

Proyecto Fin de Carrera

**COMPARACIÓN, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN
DE VIVIENDAS DE ALTA EFICIENCIA
ENERGÉTICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL
CTE.**

Autor:

José Carlos Sanz Rapún

Director:

Enrique Cano Suñén

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza

Año 2015.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 2.- OBJETIVO DEL PROYECTO.....	4
CAPÍTULO 3.- ESPECIFICACIONES BÁSICAS.....	5
CAPÍTULO 4.- EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	6
CAPÍTULO 5.- VIVIENDAS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	14
CAPÍTULO 6.- RESULTADOS.....	30
CAPÍTULO 7.- INSTALACIONES TÉRMICAS.....	32
CAPÍTULO 8.-CONCLUSIONES.....	49

ANEJO Nº1.- Instalaciones térmicas.

1.- INTRODUCCIÓN.

El modelo energético a adoptar en el futuro es uno de los desafíos más importantes que deberá afrontar la humanidad en los próximos años.

El modelo actual de desarrollo económico, de crecimiento continuo y basado en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósil, es insostenible y por lo tanto no puede mantenerse de forma indefinida. El agotamiento de los combustibles fósiles, junto con el impacto medioambiental y económico que provocan, obligan a emprender un cambio de modelo económico basado en el desarrollo sostenible que trate de garantizar el crecimiento económico, el progreso social y el uso racional de los recursos, utilizando las energías renovables. **(Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y aeronáuticos de Terrasa).**

La crisis económica, ambiental y social son diferentes manifestaciones de un modelo de desarrollo insostenible basado en los principios de explotación de los recursos para extraer el máximo beneficio en el menor tiempo posible, sin considerar el impacto que esto genera en los ecosistemas y las poblaciones.

El cambio climático es solo la punta del iceberg de este modelo insostenible. Hace más de 20 años, los científicos comenzaron a alertar del aumento de la temperatura media global y su impacto en el complejo sistema climático. En 1988 se creó el Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC) que hasta la fecha ha publicado 4 informes que confirman la evidencia de estos cambios en el clima y su correlación directa con las actividades humanas. **(WWF España-Cambio Climático).**

El cambio climático está ocasionado principalmente por la **quema de combustibles fósiles** (carbón, petróleo y gas) que en su combustión para producir energía liberan CO₂ a la atmósfera. Desde la revolución industrial, el modelo de desarrollo ha tenido como motor estas fuentes de energía. Sin embargo, los impactos ambientales que produce este modelo, así como lo costoso del mismo, hacen **necesaria la transición hacia un modelo energético basado en el ahorro, la eficiencia, las energías renovables y la justicia social.****(WWF España-Cambio Climático).**

Combatir el cambio climático requiere una transición urgente hacia un modelo energético basado en la eficiencia y en la equidad, así como en la apuesta decidida por las energías renovables. Las medidas de ahorro y eficiencia, así como las energías renovables, favorecen un desarrollo autóctono y disminuyen la dependencia exterior. **(WWF España-Cambio Climático).**

El Código Técnico de la Edificación, actualmente en vigor, en su documento básico de ahorro de energía, establece las limitaciones en las demandas energéticas de calefacción y refrigeración, así como, sistemas de ventilación de aire mediante impulsión del aire exterior atmosférico, para la renovación del aire interior y la extracción del aire interior viciado de las edificaciones. Todas estas actuaciones conllevan, a la reducción del consumo energético de los combustibles tradicionales, como el gas natural y la electricidad, en beneficio de

las fuentes de energías renovables, como la energía solar-térmica y la energía solar-fotovoltaica.

2.- Objetivo del proyecto.

El diseño de viviendas de alta eficiencia energética es necesario por varios motivos. Uno de ellos, es el ahorro económico que la eficiencia produce en el bolsillo de las familias, acostumbradas a pagar facturas energéticas de gran cuantía por las malas características de las envolventes de los edificios, además, con las viviendas actuales previas a las exigencias del CTE, se emiten grandes cantidades de CO₂ a la atmosfera debido a la utilización de combustibles de origen fósil para satisfacer las demandas energéticas de la población, pudiendo ser sustituidos por las energías renovables, inagotables, limpias, no contaminantes, para satisfacción anual de las necesidades de la población.

Este tipo de viviendas requieren si están bien diseñadas, de muy poca energía convencional, más bien, se utilizan energías renovables como aporte de energía y recuperadores de calor para reducir pérdidas por infiltraciones exteriores y ahorro económico.

El objetivo del presente proyecto es el diseño de viviendas de alta eficiencia energética a nivel detallado basado en criterios técnicos y valores de referencia que permiten cuantificar los ahorros obtenidos, en función de la orientación, el clima y la envolvente térmica, considerando tanto su capacidad de aislamiento térmico como el nivel de infiltración exterior de aire producido a través de huecos y de los sistemas de ventilación, así como, los distintos sistemas de instalaciones térmicas utilizados.

Para ello, se parte de una vivienda mínima exigida por el CTE, en función de la envolvente térmica, que comprende el espesor mínimo de aislamiento exigido por el CTE, teniendo en cuenta la zona climática en la cual se ubica la edificación **apéndice D** y la transmitancia térmica que indica el DB-CTE-HE1 en sus **tablas 2.2..** Del mismo modo, se utilizan un nivel de acristalamiento mínimo recogido en la norma **UNE-EN 12600:2003 (Vidrios para la edificación)**, y el **DOCUMENTO BÁSICO DB SUA Sección SUA2 (Seguridad frente al riesgo de impacto o de atrapamiento)**, según sus prestaciones frente al impacto y su forma de rotura, teniendo como objetivo final la limitación de la demanda energética de las viviendas unifamiliares objeto de análisis del presente proyecto.

En estas viviendas se aplica la ventilación mecánica exigida por el CTE en su documento básico **HS3 (calidad del aire interior)**, impulsando mediante ventiladores de impulsión unos caudales mínimos de aire exterior atmosférico a través de los locales secos, y extrayendo el aire viciado del interior de la vivienda a través de ventiladores de extracción ubicados en los locales húmedos, para la ventilación y renovación del aire interior de las viviendas.

En segundo lugar, se procede al cálculo del óptimo, en el cual se realizan medidas de mejora de la envolvente térmica para reducir el nivel de infiltración de aire exterior a fin de reducir la demanda energética, así como, la reducción de las pérdidas energéticas a través de dicha envolvente, y se comparan con los

estándares más exigentes en la actualidad **“PASSIVHAUS”**, edificios de consumos energético casi nulo, que da lugar a edificaciones con una demanda energética muy baja (GUÍA DEL ESTANDAR PASSIVHAUS, medida de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España (2004/2012) puesta en marcha por la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA).

Para el cálculo del óptimo, se tienen en cuenta las pérdidas en ventilación derivadas de la exigencia del CTE DB-HS3 de introducir unos caudales mínimos, siendo aconsejable la introducción de sistemas para el control y aprovechamiento de las infiltraciones, a través de sistemas de conducción de aire y recuperadores de calor.

3.- Especificaciones básicas.

Las especificaciones del presente proyecto están definidas por la normativa vigente en el ámbito de la edificación y la optimización de las viviendas objeto de análisis del presente proyecto se hacen en base a la normativa aplicable en España:

- Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS3-Calidad del aire interior.
- Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-SUA/2 Seguridad frente al riesgo de impacto o de atrapamiento.
- Clasificación de los vidrios según las prestaciones frente a impacto y su forma de rotura según la norma UNE-EN 12600:2003.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Real Decreto 1027/2007, del 20 de julio de 2007.
- Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura PET-REV-enero 2009.
- Manual ASHRAE (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC).
- Código Técnico de la Edificación, documento básico de ahorro energía, CTE-DB-HE.

4.- Eficiencia energética.

La eficiencia energética es aquella que minimiza el uso de energías convencionales (en particular la que utiliza combustibles fósiles), a fin de conseguir ahorro económico y haciendo un uso racional de la misma. Referencia **(Wikipedia)**.

La crisis energética es ya una realidad en nuestra sociedad que plantea no sólo el problema del agotamiento de las principales fuentes actuales, con los consiguientes conflictos para conseguirlas, sino también la contribución al cambio climático y la pérdida de la calidad de vida producida por la contaminación cotidiana. **(ÁNGELA MATESANZ PARELLADA, Madrid, septiembre de 2008)**

El consumo de energía en España ha crecido vertiginosamente en los últimos años, pasando de 91,8Mtep en 1990, a 145,1 Mtep en 2005. Los costes de la energía en este país, a pesar de que depende en un 79,2% del exterior, son bajos y no se corresponden con los reales, ambientales y sociales. La situación de consumo actual, en parte favorecido por los bajos precios, muestra una falta de concienciación y consciencia energética, impropia de un país que importa la mayor parte de su energía. Se une a esto el aumento de la actividad económica que en el último siglo parece indiscutiblemente unida al gasto energético. Aunque las energías renovables cobran cada vez más importancia, la vulnerabilidad derivada del consumo de los combustibles fósiles y la dependencia de los países exportadores de petróleo, hace pensar en la eficiencia energética como uno de los elementos imprescindibles de una posible salida **(WORLD ENERGY COUNCIL, 2008)**.

El 80% de la energía consumida es de origen fósil, y en el caso de España casi el mismo porcentaje se trae del exterior, lo que muestra su gran vulnerabilidad ante la crisis energética que ya es evidente. El aumento imparable del consumo energético de los últimos años, inferior generalmente al crecimiento del PIB, ha venido acompañado de una gran producción de gases de efectos nocivos para nuestra calidad de vida y para el planeta, siendo actualmente la energía la responsable del 78% de las emisiones. Las tendencias de eficiencia en España son negativas y se vinculan indiscutiblemente a un consumo que va en aumento. Además hay que resaltar la falta de concienciación de los ciudadanos de este país sobre la necesidad del ahorro y búsqueda de la eficiencia, estando dispuesto a cambiar de hábitos en el consumo sólo un 27% de los consumidores, frente a un 49% de media de la UE y porcentajes aún mayores de países como Francia o Reino Unido **(Maciá, 2003)**. Todos estos datos, ponen de manifiesto la necesidad de una política de eficiencia energética que tiene cabida y apoyo en la Unión Europea.

La Directiva de Eficiencia Energética tiene como objetivo la creación de un marco común de medidas para el fomento de la Eficiencia Energética que permitan asegurar que los países de la Unión Europea conseguirán el 20% de ahorro energético ya comprometido con anterioridad en la Directiva "Triple 20" además la directiva obliga a los Estados Miembros a una renovación de al menos el 3%

de los edificios públicos de más de quinientos metros cuadrados (**Directiva 2012/27/UE**)

Las medidas establecidas por la **Estrategia E4** para la edificación se dividen entre aquellas destinadas al antiguo parque de viviendas, más numeroso y al que se dedican más medidas, y al nuevo.

- Medidas sobre el parque existente de viviendas:
 1. Rehabilitación de la envolvente térmica. Con el objetivo de reducir la demanda energética de calefacción y refrigeración.
 2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas. Renovación de instalaciones de calefacción, producción de agua caliente sanitaria (ACS) y refrigeración.
 3. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior. Sustitución de lámparas incandescentes por otras de bajo consumo en el sector doméstico.
- Medidas sobre el nuevo parque de viviendas:
 1. Certificación Energética de edificios, con el objetivo de promover la implantación de esta herramienta en el mercado

La energía es, y lo será cada vez más, uno de los recursos más importantes para un mundo tecnificado. La correcta utilización de ésta, evitando consumir más para obtener el mismo beneficio es ya uno de los objetivos principales dentro de las políticas de estado. Sin embargo este factor se encuentra ligado inevitablemente al beneficio económico, siendo éste clave para justificar el consumo, y distanciado de la primordial acepción de eficiencia energética. Aunque con una relación distinta, la eficiencia a micro-escala, definida por el comportamiento ciudadano, también se vincula a este tipo de factores de mercado, ya que gran parte del uso indebido se atribuye a la falta de concienciación, potenciada por el bajo coste de la energía. Las recientes subidas de los precios, consecuencia directa de la escasez y aumento de los combustibles será un punto clave para cambiar las tendencias de consumo. Sin embargo sería necesario desligar la eficiencia de la economía, y asociarla a otro tipo de factores con los que se relaciona directamente, como la producción de gases de efecto invernadero o el desarrollo sostenible, lo que permitiría plantear un descenso en el consumo que se apunta como obligado a pesar de las resistencias del sistema actual de mercado. (**ÁNGELA MATESANZ PARELLADA, Madrid, septiembre de 2008**).

Beneficios de la eficiencia energética:

Disminuir la dependencia de otros países por fuentes energéticas.

Ahorro. Al reducir el consumo energético se gasta menos en la obtención de la energía.

Bajar la presión sobre los recursos naturales para producir energía.

Se contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. (**AChEE Agencia Chilena de Eficiencia energética**)

En cuanto a la eficiencia energética en edificación, tema central del que trata el presente proyecto, hay diferentes estrategias para conseguir dicha eficiencia.

En nuestra vida diaria somos usuarios de más de un edificio: nuestra propia residencia y el lugar de trabajo, para empezar, pero también somos usuarios de otros edificios, como los que prestan servicios docentes, sanitarios, culturales, etc. En cada uno de ellos se consume energía para satisfacer las necesidades de calefacción, refrigeración, disponibilidad de agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, cocción, lavado, conservación de los alimentos, ofimática, etc. La suma de este consumo representa en España el 20% del consumo de energía final, un porcentaje que tiende, además, a incrementarse.

La Certificación de eficiencia energética de los edificios es una exigencia derivada de la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2006/32/CE, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos, y la Directiva 2010/31/UE revisión de la primera. **(Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE).**

La estrategia fundamental es conseguir el ahorro de energía, que repercute directamente en el ahorro en el gasto que las familias sufren mes tras mes, en cuanto a la facturación de gas natural para calefacción, o electricidad para refrigeración y ventilación, etc.

Para ello se siguen diferentes estrategias, como pueden ser los edificios **ZERO ENERGY BUILDINGS** (Edificio de energía cero o bajo consumo de energía). **(Laboratorio nacional de energía renovable de Estados Unidos. Departamento de Energía)**

Un edificio de energía neta cero en un edificio comercial o residencial con muy reducidas necesidades de energía a través de mejoras en la eficiencia de tal manera que las necesidades de energía se pueden suministrar con las tecnologías renovables. A pesar del entusiasmo por la frase energía cero, carecemos de una definición común o de incluso el entendimiento común, para entender cuál es su significado.

Los edificios tienen un impacto significativo en el uso de la energía y el medio ambiente. Usan casi el 40% de la energía primaria y la energía utilizada por el sector de la edificación continua con su incremento.

Como núcleo central del concepto ZEB, está la idea de que este tipo de edificios pueden satisfacer todas sus necesidades energéticas de la energía local de bajo coste, no contaminante, de fuentes de energías renovables. **(Laboratorio nacional de energía renovable de Estados Unidos. Departamento de Energía)**

Se trata de un tipo de edificio que aporta el máximo confort para sus ocupantes, tanto en invierno como en verano, con unos requisitos mínimos o nulos de calefacción tradicional y refrigeración activa. Los edificios de energía neta cero son autosuficientes en cuanto a demanda de energía se refiere. Para ello se necesitan edificios muy bien aislados, con los mínimos puentes térmicos

posibles, que utilicen las ganancias solares pasivas, muy herméticos y en los que la calidad del aire interior esté garantizada por un sistema de ventilación con recuperación de calor. **(EUMEPS, Edificios de baja energía y energía neta cero)**

Además de usar energías renovables, los edificios energía cero también se diseñan para hacer uso de la energía ganada de otras fuentes, incluyendo electrodomésticos, iluminación eficiente y aprovechamiento del calor metabólico (personas). Los edificios se optimizan para aprovechar la energía del sol (casa pasiva), uso de la masa térmica con el fin de mantener constante la temperatura interior independientemente de las variaciones externas de temperatura, elevando además la temperatura media interior en varios grados con el fin de alcanzar el confort higrotérmico con la ayuda del aislamiento térmico o el superaislamiento.

Un edificio energía cero (EEC) o edificio energía neta cero es un término aplicado a edificios con un consumo de energía neta cercana a cero en un año típico. En otras palabras, la energía proviene del propio edificio mediante fuentes de energías renovables que deberá ser igual a la energía demandada por el edificio.

Demanda energía = generación energía

Un edificio que se acerque a un uso de la energía próximo a cero se denomina cercano a edificio energía cero o edificio energía ultra-baja. Los que producen un exceso de energía se conocen como edificios energía plus.

Aunque los edificios energía cero siguen siendo infrecuentes en los países desarrollados, están ganando en importancia y popularidad. La proximidad de hacer masivos los edificios energía cero implica una solución potencial a una gama de problemas sociales y ambientales, incluyendo la reducción de las emisiones de CO₂, la reducción de dependencia de la energía fósil para el funcionamiento de los sistemas de climatización, las importaciones de petróleo y derivados, y el uso racional de combustible fósil para otros usos mejorando los problemas de abastecimiento en un escenario de crisis energética, precios crecientes y agotamiento del recurso fósil. **(WIKIPEDIA, Edificio energía cero).**

En la postura EEC cada decisión sobre la selección importante de cada subsistema, se evalúa en términos de sus consecuencias futuras respecto de su demanda energética, para lo cual se utiliza la técnica de análisis energético del ciclo de vida. Los diseñadores de EEC admiten un aumento del costo inicial de construcción si con esto logran reducir la demanda energética y los gastos de funcionamiento. Un postulado para el diseño de un EEC es primero la energía.

Los edificios de energía neta cero son un método sólido, maduro y de bajo coste, que crece rápidamente, para conseguir ahorros de energía y ayudar a evitar el cambio climático.

Otra forma de conseguir el tan necesario ahorro de energía, son las **PASSIVHUAS.**

Se trata de un estándar de eficiencia energética aceptado en toda Europa para alcanzar una reducción significativa de la demanda de energía en los edificios, es por ello, que el concepto fundamental de un edificio pasivo es minimizar la demanda de calor para calefacción y refrigeración, hasta el punto en que el sistema de calefacción/refrigeración tradicional ya no sea necesario. La demanda total de energía de para calefacción y refrigeración está limitada a 15kWh/m² ya año. Esto tiene en cuenta la temperatura exterior, la capacidad del aire y la temperatura máxima a la que se puede calentar el aire para alcanzar unas condiciones óptimas. El uso total de energía primaria para agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración y funcionamiento de los electrodomésticos está limitado a 120kWh/m² y año. **(GUÍA ESTÁNDAR PASSIVHAUS)**

Al limitar la demanda de energía a un mínimo, el suministro mediante fuentes de energía renovable es suficiente para satisfacer las necesidades de energía resultantes. El objetivo es maximizar el confort para las personas que viven en la vivienda y al mismo tiempo minimizar el uso de la energía y otros impactos sobre el medio ambiente. Esto implica aprovechar al máximo las fuentes de energía naturales y gratuitas, como el sol y el viento, para suministrar calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación, contribuyendo así a un uso responsable de la energía.

Los costes de inversión pueden ser más altos para un edificio de estas características en comparación con un edificio convencional, pero los bajos costes de funcionamiento hacen que estos edificios sean rentables a lo largo de su vida útil.

Las ventajas clave de los edificios pasivos o de energía neta cero, son una reducción de los costes de funcionamiento para el edificio y una huella medioambiental mucho menor. Esto influye en la seguridad de la energía así como en la sostenibilidad medioambiental. Hoy en día, la tendencia apunta hacia edificios con energía neta cero como estándar de todas las construcciones futuras. (EcuRed)

Las estrategias generales a llevar a cabo en la mejora de la eficiencia energética en la edificación son:

1.- AISLAMIENTO TÉRMICO.

Un muy buen aislamiento térmico, (superior al caso anterior en el cual se ha optimizado el espesor del aislamiento), para la envolvente térmica es beneficioso tanto en invierno como en verano, ya que con el aumento del aislamiento se reduce la transmitancia térmica en los cerramientos exteriores, con lo cual, se reduce el intercambio por conducción a través del cerramiento. Así mismo la efectividad del aumento del espesor del aislamiento aumenta conforme empeoran las condiciones climáticas exteriores lo que hace especialmente conveniente en edificios situados en climas fríos, como es el caso de la vivienda unifamiliar de Formigal, o con fachadas menos expuestas al sol, tal y como sucede en la vivienda que se ha girado 45° hacia el oeste, aprovechando en

menor medida la radiación solar, debido a que la incidencia sobre los acristalamientos de la cocina y del salón-comedor no están directa, como cuando se orienta al sur el edificio (orientación que es la óptima en el hemisferio norte). **(PEP. PLATAFORMA EDIFICACIÓN PASSIVHAUS).**

2.- AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS.

La transmisión de energía (frío y calor) no sólo se da en los elementos generales como paredes o techos, sino también en las esquinas, ejes, juntas, etc. Los puentes térmicos son lugares de geometría lineal o puntual del cerramiento exterior donde el flujo de energía es más grande respecto a la superficie normal cerramiento. Estos puentes térmicos perjudican la eficiencia energética del elemento constructivo.

Siguiendo unas pocas reglas simples es posible eliminar los efectos de los puentes térmicos:

- No interrumpir la capa de aislamiento.
- En las juntas de los elementos constructivos del edificio, la capa de aislamiento debe unirlos y rellenarlos.
- Si interrumpir la capa de aislamiento es inevitable, usar un material con la resistencia térmica más alta posible.
- Los puentes térmicos reducen las temperaturas superficiales de la cara interior de la pared en invierno, esto incrementa el riesgo de formación de moho.

Eliminar los puentes térmicos es en general una cuestión de coste-eficiencia, que se reduce a disminuir las pérdidas por transmisión o la transmisión de cargas de calor. Mediante la aplicación térmica lineal en el PASSIVHAUS, la transmitancia térmica lineal es reducida a valores por debajo de $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$. **(PEP. PLATAFORMA EDIFICACIÓN PASSIVHAUS).**

3.- ESTANQUEIDAD.

Los orificios en la envolvente del edificio causan un gran número de problemas, particularmente durante los períodos más fríos del año. Flujos de aire del interior al exterior a través de grietas y huecos tienen un alto riesgo de provocar condensaciones en la construcción. Las infiltraciones de aire frío producen también a los usuarios sensación de baja confortabilidad.

Debido a que un edificio optimizado, requiere un soporte mecánico para el suministro continuo de aire proveniente del exterior, se requiere una excelente estanqueidad de la envolvente del edificio. Se ésta no es suficientemente impermeable, el flujo de aire no seguirá los recorridos planteados y la recuperación de calor no trabajará correctamente, resultando un consumo energético mayor. Es importante que una sola capa hermética de aire cubra todo el edificio. **(PEP. PLATAFORMA EDIFICACIÓN PASSIVHAUS).**

4. VENTILACIÓN MECÁNICA CON RECUPERACIÓN DE CALOR.

Consiste en recuperar gran parte de la energía que sale hacia fuera, cuando renovamos el aire utilizado (de malas características higiénicas) para pre-acondicionar el aire fresco (de buenas condiciones higiénicas). Para minimizar la demanda energética del edificio, se establece, una tasa de renovaciones cada hora.

En una vivienda pasiva, la cantidad de energía necesaria para acondicionar los espacios no es muy grande y es suficiente para poder prescindir de un sistema convencional de radiadores o de un suelo radiante, con el correspondiente ahorro económico que ello supone, aunque en el presente proyecto se han diseñado las instalaciones de calefacción con suelo radiante, incorporando eso sí, una unidad de tratamiento de aire (UTA), que incorpora el recuperador de calor y ventilador de impulsión y de extracción, como se verá más adelante.

5. VENTANAS Y PUERTAS DE ALTAS PRESTACIONES.

Los huecos en la fachada son puntos débiles de la envolvente térmica, por lo que hay que tener cuidado con la ubicación. Además las carpinterías a utilizar deben de tener muy baja transmitancia térmica y con ventanas doble, triple o cuádruple vidrio rellenas de gas inerte. El vidrio es bajo emisivo para reflejar el calor al interior de la vivienda en invierno y mantenerlo en el exterior durante el verano.

6. CONTROL DE INFILTRACIONES.

Una planificada ejecución permite el control de las infiltraciones de aire exterior indeseadas por los usuarios de las viviendas, de forma que el edificio puede ser calefactado perfectamente con ventilación mecánica con recuperación de calor, sin necesidad de utilizar otros sistemas convencionales de aporte de energía.

De ahí que la edificación deba de ser lo más estanca posible, para evitar sufrir de infiltraciones, a causa de grietas, rejillas, huecos, etc. **(GUÍA ESTÁNDAR PASSIVHAUS).**

7. ORIENTACIÓN

Influye en la captación solar, dependiendo de cómo orientemos los huecos y las fachadas, tendremos una mayor o menor captación solar, que nos influirá en el aporte de calefacción que tengamos que hacer.

