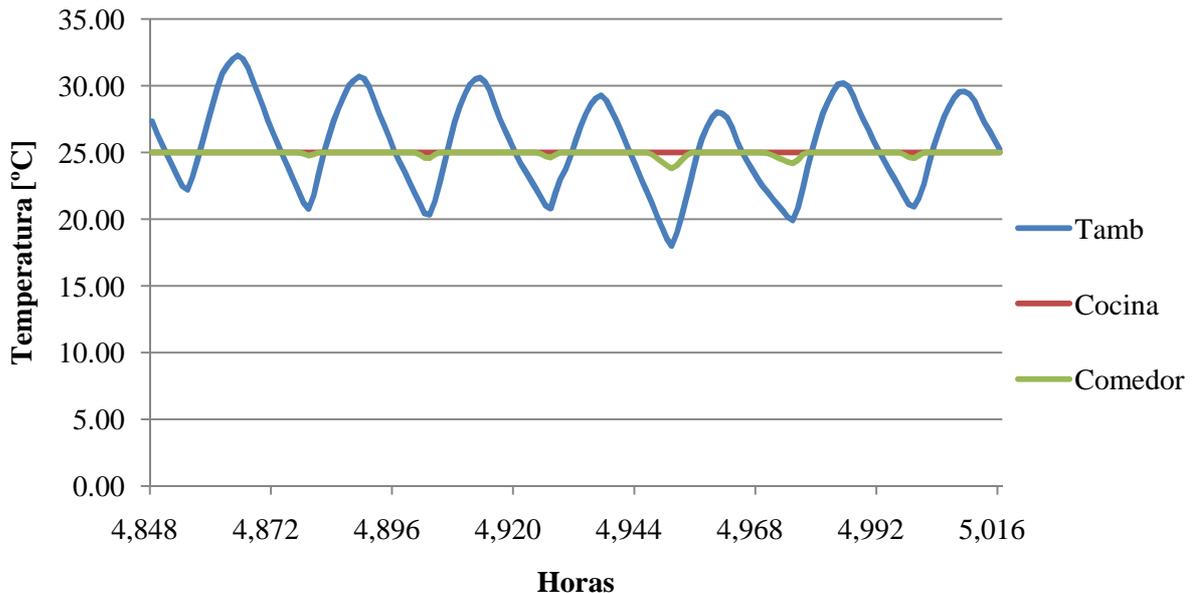


Figura 35. Temperatura de diversas zonas de la planta baja en verano

En la figura anterior podemos analizar la evolución de la temperatura en la cocina y en el comedor durante los días indicados.

Se aprecia que la cocina mantiene una temperatura constante de 25°C durante los siete días. Este hecho implica que en esta zona es necesaria una refrigeración de forma continuada para poder estar por debajo de la temperatura máxima de confort.

Por el contrario, en el comedor se puede observar que en los momentos en los que la temperatura ambiente experimenta sus mínimos la temperatura de esta zona se mantiene dentro de los márgenes de confort sin necesidad de climatización.

Estos dos resultados mantienen la suposición anterior de que el comedor es la zona más fría de la vivienda mientras que la cocina es la más calurosa.

En la figura siguiente se analizan las principales zonas de la planta superior:

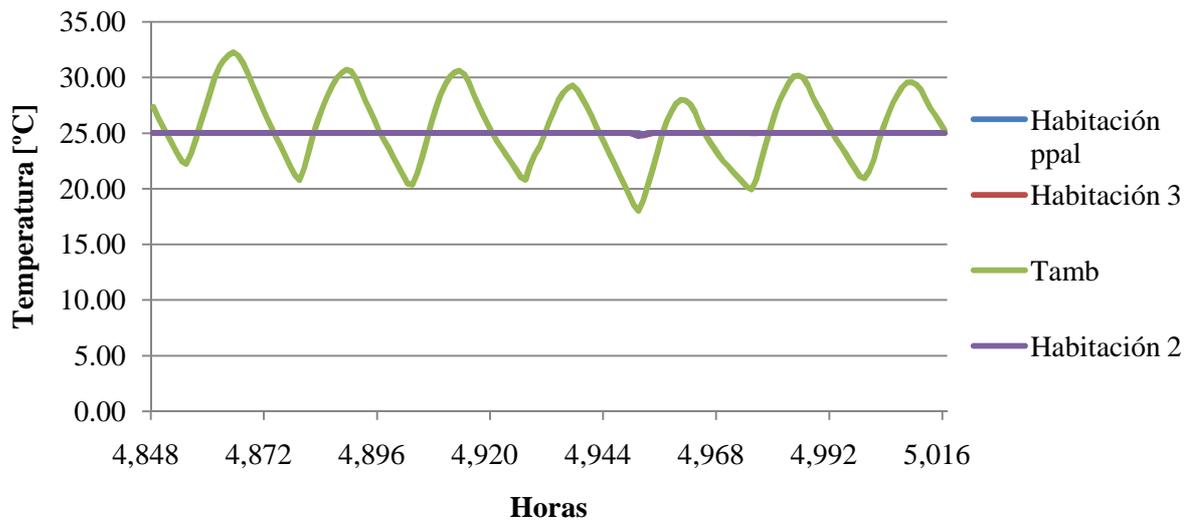


Figura 36. Temperatura de diversas zonas de la planta superior en verano

Se puede observar que las tres habitaciones mantienen una temperatura constante de 25°C gracias a la acción del aire acondicionado ya que de no ser así, no podrían alcanzar la temperatura máxima de consigna. No obstante, se manifiesta un muy ligero descenso en la temperatura de las tres zonas cuando en el exterior se produce una bajada que alcanza los 17°C.

Una vez analizada la temperatura se procede con la evolución de la potencia de refrigeración en las principales zonas de la vivienda.

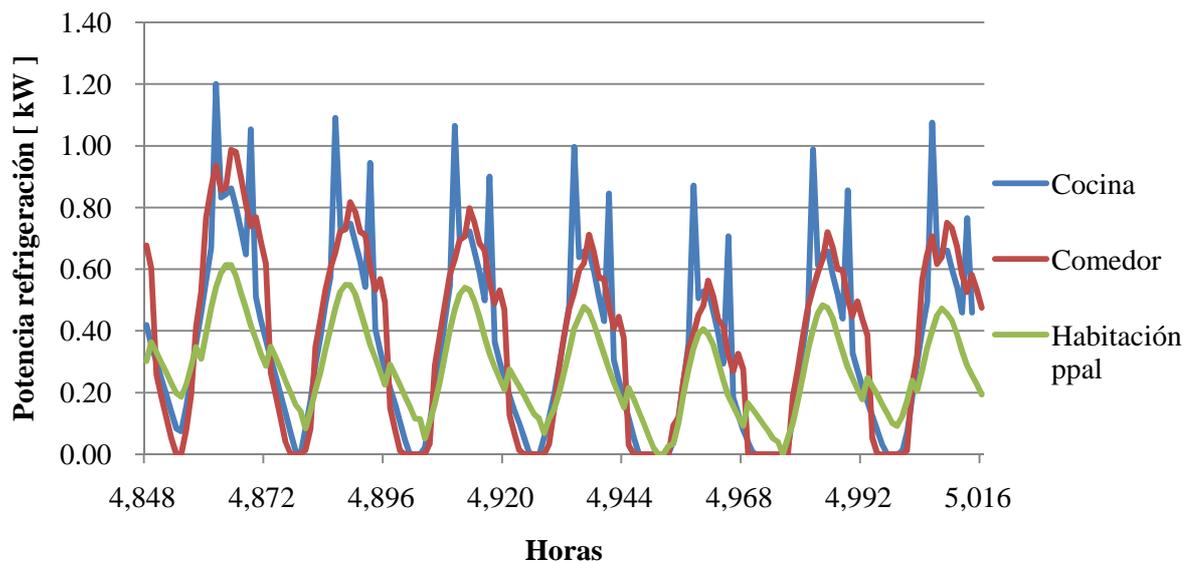


Figura 37. Potencia de refrigeración necesaria en diversas zonas

En este caso ocurre lo mismo que con la potencia de calefacción pero a la inversa.

La cocina es la zona donde existe una mayor demanda, esto, como se ha visto antes, se debe a las ganancias propias de esta zona que provocan que su temperatura se encuentra casi siempre por encima de la del resto de zonas de la vivienda. Este hecho que podría suponer una ventaja en invierno se traduce en elevados picos de refrigeración durante el verano. A pesar de esto, en los momentos del día en los que no se hace uso de esta zona, la temperatura de confort se alcanza sin necesidad de refrigeración.

Por otra parte, el comedor, aunque tiene una demanda elevada en la mayor parte del día, al llegar la noche le ocurre como a la cocina y es que existen varias horas diarias en las que no necesita refrigeración ya que por sí mismo se mantiene dentro de las temperaturas de confort.

En lo referente a la habitación principal se puede afirmar que necesita climatización durante prácticamente todo el día. Se observa una tendencia acorde a la temperatura ambiente excepto cuando llega la noche que experimenta picos más elevados de demanda. Esto se debe a que es en estos momentos del día en los que esta zona tiene ocupación.

A continuación, se realiza un balance de la potencia anual en calefacción y refrigeración demandada por la vivienda.

