



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
TRABAJO FIN DE GRADO
2017-2018

**REHABILITACIÓN DE
LAS INSTALACIONES
TÉRMICAS DE UNA
VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Alumno/Alumna: Murguía Vallejo, Andrea

Director/Directora: Del Campo Díaz, Víctor José

Fecha: Bilbao, 2018/07/18

Contenido

| | |
|---|----|
| RESUMEN TRILINGÜE..... | 4 |
| LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ACRÓNIMOS..... | 5 |
| Lista de tablas | 5 |
| Lista de Ilustraciones..... | 6 |
| Lista de acrónimos | 7 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 8 |
| 2 CONTEXTO | 9 |
| 3 OBJETIVOS Y ALCANCE..... | 11 |
| 4 BENEFICIOS DEL PROYECTO..... | 12 |
| 5 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE ALTERNATIVAS | 12 |
| 5.1 Biomasa..... | 13 |
| 5.2 Energía solar..... | 14 |
| 5.2.1 Energía solar térmica..... | 17 |
| 5.2.2 Energía solar fotovoltaica..... | 18 |
| 5.2.3 Energía eólica | 21 |
| 5.3 Geotermia | 22 |
| 5.4 Elección de alternativas | 24 |
| 6 METODOLOGÍA, MEDIOS Y TÉCNICAS BÁSICAS..... | 25 |
| 6.1 Vivienda..... | 25 |
| 6.1.1 Ubicación..... | 25 |
| 6.1.2 Datos climatológicos | 25 |
| 6.1.3 Dimensionamiento de la vivienda..... | 27 |
| 6.2 Análisis de la demanda energética de la vivienda..... | 27 |
| 6.2.1 Demanda eléctrica | 27 |
| 6.2.2 Demanda térmica de ACS..... | 28 |
| 6.2.3 Demanda térmica de calefacción..... | 29 |
| 6.3 Diseño de las instalaciones | 37 |
| 6.3.1 Instalación térmica de energía solar | 37 |
| 6.3.2 Instalación de biomasa..... | 43 |
| 6.3.3 Instalación solar fotovoltaica | 50 |
| 8 PRESUPUESTO | 55 |
| 8.1 Costes de instalación | 55 |

| | |
|--|----|
| 8.2 Costes de explotación | 57 |
| 8.3 Costes de explotación de la instalación térmica actual | 58 |
| 9 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD..... | 58 |
| 10 CONCLUSIONES..... | 59 |
| LISTADO DE REFERENCIAS | 60 |
| ANEXOS | 62 |
| ANEXO I: Planos | 62 |
| ANEXO II: Superficies de cerramientos exteriores para carga térmica según orientaciones..... | 66 |
| PLANTA PRIMERA..... | 66 |
| PLANTA BAJA..... | 67 |
| PLANTA SÓTANO..... | 68 |
| ANEXO III: Huecos..... | 69 |

RESUMEN TRILINGÜE

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es la rehabilitación de las instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar, de manera que pueda darse un buen aprovechamiento de las energías renovables y así reducir el consumo de fuentes de energía fósiles, contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

El proyecto comenzará con las exposiciones de diferentes alternativas de recursos renovables para la obtención de energía y la selección de las más adecuadas para la vivienda en cuestión. A continuación, se hará un análisis descriptivo de ésta, incluyendo la ubicación, datos climatológicos de la zona y su dimensionamiento.

El proyecto continuará con un análisis de la demanda energética, tanto de calefacción y agua caliente sanitaria como de electricidad. Para lo cual se realizará un estudio de la carga térmica de la vivienda. Con ello, se diseñarán las instalaciones térmicas seleccionando los elementos más adecuados para la satisfacción de la demanda de energía. Por último, se realizará un análisis económico de lo que supondría la puesta en marcha del proyecto.

LABURPENA

Hurrengo proiektua familiabakarreko etxebizitza baten instalazio termikoen birgaitzean datza, energia berriztagarrien ustiapen eraginkorra gertatu ahal izateko moduan, eta horrela, energia fosileko iturrien kontsumoa murriztu, ingurumenaren kontserbazioari lagunduz.