La capacidad que tenga una casa para ventilarse naturalmente dependerá de la orientación que tenga respecto a la dirección de los vientos dominantes **(BIOCLIMATISMO, UNIÓN FENOSA).**

Se busca lograr un gran nivel de confort térmico, teniendo en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir el confort térmico interior mediante la adecuación del diseño, la geometría, la orientación y la construcción del edificio adaptado a las condiciones climáticas de su entorno. Juega

exclusivamente con las características locales del medio (relieve, clima, vegetación natural, dirección de los vientos dominantes, insolación, etc.), así como, el diseño y los elementos arquitectónicos, sin utilizar sistemas mecánicos, que más bien se consideran como sistemas de apoyo. **(ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA. Wikipedia).**

Como último punto a analizar en la eficiencia energética está el hecho de la utilización de las fuentes de **energías renovables**, para cubrir las demandas energéticas de calefacción y refrigeración de las viviendas, sin necesidad de aporte de energías tradicionales, como el gas natural y la electricidad, si se diseña la envolvente térmica de los edificios de una manera óptima y satisfactoria, consiguiendo con todo ello, el ahorro económico que buscan las familias, repercutiendo directamente en su bienestar, confort y calidad de vida.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas. **(ENERGÍA RENOVABLE, Wikipedia).**

Por otro lado, la utilización de las energías de origen fósil actuales, tales como el petróleo, carbón o gas natural, acarrear consigo problemas con la contaminación atmosférica, el aumento de gases de efecto invernadero, con el consecuente calentamiento global y cambio climático

Por tanto, incluso aunque se pueda realizar una transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. Por ello ha surgido el concepto de Desarrollo sostenible. Dicho modelo se basa en las siguientes premisas:

- El uso de fuentes de energía renovable, ya que las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose, según los pronósticos actuales, en el transcurso de este siglo XXI.
- El uso de fuentes limpias, abandonando los procesos de combustión convencionales y la fisión nuclear.
- La explotación extensiva de las fuentes de energía, proponiéndose como alternativa el fomento del autoconsumo, que evite en la medida de lo posible la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución de energía eléctrica.
- La disminución de la demanda energética, mediante la mejora del rendimiento de los dispositivos eléctricos (electrodomésticos, lámparas, etc.)
- Reducir o eliminar el consumo energético innecesario. No se trata solo de consumir más eficientemente, sino de consumir menos, es decir,

desarrollar una conciencia y una cultura del ahorro energético y condena del despilfarro. (**ENERGÍA RENOVABLE, Wikipedia**).

5.- VIVIENDAS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las viviendas de alta eficiencia energética son aquellas viviendas, en las cuales se consiguen ahorros energéticos en los consumos de las fuentes de energía tradicionales y más extendidas, como pueden ser el gas natural y la electricidad, mediante un diseño adecuado de la envolvente térmica del edificio, reduciendo las pérdidas a través de la misma, y aportando la energía necesaria para cubrir las demandas de la misma mediante las energías renovables, de uso ilimitado y barato, del tal forma, que con todo esto, se consiga una vivienda autosuficiente en cuanto a la demanda de energía se refiere. Para ello se necesitan aplicar una óptima combinación de las estrategias comentadas anteriormente, del estándar PASSIVHAUS, ZERO ENERGY BUILDING, BIOCLIMATISMO, aporte de ENERGÍA RENOVABLES, para la reducción de los consumos y consecuentemente conseguir un significativo ahorro energético, frente al despilfarro actual, producido en viviendas de antigua construcción, y el sobrecoste que acarrea el diseño de nuevas viviendas diseñadas mediante las exigencias mínimas del CTE, en su documento básico de ahorro de energía, debido a la incompatibilidad con el documento básico de calidad del aire interior HS3, que obliga a introducir unos caudales mínimos de aire de ventilación a través de huecos practicados en las fachadas, para renovar la calidad del aire interior, lo cual produce un incremento de la infiltración de aire exterior que se deriva en un aumento de pérdidas energéticas por ventilación, produciendo un aumento en la demanda energética y en los consumos, además del discomfort para los inquilinos de las viviendas; lo cual es incompatible con la necesidad de limitar la energía, ya que el edificio diseñado por el CTE carece de estanqueidad.

Además se exige la certificación energética de las viviendas existentes y en las de nueva construcción, ya que es una exigencia derivada de la directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética y la Directiva 2006/32/CE, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios, y la Directiva 2010/31/UE revisión de la primera.

Este Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, publicado en el Boletín Oficial del Estado nº 89 del 13 de abril de 2013, entro en vigor al día siguiente de su publicación.

Según la Disposición Transitoria primer de este Real Decreto, la presentación o puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del certificado de eficiencia energética de la totalidad o parte de un edificio, según corresponda, será exigible para los contratos de compra-venta o arrendamiento celebrados a partir de dicha fecha (1 de junio de 2013).

El certificado evalúa la eficiencia energética del inmueble y le otorga una calificación en una letra que variará de la A la G, siendo A la más eficiente y G la menos, un sistema parecido al de los electrodomésticos de siete escalas. Además de la información objetiva sobre sus características energéticas, el certificado deberá incluir recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética del inmueble. (Energeticocertificador, etiqueta energética).

Con una validez de 10 años, permite al comprador o arrendatario saber cuánta energía gasta una vivienda antes de alquilarla o comprarla. El objetivo de la medida es fomentar el ahorro y la eficiencia, así como que se pueda valorar y comparar los edificios, con el fin de favorecer la promoción de aquellos que tengan alta eficiencia y las inversiones en ahorro de energía.

Este certificado, además de la calificación energética del edificio, deberá incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios, y, en el caso de edificios existentes, un documento de recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos o rentables de la eficiencia energética del edificio o de una parte de éste, de forma que se pueda valorar y comparar la eficiencia energética de los edificios.

Como **herramienta para facilitar la obtención de estos certificados**, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) ha elaborado los programas informáticos **CE3 y CE3X**, ambos publicados como documentos reconocidos a disposición de los técnicos certificadores, y el CTE ha elaborado los programas informáticos **LIDER y CALENER**.

La obligatoriedad de la etiqueta se aprobó en abril, cuando se publicó en el BOE el real decreto en el que se fijó esta obligatoriedad, días después de que el Gobierno anunciara un paquete de medidas en materia de vivienda. Es necesaria porque hay que adaptar a la normativa española a una ley europea que ya se aplica en otros países como Francia o Reino Unido.

La normativa ya existe en España para los edificios de nueva construcción desde el RD 47/2007 del 19 de enero, con lo cual lo que se hace es ampliarla a todos los casos.

La certificación energética de edificios no se verá alterada a pesar de que la orden FOM/1635/2013, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de la Energía" del CTE, pasa a ser de obligado cumplimiento a partir del 13 de marzo de 2014. Esta situación se extenderá durante el periodo de adecuación al nuevo DB-HE de los documentos reconocidos e informativos en el ámbito de la certificación energética de edificios. Pueden consultarse los detalles en el documento informativo.

El procedimiento simplificado de calificación de eficiencia energética en viviendas (Procedimiento 1) dejará de utilizarse de acuerdo con lo establecido por la Comisión Permanente para la Certificación Energética de edificios.

En el artículo 3 del citado Real Decreto, se crea el Registro general de documentos reconocidos para la certificación energética de edificios. Está

adscrito a la Secretaría de Estado de Energía, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, teniendo carácter público e informativo.

En este registro se recogen los Documentos reconocidos para la certificación de eficiencia energética. Éstos - que se definen como documentos técnicos, sin carácter reglamentario- se crean con el fin de facilitar el cumplimiento del Procedimiento básico descrito en el Real Decreto y han de contar con el reconocimiento conjunto del Ministerio de Industria, Energía y Turismo y del Ministerio de Fomento.

Por otro lado, y como su propio nombre indica, el citado RD 235/2013 establece el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios. Éste procedimiento será desarrollado por el órgano competente en esta materia de la Comunidad Autónoma correspondiente, encargado también del registro de las certificaciones en su ámbito territorial, el control externo y la inspección.

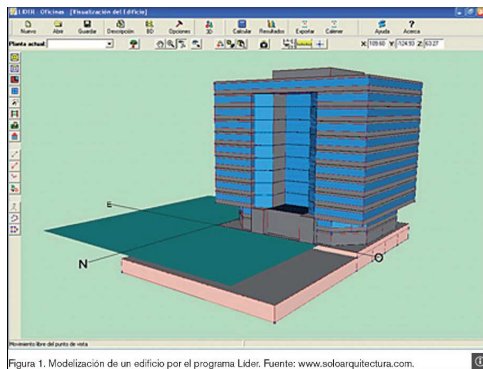
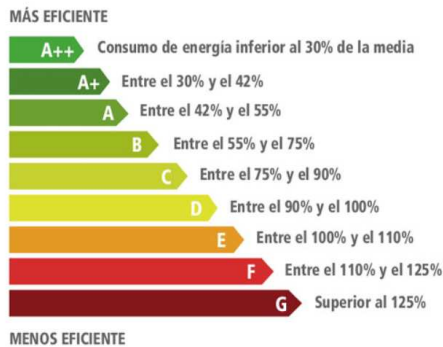


Fig 1. Programa de simulación energética LIDER/CALENER



Clase energética	Consumo energético	Calificación
A	< 55 %	Bajo consumo de energía
B	55 - 75 %	
C	75 - 90 %	
D	95 - 100 %	Consumo de energía media
E	100 - 110 %	
F	110 - 125 %	Alto consumo de energía
G	> 125 %	

Fig 2. Etiqueta energética

Tras el análisis de la etiqueta energética y las herramientas informáticas disponibles por el IDAE, y el CTE, se siguen una serie de estrategias para optimizar las viviendas mínimas diseñadas por el CTE.

Por ello, se ha de optimizar las viviendas, para alcanzar la eficiencia energética, con lo cual, se realizan una serie de cálculos de la demanda energética en las viviendas diseñadas en este proyecto, mediante la aplicación del CTE, y posteriormente su optimización.

Para lograr que una vivienda sea eficiente energéticamente en este proyecto se optimizan diversos factores como son:

- Aislamiento térmico.
- Puentes térmicos.
- Ventilación.
- Orientación.
- Hermeticidad al paso del aire
- Instalaciones.
- Aprovechamiento solar.

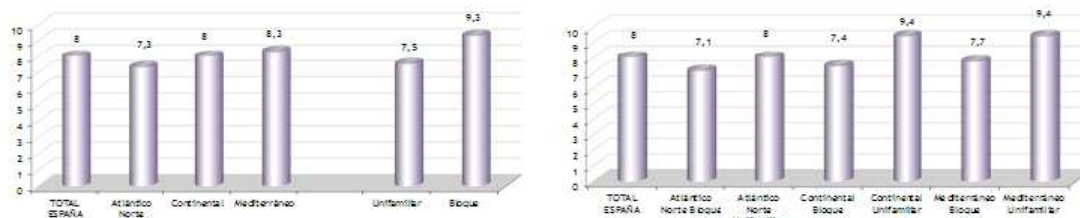
Decir también que existen más estrategias para la optimización de las viviendas que no se han tratado en el presente proyecto, como son:

- Inercia térmica.
- Transmisión térmica de los elementos transparentes.
- Otros elementos: Torre de aire, chimeneas solares o muros trombe.

En primer lugar, se indican las características de las viviendas unifamiliares existentes en España para la justificación de porque se ha elegido una vivienda unifamiliar con unas determinadas características para el presente proyecto.

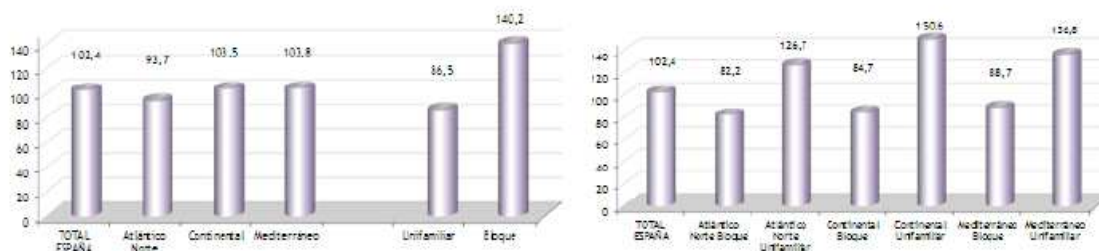
El hogar medio en España tiene 8 estancias, incluyendo cuartos de baño y cocina, siendo esta superior en el caso de las viviendas unifamiliares, especialmente en las zonas Continental y Mediterránea.

Número Medio de Estancias por Tipo de Vivienda y Zona Climática



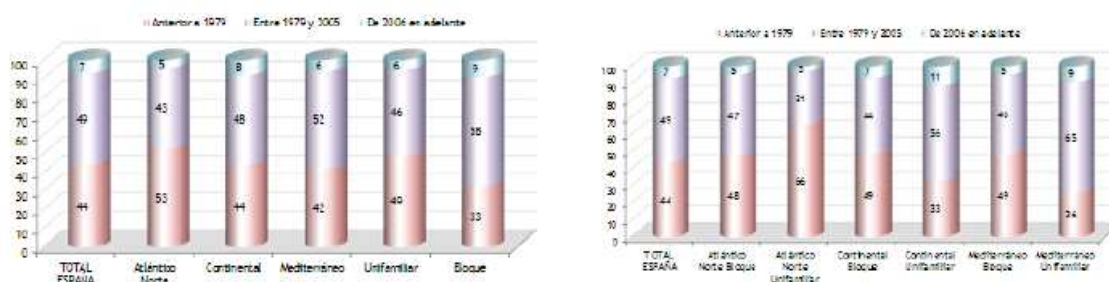
Con respecto a la superficie media de un hogar español, la misma es de 102,4m², elevándose esta cifra a 140,2m² en las viviendas de tipo unifamiliar. Las viviendas unifamiliares tienen una superficie media mayor, sobre todo en la zona Continental. (IDAE).

Superficie Media (m²) de la Vivienda por Tipo de Vivienda y Zona climática



El 49% de las viviendas españolas han sido construidas entre 1979 y 2005 contando con más de 30 años de antigüedad. Según tipos de viviendas, la mayoría de las viviendas unifamiliares han sido construidas en los últimos 30 años, por lo que tienen una construcción más reciente que las viviendas en bloque, solo el 33% en las viviendas de tipo unifamiliar. En cuanto a zonas climáticas, las viviendas con más antigüedad están en el Atlántico Norte, mientras que las más modernas son las unifamiliares de la zona Continental. (IDAE).

Antigüedad de la Viviendas por Tipo de Vivienda y Zona Climática



En resumen, las viviendas más antiguas tienen menor superficie y número de estancias y se encuentran en hábitats grandes, mientras que las viviendas nuevas presentan un porcentaje mayor en los hábitats pequeños. (IDAE).

Hogares según Número de Estancias y Antigüedad de la Vivienda

Características vivienda	TOTAL ESPAÑA	Año de Construcción		
		Anterior a 1979	Entre 1979 y 2005	De 2006 en adelante
Media de estancias	8,0	7,5	8,5	8,2
Media de tamaño en m ²	102,4	92,8	109,9	109,7

Base: Total hogares 2010 (17.199.630)

Características de los hogares. (IDAE).

El tamaño del hogar, expresado como el número de miembros del hogar, es una variable con repercusión significativa en el consumo energético, y alcanzó en 2010 en España la media de 2,7 personas/hogar. La mitad de los hogares españoles son de tamaño reducido de 1 o 2 miembros, mientras que los hogares de tamaño superior a 5 miembros apenas representan el 9%. (IDAE).

Distribución de los Hogares según Tamaño del Hogar



Por lo tanto, la vivienda que se ha diseñado para este proyecto y que justifica perfectamente todo lo comentado, se trata de una vivienda unifamiliar de 120m², y cuenta con dos aseos, 1 cocina, 1 salón-comedor y tres dormitorios, como se detalla a continuación, en la cual residen 4 individuos, ya que posee 3 dormitorios:

Tabla 4.2. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Fig 1. Valores mínimos de ocupación según la Sección HE 4. Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

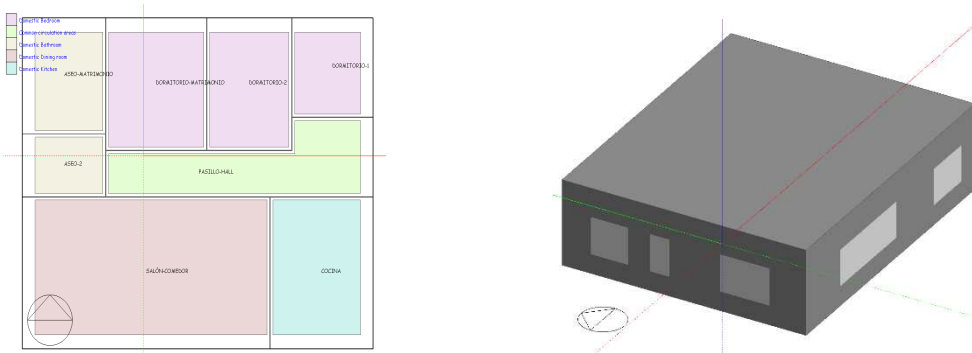


Fig 2. Distribución en planta y edificio objeto de estudio

Pudiendo observar cómo se orientan hacia el sur, las estancias que mayor tiempo van a permanecer ocupadas por los habitantes de las viviendas, el salón-comedor y la cocina, distribuyendo una mayor superficie de acristalamiento en las fachadas que componen dichas estancias, para un mayor aprovechamiento solar en los meses de invierno, con objeto de facilitar la reducción del consumo energético de las instalaciones térmicas de calefacción.

Se realiza la optimización de las viviendas diseñadas mediante las exigencias mínimas del CTE, se optimizan, para comprarlas con los diseños mínimos llevados a cabo, para realizar un posterior análisis de los resultados y se sacar en último lugar las conclusiones de que vivienda es la más eficiente en las tres localidades analizadas, en función de su aislamiento, acristalamiento,

infiltraciones, recuperador de calor, pérdidas derivadas de la ventilación y de los huecos existentes en las fachadas.

Se analizan tres diferentes tipos de clima, clima frío en Formigal (Huesca), clima medio en Zaragoza y clima cálido en Sevilla, a fin de analizar la influencia de los mismos, en los valores de demanda energética de calefacción y refrigeración, así como, la influencia que estos diferentes tipos de clima tienen en los consumos energéticos de las viviendas unifamiliares.

Se cambia la orientación de la vivienda de Formigal, 45° hacia el oeste, analizando como varían las demandas energéticas, así como los consumos de las instalaciones térmicas.

Tras esto, comentar que el consumo de un hogar español es de 10521Kwh al año (0,038TJ), siendo predominante, en términos de energía final, el consumo de combustibles, 1,8 veces superior al consumo eléctrico. El 62% del consumo eléctrico obedece al equipamiento de electrodomésticos, y en menor medida a la iluminación, cocina y los servicios de calefacción y agua caliente.(IDAE).

Se detallan a continuación los consumos energéticos anuales en el sector residencial en España:

6ª Edición: Febrero 2015
SECRETARÍA GENERAL
Departamento de Planificación y Estudios

INFORME ANUAL DE CONSUMOS ENERGÉTICOS. UNIDADES COMERCIALES. AÑO 2013
Consumo de Energía Final: Sector Residencial/Hogares.

Tipo de Uso	Carbón	Productos Petrolíferos				Gases ⁽³⁾	Renovables				Energía Eléctrica	TOTAL	Consumo Total según Usos	
		GLP	Combustibles Líquidos ⁽²⁾	TOTAL Productos Petrolíferos	Biomasa		Solar	Geotermia	TOTAL Renovables	Térmicos			Eléctricos	
	Unidad de medida: ktep													
Calefacción	72	189	1.420	1.609	1.339	2.451	13	5,98	2.471	437	5.928	5.490	437	
ACS	7	302	138	440	1.243	43	168,1	2,28	213	443	2.346	1.902	443	
Cocina	16	113	--	113	309	27	--	--	27	552	1.016	465	552	
Iluminación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	697	697	--	697	
Aire Acondicionado	--	--	--	--	--	--	--	2,22	2	139	141	2	139	
Electrodomésticos	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3.670	3.670	--	3.670	
CONSUMO TOTAL DE LOS HOGARES ⁽¹⁾	95	604	1.558	2.162	2.891	2.520	182	10,48	2.712	5.938	13.798	7.860	5.938	
CONSUMO TOTAL RESIDENCIAL ⁽⁴⁾	95	1.140	1.624	2.764	3.193	2.520	196	10,48	2.727	6.236	15.015	8.778	6.236	
Δ 2013/2012 ⁽⁴⁾	-13,5%	-4,9%	4,5%	0,4%	-8,0%	0,3%	10,0%	2,6%	1,0%	-3,4%	-3,3%	-3,2%	-3,4%	

Fuente: MINETUR/IDAE/INE.

Tras haber indicado los consumos medios por hogar en España, como primer paso se diseñan las viviendas bajo las exigencias mínimas del documento básico de ahorro de energía del CTE, DB-HE-CTE, que tiene por objeto establecer un serie de reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía.

En el presente proyecto se han aplicado una serie de exigencias básicas, que son:

-HE 1: Limitación de la demanda energética: Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

De tal manera que por la tabla 2.1, la demanda energética de calefacción del edificio, no debe superar el valor límite $D_{cal, \min} = D_{cal, base} + F_{cal, sup} / S$, tal que:

$D_{cal, \min}$ = Es el valor límite de la demanda de calefacción, expresada en kWh/m² y año.

$D_{cal, sup}$ = Es el valor base de la demanda energética de calefacción, para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, que toma valores de la tabla 2.1;

$F_{cal, sup}$ = Es el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, que toma los valores de la tabla 2.1;

S = Superficie útil de los espacios habitables, en m².

Tabla 2.1 Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
$D_{cal, base}$ [kW·h/m ² ·año]	15	15	15	20	27	40
$F_{cal, sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

La demanda energética de refrigeración del edificio, no debe superar el valor límite de $D_{ref} = 15\text{kWh/m}^2$ y año para las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3, o el valor límite $D_{ref} = 20\text{kWh/m}^2$ y año para la zona climática de verano 4.

Los valores obtenidos de demandas energéticas de calefacción y refrigeración para las viviendas diseñadas mediante las exigencias mínimas del CTE son las que aparecen en el siguiente capítulo de resultados:

Para fijar unos perfiles de uso, se utiliza al Apéndice C Perfiles de uso, tablas que recogen los perfiles de uso normalizados de los edificios en función de su uso, densidad de las fuentes internas y periodo de utilización.

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

¹ En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al mínimo exigido por el DB
² El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será constante e igual al calculado mínimo exigido por el DB HS.

Para la definición del edificio de referencia se hace uso del Apéndice D. Definición del edificio de referencia.

El edificio de referencia se define como la misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos remotos que el edificio objeto.

Los parámetros característicos de la envolvente se recogen según zonas climáticas, por ello:

Sevilla, Z.C. B4:

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Zaragoza Z.C. D3:

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Formigal Z.C. E1:

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Se calculan los caudales mínimos de aire a introducir en el interior de las viviendas de acuerdo a las exigencias mínimas del CTE DB-HS3, de calidad de aire interior, que se aplica en los edificios de viviendas, de acuerdo al punto de

2 de dicho documento básico, de caracterización y cuantificación de exigencias que dice:

1. El caudal de ventilación mínimo para los locales se obtiene de la tabla 2.1 teniendo en cuenta las reglas que figuran a continuación:
2. El número de ocupantes se considera igual,
 - a) En cada dormitorio individual, a uno, y en cada dormitorio doble, a dos;
 - b) En cada comedor y en cada sala de estar, a la suma de los contabilizados para todos los dormitorios de la vivienda correspondiente.

Tabla 2.1 Caudales de ventilación mínimos exigidos

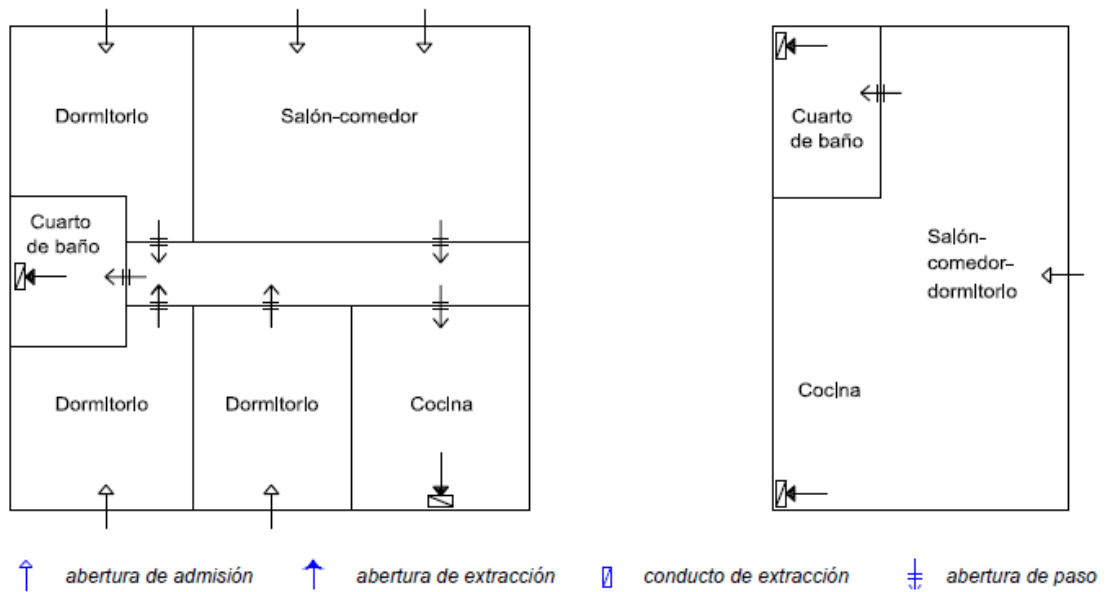
		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m ² útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120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

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

DISEÑO

1 Las viviendas deben disponer de un sistema general de ventilación que puede híbrida o mecánica, en el presente proyecto es un sistema de ventilación mecánica, con las siguientes características:

- a) El aire debe circular desde los locales secos a los húmedos, para ello los comedores, dormitorios y las salas de estar deben disponer de aberturas de admisión; los aseos, las cocinas y los cuartos de baño deben disponer de aberturas de extracción; las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de aberturas de paso.
- b) Como aberturas de admisión se dispondrán de aireadores o aperturas fijas de la carpintería, como son los dispositivos de microventilación. En el presente proyecto se realizan aperturas fijas (rejillas de admisión).
- c) Los aireadores deben disponerse a una altura superior a 1,8m.
- d) Cuando algún local esté compartimentado, deben disponerse aberturas de paso entre los compartimentos; la abertura de extracción debe disponerse en el compartimento más contaminado que, en el caso de aseos y cuartos de baños, es aquel en el que está situado el inodoro, y en el caso de cocinas es aquel en el que está situada la zona de cocción; la abertura de paso que conecta con el resto de la vivienda debe estar situada en el local menos contaminado.