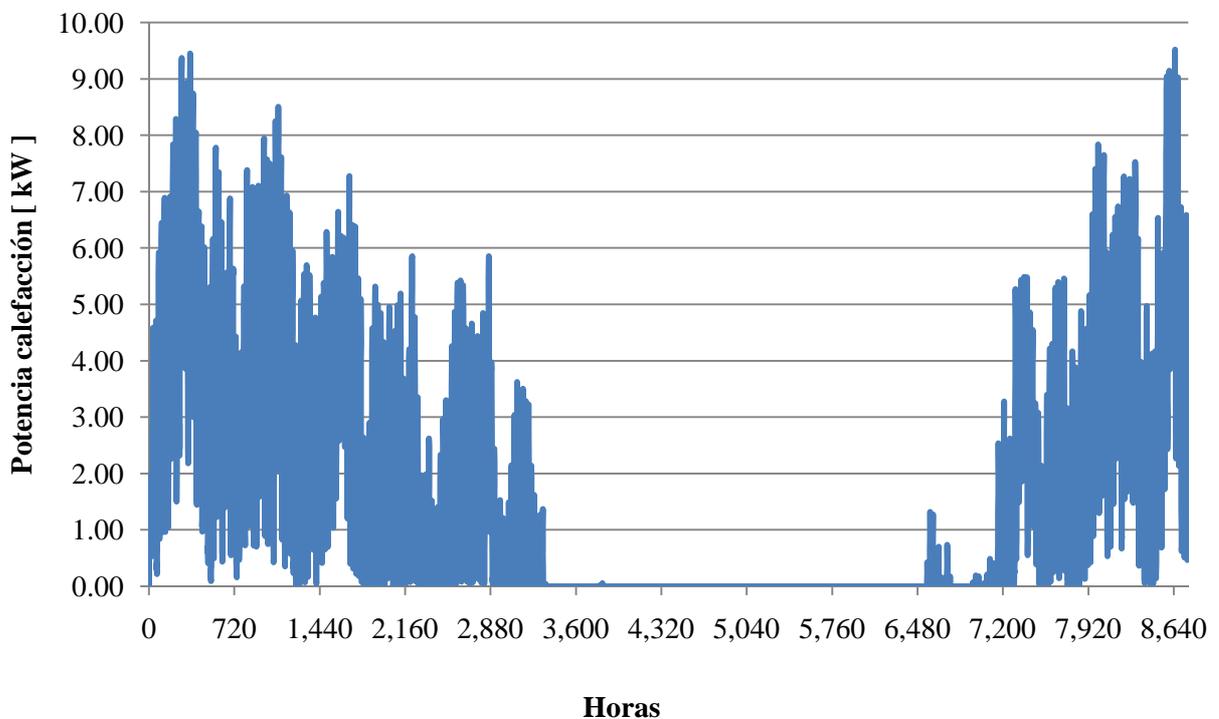


Figura 38. Potencia anual de calefacción necesaria en la vivienda

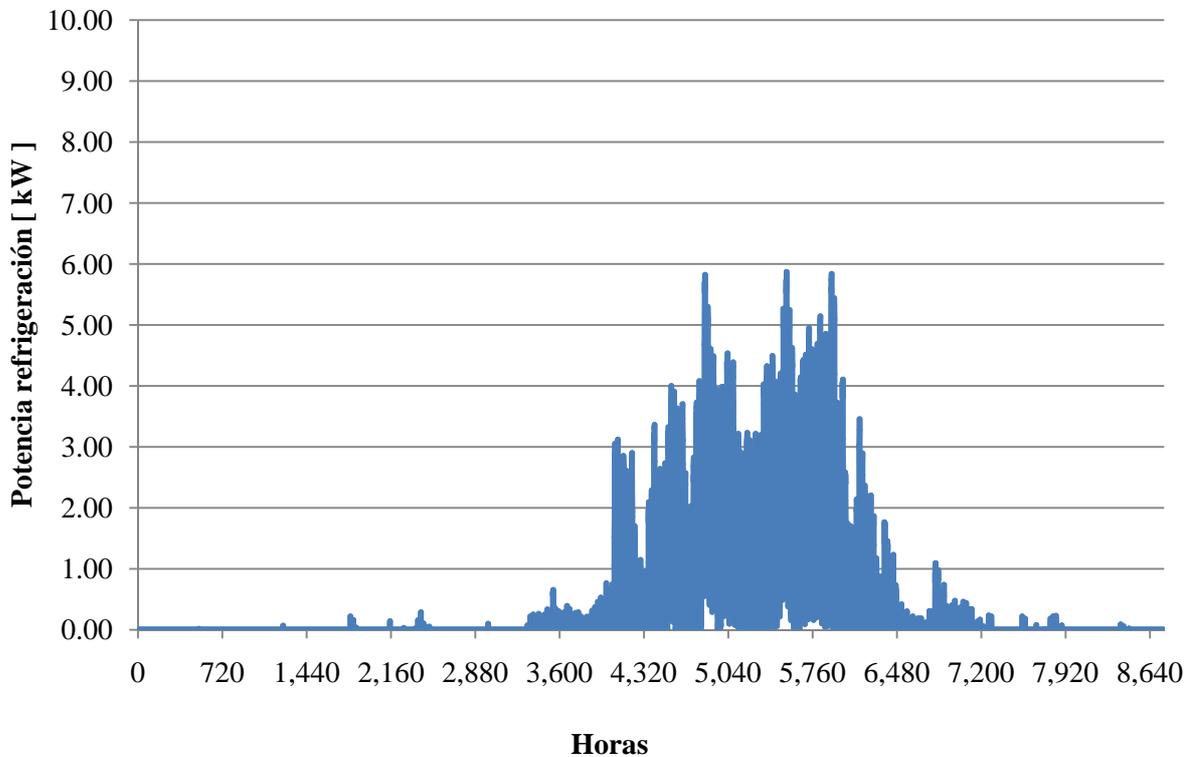


Figura 39. Potencia anual de refrigeración necesaria en la vivienda

Estas gráficas muestran como la potencia en calefacción es mucho mayor y necesaria de forma más asidua. Sin embargo, la potencia de refrigeración, aunque concentra su demanda en los meses de verano, se pueden observar pequeños picos repartidos a lo largo de todo el año incluso en invierno.

Esto se debe a que la cocina recibe la radiación solar sin ninguna restricción como podrían ser persianas o toldos y esto junto con las elevadas ganancias térmicas de esta zona hace que se encuentre en muchos momentos por encima de la temperatura de confort.

En la siguiente tabla se desglosa la energía de calefacción y refrigeración por metro cuadrado según las distintas zonas de la vivienda:

		Calefacción [kWh/m ²]	Aire Acondicionado [kWh/m ²]
Planta baja	Cocina	87.26	33.57
	Baño 1	151.12	16.88
	Distribuidor 1	81.49	12.88
	Habitación D1	90.69	30.03
	Comedor	85.15	22.30
Planta piso	Baño principal	124.79	16.72
	Habitación ppal	78.68	27.14
	Baño 2	131.74	14.21
	Distribuidor 2	83.65	19.91
	Habitación D2	102.65	25.81
	Habitación D3	83.45	29.41
Total		1,100.67	248.86

Tabla 23. Energía anual de climatización por metro cuadrado

En la tabla se observa un efecto a destacar: las zonas con sus fachadas principales orientadas al Norte (los tres baños y la habitación D1) son las que más calefacción por metro cuadrado necesitan destacando notablemente por encima del resto. Esto se debe a que las fachadas orientadas a norte tienen pocas ganancias solares e importantes pérdidas térmicas. Por el contrario, la habitación D3, la habitación principal y los distribuidores que tienen sus fachadas orientadas al Sur son las zonas con menos demanda de calefacción.

En cuanto a la refrigeración, cabe resaltar que la cocina es la zona con más necesidad de refrigeración por metro cuadrado al cabo del año. Esto era de esperar debido por una parte a las ganancias térmicas de esta zona y por otra al hecho de que sus principales ventanas están situadas al Sur y reciben la radiación solar sin ninguna restricción como podría ser unas persianas o un toldo.

Además, observando la demanda total de ambos tipos de climatización se confirma que la vivienda emplea más del doble de potencia en calefacción que en refrigeración para mantenerse en las condiciones de confort establecidas.

8.2 Conclusiones y Propuestas

Del análisis de los resultados que se han expuesto en el apartado anterior, se deducen las siguientes conclusiones:

- Existe una demanda de calefacción muy elevada durante gran parte del año a excepción de los meses más calurosos en que esta demanda se hace nula.
- Las zonas de la vivienda con fachadas al Norte son las que más demanda de calefacción precisan.
- Existe una elevada demanda de refrigeración pero únicamente durante los meses de Junio a Septiembre.
- La cocina es la zona de la vivienda con más necesidad de refrigeración debido a las ganancias térmicas características de esta zona.

A continuación, se decide asumir una serie de medidas sobre la vivienda que permitan reducir la demanda energética de climatización. Estas medidas son las siguientes:

- Refrigeración natural mediante la apertura controlada de ventanas
- Temperatura de confort según zona y ocupación
- Elementos de sombra contra la sobreirradiación
- Mejora del aislamiento en los cerramientos
- Mejora de la calidad de las ventanas

En los posteriores apartados se procederá a implementar estas mejoras en el modelo y estudiar sus efectos.

9. ESTUDIO DE MEJORAS PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO

9.1 Refrigeración Mediante Ventilación Natural.

La ventilación natural es una de las estrategias de enfriamiento pasivo más eficiente y empleada en todo el mundo.

Se trata de permitir la entrada y la salida del aire exterior en el interior de la vivienda. Para ello, se crean las condiciones oportunas mediante diferencias de presión y/o temperatura de manera que el aire interior sea renovado por aire exterior, más frío, oxigenado y descontaminado.

Sin embargo, para que esta medida resulte eficaz es necesario hacerlo de forma controlada. En este caso, para que la ventilación natural se produzca se han introducido en el modelo de la vivienda las siguientes condiciones:

- La temperatura de la zona controlada tiene que estar por encima de la seleccionada como temperatura de consigna para esta medida (23°C).
- La temperatura del aire exterior tiene que ser inferior a la temperatura del aire de la zona controlada.

Cuando se dan ambas condiciones a la vez en una zona controlada de la vivienda el modelo simulará la acción de abrir las ventanas para que entre el aire del exterior.

Es importante tener en cuenta que la temperatura que se ha elegido como temperatura de consigna es un valor inferior al que se introdujo en el modelo inicial como temperatura de consigna para la activación del aire acondicionado de la vivienda (25°C). Con esto, se pretende que la ventilación natural se accione antes que el sistema de aire acondicionado y evitar así, en la medida de lo posible, el uso de éste último.

Por otra parte, durante el invierno, la temperatura que se consideró como mínima de confort al realizar el modelo fueron 20°C. Como es un valor inferior al de ventilación natural se puede asegurar que en ningún caso se podría dar la situación de que se activara la señal para abrir las ventanas mientras la calefacción está en funcionamiento.

Para introducir esta mejora en el modelo de la vivienda realizado con TRNSYS se utiliza el Type 2b “Controlador diferencial de temperatura con histéresis” combinado con una calculadora propia del programa. De esta forma, en el controlador se introduce la temperatura de consigna y en la calculadora las condiciones para que se active la ventilación.

Tras realizar estos cambios en el modelo y efectuar la simulación se obtienen los siguientes resultados:

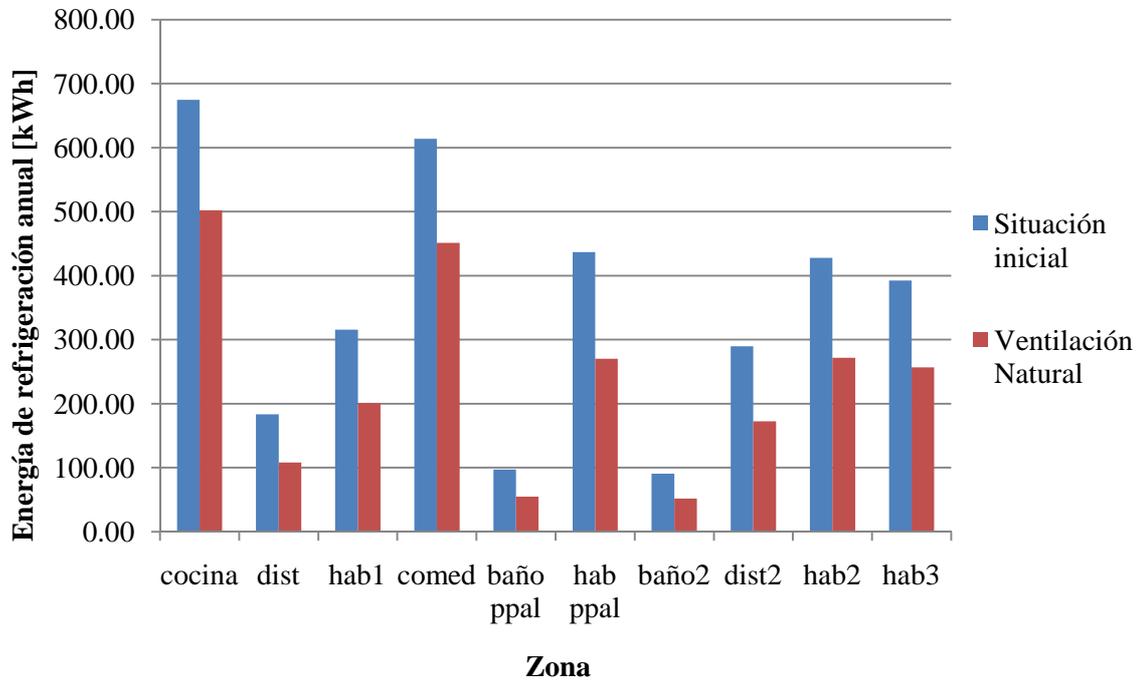


Figura 40. Demanda energética de refrigeración antes y después de la ventilación natural

Se puede observar como en todas las zonas de la vivienda la ventilación natural permite reducir notablemente la demanda anual de refrigeración. Este efecto se nota especialmente en el comedor, en la cocina y en las habitaciones de la planta superior (habitación 2 y habitación 3).