Proiektua hasiko da errekurso berriztagarrien aukera desberdinen aurkezpenekin energiaren lorpenerako, baita etxebizitza honetarako egokiagoak diren aukeraketarekin. Ondoren, honen analisi deskriptiboa egingo da, kokalekua, datu klimatologikoak eta bere dimentsionamendua gehituz.

Proiektua eskaintza energetikoaren analisi batekin jarraituko du, bai berogailu eta osasun-ur berokoa, bai elektrizitatekoa. Horretarako, etxebizitzaren karga termikoaren ikerketa egingo da. Horrekin, instalazio termikoak diseinatuko dira eskaintza energetikoaren asetzeko elementu egokienak aukeratuz.

Amaitzeko, analisi ekonomiko bat egingo da proiektua martxan jartzea suposatuko lukeena aztertuz.

ABSTRACT

The aim of this project is the rehabilitation of the thermal installations of an single-family house, so that it could make a good use of the renewable energies and therefore achieve to reduce the consumption of fossil sources of energy, contributing to the conservation of the environment.

The project will begin with the expositions of different alternatives of renewable resources for the obtaining of energy and the selection of the most suitable for the building in question. Next, a descriptive analysis of it will be done, including the location, climatological data of the area and its sizing.

The project will continue with an analysis of energy demand, both heating and hot water and electricity. For which a study of the thermal load of the house will be carried out. With this, the thermal installations will be designed by selecting the most suitable elements for the satisfaction of the energy demand. Finally, there will be an economic analysis of what the start-up of the project would entail.

LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ACRÓNIMOS

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Consumo diario de electricidad..... | 28 |
| Tabla 2: Temperatura media mensual de agua fría (°C)..... | 29 |
| Tabla 3: Demanda mensual de energía..... | 29 |
| Tabla 4: Coeficiente de orientación del muro. | 30 |
| Tabla 5: Condiciones interiores de diseño según el RITE..... | 31 |
| Tabla 6: Resistencias térmicas superficiales. | 32 |
| Tabla 7: Composición de la fachada tipo 1. | 32 |
| Tabla 8: Propiedades de los materiales..... | 32 |
| Tabla 9: Capas componentes de la cubierta..... | 33 |
| Tabla 10: Cargas térmicas por transmisión de cada estancia. | 34 |
| Tabla 11: Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables. | 35 |
| Tabla 12: Caudales de ventilación mínimos en locales no habitables..... | 35 |
| Tabla 13: Cargas térmicas por infiltración | 36 |
| Tabla 14: Cargas térmicas totales..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Tabla 15: Irradiación global para orientación suroeste e inclinación 15°..... | 39 |
| Tabla 16: Intercambiador SANIT SE 200 | 40 |
| Tabla 17: Vaso de expansión 12 SMF de 12 L..... | 42 |
| Tabla 18: Potencia eléctrica máxima de la bomba | 42 |
| Tabla 19: Bomba de circulación Termicol. | 42 |
| Tabla 20: Sistema de control de TERMICOL..... | 43 |
| Tabla 21: Caldera Bioclass HM de 16 kW..... | 44 |
| Tabla 22: Silo SP120G..... | 46 |
| Tabla 23: Alimentación de biocombustible mediante sinfín..... | 46 |
| Tabla 24: Esquema sistema de suministro del biocombustible..... | 47 |
| Tabla 25: Sistema de alimentación..... | 47 |
| Tabla 26: Depósito de inercia Serie COOL..... | 48 |
| Tabla 27: Radiadores Baxi Dubal para cada estancia..... | 50 |
| Tabla 15: Irradiación global mensual para orientación suroeste e inclinación 15° | 52 |
| Tabla 28: Ventana tipo A..... | 69 |
| Tabla 29: Ventana tipo P..... | 69 |
| Tabla 30: Ventana tipo M..... | 69 |
| Tabla 31: Ventanas tipo G y C..... | 70 |
| Tabla 32: Ventanas tipo V..... | 70 |