- 2 Las cocinas, comedores, dormitorios y salas de estar deben disponer de un sistema complementario de ventilación natural. Para ello debe disponerse una ventana exterior practicable o una puerta exterior. En el presente proyecto, se disponen ventanas exteriores en la cocina, salón-comedor y dormitorios.

- 3 Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello debe disponerse un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda que no puede utilizarse para la extracción de aire de los locales de otro uso. Cuando este conducto sea compartido por varios extractores, cada uno de éstos debe estar dotado de una válvula automática que mantenga abierta su conexión con el conducto sólo cuando funcionando o de cualquier otro sistema antirrevoco.

4 DIMENSIONADO

4 Dimensionado

4.1 Aberturas de ventilación

- 1 El área efectiva total de las aberturas de ventilación de cada local debe ser como mínimo la mayor de las que se obtienen mediante las fórmulas que figuran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Área efectiva de las aberturas de ventilación de un local en cm²

Aberturas de ventilación	Aberturas de admisión	4·q _v ó 4·q _{va}
	Aberturas de extracción	4·q _v ó 4·q _{ve}
	Aberturas de paso	70 cm ² ó 8·q _{vp}
	Aberturas mixtas ⁽¹⁾	8·q _v

(1) El área efectiva total de las aberturas mixtas de cada zona opuesta de fachada y de la zona equidistante debe ser como mínimo el área total exigida.

CAUDALES DE VENTILACIÓN MÍNIMO Y REJILLAS EXIGIDOS EN LAS VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE SEVILLA, ZARAGOZA Y FORMIGAL:

DISEÑO Y CÁLCULO DE LA REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA VIVIENDAS UNIFAMILIARES POR CTE			
ESTANCIAS	q _v (l/s)	ÁREA DE LAS ABERTURAS (cm ²)	DIMENSIONES REJILLAS (cm)
ASEO-1	15	60	10x6
ASEO-2	15	60	10x6
DORMITORIO-1	5	20	10x2
DORMITORIO-MATRIMONIO	10	40	10x4
DORMITORIO-3	5	20	10x2
SALÓN-COMEDOR	12	48	10x7,2
COCINA	28	392	39,2x10
PASILLO		70	10x7
ocupantes dormitorio matrimonio	2 personas		
ocupantes salón-comedor	4 personas		
ocupantes dormitorios 1 y 3	1 persona		
superficie cocina	14 cm ²		
adicional cocina, CAMPANA EXTRACTORA	50 l/s		

Estos caudales se tienen para simulación de las viviendas diseñadas mediante las exigencias mínimas del CTE, y en la vivienda optimizada.

Estos caudales son introducidos a través de un ventilador de impulsión y extraídos a través de un ventilador de extracción, para realizar la simulación con el DESIGNBUILDER, manteniendo unos perfiles de uso para la ventilación mecánica de la vivienda según el CTE DB-HE.

El siguiente paso es la optimización de las viviendas diseñadas mediante las exigencias mínimas del CTE, mejorando la envolvente térmica del edificio y el rendimiento de las instalaciones térmicas. Para ello se adoptan las siguientes medidas:

1.- Estanqueidad. Los orificios en la envolvente del edificio causan un gran número de problemas, particularmente durante los períodos más fríos del año. Flujos de aire del interior al exterior a través de grietas y huecos tienen un alto riesgo de provocar condensaciones en la construcción. Las infiltraciones de aire frío producen también a los usuarios sensación de baja confortabilidad.

Debido a que un edificio optimizado, requiere un soporte mecánico para el suministro continuo de aire proveniente del exterior, se requiere una excelente estanqueidad de la envolvente del edificio. Se ésta no es suficientemente impermeable, el flujo de aire no seguirá los recorridos planteados y la recuperación de calor no trabajará correctamente, resultando un consumo energético mayor. Es importante que una sola capa hermética de aire cubra todo el edificio. **(Criterios Técnicos-Bau Passivhuas).**

Por ello, se eliminan las rejillas, para hacer más estanco el volumen de control, a la par de otras medidas, para mejorar la envolvente térmica del edificio objeto de análisis del presente proyecto, como se indican a continuación.

2.- Aumento del espesor del material aislante, a fin de reducir la transmitancia térmica de las viviendas reduciéndose así, las demandas, pérdidas energéticas y consumos de las instalaciones térmicas.

3.- Aumento en la calidad del acristalamiento, disponiendo vidrios bajo emisivos cuádruples que incorporan gases nobles con el fin de mejorar los coeficientes de transmisión térmica.

4.- Ventilación mecánica con recuperación de calor, que recoge el calor que transporta el aire interior y lo transfiere al aire fresco que se recoge del exterior, atemperado, previamente filtrado y en perfectas condiciones higiénicas. **(Blogg de Prefire)**

Tras esta optimización se comparan los valores obtenidos mediante la aplicación de las exigencias mínimas del CTE, con los valores obtenidos tras esta primera optimización.

Posteriormente, se intentan aproximar las viviendas al estándar PASSIV HAUS, que dice lo siguiente:

“Los edificios pasivos combinan un elevado confort interior con un consumo de energía muy bajo. Se trata de edificios con un alto grado de aislamiento, un control riguroso de los puentes térmicos y de las infiltraciones de aire indeseadas, unas carpinterías de gran calidad y un aprovechamiento óptimo del soleamiento de forma tal que mediante la ventilación mecánica a través del recuperador de calor se consigue el aporte necesario para su climatización, sin necesidad de recurrir a ningún otro sistema”. **(ARKE ARQUITECTOS)**.

Para ello, se llevan a cabo una serie de medidas como son:

Valor característico de la demanda de calefacción 15kWh/m² y año.

Este puede considerarse el valor más importante. Es el resultado del balance entre pérdidas y ganancias de calor.

Pérdidas por transmisión, a través de la envolvente térmica (incluidos puentes térmicos) y por infiltración, a través de rejillas, por ventilación, etc.

Pérdidas debidas a infiltraciones indeseadas, pudiendo llegar a suponer el 40% del total.

Valor característico de la demanda de refrigeración 15kWh/m² y año.

Aun cuando en un principio el estándar PASSIVHAUS, fue concebido para climas fríos centroeuropeos, la labor continua de investigación y experimentación liderada por el **PassivHaus Institut (PHI)** y el deseo de exportar y globalizar los conocimientos adquiridos han dado como resultado la adopción del estándar también en climas cálidos del sur de Europa.

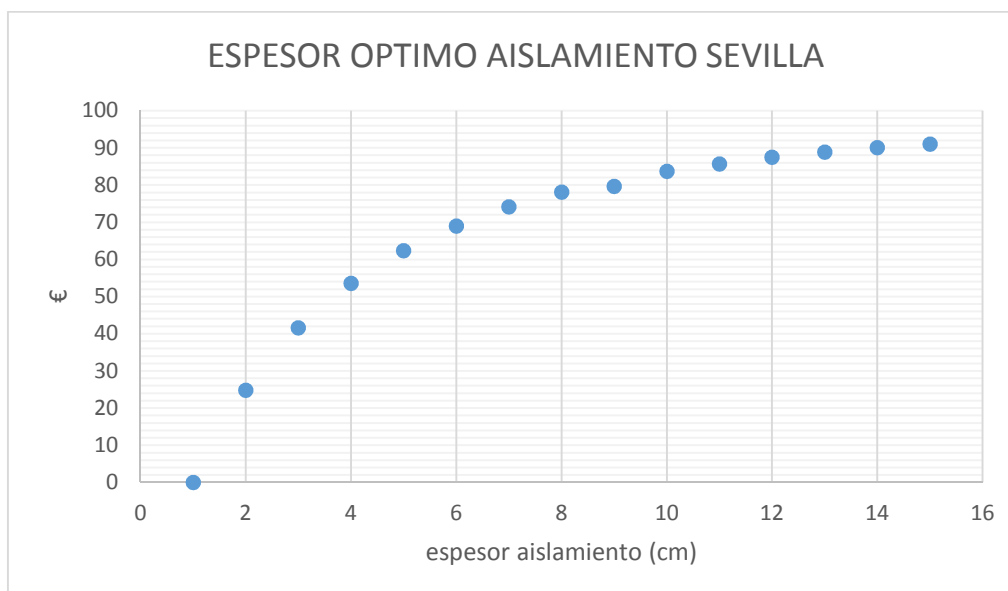
En la adaptación a climas más cálidos aparece con singular importancia el apartado de la refrigeración, sin olvidar los sombreamientos, superando en casos a la calefacción y exigiendo un planeamiento riguroso y diferenciado para evitar sobrecalentamientos. **(GUÍA DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS)**.

Para la elección del espesor del aislamiento para la optimización de las viviendas se realizan cálculos del ahorro de energía en € en función del aumento del espesor del aislamiento:

Aislamiento óptimo Sevilla:

AHORRO EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL AISLAMIENTO EN SEVILLA PARA DETERMINAR EL ESPESOR ÓPTIMO			
ESPESOR (cm)	CONSUMO GAS (kWh)	€ energía	AHORRO energía (€)
1	3045,52	236,55	0
2	2588,04	211,76	24,79
3	2276,81	194,89	41,66
4	2056,34	182,94	53,61
5	1893,99	174,14	62,41
6	1772,14	167,54	69,01
7	1676,91	162,37	74,18
8	1603,76	158,41	78,14
9	1574,53	156,83	79,72
10	1501,25	152,85	83,70
11	1463,4	150,80	85,75
12	1431,1	149,05	87,50
13	1404,99	147,64	88,91
14	1383,42	146,47	90,08
15	1365,13	145,48	91,07

Tabla 1. Ahorros en función del espesor de aislamiento Sevilla.



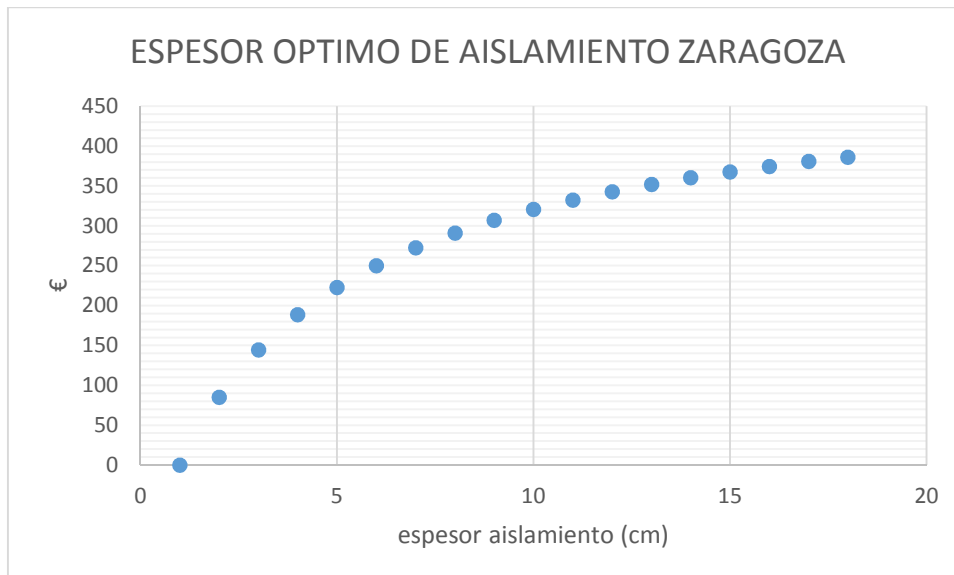
Gráfica 1. Ahorros en función del espesor de aislamiento Sevilla.

Para la vivienda óptima de Sevilla, se considera un espesor óptimo de aislamiento de 8cm, ya que por encima los costes de la construcción se incrementan y no se reduce de manera significativa el ahorro energético, y por debajo de 8cm los costes se reducen a medida que lo hacen los ahorros de una manera importante.

Aislamiento óptimo Zaragoza:

AHORRO EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL AISLAMIENTO EN ZARAGOZA PARA DETERMINAR EL ESPESOR ÓPTIMO			
1	10997,89	667,6	0
2	9426,9	582,4	85
3	8332,73	523,1	144
4	7517,89	478,9	189
5	6885,5	444,7	223
6	6381,8	417,4	250
7	5968,23	395,0	273
8	5623,35	376,3	291
9	5331,43	360,4	307
10	5081,14	346,9	321
11	4863,24	335,1	332
12	4670,37	324,6	343
13	4498,8	315,3	352
14	4345,48	307,0	361
15	4208,98	299,6	368
16	4084,42	292,9	375
17	3971,3	286,7	381
18	3868,05	281,1	386

Tabla 2. Ahorros en función del espesor de aislamiento Zaragoza.



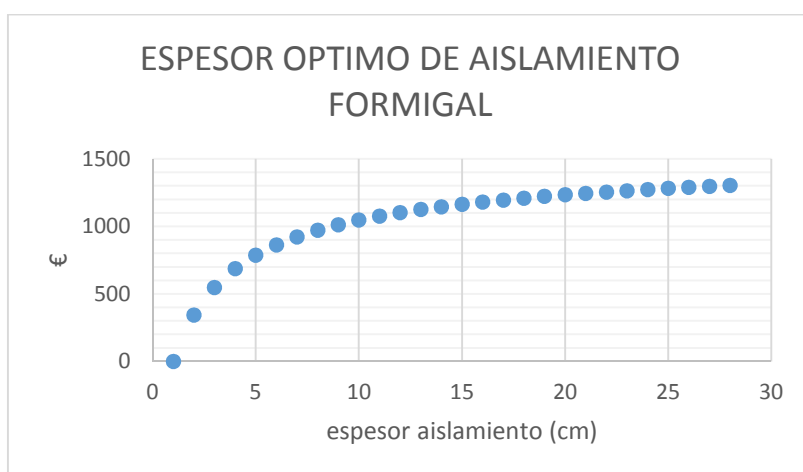
Gráfica 2. Ahorros en función del espesor de aislamiento Zaragoza.

Para Zaragoza el espesor óptimo de aislamiento se encuentra en 11cm, ya que disponer un aislamiento superior conlleva un sobrecoste en la construcción, y disponerlo por debajo del valor óptimo, no aporta ahorros significativos.

Formigal:

AHORRO EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL AISLAMIENTO EN FORMIGAL PARA DETERMINAR EL ESPESOR ÓPTIMO			
ESPESOR (cm)	CONSUMO GAS (kWh)	€ energía	AHORRO energía (€)
1	34050,56	1917	0
2	27719,99	1574	343
3	23935,14	1369	548
4	21382,27	1230	687
5	19542,40	1131	786
6	18147,70	1055	862
7	17038,93	995	922
8	16137,35	946	971
9	15384,79	905	1012
10	14744,90	871	1046
11	14198,10	841	1076
12	13717,24	815	1102
13	13292,23	792	1125
14	12915,30	771	1145
15	12574,73	753	1164
16	12270,30	737	1180
17	11991,83	721	1196
18	11737,56	708	1209
19	11504,07	695	1222
20	11288,98	683	1234
21	11086,58	672	1245
22	10899,59	662	1255
23	10724,39	653	1264
24	10559,58	644	1273
25	10405,27	635	1282
26	10257,57	627	1290
27	10118,64	620	1297
28	9987,22	613	1304

Tabla 3. Ahorros en función del espesor de aislamiento Formigal.



Gráfica 3. Ahorros en función del espesor de aislamiento Formigal.

En la gráfica superior se puede observar que el aislamiento óptimo para Formigal está en torno a 20cm de espesor, porque si se dispone de mayor espesor se encarece de forma importante la construcción, y si el espesor es inferior no es rentable desde el punto de vista del ahorro económico.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS.

Se analizan los resultados referentes a las demandas energéticas de calefacción y de refrigeración en función de las condiciones de la envolvente térmica de las edificaciones, viendo la influencia que en los valores demandados tiene, el espesor del aislamiento, la calidad del acristalamiento, y el intercambiador de calor aire-aire ubicado en una unidad de tratamiento de aire (UTA), para la recuperación de calor mediante la ventilación mecánica de las viviendas unifamiliares objeto de análisis del presente proyecto.

Podemos observar las siguientes gráficas, que hacen referencia a la variación de las demandas energéticas de calefacción para las localidades de Sevilla, Zaragoza y Formigal, además, de la variación en las demandas energéticas de refrigeración para las localidades de Sevilla y Zaragoza, ya que para Formigal no tiene sentido físico hablar de refrigeración, ya que la demanda es próxima a 0 kWh/m² y año.

DEMANDAS ENERGÉTICAS DE CALEFACCIÓN VIVIENDAS DE SEVILLA, ZARAGOZA Y FORMIGAL:

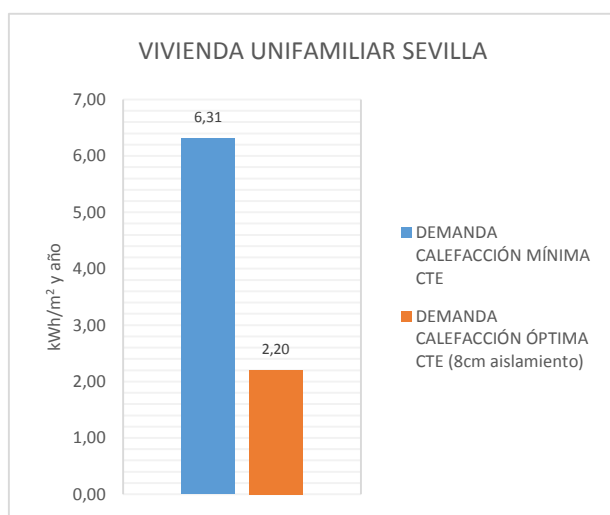


Fig 1.- Demandas energéticas de calefacción Sevilla.

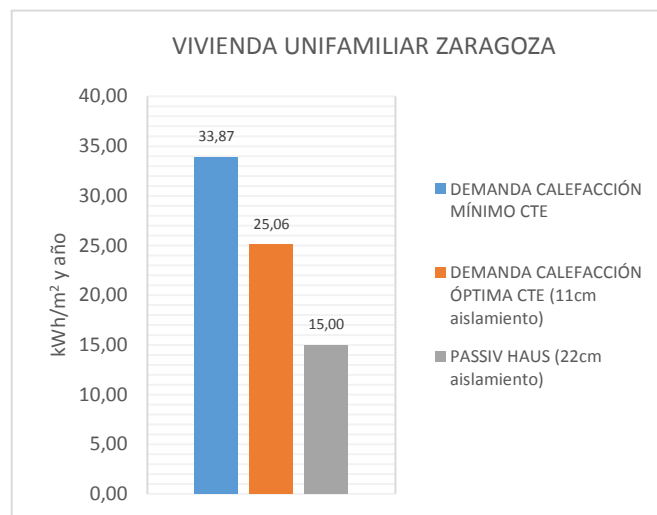


Fig 2.- Demandas energéticas de calefacción Zaragoza.

Se puede observar como la demanda de calefacción para Sevilla se reduce al aumentar el espesor del aislamiento a 8cm, debido a la menor transmitancia térmica de la envolvente térmica, así como la mayor opacidad de la misma, al suprimir las rejillas diseñadas por CTE-DB-HS3, para introducir caudales de ventilación en la vivienda para la renovación de la calidad del aire interior. En el capítulo conclusiones se justifica la elección para esta localidad de la vivienda más eficiente energéticamente. En Sevilla las demandas de calefacción están por debajo del estándar PASSIVHAUS, ya que este es de mejor aplicación en climas fríos para la calefacción.

Para Zaragoza ocurre, como es de prever lo mismo, se reduce la demanda de calefacción cuando se disponen 10cm de aislamiento, y un acristalamiento formado por 4 capas de vidrio, más el recuperador de calor. En el capítulo

conclusiones se justifica la elección para esta localidad de la vivienda más eficiente energéticamente. Decir que en Zaragoza se alcanza el estándar PASSIVHAUS para un espesor de 22cm de aislamiento.

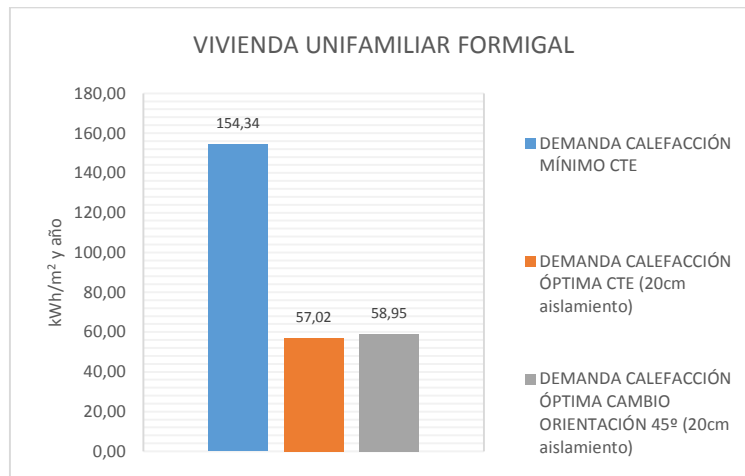


Fig 3.- Demandas energéticas de calefacción Formigal

En Formigal la reducción de la demanda es más evidente que en el resto de climas analizados, debido a que se trata de un clima mucho más frío que el de Zaragoza y Sevilla, y aquí tanto el aislamiento como el recuperador de calor son más eficientes dadas las condiciones de clima adversas. En el capítulo conclusiones se justifica la elección para esta localidad de la vivienda más eficiente energéticamente.

En Formigal para alcanzar la demanda de calefacción establecida por el estándar PASSIVHUAS, la única media que se podría adoptar es aumentar mucho el aislamiento, (ya que se dispone de un acristalamiento con baja transmitancia formado por cuatro capas de vidrio, de ventilación mecánica con recuperador de calor, orientación al sur, sin puentes térmicos), con el consecuente aumento importante en el coste total de la construcción de la vivienda unifamiliar, lo cual lo resulta eficiente, y el inviable.

DEMANDAS ENERGÉTICAS DE REFRIGERACIÓN VIVIENDAS DE SEVILLA Y ZARAGOZA:

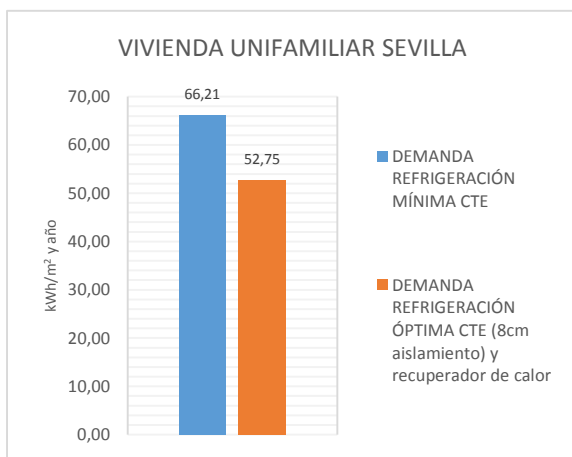


Fig 1.- Demandas energéticas de refrigeración Sevilla

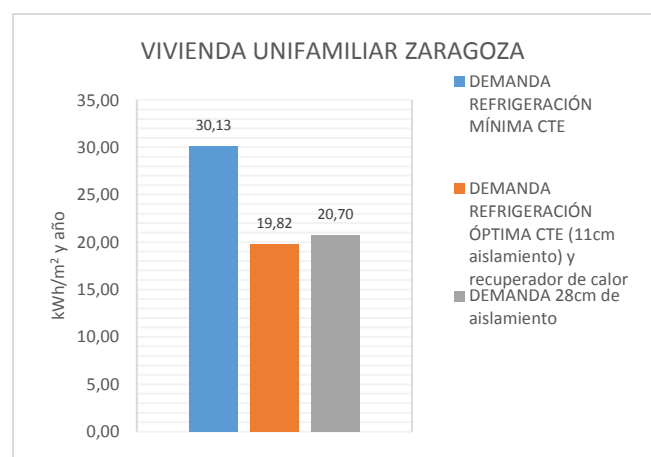


Fig 2.- Demandas energéticas de refrigeración Zaragoza

Se puede observar como desciende la demanda de refrigeración en Sevilla al aumentar el espesor de aislamiento, se incorpora recuperador de calor y acristalamiento compuesto por dos capas tal y como ocurre con las demandas de calefacción.

CAPITULO 7. INSTALACIONES TÉRMICAS.

Instalaciones térmicas de calefacción viviendas mínimas CTE sin recuperador de calor.

1.- Instalación de calefacción mediante suelo radiante:

Descripción general:

En numerosas ocasiones, hemos escuchado lo siguiente: “en invierno pies calientes y cabeza fría”. Pues, simplemente con esta frase, se puede comprender que la calefacción por suelo radiante es signo de confort, ya que la temperatura del aire a la altura de los pies es ligeramente superior a la temperatura del aire a la altura de la cabeza. (**eficienciaenergética.com**)

La explicación de cómo funciona, es muy sencilla. Consiste en una red de tubos de polietileno reticulado o polibutileno, que se instalan debajo del pavimento y de una capa de mortero autonivelante, por donde circula agua caliente a una temperatura de entre 30°C y 45°C. Remarcamos estas temperaturas, ya que se trata del sistema de calefacción que emplea la temperatura de impulsión de agua más baja.