En la siguiente tabla se recogen las demandas anuales de refrigeración antes y después de introducir esta mejora:

	Situación inicial	Ventilación natural
consumo anual [kWh]	3,614.03	2,391.82
Ahorro [kWh]		1,222.21
Ahorro [%]		33.82

Tabla 24. Consumo energético anual de refrigeración con y sin ventilación natural

Se puede afirmar que la ventilación natural proporciona un ahorro anual de energía del 33.82%. Además, al tratarse de una mejora que no implica un desembolso económico el ahorro se produce desde el momento en que se implanta.

9.2 Ajustar la Temperatura de Confort según la Zona y el Nivel de Ocupación

Los propietarios de la vivienda tienen diferentes obligaciones que hacen que durante gran parte del día no se encuentren en ella. Este motivo evidencia que las necesidades de temperatura no son las mismas durante las 24 horas del día. Además, la ocupación de la vivienda varía también en función de si se trata de un día laborable o del fin de semana.

Por otra parte, debido a que no todas las zonas de la vivienda se usan con la misma frecuencia es necesario adaptar las condiciones de confort al tipo de actividad que se va a realizar y al tiempo que se va a permanecer en cada una de ellas.

Por estas razones, una medida importante a llevar a cabo para reducir el consumo energético debido a la climatización es ajustar las temperaturas de confort a las necesidades y rutinas de las personas que habitan en la vivienda así como a las características de cada zona.

Se procede por tanto a implementar en el modelo las siguientes mejoras:

- Control de la temperatura de confort por zonas
- Control de la temperatura de confort por horarios

Tras reunirse con los habitantes de la vivienda y conocer sus rutinas y horarios se decide establecer las siguientes temperaturas de confort para los meses fríos del año:

- Habitaciones:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Viernes	08:00 – 17:00	15
	17:00 – 00:00	18
	00:00 – 08:00	20
Sábado - Domingo	09:00 – 00:00	18
	00:00 – 09:00	20

Tabla 25. Condiciones de confort de calefacción en las habitaciones

Las habitaciones de esta vivienda se emplean exclusivamente durante la noche. Por este motivo, es en estas horas en las que se ha establecido la temperatura de mayor confort (20°C).

Es necesario destacar también que de lunes a viernes la vivienda permanece desocupada por completo hasta las 17:30 horas a excepción de días esporádicos en los que alguno de sus habitantes acude a comer. En cualquier caso este hecho no afectaría a los dormitorios, por ello, durante este tiempo se establecen condiciones muy poco estrictas (15°C).

Por último, durante las horas del día en las que los habitantes se encuentran en la vivienda pero en zonas distintas a las habitaciones se establece en éstas una temperatura media (18°C).

- Comedor:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Viernes	00:00 – 15:00	15
	15:00 – 00:00	20
Sábado - Domingo	00:00 – 11:00	15
	11:00 – 00:00	20

Tabla 26. Condiciones de confort de calefacción en el comedor

Al contrario que la zona anterior, el comedor se usa durante prácticamente todas las horas en las que se encuentra alguna persona en la vivienda a excepción de las horas en las que se duerme. Por esta razón, se establecen dos condiciones distintas de confort: 20°C para las horas en las que alguno o todos los habitantes están en la vivienda y 15°C para las horas en las que la casa está completamente desocupada.

- Cocina:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Viernes	07:00 – 09:00	20
	09:00 – 13:00	15
	13:00 – 15:00	20
	15:00 – 20:00	18
	20:00 – 22:00	20
	22:00 – 07:00	15
Sábado - Domingo	09:00 – 11:00	20
	11:00 – 13:00	18
	13:00 – 15:00	20
	15:00 – 20:00	18
	20:00 – 22:00	20
	22:00 – 09:00	15

Tabla 27. Condiciones de confort de calefacción en la cocina

La cocina se emplea únicamente para desayunar, comer, cenar y cocinar. Por ello, se establecen tres condiciones distintas: una temperatura máxima de confort (20°C) para las horas en las que se realizan estas actividades, una temperatura poco exigente para los momentos en los que la vivienda

está vacía (15°C) y una temperatura media (18°C) para las horas en las que aunque no se esté realizando ninguna actividad en esta zona hay personas en el resto de la vivienda.

- Baños:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Viernes	07:00 – 09:00	20
	09:00 – 13:00	15
	13:00 – 07:00	18
Sábado - Domingo	09:00 – 00:00	20
	00:00 – 09:00	17

Tabla 28. Condiciones de confort de calefacción en los baños

Los baños son una zona de uso corto y esporádico durante la mayor parte del día a excepción de los momentos en los que los habitantes lo emplean para ducharse y arreglarse. De lunes a viernes esto tiene lugar a primera hora de la mañana mientras que el fin de semana no existe un horario fijo para ello y por este motivo se mantienen las condiciones de máximo confort durante casi todo el día.

- Distribuidores:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Viernes	07:00 – 09:00	18
	09:00 – 13:00	15
	13:00 – 07:00	18
Sábado - Domingo	09:00 – 00:00	18
	00:00 – 09:00	15

Tabla 29. Condiciones de confort de calefacción en los distribuidores

En los distribuidores, al ser una zona de paso se ha decidido no establecer condiciones demasiado exigentes. Mientras que la vivienda está ocupada se mantendrán a 18°C y, del mismo modo que el resto de zonas, cuando no hay nadie estas condiciones bajarán a 15°C.

Para los meses más calurosos se realiza de forma similar a la anterior una programación de las temperaturas de confort en función de la zona de la vivienda. Sin embargo, en este caso, no se va a diferenciar entre fin de semana y de lunes a viernes ya que en este periodo del año es cuando los habitantes de la vivienda tienen vacaciones y por ello no existe diferencia de horario entre ambos.

A continuación se observan las condiciones de confort establecidas en el modelo para estos meses:

- Habitaciones:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Domingo	09:00 – 00:00	26
	00:00 – 09:00	24

Tabla 30. Condiciones de confort de refrigeración en las habitaciones

En esta zona, la máxima condición de confort (24°C) tiene lugar mientras los habitantes se encuentran durmiendo en la misma. El resto del día se establece una temperatura un poco más elevada (26°C).

- Comedor:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Domingo	00:00 – 11:00	27
	11:00 – 00:00	25

Tabla 31. Condiciones de confort de refrigeración en el comedor

En el comedor, por el contrario, se mantendrá 25°C durante todo el día a excepción de las horas en las que los habitantes se encuentren durmiendo en las habitaciones en las cuales se permitirá una temperatura menos exigente (27°C).

- Cocina:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Domingo	13:00 – 15:00	25
	15:00 – 20:00	27
	20:00 – 22:00	25
	22:00 – 13:00	27

Tabla 32. Condiciones de confort de refrigeración en la cocina

En la cocina se procede del mismo modo que con las condiciones de calefacción, es decir, durante las horas en las que se está cocinando o comiendo se mantiene el máximo confort y en las horas restantes se establece una temperatura menos estricta.

- Distribuidores y baños:

	Horario	Temperatura [°C]
Lunes - Domingo	09:00 – 00:00	26
	00:00 – 09:00	27

Tabla 33. Condiciones de confort de refrigeración en los distribuidores y baños

En este caso, coinciden las condiciones de estas dos zonas. Esto se debe a que en ambas la temperatura exigida no es necesario que sea demasiado estricta para las acciones que se van a desarrollar en ellas.

Una vez introducidos estos cambios en el modelo se observan los siguientes resultados:

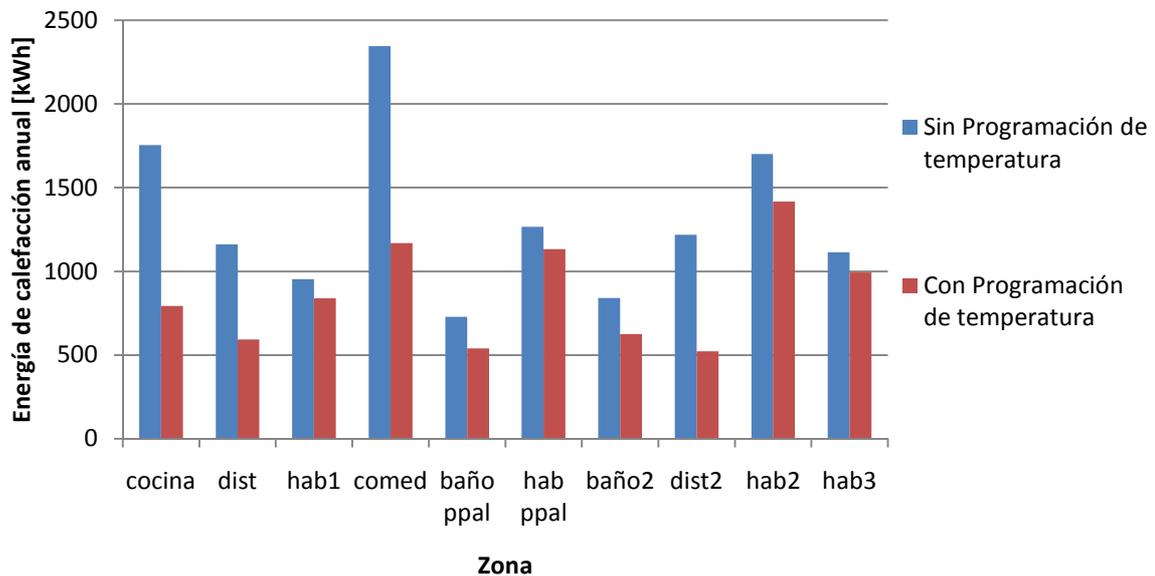


Figura 41. Demanda energética de calefacción antes y después de la programación de la temperatura

La demanda energética de calefacción anual disminuye notablemente en todas las zonas al introducir la nueva programación de temperaturas. Esta mejora se observa en mayor medida en la cocina y en el comedor. Esto se debe a que como se pudo observar en el apartado *8Análisis del Comportamiento Térmico de la Vivienda* éstas eran las zonas de la vivienda con mayor demanda en calefacción.

En esta nueva simulación la demanda de calefacción en la cocina pasa a estar por debajo de otras zonas ya que su uso a lo largo del día es inferior al de las mismas y por tanto permite establecer temperaturas menores durante muchas horas.

Otras zonas que experimentan mucha mejora con esta medida son los dos distribuidores. Esto se puede atribuir a que al considerarse como zonas de paso se ha podido disminuir sus exigencias de confort y con ello se ha conseguido una notable disminución en la demanda energética.

Si se estudia de forma global el consumo anual de calefacción al implementar esta mejora se llega a un valor de 9,154.4 kWh frente a los 13,919.29 kWh que se necesitaban anteriormente con la ventilación natural. Este cambio, por tanto, supone un ahorro de un 34.23% en el consumo energético anual de calefacción respecto a introducir únicamente la medida anterior.

Por otra parte, en lo que respecta a la refrigeración se observan los siguientes resultados:

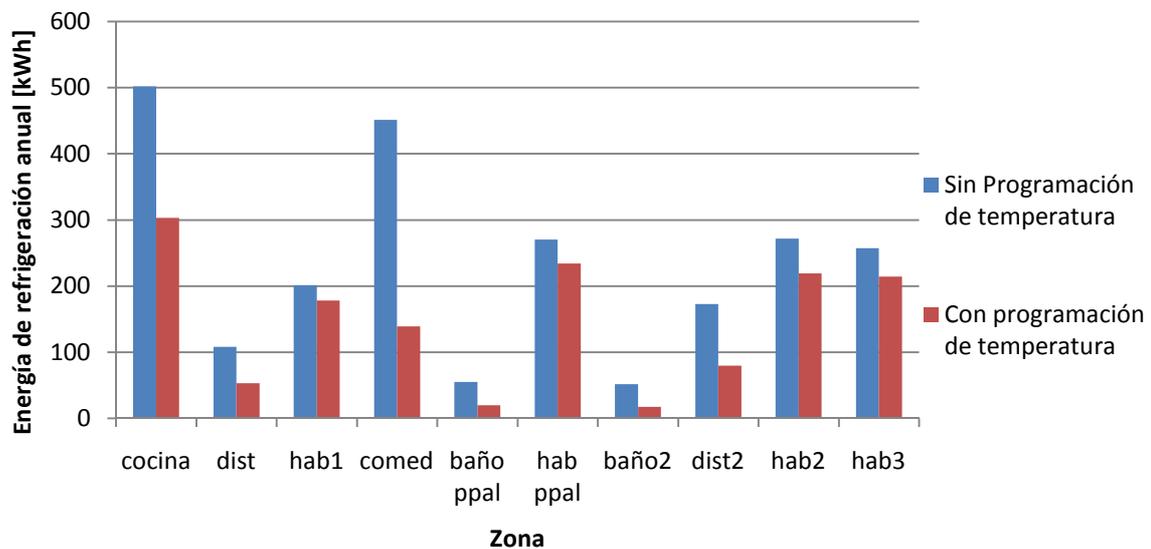


Figura 42. Demanda energética de refrigeración antes y después de la programación de la temperatura

En la figura anterior se puede analizar cómo, igual que pasaba con la demanda en calefacción, la cocina y el comedor son las zonas que mayor mejora experimentan ya que también eran las que más refrigeración precisaban desde un principio.

Por el contrario, los dormitorios de la vivienda son las zonas en las que menos se aprecia el cambio. Esto es debido a que se ha mantenido una temperatura muy exigente de confort durante un largo periodo de horas al día en estas zonas para asegurar el descanso y la comodidad de los habitantes.

Por último, es importante destacar la escasa demanda energética necesaria en los baños tras introducir este cambio. Este hecho hace inevitable empezar a reflexionar sobre si es necesario o no el aire acondicionado en ellos.

Si se realiza nuevamente un balance global se llega a la conclusión de que el actual consumo anual de refrigeración (1,474.47 kWh) supone un ahorro de un 38.35% respecto al que se tenía en el modelo anterior tras implementar la ventilación natural (2,391.82kWh).

Además, la inversión a realizar para poder llevar a cabo esta programación de la temperatura es muy asequible ya que basta con adquirir un termostato programable cuyo precio se encuentra alrededor de 30€. Si se analiza desde un punto de vista económico, el ahorro alcanza un valor próximo a 500€ anuales lo que supone un periodo de retorno inferior a un mes.

La siguiente tabla muestra un resumen del ahorro conseguido hasta el momento:

	Situación inicial	Ventilación natural	Ventilación natural + programación temperatura
consumo anual calefacción [kWh]	13,919.29	13,919.29	9,154.4
Ahorro total [kWh]		0	4,764.89
Ahorro total [%]		0	34.23
consumo anual refrigeración [kWh]	3,614.03	2,391.82	1,474.47
Ahorro total [kWh]		1,222.21	2,139.56
Ahorro total [%]		33.82	59.2

Tabla 34. Ahorro energético conseguido con la ventilación natural y la programación de temperatura

9.3 Elementos de Sombra contra la Sobreirradiación

En el apartado 5 *Características Iniciales de la Vivienda* se pudo observar como la gran mayoría de ventanas existentes en la vivienda reciben la radiación solar sin restricciones, es decir, aunque la zona se encuentre por encima de la temperatura máxima deseada no existe ningún mecanismo para impedir la entrada de la radiación solar.

Por este motivo, se va a estudiar a continuación la influencia que tiene en el consumo energético la acción de colocar persianas en el exterior de las ventanas.

Para la implementación de esta mejora en el modelo de la vivienda se ha introducido un factor de sombreado que modifica la radiación incidente en una ventana, afectando tanto a la radiación directa como a la difusa.

Este factor, toma un valor de 0.9 cuando la temperatura en el interior de la zona controlada se encuentra por encima de la temperatura de consigna seleccionada. Por el contrario, cuando la temperatura interior toma valores inferiores al de consigna el factor de sombreado pasa a valer 0.

Se pretende simular así la acción de unas persianas que en caso de estar actuando proporcionan un sombreado del 95% en la ventana.

En cuanto a la temperatura de consigna se ha seleccionado un valor de 22.5°C que es inferior a la temperatura de consigna de refrigeración y a la de ventilación natural. De esta forma, cuando la temperatura supera los 22.5°C, en primer lugar se pondrá en funcionamiento el sombreado, en caso de no ser suficiente se accionará la ventilación natural y como último recurso se hará uso del aire acondicionado.

Por otra parte, si la temperatura en el interior de la vivienda es inferior a 22.5°C el sombreado permanecerá desactivado permitiendo, sobre todo en invierno, la entrada de radiación solar para calentar la vivienda de forma natural.

Una vez introducida esta mejora en el modelo se observan los siguientes resultados:

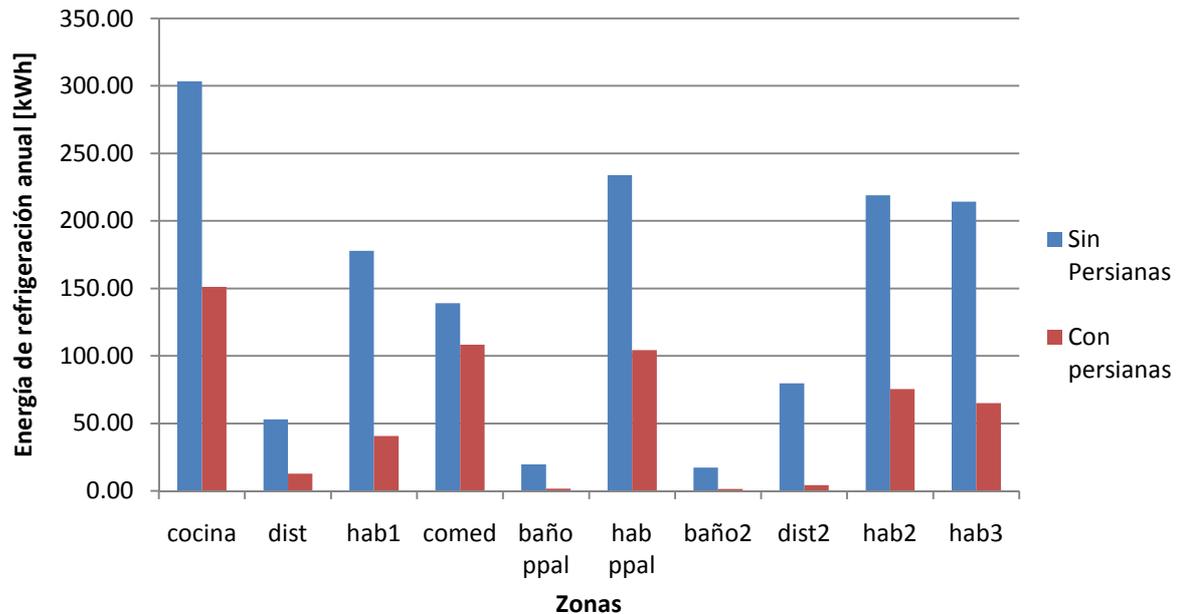


Figura 43. Demanda energética de refrigeración antes y después de introducir persianas

Como se puede ver en la figura anterior, el efecto producido por las persianas es muy eficiente en la disminución de la demanda energética de refrigeración en todas las zonas de la vivienda.

La cocina, es la zona que experimenta mayor cambio en su demanda bajando de 303.32 kWh a 150.04 kWh anuales. Esta notable mejora se debe a que la gran mayoría de las ventanas de esta zona se encuentran en la fachada principal cuya orientación es el Sur y no disponían de ningún tipo de sombreado antes de introducir las persianas lo que las convertía en una zona muy sensible a la radiación solar durante todo el año.

El caso contrario se puede apreciar en el comedor dónde la implementación de esta nueva medida provoca un descenso en la demanda energética de refrigeración de 30.81 kWh anuales. La justificación de que en esta zona la mejora sea tan pequeña se encuentra en la existencia de un alero fijo de grandes dimensiones en la fachada en la que se sitúan la mayor parte de ventanas de esta zona. Esto provoca que antes de introducir las persianas, las ventanas de esta zona ya dispongan de un elevado factor de sombreado.

Por otro lado, también hay que destacar la gran mejora que supone esta medida en las habitaciones de la vivienda. Del mismo modo que en la cocina, en las habitaciones existen grandes ventanales sin ningún tipo de sombreado previo a la instalación de persianas.

Por último, es importante destacar la casi inexistente demanda energética de refrigeración en los baños lo que corrobora la reflexión que se ha realizado al analizar los resultados de la mejora anterior (programación de la temperatura) en la que se consideraba la posibilidad de no necesitar aire acondicionado en estas zonas.