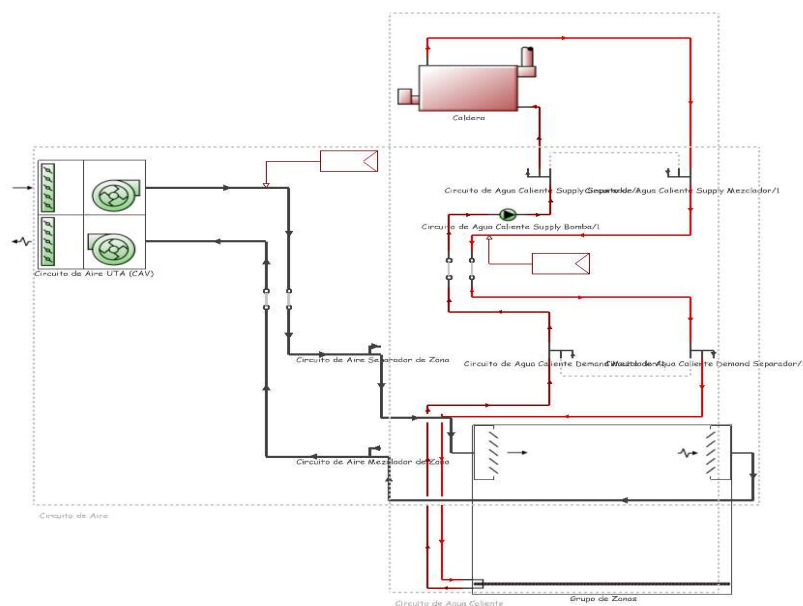
Un sistema de calefacción por suelo radiante es eficiente, tanto desde el punto de vista económico como de confort ya que:

- Emplea una temperatura de impulsión de agua muy baja (30-45°C) con respecto a los sistemas tradicionales de radiadores (80-85°C).
- Al tratarse de un sistema de baja temperatura, se consiguen grandes ahorros combinándolo con sistemas de generación de calor eficientes como la aerotermia, la geotermia, calderas de baja temperatura o condensación, y energía solar térmica.
- Con un sistema de bomba de calor, se puede utilizar como suelo refrescante en verano.
- Menores pérdidas en las conducciones al trabajar con temperaturas más próximas a la temperatura ambiente.
- Respeto por el medio ambiente, debido a su bajo consumo.
- Sistema que proporciona un gran confort a los usuarios, al eliminarse por completo las molestias ocasionadas por los demás sistemas de climatización (corrientes de aire, estratificación. sequedad, etc).

Como hemos visto anteriormente, el sistema de calor por suelo radiante, es uno de los mejores sistemas de calefacción existentes en el mercado, pero es conveniente tener en cuenta algunas consideraciones:

- En combinación con sistemas de calor eficientes, requiere de una inversión inicial alta, con respecto a otros sistemas de calefacción (como radiadores), pero con retornos de la inversión a corto plazo.
- Es un sistema adecuado para trabajar de forma continua, y por tanto, en inmuebles con una ocupación horaria alta, ya que son sistemas con una elevada inercia térmica, es decir, que no es conveniente en lugares en los que se preve apagar y encender la caldera todos los días.
- Necesita alturas de recirculo importantes, por lo que no es posible instalarla en todos los casos. Para ello es necesario realizar un estudio previo para su adecuación, tanto en obra nueva como en rehabilitación. **(eficienciaenergética.com)**

Esquema:



2.- Instalación solar-térmica:

Descripción general:

Para hacerse una idea, indicamos que el porcentaje de consumo energético de agua caliente sanitaria de una vivienda o un hospital, corresponde a un 20%. En hoteles, dependiendo del tipo de establecimiento, rondaría el 23%. Por lo tanto, es uno de los sistemas donde podemos actuar para reducir costes, con el consiguiente ahorro energético y disminución de emisiones de CO2. Indicar también, que la energía solar térmica, no sólo se usa para el aprovechamiento en grifos y duchas, sino que se puede utilizar como apoyo para calentamiento de piscinas, calefacción, precalentamientos etc.

(instalacionesyeficienciaenergética.com)

Si disponemos de una fuente inagotable de energía, como es la radiación solar, y con ella podemos calentar un fluido sin la utilización de ningún combustible y aprovecharla para diferentes usos, la idea parece genial. Por ello, una de las palabras clave en la energía solar térmica es el aprovechamiento de la energía del sol. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

Desde luego, la instalación de energía solar térmica es un gran sistema para aprovechar la radiación del sol y transformarla en calor. Estamos ante una energía limpia, y que nos reportará grandes ahorros desde el punto de vista energético, y consecuentemente económico.

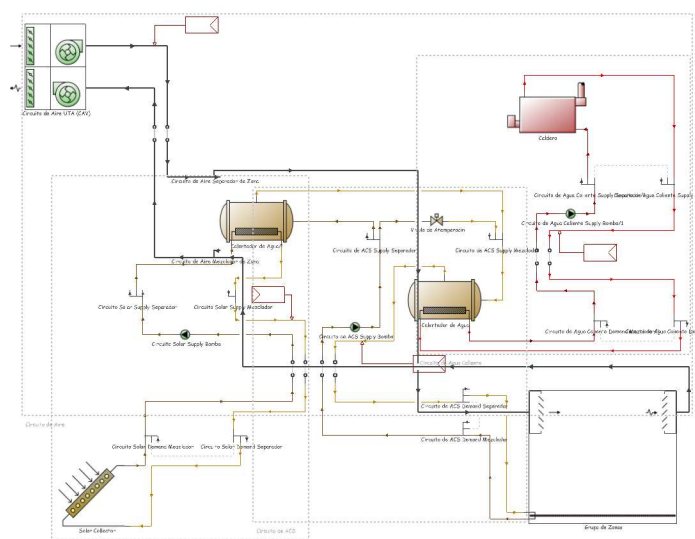
Una instalación en óptimas condiciones, es capaz de eliminar un gran porcentaje de la energía convencional que se usaría si no existiera dicha instalación. Para nuestras condiciones climáticas, los porcentajes ahorrados varían entre un 70-80% en Agua Caliente Sanitaria, 40% en Suelo Radiante y un 15% en Calefacción Convencional. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

Las instalaciones de energía solar térmica, se amortizan en un corto espacio de tiempo, dependiendo de la magnitud de la instalación (entre 5 y 10 años), y se adaptan fácilmente a las instalaciones convencionales ya existentes.

La amortización del sistema solar, es inversamente proporcional al consumo, es decir, cuanta más agua caliente se consuma, más rápidamente se amortiza la inversión.

Por último, indicar que la vida útil de los sistemas de captación térmica es de 20 años, por lo que con los períodos de amortización indicados anteriormente, se dispondrá de agua caliente prácticamente gratis, durante un largo intervalo de tiempo. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

Esquema:



3.- Instalación de geotermia:

Descripción general:

La energía geotérmica no tiene su origen principal en la radiación del sol, sino en la diferencia de temperaturas que existe entre el interior de la tierra y su superficie. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

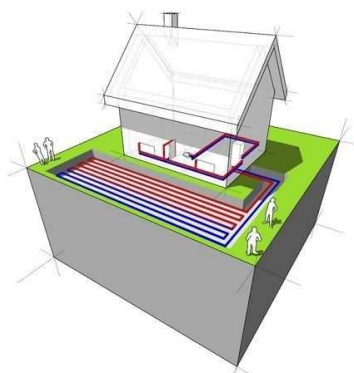
Por lo tanto, podemos definir la energía geotérmica como aquella energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra. Engloba el calor almacenado en suelos, rocas, aguas subterráneas cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia.

De esta forma, sabemos, que en mayor o menor medida, se encuentra almacenada bajo nuestros pies una energía que podemos y debemos aprovechar.

La aplicación de energía geotérmica de muy baja entalpía para producción de calor con destino a calefacción y/o climatización para viviendas unifamiliares, edificios residenciales, edificios de oficinas, colegios, es el sistema más comúnmente utilizado en edificación. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

Para aprovechar esa energía, necesitamos sistemas que nos permitan captarla o cederla como consecuencia del salto térmico entre el terreno y el fluido caloportador. También, es posible extraer las aguas subterráneas y aprovechar su temperatura. Veamos los sistemas de captación de la energía geotérmica:

En el presente proyecto fin de carrera se ha diseñado una instalación geotérmica con captación horizontal enterrada como se muestra a continuación:



Consiste en la instalación de una serie de tuberías de polietileno, denominadas colectores horizontales, por las que circula agua con glicol (anticongelante). Se necesita que la parcela disponga de una superficie amplia para poder realizar el tendido del circuito a poca profundidad. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

Para aprovechar la energía geotérmica, necesitamos un equipo que nos permita absorber la energía captada del foco caliente y cederla al foco frío para su aprovechamiento en calefacción, agua caliente sanitaria y/o climatización. Ese equipo se denomina bomba de calor geotérmica.



Un bomba de calor, se trata de un equipo que utiliza el ciclo frigorífico de un refrigerante para, mediante un circuito cerrado, absorber calor de un foco caliente (sea aire o agua) y cederlo a un foco frío. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

En una bomba de calor aire-aire se absorbe energía del aire exterior, cediéndolo al ambiente interior. Al disponer de una temperatura constante durante todo el año (la del terreno), el rendimiento de la bomba de calor geotérmica no depende de las condiciones exteriores, ya que está absorbiendo o cediendo energía siempre a la misma temperatura**(instalacionesyeficienciaenergética.com)**



Las aplicaciones de la energía geotérmica son las siguientes:

- Calefacción de pequeña y mediana potencia
- Agua Caliente Sanitaria
- Piscinas
- Suelo refrescante: en verano, se puede invertir el ciclo, absorbiendo calor del interior del edificio y cediéndolo al subsuelo o a una piscina. Con ello, el sistema de suelo radiante actuará como sistema de refrescamiento de la vivienda o dependencias.

La mejor opción en cualquier sistema de bomba de calor con sistemas de calefacción por agua, es la instalación de calefacción por baja temperatura (suelo radiante), para obtener la máxima eficiencia. Incluso, en combinación con instalaciones de energía solar térmica obtendremos importantes ahorros energéticos y significativas reducciones de emisiones de CO₂ con lo que obtendríamos una buena calificación energética. **(instalacionesyeficienciaenergética.com)**

¿Qué Ventajas tiene la Energía Geotérmica?

- Energía limpia
- Energía renovable
- Energía Eficiente
- Energía para todo el mundo, bajo nuestros pies
- Energía continua, a diferencia de la solar y la eólica
- Bombas de calor actuales con grado de eficiencia elevado
- Emisiones de CO2 muy inferiores al resto de combustibles
- Costes de explotación reducidos

¿Qué se debe tener en Cuenta? (instalacionesyeficienciaenergetica.com)

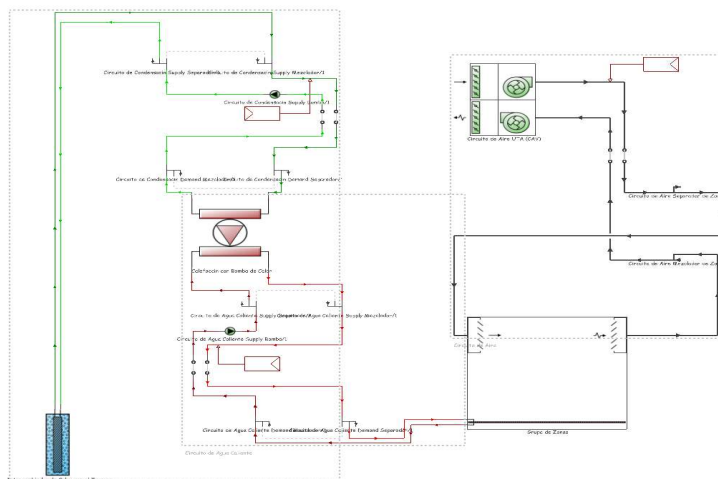
- Es necesario realizar un estudio de viabilidad económica del proyecto
- Dependiendo de la magnitud de la instalación, se podría necesitar un estudio geotécnico
- Coste inicial elevado, sobre todo en el caso de captación vertical
- Periodos de amortización medios (entre 5 y 7 años).

La geotermia es una de las energías renovables con mayor potencial de rentabilidad y fiabilidad. Sus ventajas son, principalmente medioambientales y económicas. (ABSPAIN).

- Un sistema de climatización a través de una bomba de calor geotérmica permite obtener unos ahorros de hasta el 75% y unas importantes reducciones en las emisiones de CO2. Cada kW geotérmico instalado equivale a plantar 109 árboles. Y a pesar de que la inversión inicial puede ser elevada, el periodo de amortización es corto, varía de 3 a 7 años.
- El mantenimiento de una instalación geotérmica es muy bajo. Además, las instalaciones son respetuosas con el medio en el que se encuentren, estéticamente no son apreciables y se pueden aplicar tanto en rehabilitación como en nueva edificación.
- Se puede utilizar nuestra nueva instalación de geotermia junto con la instalación de agua caliente ya existente (radiadores, fan-coils, ACS...). La geotermia es 100% independiente y no necesita apoyo de otros sistemas convencionales, aunque puede ser combinada con otras energías

renovables, como la solar térmica o fotovoltaica, para aumentar la eficiencia energética. (instalacionesyeficienciaenergetica.com)

Esquema:



- **Instalaciones térmicas de calefacción para vivienda optimizada con 15cm de aislamiento y vivienda aproximada al estándar PASSIVHAUS con 22cm de aislamiento.**

Se utilizan las mismas instalaciones que en el caso de las viviendas diseñadas por las exigencias mínimas establecidas en el CTE, con la salvedad, de que la ventilación mecánica incorpora un recuperador de calor, lo cual va a producir un significativo ahorro energético.

RECUPERADOR DE CALOR:

Descripción general:

En el interior de los edificios, necesitamos renovar el aire mediante la inyección de aire limpio del exterior y la extracción de parte del aire viciado del interior. Con ello, conseguimos que la calidad del aire en los locales habitados y en los que se realiza alguna actividad humana, sea el adecuado, de acuerdo a los requerimientos de la normativa de aplicación.

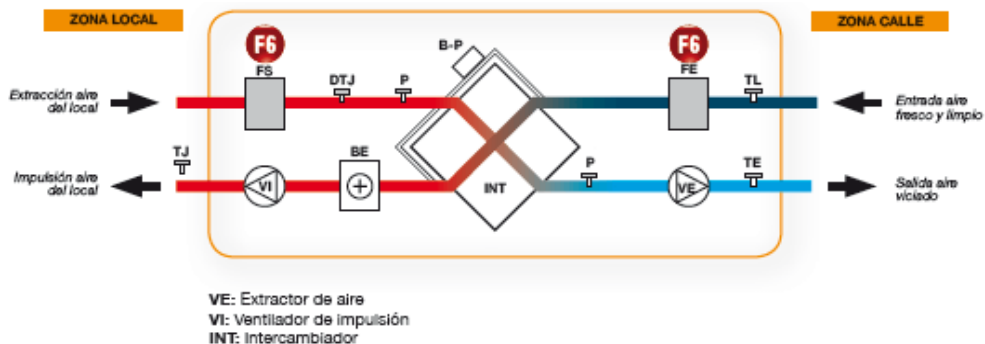
En general, recordamos que, para ello, es necesario disponer de ventilación mecánica, con ventiladores de impulsión de aire exterior, y ventiladores de extracción de aire. Cuando no había conciencia de obtener la máxima eficiencia energética, y los requerimientos normativos no eran tan estrictos, el aire caliente (invierno) o frío (verano) del interior, se desaprovechaba, expulsándolo directamente al exterior. (instalacionesyeficienciaenergetica.com).

Pensemos en un edificio climatizado. El aire en el interior, estará caliente en invierno, y frío en verano. Pero, como ya hemos dicho, es necesario aportar aire

del exterior y extraer aire del interior, para mantener las condiciones de salubridad, confort y una correcta renovación. Lógicamente, el aire que se extrae, estará caliente en invierno, y frío en verano. **¿Por qué no vamos a aprovechar esa energía residual y desprendernos de ella cediéndola al exterior?**



Los recuperadores de calor, son equipos cuya función es aprovechar las propiedades psicrométricas (temperatura y humedad) del aire que extraemos del edificio o local, e intercambiarlas con el aire de ventilación que impulsamos del exterior. En este proceso de intercambio, no se mezclan el aire del exterior y el aire del interior. (instalacionesyeficienciaenergetica.com)



Con ello, conseguimos pretratar (precalentar o preenfriar) el aire exterior, y por lo tanto, reducir el consumo energético de la instalación de climatización, ya que la carga térmica a combatir por aire de ventilación, será mucho menor que si no existiera ese pretratamiento.

Para recuperar el calor de la extracción, necesitamos un elemento que nos facilite esa tarea, denominado intercambiador o core. El intercambiador, está compuesto por un entramado de láminas con aperturas opuestas, por donde circulan el aire de extracción y el de impulsión. Cada una de las corrientes de aire, está en contacto con sendas superficies sólidas, en las cuales, se produce una cesión de calor del aire más caliente (el del interior del edificio o aire de extracción) con el aire más frío (aire del exterior).

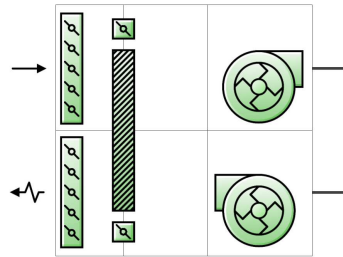
La eficiencia de un recuperador de calor además del tipo de intercambiador de calor utilizado, depende de las condiciones psicrométricas (temperatura y

humedad) del aire exterior, y del aire del local, así como del caudal que circula por él. (**instalacionesyeficienciaenergética.com**).

Debemos fijar dos conceptos fundamentales:

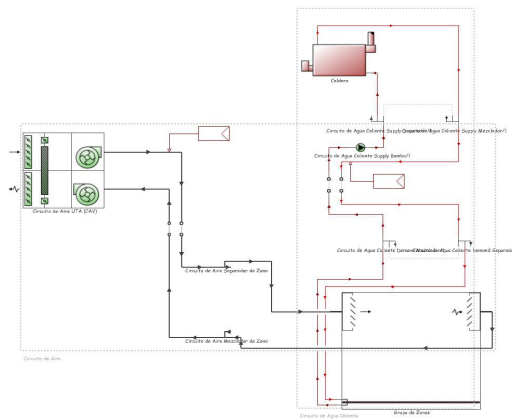
1. A mayor caudal, menor es la eficiencia de un recuperador de calor
2. A mayor diferencia de temperatura entre el aire exterior y el aire interior, más eficiencia del recuperador de calor

Esquema:



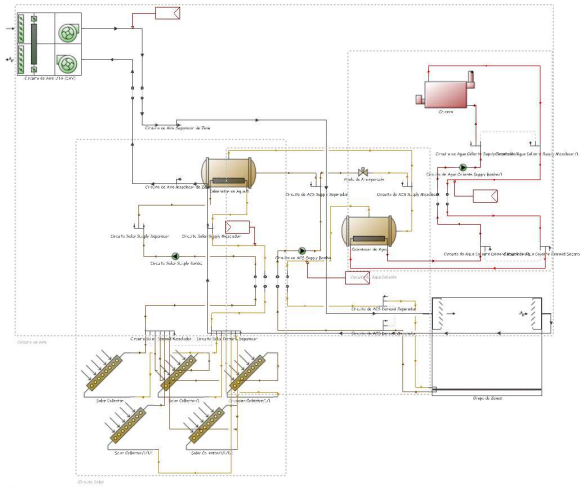
1.- Instalación de calefacción mediante suelo radiante con ventilación mecánica y recuperador de calor:

Esquema:



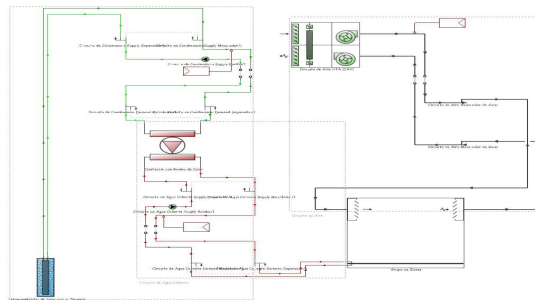
2.- Instalación de calefacción solar-térmica con ventilación mecánica y recuperador de calor:

Esquema:



3.- Instalación de geotermia con ventilación mecánica y recuperador de calor:

Esquema:



Consumos instalaciones térmicas de calefacción:

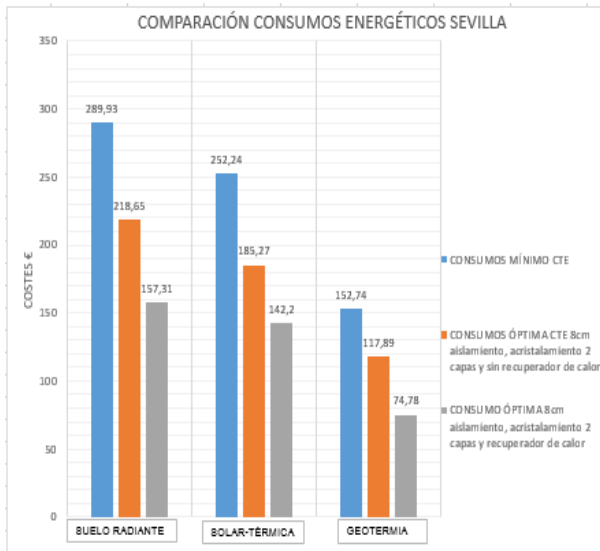
Para la determinación de los consumos de ahora en delante de las instalaciones térmicas, se utilizan las siguientes tarifas unificadas.

COSTES GAS NATURAL:

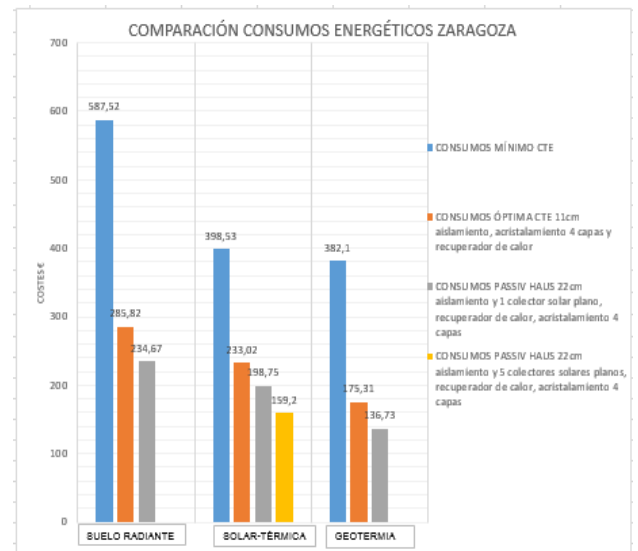
Fijo €/día	Variable €/kWh
0,291791	0,054198

COSTES ELECTRICIDAD:

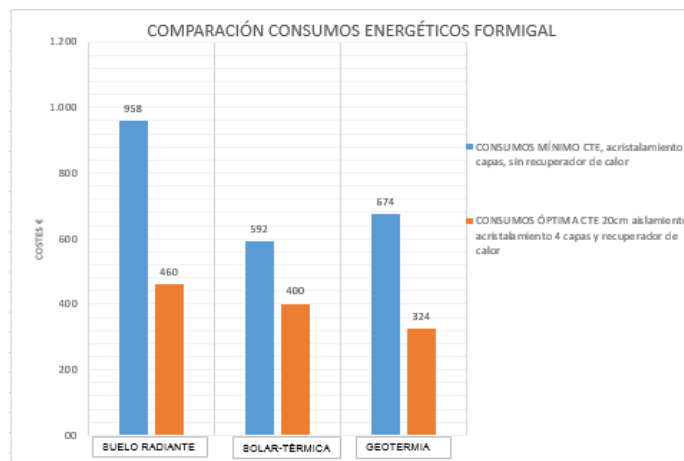
Variable €/kWh
0,157897



Gráfica 1.- Comparación consumos Sevilla.



Gráfica 2.- Comparación consumos Zaragoza



Gráfica 3.- Comparación consumos Formigal

Instalaciones térmicas de refrigeración para viviendas mínimas diseñadas por el CTE:

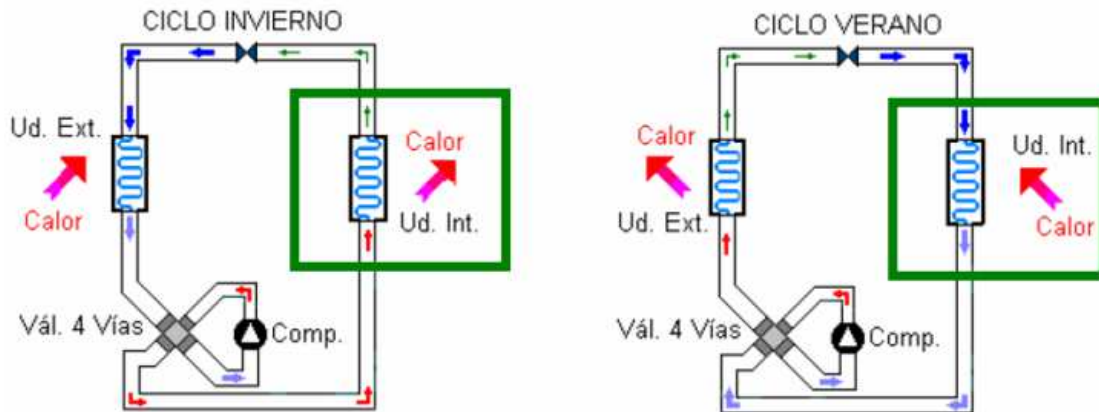
1.- Instalación de geotermia con ventilación mecánica.