A continuación, se analiza de forma gráfica el efecto de las persianas directamente sobre las ventanas. En la siguiente figura se puede ver la diferencia entre la radiación solar transmitida por las ventanas de la cocina hacia el interior antes y después de introducir las persianas:

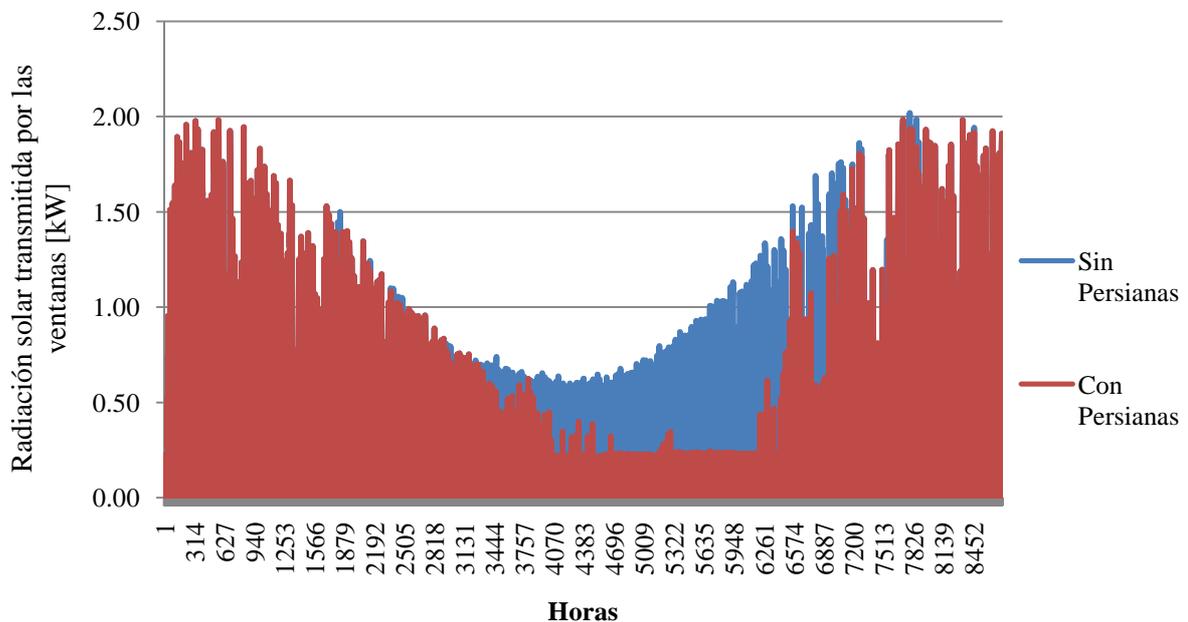


Figura 44. Radiación solar transmitida por las ventanas de la cocina hacia el interior

Se puede observar como el cambio tiene lugar sobre todo en los meses de verano en los que las persianas se accionan debido a que en el interior de la zona se supera la temperatura de consigna establecida.

Durante los meses fríos del año la radiación transmitida por las ventanas apenas varía ya que no se alcanza la temperatura mínima de confort establecida en la vivienda y por tanto es necesario que las ventanas reciban la máxima radiación posible para contribuir al calentamiento de la vivienda y reducir así la necesidad de calefacción.

Realizando un balance global de los resultados se concluye que a pesar de que en el consumo anual de calefacción esta mejora no supone ningún cambio, en el de refrigeración, se consigue ahorrar 908.11 kWh anuales lo que supone un ahorro económico aproximado de 135€ anuales.

Por último, para obtener el tiempo de retorno de esta inversión, se ha pedido presupuesto en la empresa Toldos Montesinos. Si se tiene en cuenta que la instalación de persianas en la vivienda supondría una inversión de 1,621.28 €, se puede afirmar que dicha mejora tendría un periodo de retorno de 12 años¹.

En la siguiente tabla se recogen los efectos de las medidas de ahorro energético establecidas hasta el momento:

	Situación inicial	VN	VN+PT	VN + PT + SV
consumo anual calefacción [kWh]	13,919.29	13,919.29	9,154.4	9,154.4
Ahorro total [kWh]		0	4,764.89	4,764.89
Ahorro total [%]		0	34.23	34.23
consumo anual refrigeración [kWh]	3,614.03	2,391.82	1,474.47	566.36
Ahorro total [kWh]		1,222.21	2,139.56	3,047.67
Ahorro total [%]		33.82	59.2	84.32

Tabla 35. Ahorro energético obtenido con las mejoras implementadas

Siendo,

VN: Ventilación natural

PT: Programación de la temperatura

SV: Sombreamiento variable

¹Los tiempos de amortización obtenidos en este Trabajo Fin de Grado pueden ser variables, ya que se han calculado basándose en el presupuesto obtenido en una única empresa. Además, es imprescindible tener en cuenta que estas mejoras no sólo permiten un ahorro económico sino que garantizan las máximas condiciones de confort en la vivienda.

9.4 Mejora del aislamiento de los Cerramientos de la Vivienda

La vivienda que se está analizando dispone, en sus cerramientos verticales, de una capa de poliestireno expandido de 4 cm de espesor cuya función es aislar el interior de la vivienda de la climatología exterior. En cuanto al cerramiento de cubierta, se puede encontrar en él una capa de 7 cm del mismo material que realiza la misma función.

Con el fin de reducir el consumo energético de calefacción y refrigeración se estudia a continuación la sensibilidad de dichos parámetros al aumentar progresivamente el grosor de la capa de aislante de los cerramientos.

En primer lugar se analiza el efecto de variar el aislamiento de los cerramientos verticales:

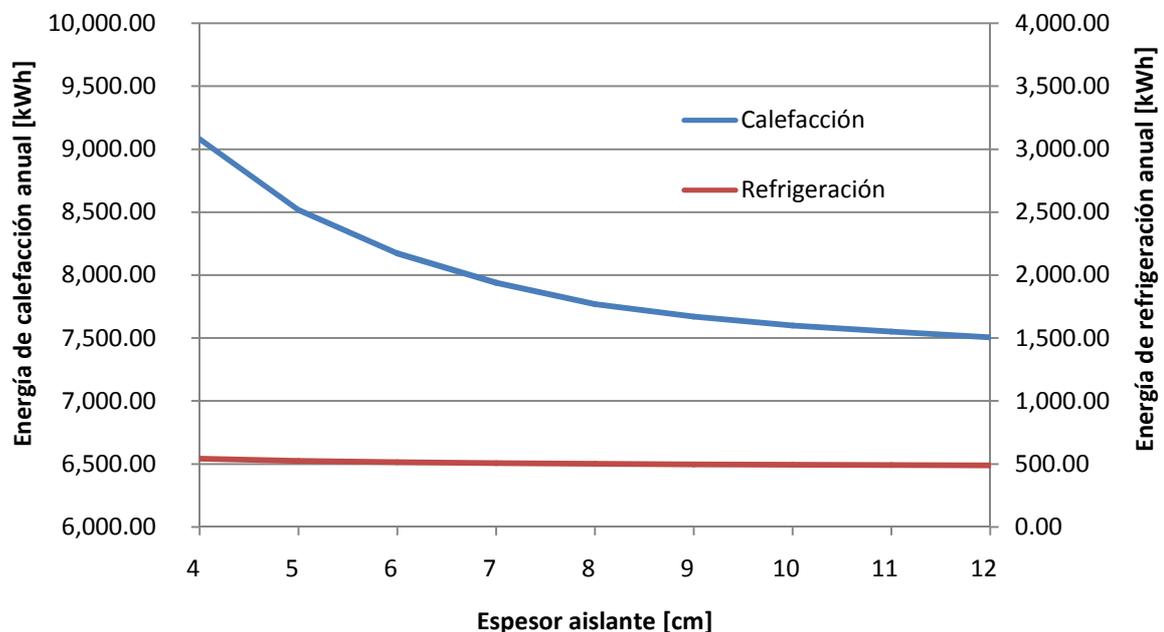


Figura 45. Influencia del aislamiento de los cerramientos verticales en la demanda energética de climatización

Como se puede ver en la figura anterior, a medida que se aumenta el aislamiento, disminuye la demanda energética de calefacción. Esta disminución se aprecia sobre todo en las primeras variaciones de espesor lo que deja ver que el aislamiento del que disponía la vivienda en sus características iniciales está muy por debajo del espesor óptimo desde el punto de vista energético.

Sin embargo, conforme se va alcanzando espesores elevados, la disminución de la demanda de calefacción va haciéndose cada vez más pequeña describiendo una tendencia asintótica que se estabiliza en torno a los 7,500 kWh anuales.

En cuanto a la demanda de refrigeración, aunque experimenta también una disminución conforme aumenta el aislamiento, ésta es prácticamente despreciable.

A la vista de los resultados, se decide aumentar el aislamiento de los cerramientos verticales a 9 cm ya que a partir de este valor una notable variación en el espesor apenas produce efecto en la demanda de calefacción.

Se analiza a continuación el efecto que tiene variar el aislamiento en el cerramiento de cubierta manteniendo en los verticales el espesor seleccionado obteniendo la siguiente gráfica:

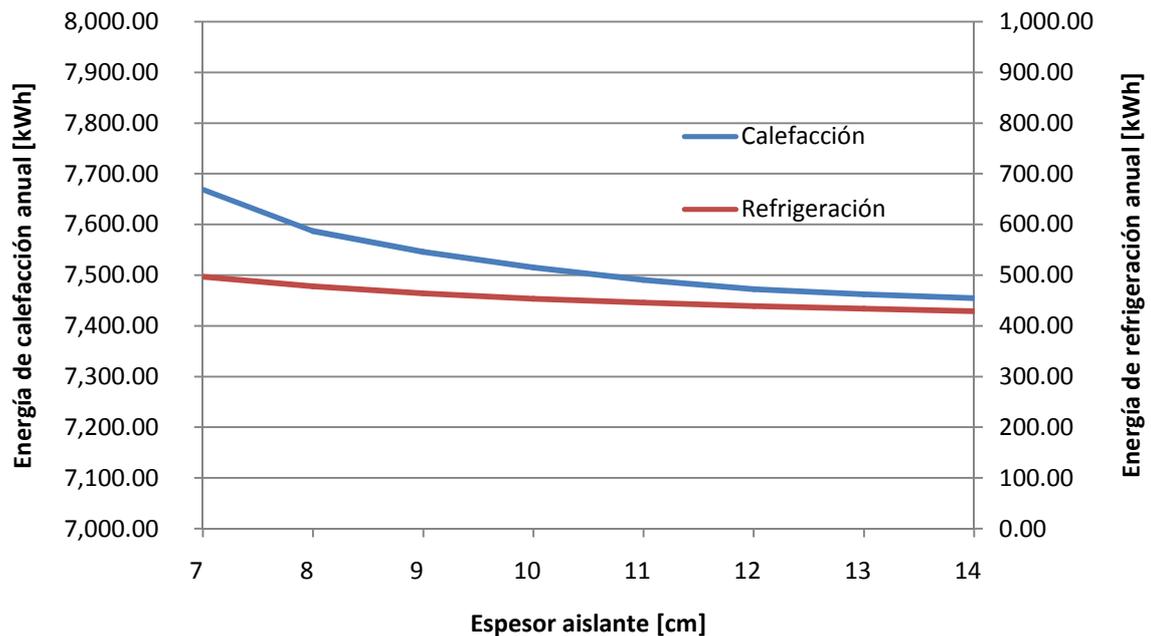


Figura 46. Influencia del aislamiento del cerramiento de cubierta en la demanda energética de climatización

En este caso, aunque la tendencia de los resultados es similar a la de los cerramientos verticales el efecto que provoca en la demanda energética es mucho menor.

Se vuelve a obtener una tendencia asintótica que a partir de los 13 cm de espesor se mantiene en torno a los 7450 kWh anuales en calefacción y 430 kWh anuales en refrigeración. Por este motivo, se establece este valor como espesor óptimo en la cubierta.

Una vez obtenidos los niveles de aislamiento adecuados para la vivienda se analiza la disminución de calefacción y refrigeración experimentada en cada zona:

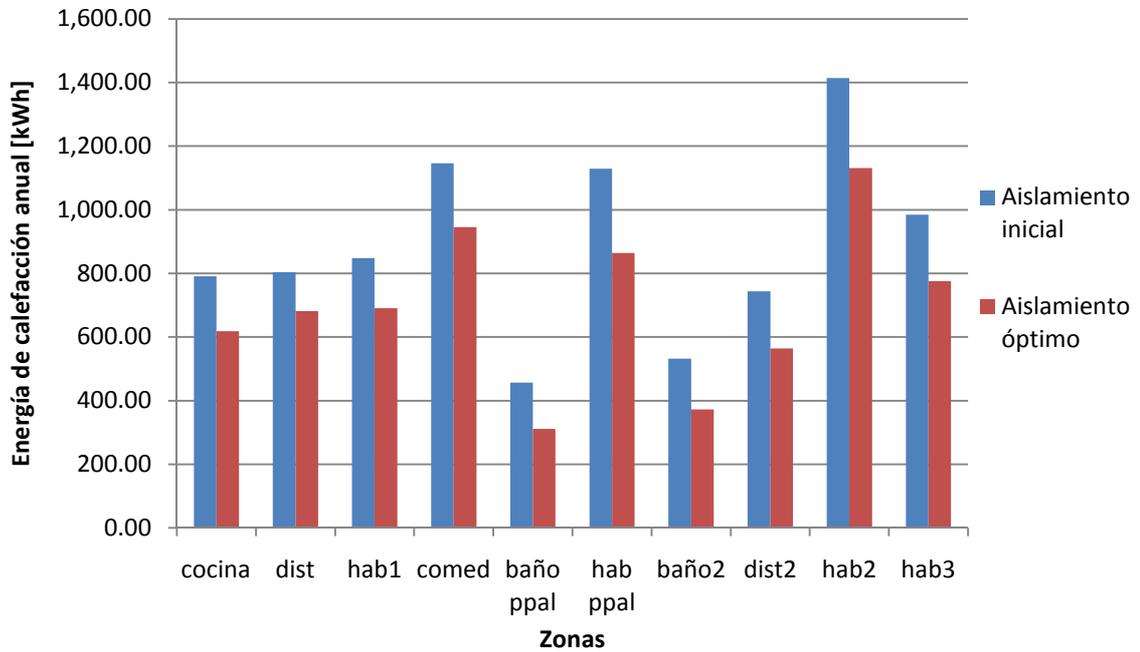


Figura 47. Demanda energética de calefacción antes y después variar el aislamiento

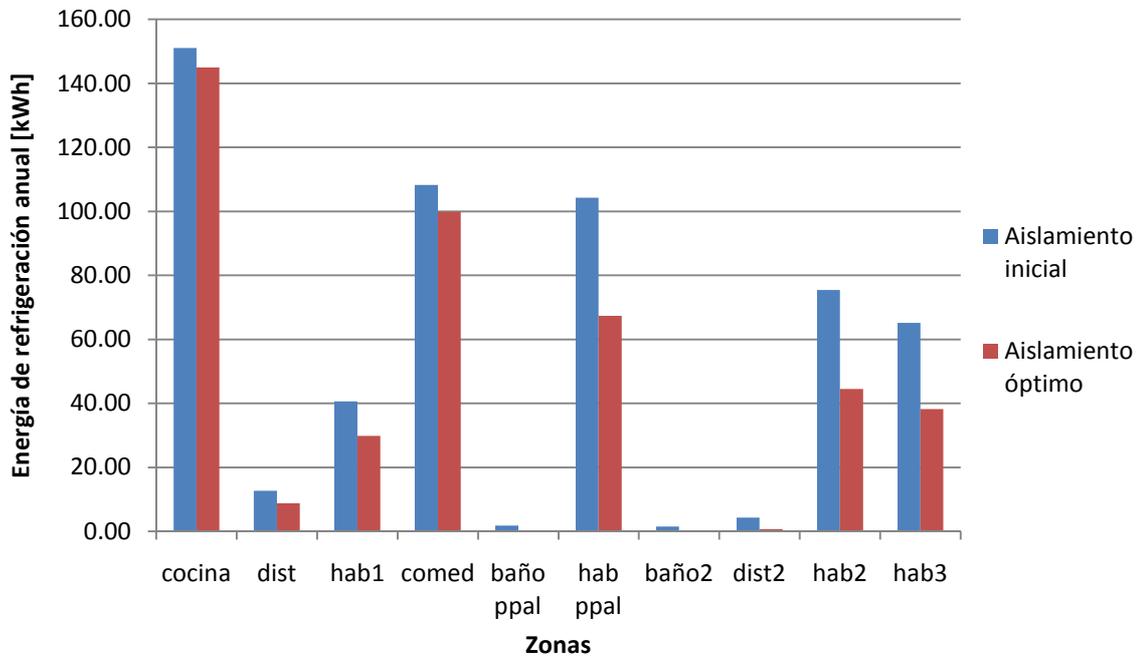


Figura 48. Demanda energética de refrigeración antes y después variar el aislamiento

Se puede observar como las zonas de la vivienda que mejores resultados experimentan con esta mejora son la habitación principal y las habitaciones 2 y 3. Esto se debe a que las tres zonas, además de tener cerramientos de grandes dimensiones que limitan con el exterior, están situadas en la planta superior y por tanto, se encuentran en contacto con el cerramiento de cubierta en el cual se ha aumentado notablemente el aislamiento.

Otro efecto importante que se observa al implementar esta mejora es que además de los baños, el distribuidor de la planta superior ya no precisa prácticamente de refrigeración para mantener las condiciones de confort.

Al introducir esta nueva medida se consigue un ahorro de 2,192.1 kWh y 132.46 kWh de calefacción y refrigeración respectivamente por año. Este descenso energético se traduce en un ahorro económico según el precio actual del gasóleo y de la energía eléctrica de 224 € anuales.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que esta mejora supone una inversión de 5306.93 € (según presupuesto de la empresa MSS Servicios para dicha obra) y por tanto un retorno de la inversión de 23.7 años².

Por último, el ahorro energético obtenido hasta el momento se resume a continuación:

	Situación inicial	VN	VN+PT	VN + PT + SV	VN + PT + SV+ AI
consumo anual calefacción [kWh]	13,919.29	13,919.29	9,154.4	9,154.4	6,962.3
Ahorro total [kWh]		0	4,764.89	4,764.89	6,956.99
Ahorro total [%]		0	34.23	34.23	49.98
consumo anual refrigeración [kWh]	3,614.03	2,391.82	1,474.47	566.36	433.9
Ahorro total [kWh]		1,222.21	2,139.56	3,047.67	3,180.13
Ahorro total [%]		33.82	59.2	84.32	87.99

Tabla 36. Ahorro energético obtenido hasta el momento con las mejoras

Siendo,

VN: Ventilación natural

PT: Programación de la temperatura

SV: Sombreamiento variable

AI: Aumento de aislamiento en los cerramientos

²Los tiempos de amortización obtenidos en este Trabajo Fin de Grado pueden ser variables, ya que se han calculado basándose en el presupuesto obtenido en una única empresa. Además, es imprescindible tener en cuenta que estas mejoras no sólo permiten un ahorro económico sino que garantizan las máximas condiciones de confort en la vivienda.

9.5 Mejora de la Calidad de las Ventanas

En última instancia, se va a estudiar el efecto que tiene aumentar la calidad de los vidrios exteriores sobre la demanda de energía.

Las ventanas, son uno de los puntos más débiles en el cerramiento de una vivienda. Durante el verano permiten la entrada en exceso de radiaciones térmicas en el interior y durante el invierno son las zonas por dónde más fácilmente se pierde calor.

Por este motivo, es importante que los diferentes elementos de la ventana (vidrio y carpintería), tengan la calidad adecuada para evitar las pérdidas de frío y calor a través de los mismos reduciendo así el consumo energético de la vivienda y dotándola de la máxima confortabilidad.

El subprograma TRNBuild, mediante el que se introdujeron las características iniciales de las ventanas de la vivienda, dispone de una amplia base de datos de vidrios con diferentes características para introducir en el modelo.

Para seleccionar los distintos tipos de vidrios con los que se realizará el análisis se tienen en cuenta las siguientes características:

- Transferencia de calor (factor U): este factor se cuantifica en W/m^2K e indica el flujo de calor por unidad de tiempo y de superficie a través del vidrio. Depende de las propiedades térmicas del vidrio, de su espesor y de las características de su recubrimiento, cuando éste existe. Si la unidad tiene más de una hoja de vidrio, este parámetro depende también del número de hojas, de la separación entre éstas y del gas de relleno de las cámaras. Cuanto menor sea su valor menor será también el flujo de calor a través de las ventanas.
- Coeficiente de ganancia de calor solar (valor g): expresa las ganancias solares a través de un acristalamiento, respecto a la radiación solar incidente. Se trata de un valor no dimensional casi siempre expresado de manera fraccional (0.0 a 1.0). Por ejemplo un valor g de 0.40 indica que el vidrio permite el paso del 40% del calor solar que recibe.

Por otra parte, debido a que la vivienda precisa de una elevada energía para calefacción en comparación con la necesaria para refrigeración, se establece como criterio principal la reducción de la primera de ellas. Posteriormente, una vez determinados los vidrios que proporcionan la mayor reducción en la demanda de calefacción, se seleccionará de entre ellos el que menor energía de refrigeración proporcione.

Como se indicó en el apartado 5 *Características Iniciales de la Vivienda* la casa motivo de estudio dispone, en un principio, de cristal simple, claro, de 6 mm con factor U de $5.73 W/m^2K$ y coeficiente de ganancia solar 0.837.