Descripción general:

La configuración del sistema de una bomba de calor es muy similar a los sistemas de refrigeración convencionales por compresión mecánica (ambos disponen de un condensador, compresor, evaporador, válvula de expansión), aunque las bombas de calor permiten invertir el ciclo, cubriendo las necesidades de calefacción y refrigeración.

Las bombas de calor reversibles proporcionan tanto calefacción como refrigeración, incorporando una válvula de 4 vías que permite la inversión de circulación del fluido frigorífico. (Miliarium)

La inversión de la circulación se puede observar en la siguiente figura:



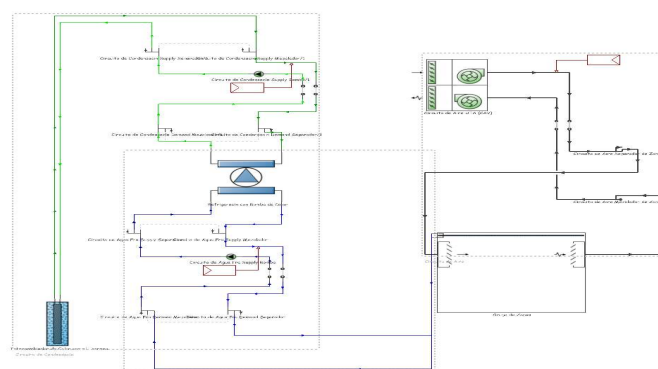
CICLOS DE UNA BOMBA DE CALOR EN INVIERNO Y EN VERANO.

Durante el verano se produce el ciclo de refrigeración, donde el compresor eleva la presión y la temperatura del fluido frigorífico, pasando a la válvula de 4 vías. En el intercambiador situado en el exterior, el fluido se condensa cediendo el calor al medio exterior. El fluido en estado líquido y alta presión se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y evaporándose en parte. En el intercambiador situado en el recinto a refrigerar, el fluido frigorífico completa su evaporación absorbiendo calor del medio interior. (Miliarium)

Las bombas de calor permiten el funcionamiento del compresor a través de energía eléctrica, o térmica (generalmente con gas natural). En lo referente a la eficiencia, estos sistemas permiten reducir casi en un 70% el consumo de energía primaria comparado con un funcionamiento con electricidad. (Miliarium)

Mejora la eficiencia energética. Los rendimientos de las bombas de calor, medido como factor de eficiencia energética (EER), es mayor en los sistemas refrigerados por agua que en aquellos refrigerados por aire. Siendo mayor la eficiencia en modo calefacción que en modo refrigeración. (Miliarium)

Esquema:



2.- Instalación térmica de refrigeración mediante enfriadora con ventilación mecánica.

Descripción general:

Una enfriadora es una unidad destinada a conseguir agua fría, el evaporador es un intercambiador (mejor de tubos) en contracorriente.

Se han de evitar las congelaciones por lo que la temperatura de salida del agua esta comprendida entre 4 y 6°C. Si el agua lleva algún anticongelante esta temperatura puede ser hasta -5°C.(**IEE**).

La instalación se diseña con una enfriadora condensada por aire.

En los procesos de enfriamiento por aire, la extracción de calor se efectúa prácticamente en su totalidad bajo la forma de calor sensible que es función del peso específico del aire, de su calor específico y de la variación de temperaturas que experimente, cambiando la temperatura del aire sin afectar a su humedad específica o contenido en vapor de agua.(Guía técnica torres de refrigeración, IDAE).

Realizan el intercambio de energía calorífica en forma de calor sensible, determinado por el calor específico del aire, su caudal y peso específico y el cambio de temperatura que experimenta durante el proceso.

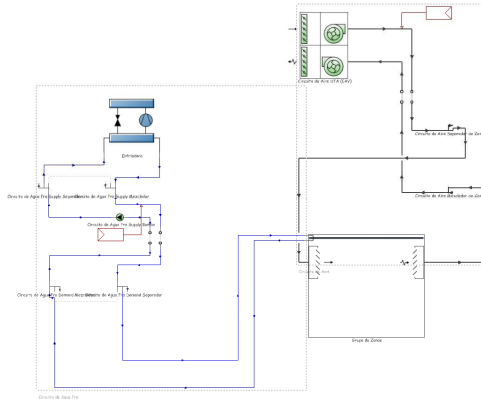
El límite inferior de enfriamiento queda fijado por la temperatura seca del ambiente y una aproximación a ella de 15°C como media para los condensadores y 6 a 12°C para aerorrefrigeradores.

Esto puede significar temperaturas mínimas de enfriamiento de agua o líquidos de 38 a 50°C en las horas centrales diurnas de verano (para temperaturas de ambiente de 32 a 38°C). (Guía técnica torres de refrigeración, IDAE).

En el caso de condensadores por aire de sistemas frigoríficos para climatización, según sea el refrigerante empleado, resultarán las presiones correspondientes a temperaturas de condensación de 45 a 55°C.

Desde el punto de vista económico, debido a las temperaturas de condensación alcanzadas de 45 a 55°C, hacen que la capacidad del compresor sea bastante inferior a en el caso de que fuera un condensador evaporativo, lo que produce un aumento en la potencia para su accionamiento frente al condensador evaporativo, que repercute en incremento en el consumo energético de entre un 20 a un 30% frente al procedimiento de enfriamiento de condensación evaporativos. (Guía técnica torres de refrigeración, IDAE).

Esquema de la instalación:



3.- Instalación térmica de refrigeración mediante enfriadora condensada con agua, con ventilación mecánica:

Descripción general:

Las torres de enfriamiento se emplean para liberar calor en las enfriadoras con condensamiento húmedo (agua). Generalmente estas son más eficientes energéticamente que las enfriadoras con condensamiento en seco (aire), ya que el sumidero de calor se encuentra a una temperatura cercana a la de bulbo húmedo. **(INIVE CLIMAMED).**

El ciclo de compresión se inicia en la válvula de expansión, inyectando el líquido refrigerante al evaporador punto (1), y evaporándolo hasta su condición de vapor saturado con un ligero recalentamiento. Evolución (2-3); la energía intercambiada con el fluido circulante es la diferencia de entalpías entre el punto 3 y el punto 2. El vapor ligeramente recalentado (3) será aspirado por el compresor y comprimido hasta el Punto (4), que le permita su posterior condensación y enfriamiento hasta el Punto (1).

La energía precisa para la compresión del vapor se valora por la diferencia de entalpías entre el punto 4 y el punto 3, y está a cargo del electromotor que mueve el compresor.

El vapor caliente y comprimido a la presión P_d se introduce en el Condensador, en las condiciones del punto 4, e intercambia calor con el agua circulante, calentándola, en cuanto que el vapor se enfría y condensa hasta su estado de líquido saturado punto 1. La cantidad de calor intercambiada en el condensador con el fluido circulante viene reflejada por la diferencia de entalpías del punto 4 y el punto 1.

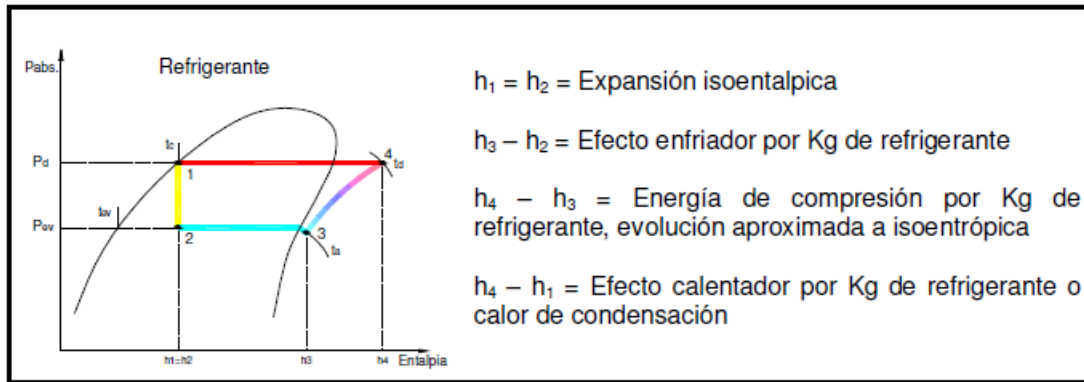


Figura 1: Ciclo de compresión del refrigerante en planta enfriadora

Las máquinas frigoríficas, regulan su producción de energías modificando el caudal másico de refrigerante vehiculado por el circuito, modificando el desplazamiento volumétrico de los compresores, de muy diversas formas, adaptando siempre su producción a la demanda de su circuito, y en un constante equilibrio en su ciclo de compresión. **(INIVE CLIMAMED).**

En base al funcionamiento equilibrado del ciclo de compresión de una planta enfriadora de condensación por agua, se indica que:

El circuito del fluido caloportador de refrigeración se conecta al evaporador, con un intercambiador compensador de frío, de tal modo, que toda la producción de energía térmica generada en el evaporador, sea consumida entre la instalación de refrigeración y el intercambiador. **(INIVE CLIMAMED).**

El intercambiador de compensación de frío solamente entregará energía externa al pozo, en la medida que disminuya las necesidades de refrigeración de la instalación y se precise generar frío en la planta, manteniendo el ciclo de compresión en equilibrio. **(INIVE CLIMAMED).**

La principal ventaja, es que se trata de una instalación con la más alta eficiencia energética, de las que utilizan el ciclo de compresión de un refrigerante.

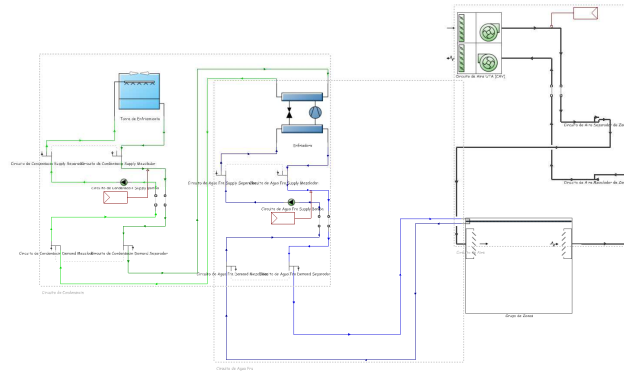
Como limitación del sistema encontramos que para la refrigeración las temperaturas de salida de agua de la planta están entre un mínimo de 3°C y un máximo de 12°C.

Cuando se utiliza agua como sistema externo, puede ser:

- Agua de pozo
- Agua de mar
- Efluentes locales (lagos, ríos, etc..).

Como conclusión, decir, que en la enfriadoras con condensador agua/agua, con aprovechamiento integral del calor del ciclo de compresión para producir frío son los tipos de enfriadoras de mayor eficiencia energética, frente a las condensador con aire o con condensación evaporativa. **(INIVE CLIMAMED).**

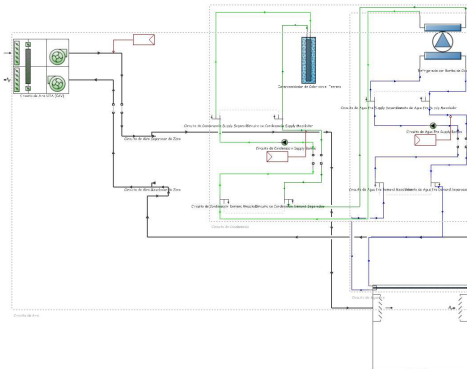
Esquema de la instalación:



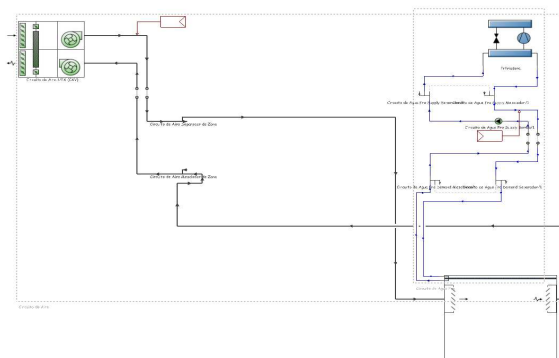
Instalaciones térmicas de refrigeración para las viviendas optimizadas con 15cm de aislamiento de Sevilla y Zaragoza, y las mismas viviendas aproximadas al estándar PASSIVHAUS con 22cm de aislamiento.

El recuperador utilizado en el presente proyecto es exactamente el mismo al utilizado en las instalaciones térmicas de calefacción en las viviendas unifamiliares.

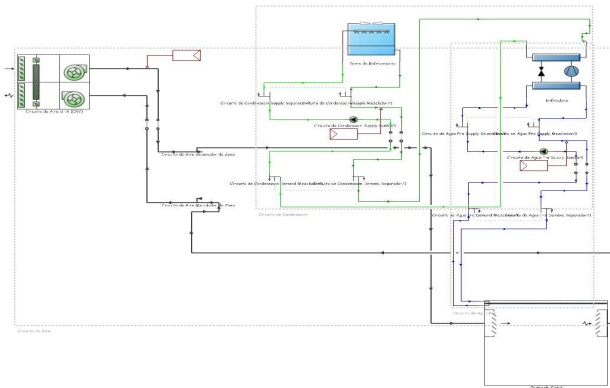
1.- Instalación de refrigeración de geotermica, con ventilación mecánica y recuperador de calor:



2.- Instalación térmica de refrigeración mediante enfriador y ventilación mecánica con recuperador de calor:



3.- Instalación térmica de refrigeración mediante enfriadora con agua y torre de enfriamiento, con ventilación mecánica con recuperador de calor:

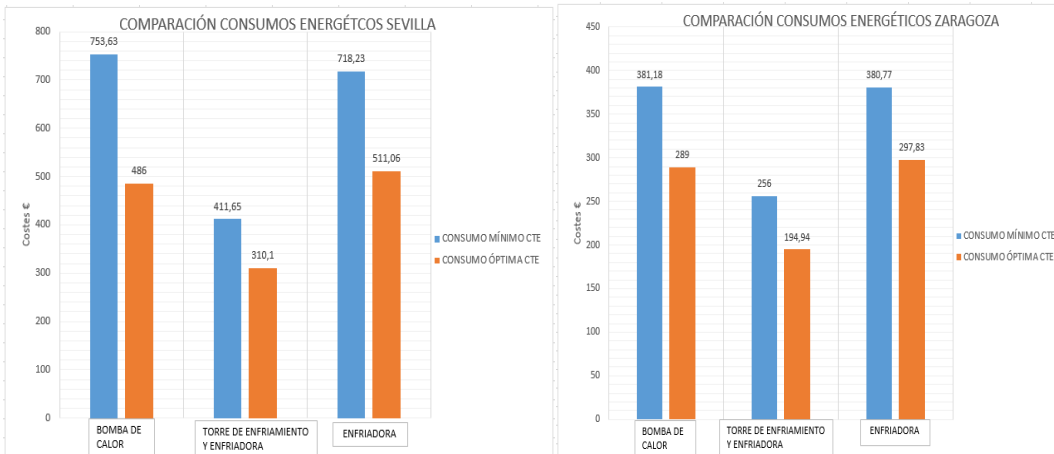


Consumos instalaciones térmicas de refrigeración:

Para la determinación de los consumos de ahora en delante de las instalaciones térmicas, se utilizan las siguientes tarifas unificadas.

COSTES ELECTRICIDAD:

Variable €/kWh
0,157897



Una vez diseñada la piel de los edificios mediante los tres casos analizados, mediante las exigencias mínimas del CTE, optimización con 11cm de material aislante en Zaragoza con acristalamiento compuesto por cuatro capas de vidrio, y 8cm en Sevilla y acristalamiento compuesto por dos capas de vidrio, posteriormente comparadas, se analizan los resultados obtenidos para cada una de las tres viviendas ubicadas en tres localidades diferentes, en el último capítulo de la memoria:

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.

Para terminar, se va a elegir aquella vivienda más eficiente energéticamente, en función de todos los aspectos analizados en el presente proyecto, como son, el espesor del aislamiento, el acristalamiento, la hermeticidad, ventilación mecánica mediante recuperador de calor, orientación, instalaciones térmicas y costes totales de la construcción de cada una de las viviendas ubicadas en tres localidades distintas con un clima diferente.

En primer lugar se analiza como varía la transmitancia térmica en función del espesor de aislamiento utilizado, y con ello las pérdidas energéticas a través de la envolvente térmica de las viviendas unifamiliares.

Se parte de los valores de transmitancias obtenidas mediante la exigencias mínimas del CTE, para las tres localidades:

SEVILLA	MUROS	CUBIERTA	SUELO
ESPESOR (cm)	2,2	6	5,5
TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)	0,8	0,458	0,523
ZARAGOZA	MUROS	CUBIERTA	SUELO
ESPESOR (cm)	4,4	6,2	6,5
TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)	0,678	0,381	0,492
FORMIGAL	MUROS	CUBIERTA	SUELO
ESPESOR (cm)	5,3	8,6	7
TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)	0,573	0,352	0,479

Valores de transmitancias obtenidas mediante la optimización:

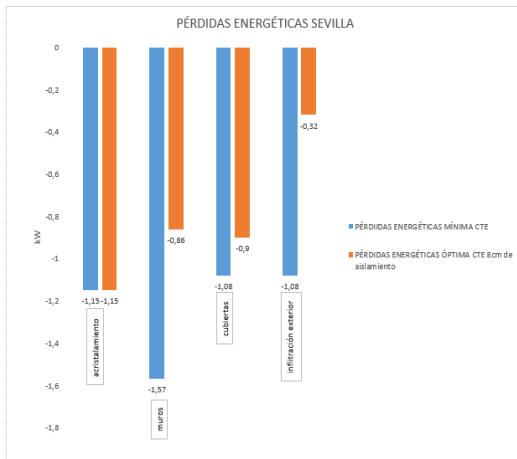
SEVILLA	MUROS	CUBIERTA	SUELO
ESPESOR (cm)	8	8	8
TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)	0,443	0,449	0,408
ZARAGOZA			
ESPESOR (cm)	11	11	11
TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)	0,344	0,234	0,325
ZARAGOZA PASSIVHAUS			
ESPESOR (cm)	22	22	22
TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)	0,189	0,124	0,183
FORMIGAL			
ESPESOR (cm)	20	20	20
TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)	0,16	0,164	0,156

Relación de transmitancias acristalamiento:

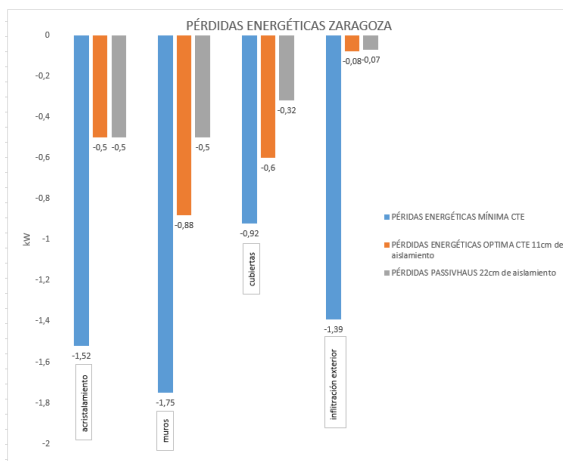
ACRISTALAMIENTO	TRANSMITANCIA(W/m ² ·k)
VIVIENDA SEVILLA	3,115
VIVIENDA ZARAGOZA	0,781
VIVIENDA FORMIGAL	0,781

Resultados de las pérdidas energéticas en las viviendas diseñadas mediante condiciones mínima CTE, las optimizadas y PASSIVHAUS.

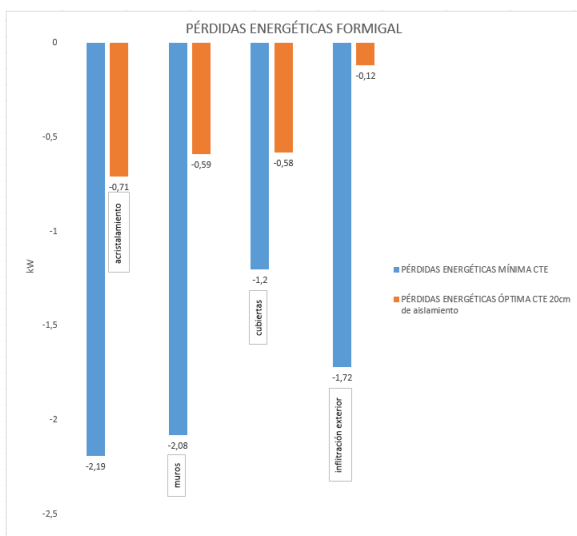
SEVILLA:



ZARAGOZA:



FORMIGAL:



Relación de costes totales de las construcciones:

COSTES						
MINIMO SEVILLA			OPTIMO (8cm, 4 capas, rec.	OPTIMO (8cm)	OPTIMO (4 CAPAS)	OPTIMO (REC)
SUELO RADIANTE	149578		164887	157782,9	154498,5	153945,2
SOLAR-TÉRMICA	150864		166173	159068,9	155784,5	155231,2
GEOTERMIA	149800		165109	158004,9	154720,5	154167,2
COSTES						
MINIMO ZARAGOZA			OPTIMO (11cm, 4 capas, rec	OPTIMO (11cm)	OPTIMO (4 CAPAS)	OPTIM (REC)
SUELO RADIANTE	165712		181316,1	174212	170632,5	170079,2
SOLAR-TÉRMICA	167810		183414,1	176310	172730,5	172177,2
GEOTERMIA	166527		182131,1	175027	171447,5	170894,2
COSTES						
MINIMO FORMIGAL			OPTIMO (20cm, 4 capas, rec)	OPTIMO (20cm)	OPTIMO (4CAPAS)	OPTIMO (REC)
SUELO RADIANTE	166332		184387,46	177283,36	171252,5	170699,2
SOLAR-TÉRMICA	168898		186953,46	179849,36	173818,5	173265,2
GEOTERMIA	166636		184691,46	177587,36	171556,5	171003,2

PRECIO ACRISTALAMIENTO MINIMO	4920,5						INCREMENTO DE COSTES
PRECIO ACRISTALAMIENTO OPTIMO	9841				PRECIO AISLAMIENTO MINIMO	ACRIST.	4920,5
PRECIO COLECTOR SOLAR PLANO	1413,33				SEV	AISL. SEV	8204,9
PRECIO AISLAMIENTO OPTIMO SEVILLA	94495				ZGZ	AISL. ZGZ	8500
PRECIO AISLAMIENTO OPTI. ZGZ	95500				FORMIGAL	AISL. FOR.	10951,36
PRECIO AISLAMIENTO OPT. FORMIGAL	98951,36					AISL. PH ZGZ	13135,68
PRECIO AISLAMIENTO PH ZGZ	100135,68					REC.	2183,6

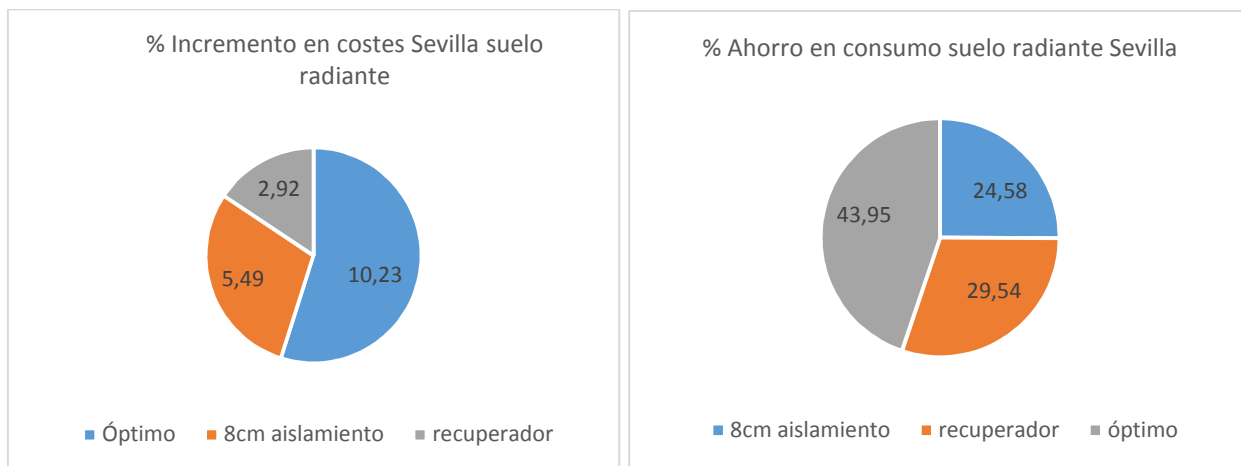
Conclusiones para Sevilla:

				CONSUMOS MÍNIMOS CTE		
CONSUMOS VIVIENDA OPTIMIZADA SEVILLA				SUELO RADIANTE	SOLAR-TÉRMICA	GEOTERMIA
AISLAMIENTO (8cm) con acristalamiento mínimo CTE, sin rec.				289,93	252,24	152,74
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO	SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA
SUELO RADIANTE	1709,27	345,32	218,65	24,58	13,32	-43,15
SOLAR-TÉRMICA	1066,69	354,44	185,27	36,10	26,55	-21,30
GEOTERMIA		746,64	117,89	59,34	53,26	22,82
RECUPERADOR DE CALOR con aislamiento mínimo y acrist. mínimo CTE						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO	SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA
SUELO RADIANTE	1454,22	341,91	204,29	29,54	19,01	-33,75
SOLAR-TÉRMICA	761,32	361,8	169,88	41,41	32,65	-11,22
GEOTERMIA		812,05	128,22	55,78	49,17	16,05
con RECUPERADOR DE CALOR con aislamiento 8cm y acrist. Mínimo optimo						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO	SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA
SUELO RADIANTE	697,03	337,11	162,50	43,95	35,58	-6,39
SOLAR-TÉRMICA	351,71	347,56	145,43	49,84	42,34	4,79
GEOTERMIA		577,77	91,23	68,53	63,83	40,27

Tabla 1. Relación de ahorros o incrementos en consumos para la localidad de Sevilla.