A continuación se analiza el efecto de los siguientes tipos de vidrios sobre la demanda energética:

ID Base de Datos TRNBuild	Características	Factor U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	Factor g [%]
13903 (Vidrio Inicial)	Simple, claro, 6mm	5.73	0.837
13909	Doble, claro, 4/6/4	3.44	0.76
13910	Doble, claro, 4/8/4	3.25	0.76
13912	Doble, claro, 6/12/6	3	0.722
13913	Doble, absorbente, 6/8/6	2.76	0.491
13920	Doble, bajo emisor, 6/8/6	2.48	0.762

Tabla 37. Características de los vidrios a analizar

Los resultados obtenidos son los que se muestran a continuación:

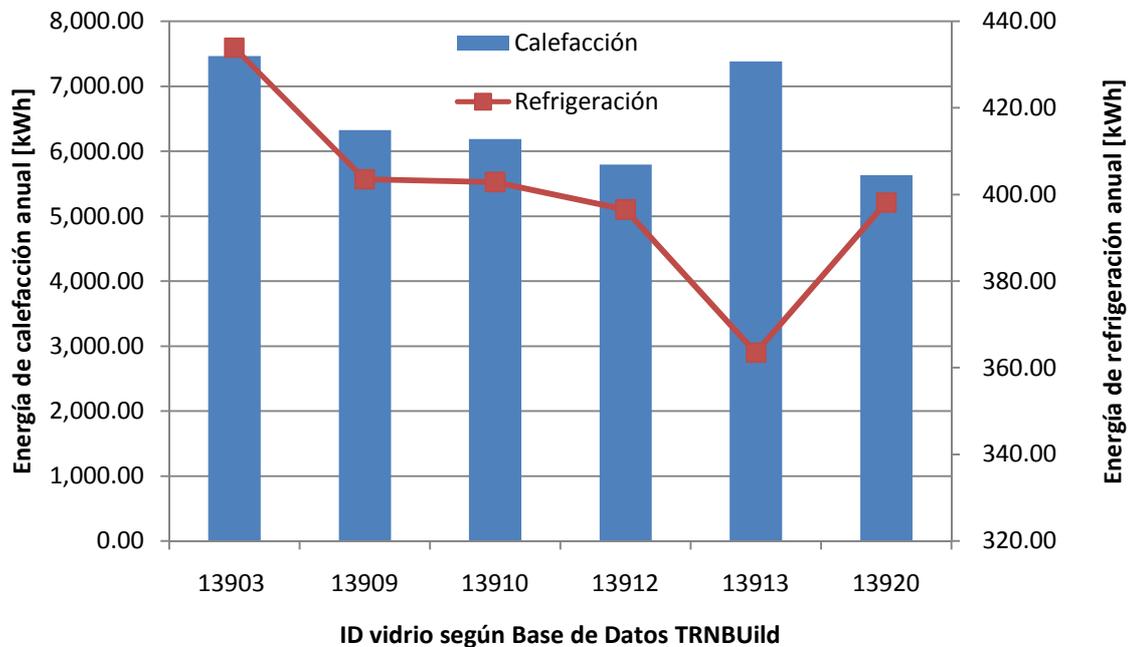


Figura 49. Influencia del tipo de vidrio en la demanda energética de climatización

Se puede apreciar como en comparación con la situación de partida (ID 13903) todos los vidrios, en mayor o menor medida, proporcionan una disminución de la demanda energética de climatización, tanto en calefacción como en refrigeración.

Si se presta un mayor interés, como se ha explicado antes, en la reducción de la demanda de calefacción, se observa que los cristales con ID 13910 y 13920 son los que mejores efectos presentan con un consumo de 5,292.03 kWh y 5,129.00 kWh respectivamente. Por el contrario, el vidrio 13913, a pesar de tener un efecto muy bondadoso en la demanda de refrigeración, a penas experimenta descenso en calefacción.

En conclusión, los vidrios que mejor se adaptan a las condiciones que se están buscando son el 13910 y el 13920. Para decantarse por uno de ellos se presta atención a la demanda de refrigeración de cada uno. Se observa que el primero presenta una demanda de 402.9 kWh mientras que el vidrio con ID 13920 exige 398.15 kWh anuales de refrigeración.

Por lo tanto, no cabe duda que el vidrio óptimo para el acristalamiento de la vivienda de este trabajo es el siguiente:

ID Base de Datos TRNBuild	Características	Factor U [W/m ² K]	Factor g [%]
13920	Doble, bajo emisivo, 6/8/6 con Argón	2.48	0.762

Tabla 38. Características del vidrio seleccionado

La implementación de esta última mejora en el modelo supone un ahorro de un 24.56% en calefacción y un 8.23% en refrigeración respecto a la situación del apartado anterior (*9.3 Mejora del aislamiento de los cerramientos de la vivienda*) que en términos económicos se trata de 129.51 € anuales. Según presupuesto de la empresa MSS Servicios esta medida supondría una inversión de 395.12 € por lo que se obtiene un tiempo de retorno de dicha inversión de 3.05 años³.

³Los tiempos de amortización obtenidos en este Trabajo Fin de Grado pueden ser variables, ya que se han calculado basándose en el presupuesto obtenido en una única empresa. Además, es imprescindible tener en cuenta que estas mejoras no sólo permiten un ahorro económico sino que garantizan las máximas condiciones de confort en la vivienda.

A continuación se resume el ahorro total obtenido con las diferentes mejoras:

	Situación inicial	VN	VN+PT	VN + PT + SV	VN + PT + SV+ AI	VN + PT + SV+ AI+MV
consumo anual calefacción [kWh]	13,919.29	13,919.29	9,154.4	9,154.4	6,962.3	5,629.0
Ahorro total [kWh]		0	4,764.89	4,764.89	6,956.99	8290.29
Ahorro total [%]		0	34.23	34.23	49.98	59.55
consumo anual refrigeración [kWh]	3,614.03	2,391.82	1,474.47	566.36	433.9	398.15
Ahorro total [kWh]		1,222.21	2,139.56	3,047.67	3,180.13	3215.88
Ahorro total [%]		33.82	59.2	84.32	87.99	88.98

Tabla 39. Ahorro energético total obtenido con cada una de las mejoras

Siendo,

VN: Ventilación natural

PT: Programación de la temperatura

SV: Sombreamiento variable

AI: Aumento de aislamiento en los cerramientos

CV: Mejora de la calidad de las ventanas

10. CONCLUSIONES

- En este Trabajo Final de Grado se ha implementado un modelo para la simulación del comportamiento térmico de una vivienda unifamiliar mediante Trnsys. Los resultados obtenidos con la simulación se han evaluado mediante comparación con los datos de consumo energético reales de la vivienda.
- Una vez aceptado el uso de Trnsys como herramienta informática para este trabajo se han impuesto en el modelo las condiciones de confort que garanticen el bienestar de los habitantes de la vivienda durante todo el año. Después de introducir estas condiciones, se han analizado los resultados del comportamiento térmico de la vivienda y de la demanda de energía para climatización con el fin de proponer una serie de mejoras que permitan reducir dicha demanda sin renunciar en absoluto al confort.

- Las mejoras energéticas que se llevaron a cabo son las siguientes:
 - ✚ Refrigeración natural mediante la apertura controlada de ventanas. Con esta medida se pretendía sustituir, cada cierto tiempo, el aire interior de la vivienda por aire exterior más frío y oxigenado de forma controlada permitiendo, de esta manera, una ventilación natural que redujese el consumo de refrigeración.
 - ✚ Adecuación de las condiciones de confort de cada zona según su uso. De esta forma se consiguió adaptar las condiciones térmicas de la vivienda a los hábitos y rutinas de las personas que residen en ella, evitando con esta medida un consumo innecesario de energía y maximizando la confortabilidad de cada zona de la vivienda cuando está en uso
 - ✚ Instalación de elementos de sombra que eviten la sobreirradiación. Mediante la implementación de esta mejora se consiguió, sobre todo en verano, una notable reducción del consumo energético en refrigeración. Esta medida se acciona cuando la temperatura dentro de la vivienda es superior la máxima deseada simulando la acción de unas persianas que evitan la entrada de radiación solar a través de las ventanas.
 - ✚ Mejora del aislamiento en los cerramientos de la vivienda. Llegados a este punto se estudió el efecto que tenía sobre el consumo energético la acción de aumentar progresivamente el aislamiento de los cerramientos de la vivienda. Los resultados obtenidos llevaron a aceptar como solución óptima un aumento en el espesor de la capa de aislante de cerramientos verticales y de cubierta de 5 y 6 cm respectivamente consiguiéndose así una reducción en el consumo energético de climatización.
 - ✚ Mejora de la calidad de los vidrios de las ventanas. Por último se analizó el efecto que tenía la variación del tipo de cristal de las ventanas en la demanda de climatización. Priorizando como objetivo la reducción de calefacción se optó por un cristal doble, con cámara de argón y bajo emisivo.
- Con la implementación de estas mejoras se ha conseguido una reducción anual en calefacción de un 60% y en refrigeración del 90%.
- En cuanto al consumo energético de calefacción, las medidas con mejores resultados son la adecuación de las condiciones de confort de cada zona y el aumento de aislamiento. La primera de ellas, además de proporcionar un notable ahorro, tiene un tiempo de retorno casi instantáneo gracias a su coste nulo, lo que la convierte en una medida idónea y eficaz.

- En relación a la refrigeración, destacan la ventilación natural y el sombreado variable consiguiendo cada una de ellas ahorrar hasta casi 1,500 kWh anuales. Además, al implementar todas las mejoras se observa un efecto muy positivo en lo que a la refrigeración de la vivienda se refiere: las únicas zonas con necesidad de refrigeración son los dormitorios, la cocina y el comedor. El resto de zonas, gracias a las mejoras llevadas a cabo son capaces de mantener en verano las condiciones de confort sin necesidad del uso de aire acondicionado.
- El coste total de la rehabilitación energética a llevar a cabo en la vivienda asciende a 7,353.33 € de los cuales un 73 % corresponde al aislamiento de la vivienda. Por otra parte, la introducción de estas mejoras supone un ahorro anual de 1,102.64 € y con estos valores se obtiene una tasa de amortización de 6.67 años.
- Por último, es imprescindible tener en cuenta que estas medidas no sólo proporcionan un ahorro económico en la demanda energética de climatización de la vivienda sino que, además, garantizan las máximas condiciones de confort y forjan un compromiso con la sostenibilidad del medio ambiente.

11. AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a mi tutor, Rafael Royo, por darme la oportunidad de realizar este trabajo y de aprender tanto en estos meses. Agradecer también a Javier Biosca, estudiante de doctorado en el Instituto de Ingeniería Energética de la UPV, el tiempo empleado en compartir conmigo sus conocimientos sobre TRNSYS. Así mismo, me gustaría agradecer a la profesora Carola Calabuig sus consejos y correcciones en el presupuesto del presente trabajo.