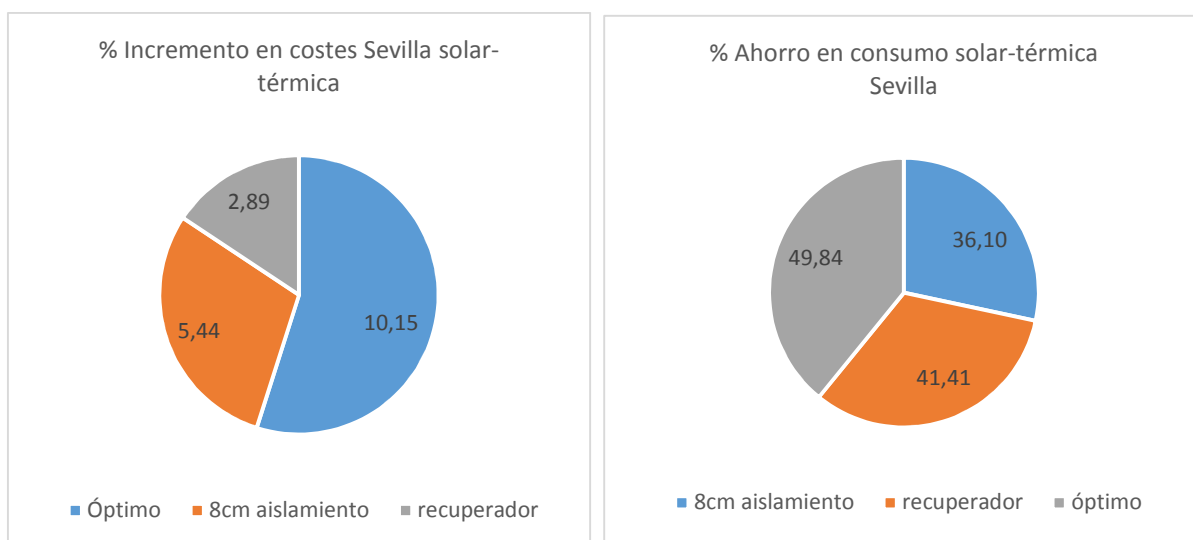
1.- COMPARACIÓN RESPECTO A LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN MEDIANTE SUELO RADIANTE DISEÑADA BAJO CONDICIONES MÍNIMAS DEL CTE.

Instalación de calefacción mediante suelo radiante:



Se puede observar que el mayor ahorro en consumo se produce para un acristalamiento de transmitancia $3,115\text{W/m}^2\cdot\text{K}$; un espesor de 8cm de aislamiento con transmitancias de $0,443\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en muros, $0,449\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en cubierta y $0,408\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en suelo que reducen las pérdidas en muros un 45,22% y en la cubierta en un 17% frente a la vivienda diseñada bajo las exigencias mínimas del CTE, con recuperador de calor, que además reduce las pérdidas por infiltración en un 70,4%, a pesar de que el incremento en el coste respecto a la vivienda diseñada por condiciones mínimas del CTE es del 10,23%.

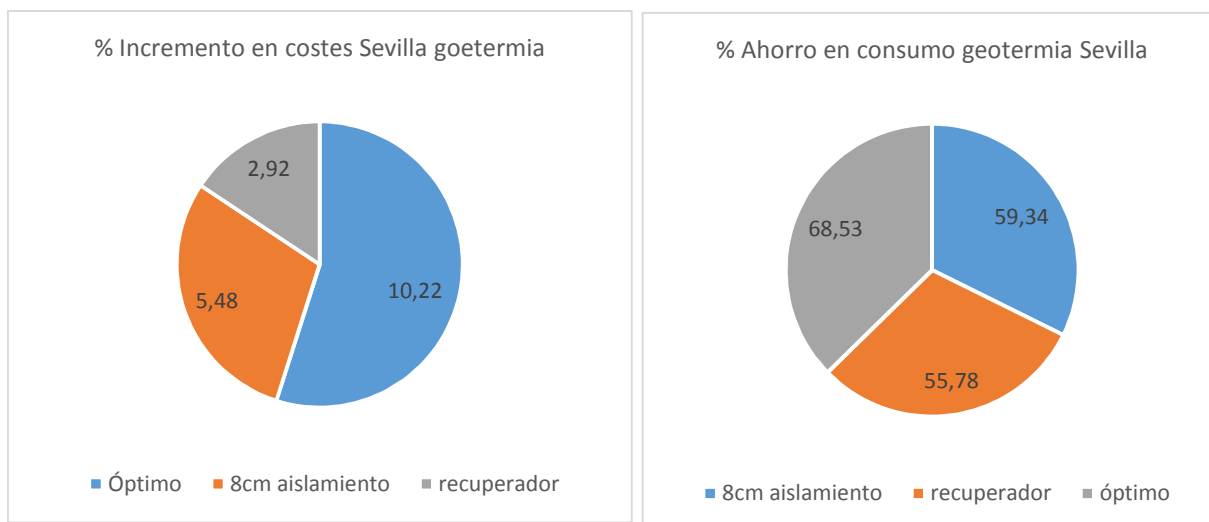
Instalación solar-térmica:



Se puede observar como el mayor ahorro se produce para 8cm de aislamiento, con transmitancias de $0,443\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en muros, $0,449\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en cubierta y $0,408\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en suelo, acristalamiento con transmitancia $3,115\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, con

recuperador de calor que reduce la infiltración en un 70,4%, para un incremento en el coste de 10,15%

Instalación de geotermia:



Con unas transmitancias térmicas de $0,443 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en muros, $0,449 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en cubierta y $0,408 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en suelo, acristalamiento con transmitancia $3,115 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, recuperador de calor que reduce en un 70,4% la infiltración, se consiguen un ahorro en el consumo del 68,53% para una inversión un 10,22% superior al consumo en la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE.

En las tres instalaciones térmicas de calefacción diseñadas y analizadas, se puede observar que el aumento en la inversión inicial es menor con el recuperador (alrededor de un 3% menor) que introduciendo el aislamiento óptimo de 8cm, y además, el porcentaje de energía ahorrada por el recuperador es superior al porcentaje de energía ahorrada por el espesor de 8cm en las instalaciones de calefacción mediante suelo radiante y en la solar-térmica, sin embargo, en la instalación de geotermia mediante bomba de calor, el porcentaje ahorrado por el aislamiento es superior al ahorrado por el recuperador, alrededor de un 4%.

Por lo cual, la vivienda más eficiente desde el punto de vista del ahorro energético es la geotermia con bomba de calor, 8cm de aislamiento, y recuperador de calor que reduce la infiltración en un 70,4%, con acristalamiento con una transmitancia térmica de $3,115 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, con unos costes totales de la construcción un 10,22% superior a la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE.

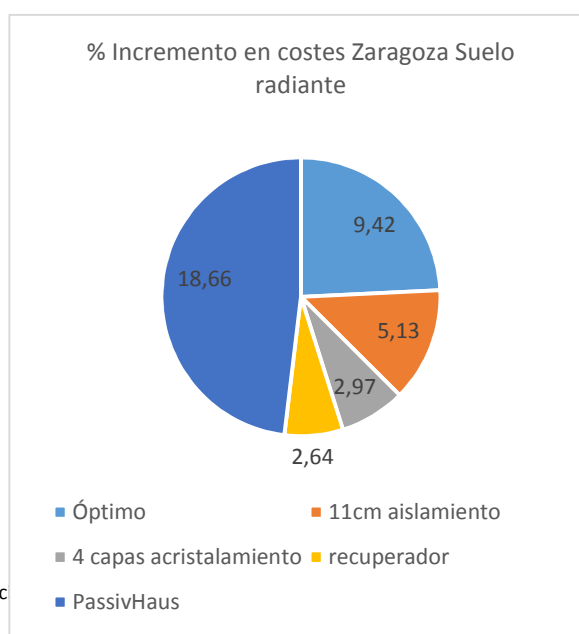
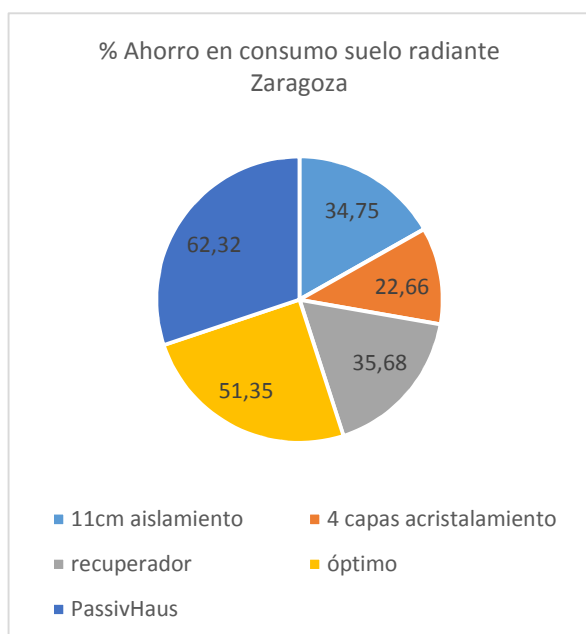
El estándar PassivHaus para las viviendas en los climas cálidos para calefacción, se cubre con creces, dado que la demanda exigida por dicho estándar es de 15 kWh/m^2 y año, y las demandas registradas para la localidad de Sevilla en cuanto a la calefacción se refiere quedan por debajo de dicho estándar.

Conclusiones para Zaragoza:

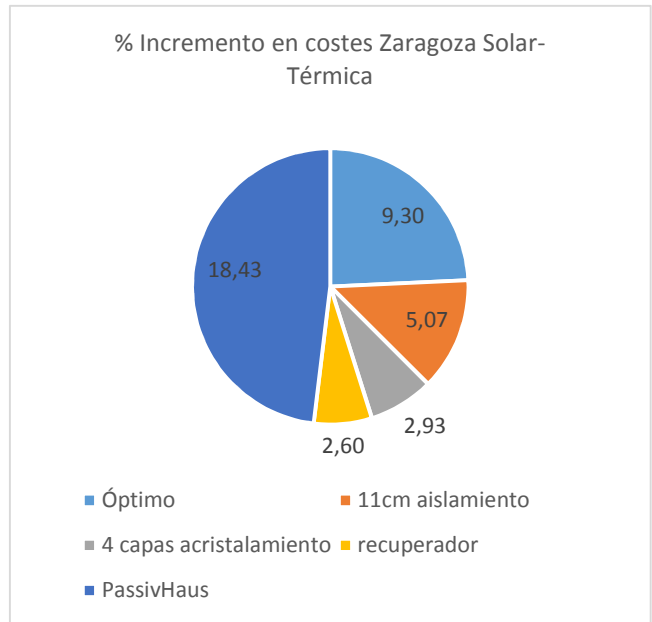
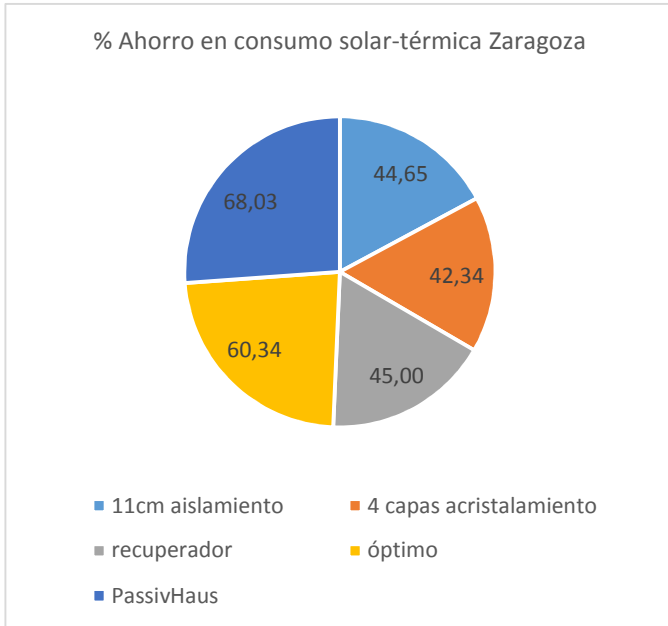
				CONSUMOS MÍNIMOS CTE		
CONSUMOS VIVIENDA OPTIMIZADA ZARAGOZA				SUELO RADIANTE	SOLAR-TÉRMICA	GEOTERMIA
AISLAMIENTO (11cm), acristalamiento CTE, sin recuperador				587,52	398,53	382,1
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	4676,42	370,03	383,37	34,75	3,80	-0,33
SOLAR-TÉRMICA	3427,32	430,31	325,19	44,65	18,40	14,89
GEOTERMIA		1735,35	274,01	53,36	31,25	28,29
ACRISTALAMIENTO (4capas) con aislamiento mínimo CTE, sin recuperador						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	5973,74	374,63	454,41	22,66	-14,02	-18,92
SOLAR-TÉRMICA	3593,08	459,49	338,78	42,34	14,99	11,34
GEOTERMIA		1904,46	300,71	48,82	24,55	21,30
ACRISTALAMIENTO (4capas) con aislamiento óptimo (11cm), sin recuperador						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	4674,85	372,91	383,74	34,69	3,71	-0,43
SOLAR-TÉRMICA	2848,54	437,13	294,90	49,81	26,00	22,82
GEOTERMIA		1569,19	247,77	57,83	37,83	35,16
ACRISTALAMIENTO MÍNIMO, AISLAMIENTO MÍNIMO, REC. DE CALOR						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	4583,48	367,34	377,91	35,68	5,17	1,10
SOLAR-TÉRMICA	3392,92	429,22	323,15	45,00	18,91	15,43
GEOTERMIA		1919,34	303,06	48,42	23,96	20,69
ACRISTALAMIENTO MÍNIMO AISLAMIENTO ÓPTIMO (11cm) REC. CALOR						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	3225,03	362,68	303,55	48,33	23,83	20,56
SOLAR-TÉRMICA	1960,46	407,55	242,09	58,79	39,25	36,64
GEOTERMIA		1504,14	237,50	59,58	40,41	37,84
ACRISTALAMIENTO OPTIMO, AISLAMIENTO OPTIMO REC. CALOR						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE			285,82	51,35	28,28	25,20
SOLAR-TÉRMICA			233,02	60,34	41,53	39,02
GEOTERMIA			175,31	70,16	56,01	54,12
PASSIVHAUS 22cm aislamiento						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	1723,11	357,68	221,35	62,32		
SOLAR-TÉRMICA	1049,35	376,66	187,83	68,03		
GEOTERMIA		802,85	126,77	78,42		

Tabla 2. Relación de ahorros o incrementos en consumos para la localidad de Zaragoza.

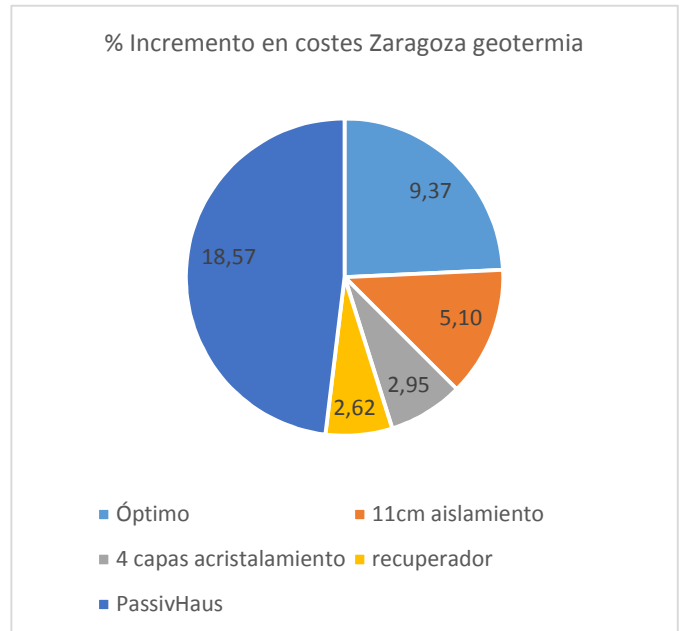
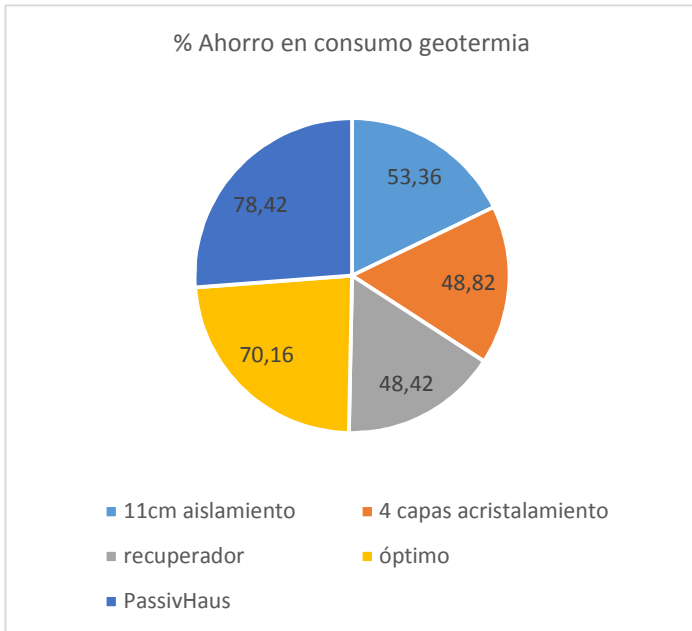
Instalación de calefacción mediante suelo radiante:



Instalación solar-térmica



Instalación de geotermia con bomba de calor geotérmica.



Se puede observar como el recuperador de calor y el acristalamiento con un transmitancia del 0,781 W/m²·K, producen similares incrementos en los costes de la construcción total.

El recuperador es más eficiente que el acristalamiento utilizado en la instalación convencional de calefacción mediante suelo radiante, sin embargo, cuando entran en juego las instalaciones de energías renovables los porcentajes en los ahorros se igualan, siendo similar la eficiencia de ambos elementos, aunque lo único que diferencia ligeramente al recuperador es el porcentaje en el incremento en los costes.

Se puede observar como el mayor porcentaje de ahorro se produce en la vivienda PassivHaus de Zaragoza, con unas transmitancias de 0,189 W/m²·K en muros que reduce las pérdidas energéticas en un 71%, 0,124 W/m²·K en la cubierta que reduce las pérdidas energéticas en un y de 0,183 W/m²·K en el suelo, un acristalamiento con una transmitancia de 0,781 W/m²·K que reduce las pérdidas energéticas en un 67%, recuperador de calor que reduce la infiltración en un 95%, como se puede ver en la gráfica de pérdidas por infiltración (pág. 52), respecto a la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE.

Sin embargo, la PassivHaus en un clima medio como Zaragoza produce un incremento en el coste de la construcción con las tres instalaciones del 18% frente a la vivienda mínima CTE, lo cual no lo hace muy rentable desde el punto de vista económico.

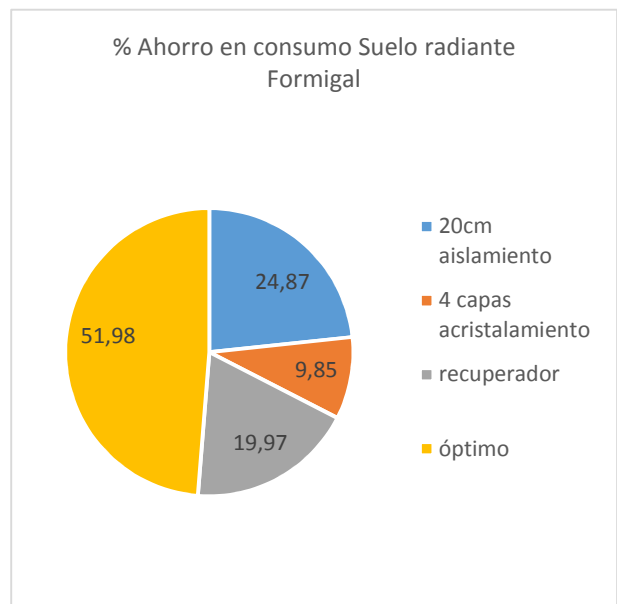
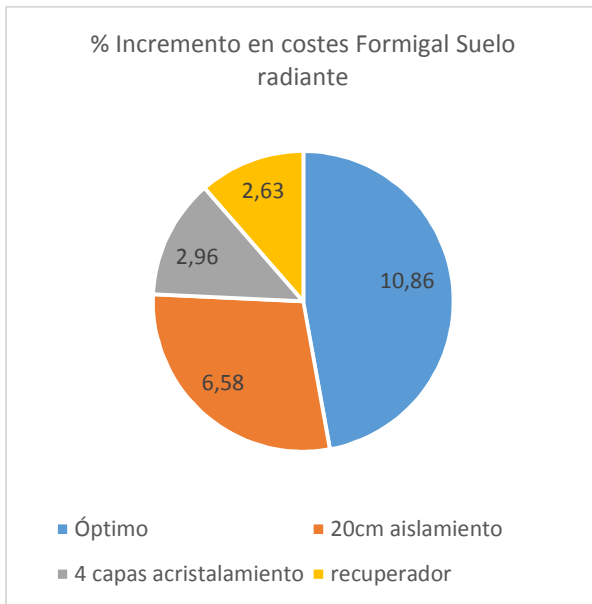
En una vivienda con instalación de geotermia, diseñada con un espesor de 11 cm, que produce transmitancias de 0,344 W/m²·K en muros reduciendo las pérdidas en los muros exteriores en un 50%, 0,234 W/m²·K en la cubierta reduciendo las pérdidas en un 35% en la cubierta y 0,325 W/m²·K en el suelo, acristalamiento de 0,781 W/m²·K, que reduce las pérdidas en el mismo en un 67%, recuperador de calor que reduce las pérdidas derivadas de la ventilación en un 94%, el incremento en los costes ronda el 9%, con un ahorro en el consumo energético del 70,16%, luego se trata de la vivienda más eficiente.

Conclusiones para Formigal:

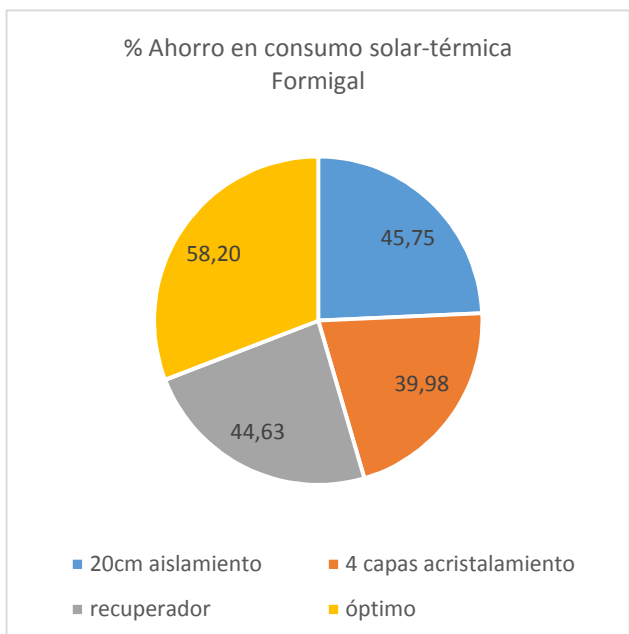
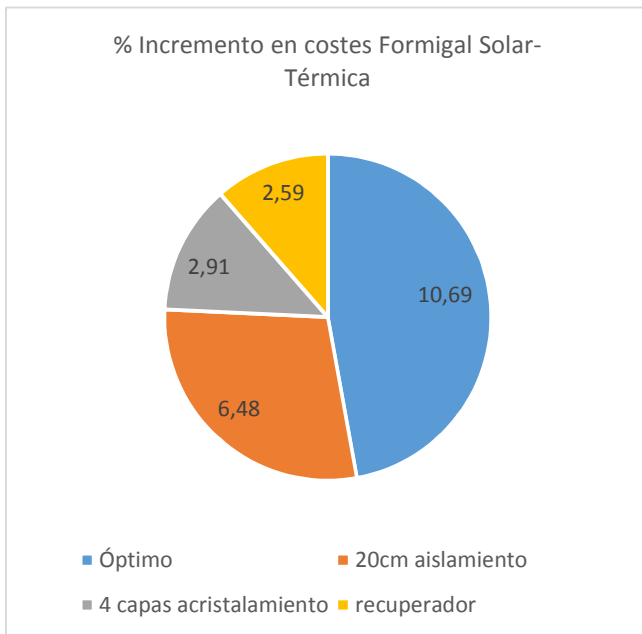
				CONSUMOS MÍNIMOS CTE		
CONSUMOS VIVIENDA OPTIMIZADA FORMIGAL				SUELO RADIANTE	SOLAR-TÉRMICA	GEOTERMIA
AISLAMIENTO (20cm), acristalamiento CTE, sin rec				957,9	591,8	673,9
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	10833,14	386,47	719,65	24,87	-21,60	-6,79
SOLAR-TÉRMICA	6656,99	553,39	519,66	45,75	12,19	22,89
GEOTERMIA		3985,79	629,34	34,30	-6,34	6,61
ACRISTALAMIENTO (4capas) con aislamiento mínimo CTE						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	13463,43	395,08	863,56	9,85	-45,92	-28,14
SOLAR-TÉRMICA	7583,71	585,04	574,89	39,98	2,86	14,69
GEOTERMIA		4839,9	764,21	20,22	-29,13	-13,40
ACRISTALAMIENTO (4capas) con aislamiento óptimo (20cm)						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	9564,12	387,29	651,00	32,04	-10,00	3,40
SOLAR-TÉRMICA	6522,45	543,21	510,76	46,68	13,69	24,21
GEOTERMIA		3550,11	560,55	41,48	5,28	16,82
ACRISTALAMIENTO MÍNIMO, AISLAMIENTO MÍNIMO, REC. DE CALOR						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	11701,81	385,72	766,61	19,97	-29,54	-13,76
SOLAR-TÉRMICA	6814,03	567,28	530,37	44,63	10,38	21,30
GEOTERMIA		4305,85	679,88	29,02	-14,88	-0,89
ACRISTALAMIENTO MÍNIMO AISLAMIENTO ÓPTIMO(20cm) REC. CALOR						
GAS	ELECTRICIDAD	costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA	
SUELO RADIANTE	10498,71	386,22	701,48	26,77	-18,53	-4,09
SOLAR-TÉRMICA	6693,39	555,78	522,01	45,50	11,79	22,54
GEOTERMIA		3876,92	612,15	36,09	-3,44	9,16
ACRISTALAMIENTO ÓPTIMO, AISLAMIENTO ÓPTIMO REC. CALOR						
			costes	% AHORRO SUELO RADIANTE	% AHORRO SOLAR-TÉRMICA	% AHORRO GEOTERMIA
SUELO RADIANTE			460	51,98	22,27	31,74
SOLAR-TÉRMICA			400,4	58,20	32,34	40,58
GEOTERMIA			324,3	66,14	45,20	51,88

Tabla 3. Relación de ahorros o incrementos en consumos para la localidad de Formigal respecto a las instalaciones térmicas de calefacción.