En el ámbito personal, quisiera agradecer a mis padres y a mi hermana los valores de esfuerzo y perseverancia que me han inculcado sin los cuales no habría podido llegar hasta aquí. Agradecerles también su apoyo incondicional en estos meses y a lo largo de toda mi formación. Por último, quisiera dar las gracias a Carles, por su infinita paciencia y por sus consejos.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Código Técnico de Edificación. (2013). *Documento Básico Ahorro de Energía. HE 0 Limitación del consumo energético*.
- [2] Código Técnico de Edificación. (2013). *Documento Básico Ahorro de Energía. HE 1 Limitación de la demanda energética*.
- [3] Royo Pastor, Rafael. (2011). Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo casi nulo. En *Las ventanas y la gran fuente de calefacción de los edificios: El sol* (pp. 77-88). Madrid.
- [4] Vidal, Jordina. (2011). Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo casi nulo. En *La protección frente al sol en verano* (pp. 109-120). Madrid.
- [5] S.A. Klein y otros. (2007). Manual de usuario de TRNSYS 16. En Capítulo 1.6 *Creating a Building Project*. Madison, U.S.A.
- [7] TRANSSOLAR Energietechnik GmbH. (2007). Manual de usuario de TRNSYS 16. En Capítulo 6 *Using the Multizone Building modeling with Type 56 and TRNBuild*. Stuttgart, Alemania.
- [8] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020*. Madrid.
- [9] Agencia Estatal de Meteorología. (2011). *Guía resumida del clima en España 1981-2010*.

ANEJOS

A continuación se adjunta como anejos las copias de los siguientes planos originales de la vivienda unifamiliar:

- Plano de cotas planta baja
- Plano de cotas planta piso

Por petición expresa de los propietarios de la vivienda estos documentos únicamente se incluyen en la versión física del Trabajo Final de Grado.

DOCUMENTO N° 2

PRESUPUESTO

ÍNDICE PRESUPUESTO

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	COSTES DE MANO DE OBRA	5
2.1	Costes de Mano de Obra Directos.....	5
2.2	Costes de Mano de Obra Indirectos	7
3.	COSTES DE OFICINA TÉCNICA	7
3.1	Amortización de Equipos y Herramientas Informáticas	7
3.2	Costes por Requerimiento de Material y Desplazamientos.....	7
4.	COSTES TOTALES	8
5.	SEGUIMIENTO DE LAS TAREAS Y COSTES ASOCIADOS.....	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Desglose por tareas del coste relativo a honorarios de ingeniero.....	6
Tabla 2.	Costes de oficina técnica.....	8
Tabla 3.	Costes totales del trabajo.....	8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de Gantt del Trabajo.....	9
-----------	------------------------------------	---

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se va a presupuestar el trabajo de análisis y estudio de la posible reducción del consumo energético en climatización de una vivienda unifamiliar. Aunque se trate de un Trabajo Final de Grado con carácter académico, en este capítulo se calculará el presupuesto que supondría realizar este estudio en el ámbito laboral actual.

Este presupuesto se basa en las siguientes tareas:

- Recogida y análisis de las características de la vivienda
- Aprendizaje del programa informático TRNSYS
- Implementación de un modelo de la vivienda unifamiliar mediante TRNSYS
- Análisis de los resultados de la simulación y propuesta de mejoras
- Implementación de las mejoras en el modelo y estudio de resultados

A continuación, se detallará de forma ordenada cada una de las partidas que conformará el presupuesto global y posteriormente, se mostrará el presupuesto final del trabajo teniendo en cuenta los resultados de dichas partidas, así como, el impuesto sobre el valor añadido (I.V.A.).

En último lugar, se mostrará, con ayuda de la herramienta informática Microsoft Project, un resumen del seguimiento del progreso de este Trabajo Final de Grado junto con los costes asociados a cada fase.

Las partidas que se van a tener en cuenta en este presupuesto son las referentes a mano de obra y oficina técnica.

2. COSTES DE MANO DE OBRA

En este apartado se detallan los costes generados por las personas contratadas para la realización del estudio energético. Dentro de los costes de mano de obra se distingue entre costes de mano de obra directos y costes de mano de obra indirectos.

2.1 Costes de Mano de Obra Directos

En esta partida se incluyen los costes generados directamente por la ingeniera en la realización de las distintas tareas del trabajo. Estos son:

- Honorarios de ingeniero
- Costes relativos a la Seguridad Social

En cuanto a los **honorarios de ingeniero** se tendrá en cuenta un valor de 12 € / hora. El tiempo necesario para la realización de las distintas tareas que componen el trabajo ha sido de 3 meses con una jornada de 5 horas / día. Por tanto:

$$\text{Honorarios de Ingeniero} = \frac{12 \text{ €}}{\text{hora}} * \frac{5 \text{ horas}}{\text{día}} * \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} * 3 \text{ meses} = 3,600 \text{ €} \quad (4)$$

En la siguiente tabla se puede observar el coste relativo a los honorarios de ingeniero desglosado por tareas:

Concepto	Tiempo [h]	Coste [€]
Recogida y análisis de las características de la vivienda	15	180
Aprendizaje del programa informático TRNSYS	70	840
Implementación del modelo de la vivienda con TRNSYS	90	1,080
Análisis de los resultados de la simulación y propuesta de mejoras	40	480
Implementación de las mejoras en el modelo y estudio de resultados	85	1,020
TOTAL	300	3,600

Tabla 1. Desglose por tareas del coste relativo a honorarios de ingeniero

Además, se tiene que tener presente la **cotización a la Seguridad Social** según la categoría profesional del grupo 1 “Ingenieros y Licenciados” publicada por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Este coste se obtiene multiplicando el número de horas de mano de obra directa por la base mínima de cotización de la Seguridad Social para la categoría profesional correspondiente que en el caso del grupo 1 tiene un valor de 4.38 €/hora. Por tanto:

$$\text{Coste Seguridad Social} = 300 \text{ horas} * \frac{4.38 \text{ €}}{\text{hora}} = 1,314 \text{ €} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta estos datos, se puede afirmar que los costes relativo a mano de obra directa ascienden a un valor de 4,914 €.

2.2 Costes de Mano de Obra Indirectos

Los costes de Mano de Obra Indirectos corresponden al trabajo realizado por las áreas administrativas que sirven de apoyo en la realización del proyecto.

En la elaboración de este trabajo no ha sido necesaria la intervención de estas áreas y por tanto no es aplicable ningún coste generado por mano de obra indirecta.

3. COSTES DE MATERIAL DE OFICINA TÉCNICA

En este apartado se van a calcular, de forma general, los costes debidos al material de oficina y a las herramientas informáticas que se han empleado en la realización del trabajo, así como, costes de desplazamientos.

3.1 Amortización de Equipos y Herramientas Informáticas

Durante el proceso de realización de este trabajo se ha empleado un ordenador portátil HP Pavilion valorado en 600 €.

En cuanto a las herramientas informáticas, para la implementación del modelo se ha utilizado el programa de simulación energética TRANSYS 16 cuya licencia asciende a 4,500 €. El resto del trabajo se ha desarrollado mediante el paquete informático Microsoft Office 2007 cuya suscripción anual tiene un coste de 70 €.

Para el cálculo de la amortización de estos equipos y herramientas informáticas se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Amortización} = \text{precio [€]} * \text{tiempo de utilización [horas]} * \frac{1}{\text{Periodo de amortización}} \quad (6)$$

El periodo de amortización de los equipos informáticos debido a la velocidad con que avanza esta tecnología se estima en 3 años. El software, sin embargo, tiene un periodo de amortización un poco superior: 5 años.

Teniendo en cuenta una duración del trabajo de 3 meses se obtiene un coste de amortización de equipos y herramientas informáticas de 50 € y 228 € respectivamente.

3.2 Costes por Requerimiento de Material y Desplazamientos

A continuación se va a calcular el coste debido a material que por el uso que se le ha dado no tiene cabida en el cálculo de amortización sino que se han consumido íntegramente. Además, se tendrá

en cuenta también, en esta partida, los costes relativos a los desplazamientos a la vivienda motivo de estudio.

Los materiales empleados en la realización del proyecto son materiales propios de oficina tales como bolígrafos, folios, fotocopias, además de, el coste asociado a la impresión y encuadernación de los documentos del trabajo. De forma general estos gastos ascienden a un valor de 100 €.

En último lugar, se estima un coste relativo a desplazamientos a La Eliana (ubicación de la vivienda unifamiliar que se ha analizado) de 46 €. Se trata de costes asociados al pago de kilometraje de seis desplazamientos ida y vuelta Valencia - La Eliana - Valencia, con un coste de 0'19 euros el km (según Disposición publicada en el BOE de 25 de octubre de 2013).

En la siguiente tabla se resumen los costes de material de oficina técnica obtenidos:

Concepto	Coste [€]
Amortización de equipos y herramientas informáticas	278.00
Material de Oficina	100.00
Desplazamientos	46.00
Total	424.00

Tabla 2. Costes de material de oficina técnica

4. COSTES TOTALES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los apartados anteriores y un Impuesto sobre el Valor Añadido del 21% se puede afirmar que el presupuesto total del trabajo es el siguiente:

Concepto	Coste [€]
Mano de Obra	4,914.00
Material Oficina Técnica	424.00
Total (sin I.V.A.)	5,338.00
I.V.A.	1,120.98
Total	6,458.98

Tabla 3. Costes totales del trabajo

Por tanto el coste total del estudio energético cuyo contenido viene detallado en el *Documento nº 1: Memoria* tiene un valor de **6,458.98 €**.

5. SEGUIMIENTO DE LAS TAREAS Y COSTES ASOCIADOS

A continuación se observa, como resumen final, un Diagrama de Gantt realizado con el programa informático Microsoft Project con las distintas tareas del trabajo, el tiempo que se ha empleado en realizar cada una y los costes (I.V.A. no incluido) que han conllevado:

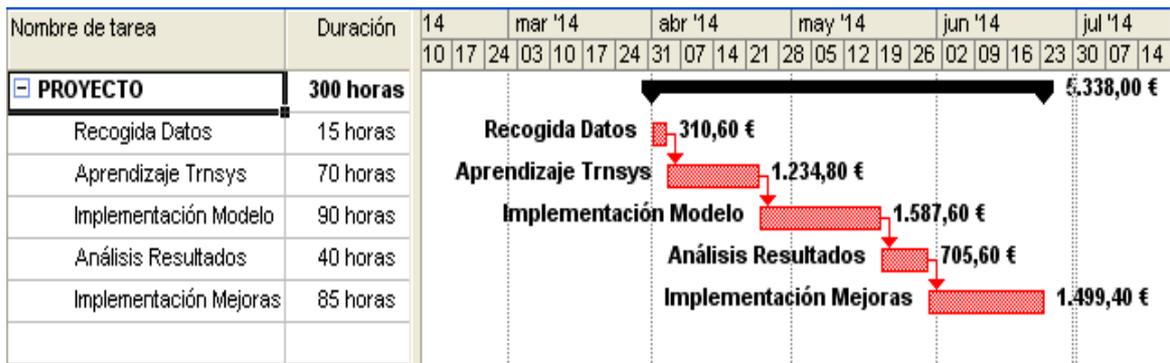


Figura 1. Diagrama de Gantt del Estudio energético