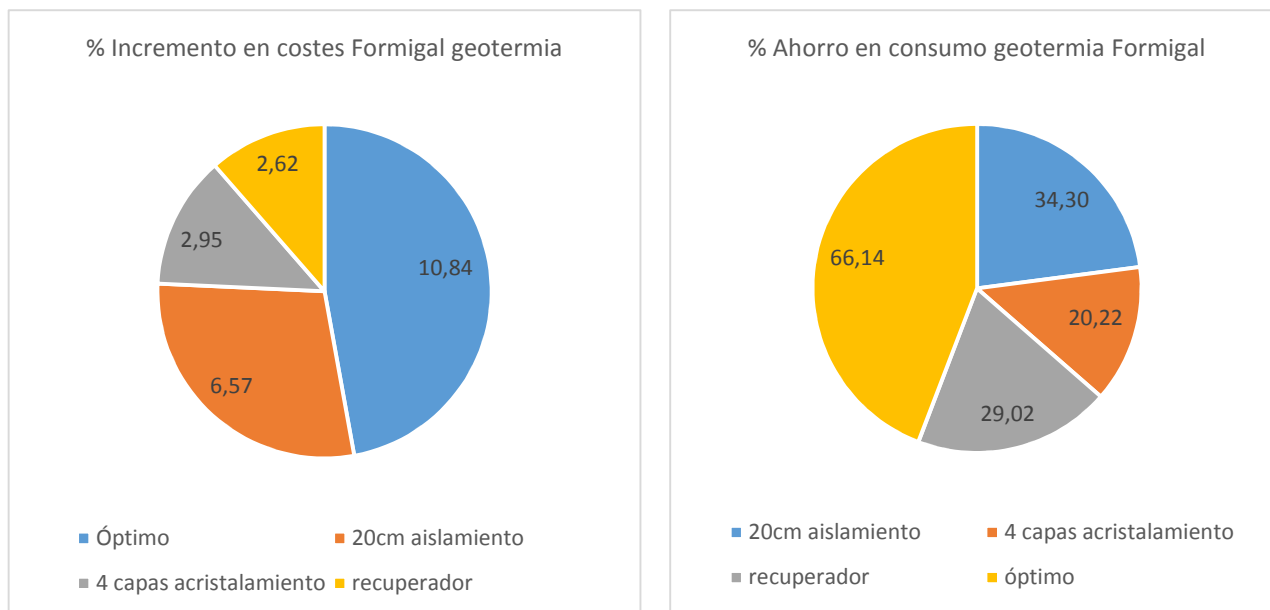
Instalación de calefacción mediante suelo radiante:



Instalación solar-térmica:



Instalación de geotermia con bomba de calor geotérmica:



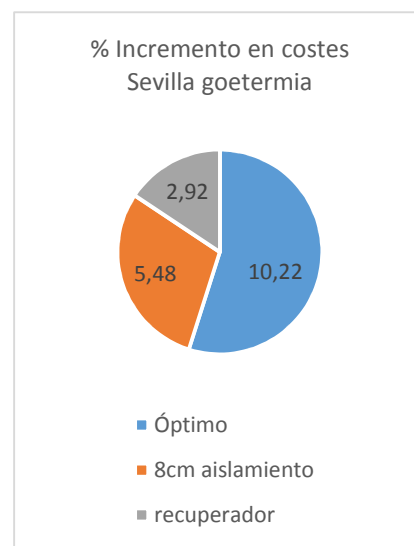
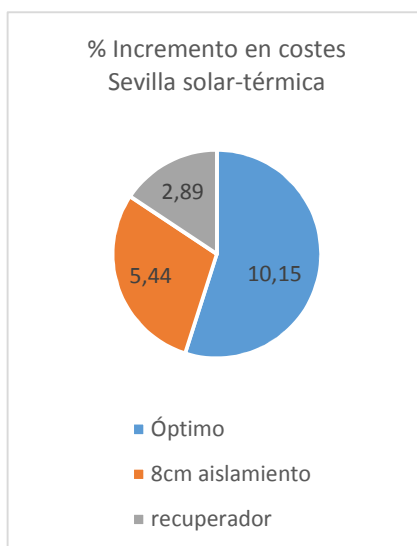
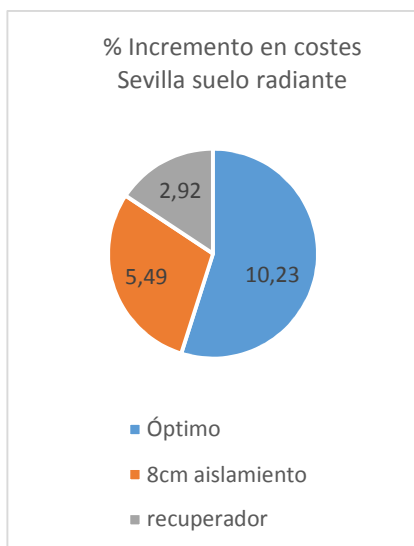
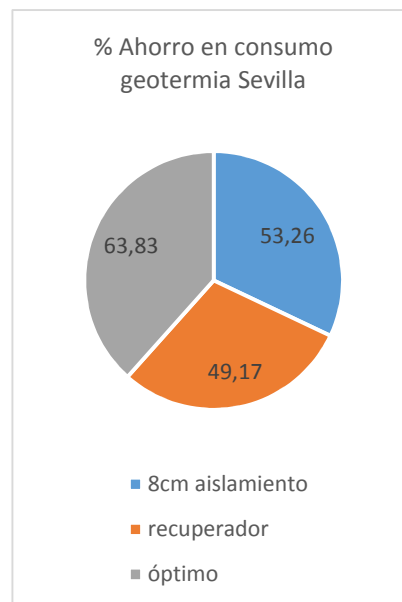
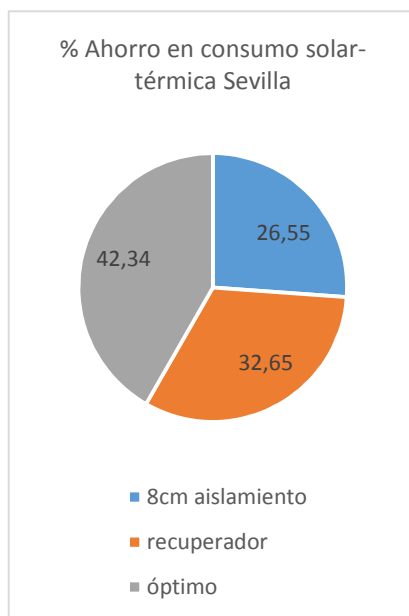
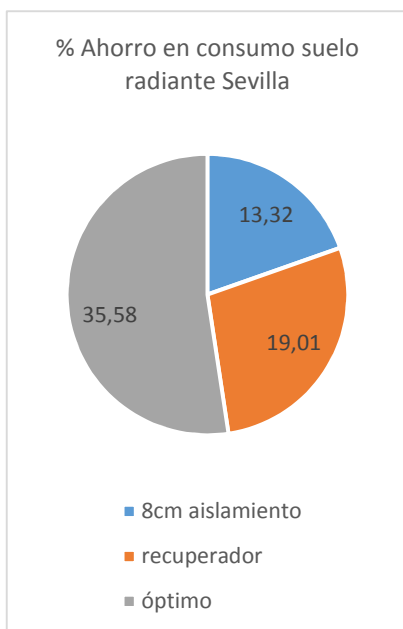
Se puede observar que cuando se tienen 20cm de aislamiento en la envolvente térmica que posee una transmitancia térmica de $0,16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en los muros, reduciendo sus pérdidas en un 72%, una transmitancia de $0,164 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en la cubierta reduciendo sus pérdidas en un 52%, un recuperador de calor que reduce la infiltración exterior en un 93%, el acristalamiento óptimo con una transmitancia de $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ reduciendo sus pérdidas en un 68%, produce un ahorro del 66,14% respecto a la vivienda diseñada bajo especificaciones mínimas del CTE, con una instalación de calefacción mediante suelo radiante y caldera de gas natural, que es la que más consumo energético posee de todas las instalaciones térmicas diseñadas como se puede observar en la **gráfica 3 de la página 42**, a pesar del incremento en el coste total de alrededor de un 11%, con lo cual la vivienda más eficiente es la diseñada con esta configuración comentada y con la instalación de calefacción mediante bomba de calor geotérmica.

Comentar también que el mayor porcentaje de ahorro energético se da para un aislamiento de 20cm, en las tres instalaciones respecto al acristalamiento y el recuperador de calor, de ahí la importancia que adquiere el aislamiento en climas fríos, con un incremento en el coste de en torno al 6,5%; un 4% superior al coste al que producen el recuperador y el acristalamiento.

Para climas muy fríos como es el caso de Formigal, para cumplir el estándar PassivHaus habría, como única medida, incrementar sustancialmente el aislamiento, ya que se ha probado con el acristalamiento de menor transmitancia térmica $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, recuperador de calor y espesores de hasta 45cm de aislamiento, y no se alcanza la demanda de 15kWh/m^2 y año para calefacción, además del sobrecoste que produciría esta medida.

2.- COMPARACIÓN RESPECTO A LA INSTALACIÓN DE SOLAR-TÉRMICA DISEÑADA BAJO CONDICIONES MÍNIMAS DEL CTE.

SEVILLA



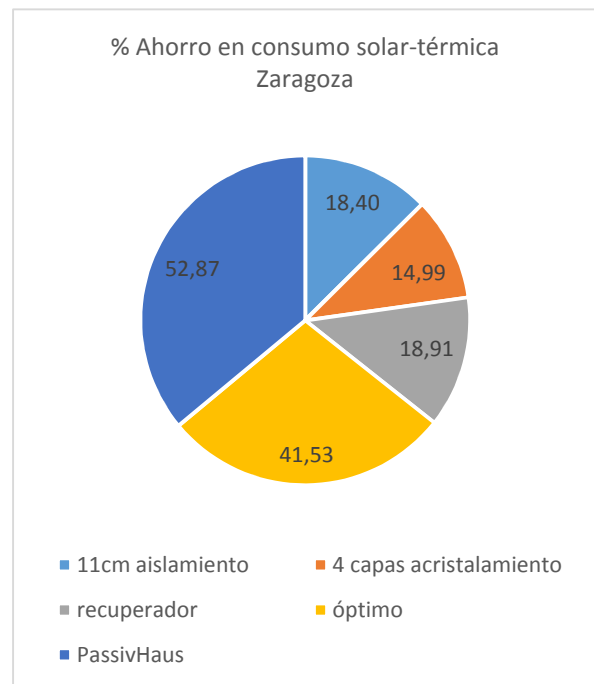
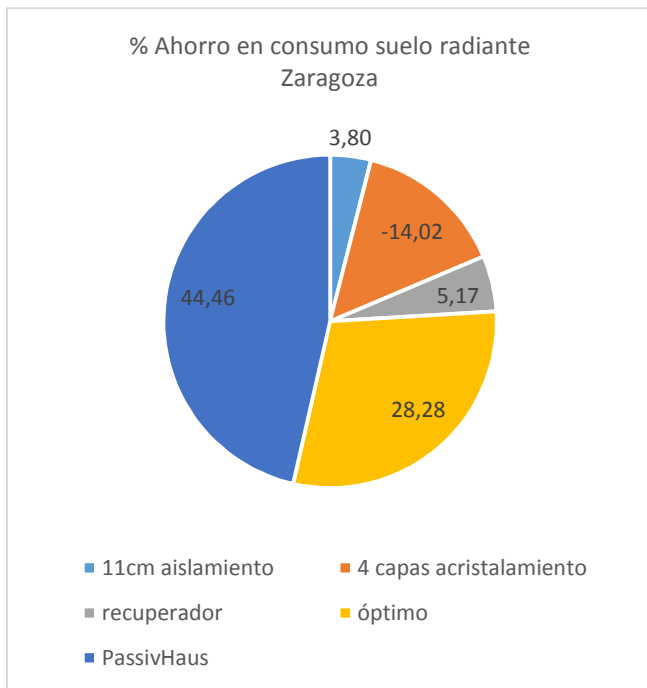
Se puede observar como los ahorros energéticos en la instalación solar-térmica respecto a la solar-térmica de la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE son inferiores, del orden de un 5% inferior en la vivienda óptima.

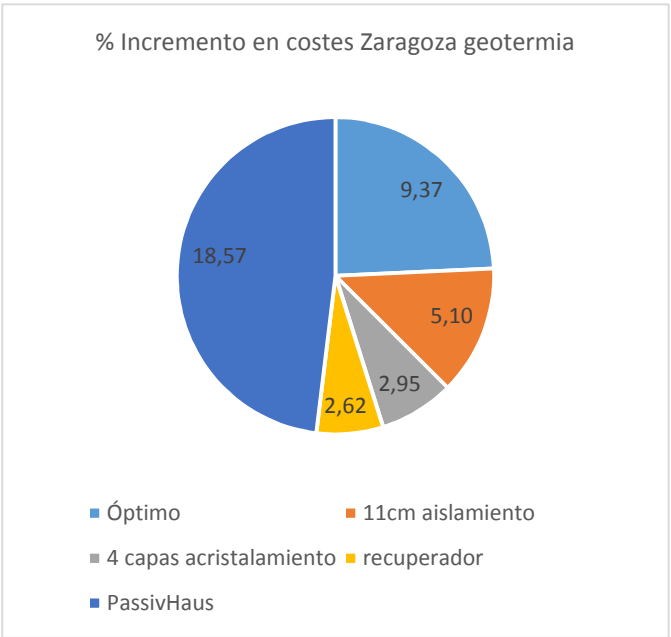
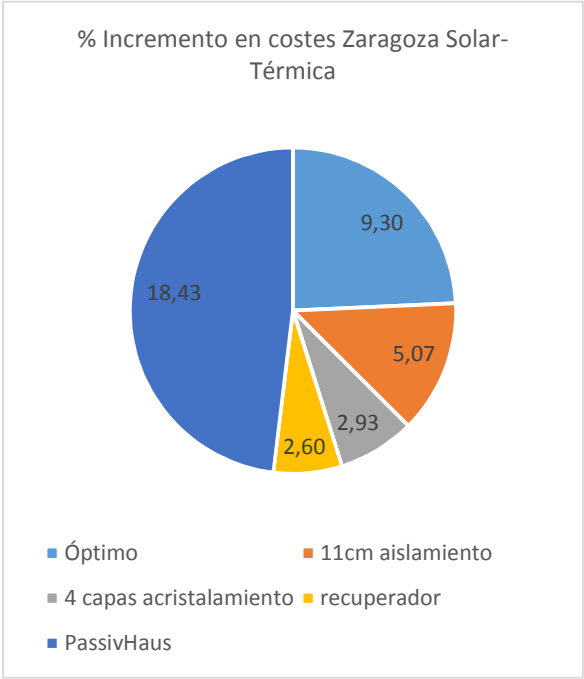
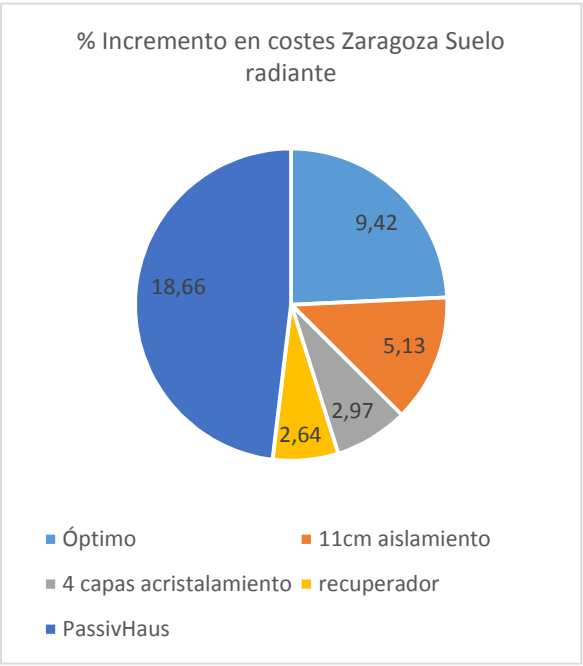
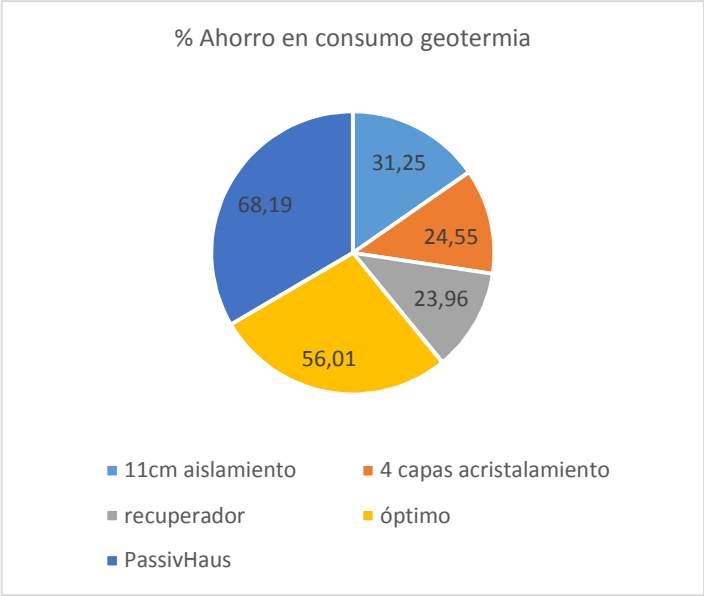
Los ahorros en los consumos vuelven a ser superiores con la instalación de geotermia que con el resto de instalaciones, en lo que al recuperador y a los 8cm de aislamiento se refieren, sin embargo, el efecto de ambos es de menor eficacia que comparandolo con la instalación de calefacción mediante suelo radiante en la vivienda diseñada bajo especificaciones mínimas del CTE.

También hay que añadir, que el principal problema que tiene la geotermia es de disponer de un espacio suficiente para realizar la instalación del circuito de tubos hidrónicos que conforman el recuperador, aunque tiene como ventaja, la estética, ya que el intercambiador no es visible, frente a la instalación solar-térmica en el que son perfectamente visibles los componentes que forman la instalación.

Se observa que para la vivienda con transmitancias en los muros de $0,443\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, en la cubierta de $0,449\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ y en suelo de $0,408\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, con un acristalamiento de transmitancia $3,115\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, y un recuperador de calor, se produce ahorro energético del $63,83\%$, frente a la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE, además de las consabidas reducciones en las pérdidas en la envolvente térmica ($45,22\%$ en muros, 17% en la cubierta y en la infiltración ($70,4\%$, resultado de la presencia del recuperador), con instalación de geotermia se trata del diseño más eficiente.

ZARAGOZA





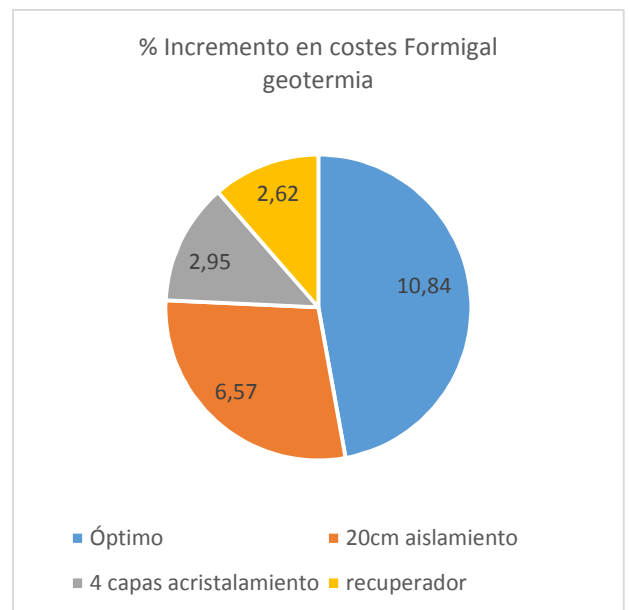
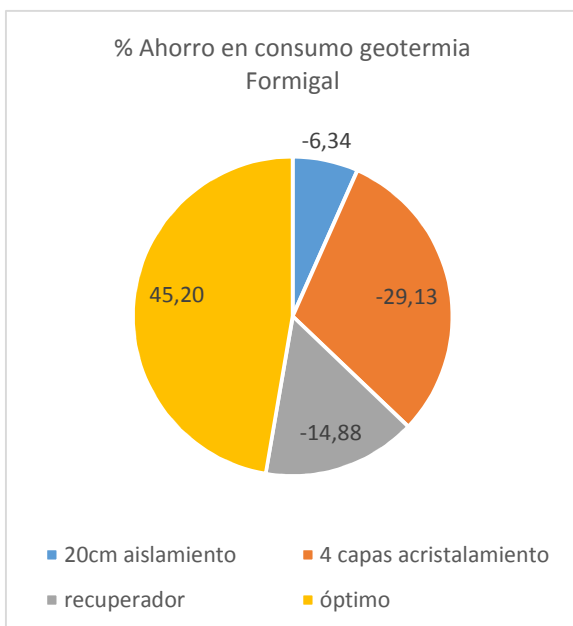
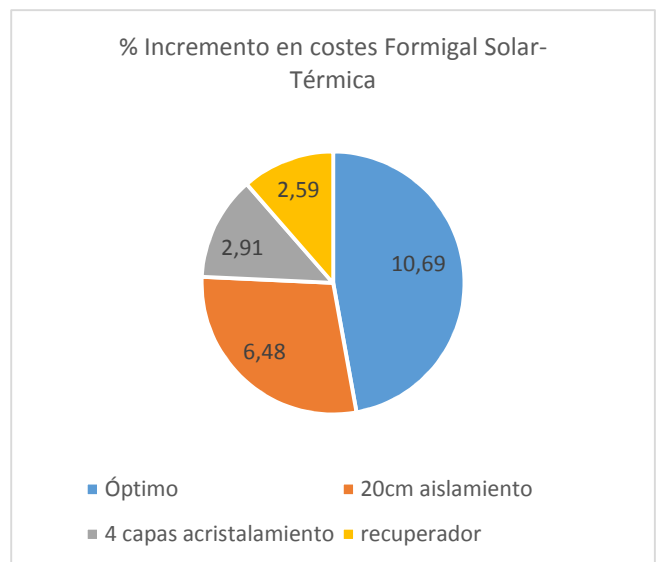
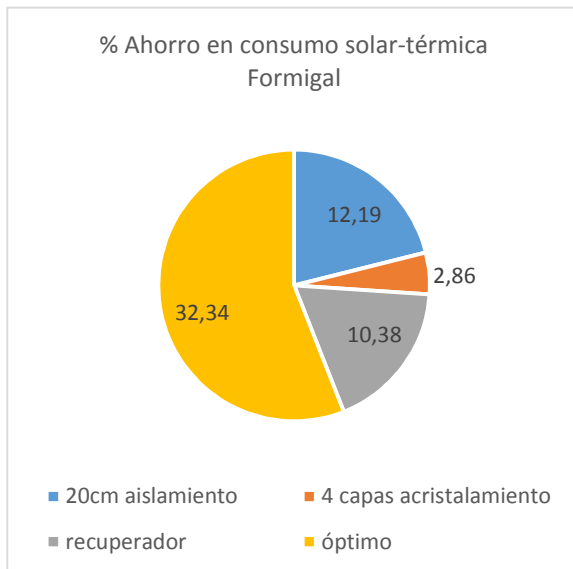
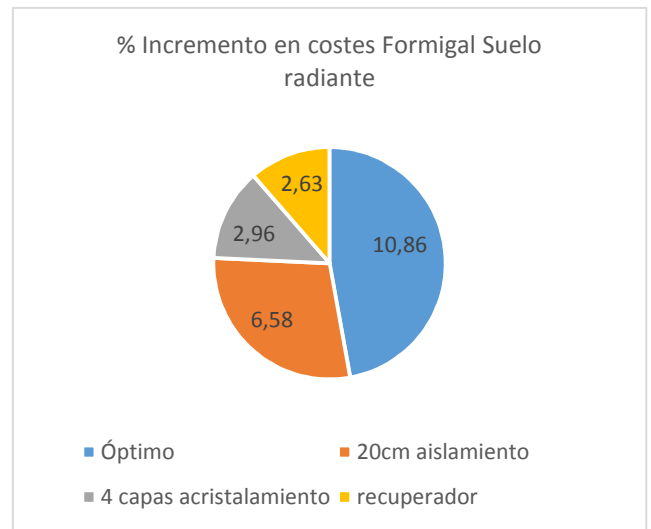
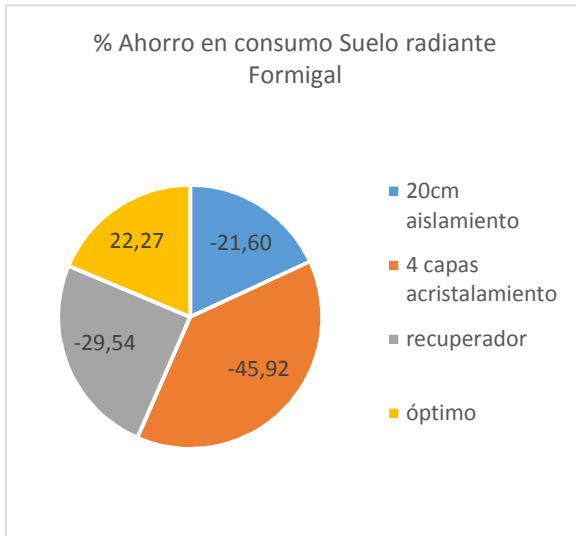
Se puede observar como los porcentajes en el ahorro energético también son inferiores respecto a la instalación solar-térmica diseñada para la vivienda regida por las especificaciones mínimas del CTE. Incluso se producen incrementos en los consumos cuando únicamente se dispone de acristalamiento con transmitancia de $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ cuando la instalación es de calefacción mediante suelo radiante, mientras que se disponen de 11cm de aislamiento, el ahorro en suelo radiante es tan sólo del 3,8%.

Si tan sólo se dispone de recuperador de calor, el ahorro es del 5,17%, y en la vivienda PassivHaus del 44%. El problema del PassivHaus es el incremento en los costes de casi el 19%, lo cual hace inviable esta opción, ya que este sobrecoste no conlleva un ahorro tan importante, para la inversión inicial que hay que realizar.

Los mayores porcentajes de ahorro se vuelven a dar en la instalación de geotermia, en donde, la contribución al ahorro energético del aislamiento es la más relevante en comparación con el ahorro energético producido por el recuperador y el acristalamiento.

Se observa que para la vivienda con transmitancias en los muros de $0,344 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, en la cubierta de $0,234 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y en suelo de $0,325 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, con un acristalamiento de transmitancia $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, y un recuperador de calor, se produce ahorro energético del 56%, frente a la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE, además de las consabidas reducciones en las pérdidas en la envolvente térmica (50% en muros, 35% en la cubierta y 67% en el acristalamiento, y en la infiltración (95%, resultado de la presencia del recuperador), con instalación de geotermia se trata del diseño más eficiente.

FORMIGAL



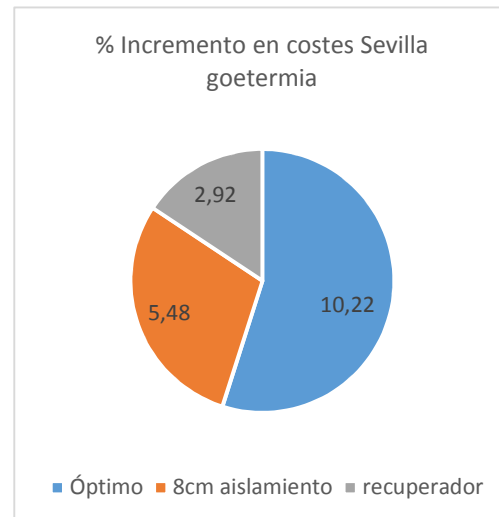
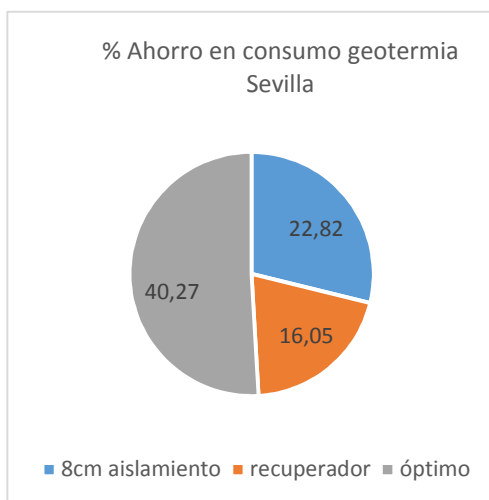
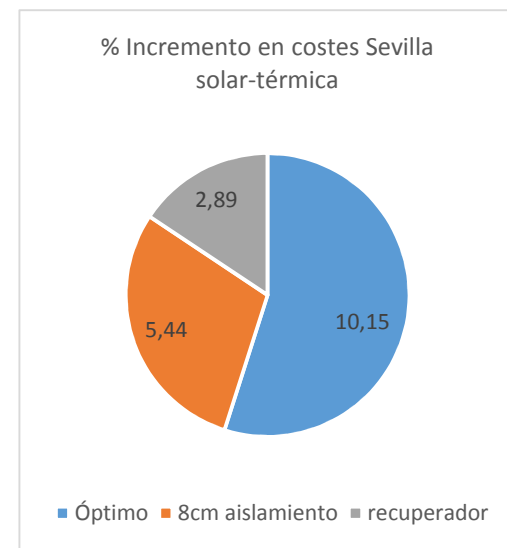
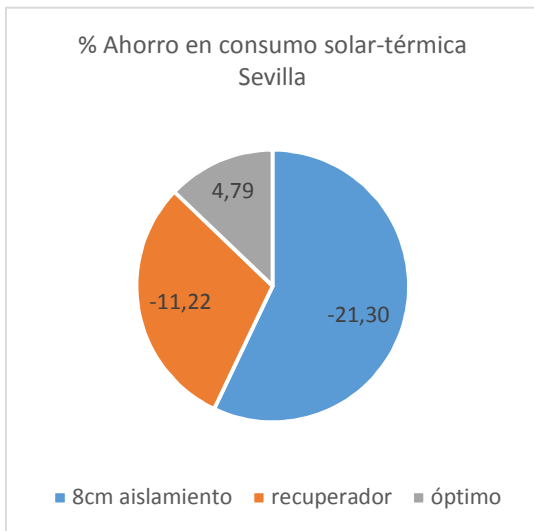
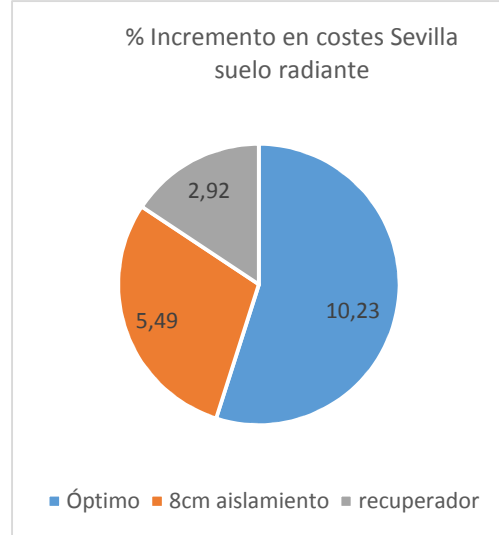
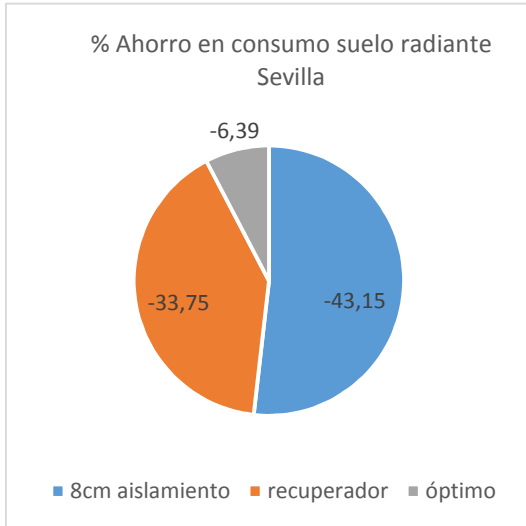
Se puede observar cómo se producen incrementos en los consumos en la localidad de Formigal, cuando únicamente se disponen 20cm de aislamiento, o cuando únicamente se dispone de acristalamiento con transmitancia $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, o cuando únicamente se dispone de recuperador de calor en la instalación de calefacción mediante suelo radiante frente a la instalación solar-térmica instalada en la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE, lo cual hace inviable la mejora en un único de los factores analizados (aislamiento, acristalamiento y recuperador de calor), siendo conveniente el combinar la mejora en el aislamiento, junto con la introducción del recuperador de calor y el acristalamiento, que producen una reducción en las pérdidas energéticas a través de la envolvente térmica de un 72% en los muros, un 52% en la cubierta, 68% en el acristalamiento y 93% en la infiltración gracias a la presencia del recuperador de calor.

En la instalación de geotermia también se producen incrementos en los consumos energéticos, sin tan sólo se lleva a cabo una mejora, es decir, si tan sólo aumentamos el espesor del aislamiento, o sólo se utiliza el recuperador de calor, o tan sólo se dispone de un acristalamiento de mayor calidad con transmitancia térmica de $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Sin embargo, si se disponen 20cm de aislamiento, acristalamiento de transmitancia térmica de $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, y recuperador de calor, lo cual reduce las pérdidas en la envolvente, la infiltración exterior, así como, se hace más hermético la vivienda y se produce la rotura de los puentes térmicos, gracias a la continuidad en la disposición del aislamiento térmico en la envolvente, con una instalación de geotermia se produce un ahorro en el consumo del 45,2% con un incremento en la inversión del 10,84% frente a la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE, de tal manera que vuelve a ser el diseño más eficiente, a pesar, de que se necesita de espacio suficiente para poder instalar el intercambiador de calor con el terreno, aunque, estéticamente no causa ningún impacto dicha instalación, a diferencia de la solar-térmica.

3.- COMPARACIÓN RESPECTO A LA INSTALACIÓN DE GEOTERMIA CON BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA DISEÑADA BAJO CONDICIONES MÍNIMAS DEL CTE.

SEVILLA



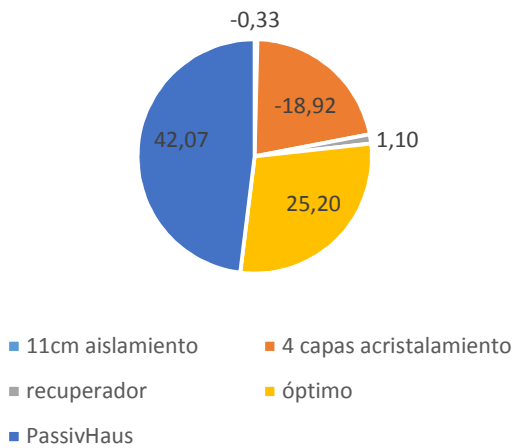
Se puede observar como se producen incrementos en los consumos tanto en la instalación de calefacción mediante suelo radiante, como en la instalación solar-térmica, si tanto se dispone de únicamente la mejora en el aislamiento, disponiendo 8cm, únicamente el recuperador, o sí se dispone de 8cm de aislamiento y de recuperador.

El diseño más eficiente es con la instalación de geotermia, donde la presencia de 8cm de aislamiento como única mejora en la envolvente térmica, con transmitancias de $0,443\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ en muro, en la cubierta de $0,449\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ y en suelo de $0,408\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ y un acristalamiento con un transmitancia térmica de $3,115\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, produce un ahorro en el consumo energético del 22,82%. Si por el contrario tan sólo disponemos del recuperador de calor con el aislamiento mínimo exigido por el CTE para esta zona climática, que posee transmitancias de $0,8\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ en los muros, $0,458\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ en la cubierta y $0,523\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ en el suelo se produce un ahorro energético del 16,05%.

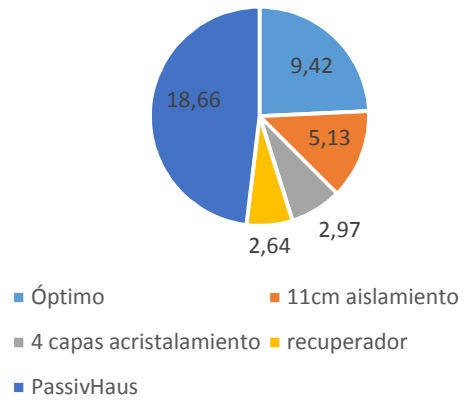
Si por último se combina el recuperador que produce una reducción en las pérdidas por infiltración del 70,4%, con 8cm de aislamiento (aislamiento óptimo), que produce una reducción en las pérdidas energéticas en la vivienda del 45,22% en los muros y del 17% en la cubierta, y un acristalamiento óptimo con una transmitancia de $3,115\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, con una instalación de geotermia con bomba de calor, el ahorro energético es del 40,27%, con un incremento en la inversión de en torno a un 10%. Lo cual resulta ser el diseño optimizado de mayor eficiencia para esta zona climática, perteneciente a un clima cálido.

ZARAGOZA

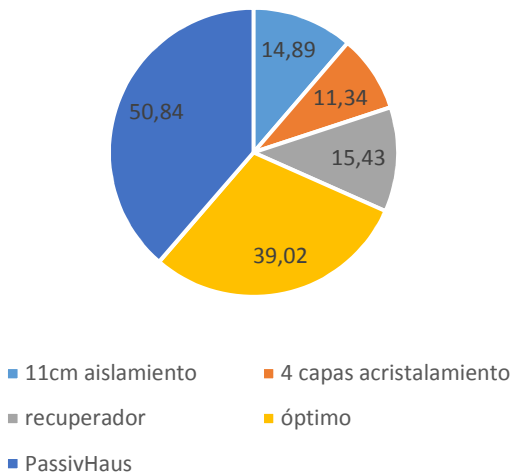
% Ahorro en consumo suelo radiante Zaragoza



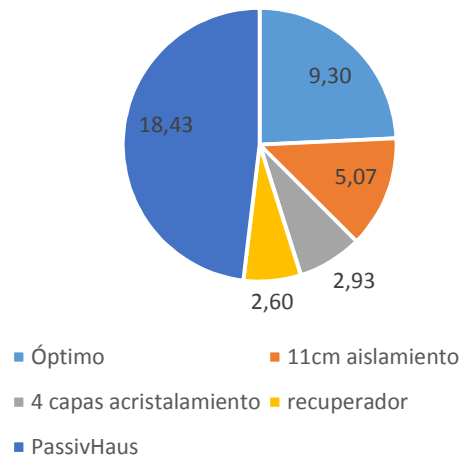
% Incremento en costes Zaragoza Suelo radiante



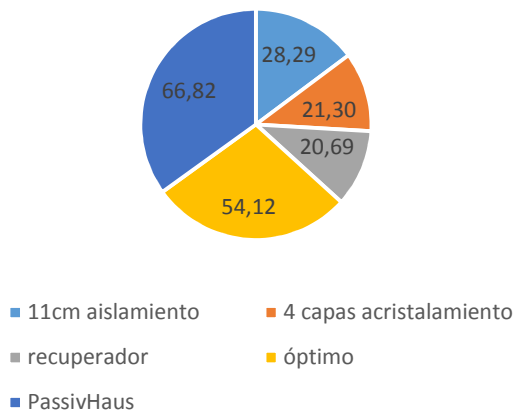
% Ahorro en consumo solar-térmica Zaragoza



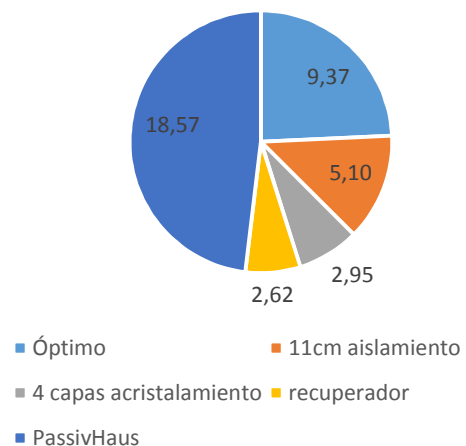
% Incremento en costes Zaragoza Solar-Térmica



% Ahorro en consumo geotermia



% Incremento en costes Zaragoza geotermia



Se puede observar como al disponer como única medida de optimización de acristalamiento con transmitancia de $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ se producen incrementos en los consumos energéticos en la instalación de calefacción mediante suelo radiante respecto a la instalación de geotermia en la vivienda diseñada bajo las condiciones mínimas del CTE. De igual modo, se producen incremento en el consumo si tan sólo se adopta como medida de optimización el incrementar el espesor del aislamiento a 11cm; mientras que la influencia del recuperador de calor, si se toma como única medida de $1,1\%$, luego no son eficientes energéticamente ninguna de las medidas comentadas.

Al optimizar la vivienda, con 11cm de aislamiento que supone una transmitancias de $0,344 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en los muros exteriores, en la cubierta de $0,234 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y en suelo de $0,325 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, instalando un recuperador de calor, al ahorro energético asciende al $25,2\%$ respecto a la instalación de geotermia en la vivienda diseñada bajo las condiciones mínimas del CTE.

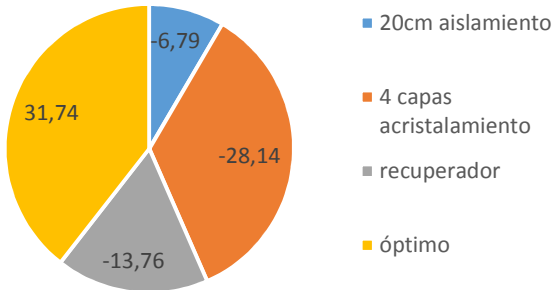
Se puede observar que la PassivHaus, con 22cm de aislamiento térmico, con transmitancias de $0,189 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en muros exteriores, $0,124 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en la cubierta y $0,183 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en el suelo, con acristalamiento óptimo con $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, produce ahorros que van del 42% en calefacción mediante suelo radiante, $50,84\%$ en solar-térmica y del $66,82\%$ en la instalación de geotermia, frente a la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE, pero sin embargo, supone un incremento en la inversión inicial de alrededor del 19% , lo cual hace inviable dicha opción debido al importante encarecimiento en los costes.

Una vez más la instalación más eficiente energéticamente es la geotermia, ya que si como única medida de optimización se disponen 11cm de aislamiento se aumenta el ahorro energético en $28,29\%$, mientras que si sólo se dispone como medida de optimización la introducción de acristalamiento con transmitancia del $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ el ahorro es del $21,3\%$. Y si tan sólo se optimiza la vivienda con el recuperador el ahorro es del $20,69\%$.

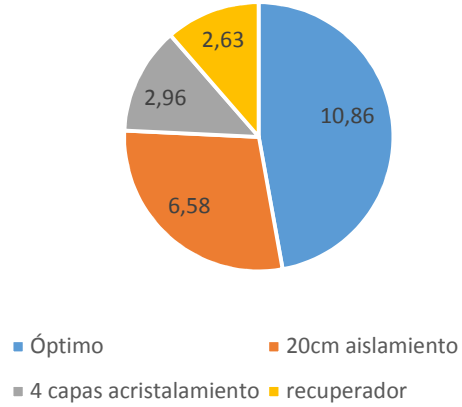
Sin embargo, si optimizamos la vivienda con 11cm de aislamiento, que produce una reducción en las pérdidas energéticas del 50% en muros 35% en la cubierta, se dispone de un acristalamiento con una transmitancia térmica de $0,781 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, el cual reduce las pérdidas energéticas en un 67% en el acristalamiento, y se optimiza más si cabe, introduciendo un recuperador de calor, que reduce las pérdidas por infiltración en un 95% , el ahorro energético asciende al $54,12\%$ con una instalación de geotermia con bomba de calor geotérmica, con un incremento en la inversión inicial del $9,57\%$, con lo cual se trata de la medida más eficiente de ahorro energético.

FORMIGAL

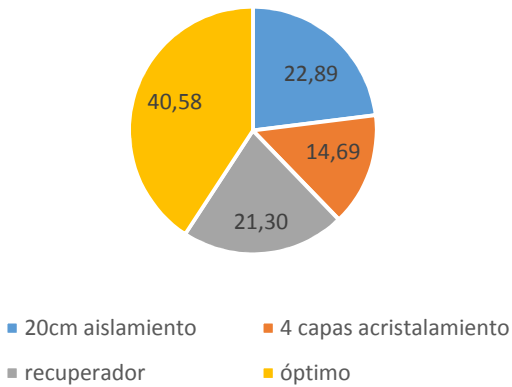
% Ahorro en consumo Suelo radiante Formigal



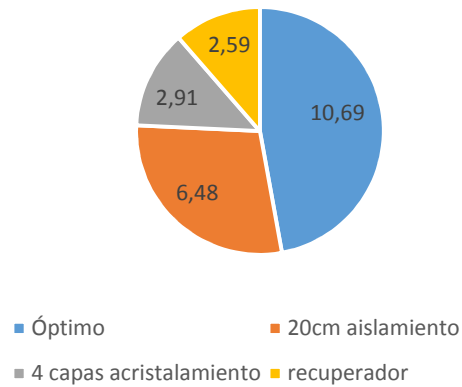
% Incremento en costes Formigal Suelo radiante



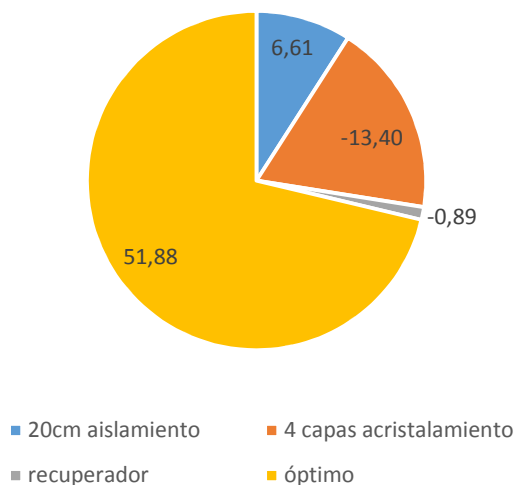
% Ahorro en consumo solar-térmica Formigal



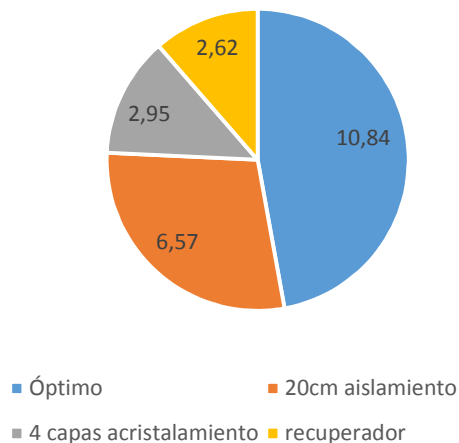
% Incremento en costes Formigal Solar-Térmica



% Ahorro en consumo geotermia Formigal



% Incremento en costes Formigal geotermia



Se puede observar como para la instalación de calefacción mediante suelo radiante, se producen incrementos en los consumos, independiente de si se ha optimizado tan sólo el aislamiento, o tan solo el acristalamiento o tan solo se ha dispuesto de recuperador de calor, lo cual hace inviable la optimización de un único factor para esta instalación.

Si se optimiza completamente la envolvente térmica, con 20cm de aislamiento, con transmitancias de $0,16 \text{ W//m}^2\cdot\text{K}$ en los muros, de $0,164 \text{ W//m}^2\cdot\text{K}$ en la cubierta y de $0,156 \text{ W//m}^2\cdot\text{K}$ en el suelo, junto con un acristalamiento óptimo con una transmitancia térmica de $0,718 \text{ W//m}^2\cdot\text{K}$, más el recuperador de calor, el ahorro energético es del 31,74% con un incremento en la inversión inicial del 10,86%, frente a la vivienda diseñada bajo las especificaciones mínimas del CTE, con una instalación de geotermia.

El porcentaje de ahorro energético es mayor cuando se tiene el óptimo (20cm de aislamiento, acristalamiento con transmitancia de $0,718 \text{ W//m}^2\cdot\text{K}$, y recuperador de calor) con la instalación solar-térmica, ya que asciende hasta el 40,58%, un alrededor de 10% superior a la instalación de calefacción con suelo radiante, con una inversión inicial de alrededor de un 10% superior frente a la instalación de geotermia en la vivienda diseñada bajo condiciones mínimas del CTE.

Una vez más el diseño más eficiente energéticamente es con la instalación de geotermia, donde, si se optimiza la vivienda, con un aislamiento de 20cm, con las consabidas transmitancias térmicas, produce una reducción en las pérdidas energéticas del 72% en los muros, un 52% en la cubierta, se dispone un acristalamiento con una transmitancia térmica de $0,718 \text{ W//m}^2\cdot\text{K}$, que reduce las pérdidas energéticas en el mismo en un 67%, y se añade a la ventilación mecánica de la vivienda, un recuperador de calor, que reduce las pérdidas por infiltración en un 94%, al ahorro energético es del 51,68% frente a la vivienda diseñada bajo las especificaciones mínimas del CTE con una instalación de geotermia.