Lista de Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Suministro mundial de energía primaria..... | 9 |
| Ilustración 2: Generación de biomasa..... | 13 |
| Ilustración 3: Instalación para la combustión de biomasa en viviendas..... | 14 |
| Ilustración 4: Relación entre los diferentes ángulos..... | 15 |
| Ilustración 5: Mapa de Radiación Solar Horizontal. (Cifra superior en cada provincia: Radiación solar media anual (KWh/m ²); Cifra inferior: Número de horas de sol)..... | 16 |
| Ilustración 6: Eficiencia de captación en función de la inclinación y orientación de los captadores..... | 17 |
| Ilustración 7: Esquema de aprovechamiento de la energía solar térmica..... | 17 |
| Ilustración 8: Esquema instalación de circuito cerrado..... | 18 |
| Ilustración 9: Funcionamiento de una célula fotovoltaica..... | 19 |
| Ilustración 10: Corte de un módulo cristalino..... | 19 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 11: Módulo integrado. | 20 |
| Ilustración 12: Esquema de una instalación fotovoltaica en viviendas. | 20 |
| Ilustración 13: Componentes de un aerogenerador. | 21 |
| Ilustración 14: Esquema de una instalación mini-eólica. | 22 |
| Ilustración 15: Esquema de funcionamiento de la geotermia..... | 23 |
| Ilustración 16: Esquema de una instalación de geotermia..... | 23 |
| Ilustración 17: Localización de la vivienda..... | 25 |
| Ilustración 18: Datos climatológicos Bakio (AEMET). | 26 |
| Ilustración 19: Irradiancias global, directa y difusa. | 26 |
| Ilustración 20: Esquema de instalación de circuito cerrado. | 37 |
| Ilustración 21: Componentes del colector de placa plana. | 38 |
| Ilustración 22: Ala de situación de los captadores solares. | 39 |
| Ilustración 23: captador solar T-US | 39 |
| Ilustración 24: Radiadores Baxi Dubal..... | 50 |
| Ilustración 25: Esquema instalación fotovoltaica..... | 51 |
| Ilustración 26: Panel fotovoltaico..... | 52 |
| Ilustración 27: Regulador de carga..... | 54 |
| Ilustración 28: Inversor Red FRONIUS | 54 |
| Ilustración 29: Coste de la instalación solar térmica. | 55 |
| Ilustración 30: Costes instalación biomasa..... | 55 |
| Ilustración 31: Coste radiadores Baxi..... | 56 |
| Ilustración 32: Costes instalación fotovoltaica..... | 56 |
| Ilustración 33: Costes totales..... | 57 |

Lista de acrónimos

ACS: Agua caliente sanitaria.

CTE: Código Técnico de Edificación

RITE: Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

PCI: Poder calorífico inferior

HSP: Horas de pico

LOE: Ordenación de la edificación

1 INTRODUCCIÓN

Cada vez es mayor la preocupación de la sociedad por la conservación del medio ambiente. El ser humano, desde hace siglos, siempre ha ido explotando uno tras otro, los distintos recursos que nos ofrece nuestro planeta. La clave está en qué recursos son más o menos convenientes.

Esta conveniencia ha dependido siempre de determinados intereses. Desde siempre el interés más común ha sido el económico, y por ello, además de por la sencillez en su explotación, las fuentes de energía fósiles han sido las más empleadas de todos los tiempos, aun siendo las más contaminantes.

Sin embargo, desde hace unos años ha ido aumentando la concienciación de las personas por tratar de proteger y conservar nuestro planeta. Y para ello, es imprescindible tanto la disminución del uso de energías más contaminantes, las no renovables, como la reducción de emisiones contaminantes. Por muchas razones, resulta inviable un cambio drástico a nivel global del tipo de fuente de energía empleada; pero una manera de contribuir a la causa, es aplicando cada uno pequeños cambios en la sociedad, que gracias a la mejora continua de las tecnologías resulta cada vez más al alcance de todos.

En este trabajo se propone la rehabilitación de las instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar como opción de contribución a la solución del problema. En él, se propone el empleo de fuentes de energía renovables para el abastecimiento de la vivienda.

En primer lugar se expone el contexto en el que el proyecto se llevaría a cabo; además, se exponen sus objetivos y los beneficios que podrían esperarse de él.

A continuación, después de un estudio del consumo y pérdidas energéticas de la vivienda; se propone el uso del sol y la biomasa como fuentes de energía renovables, tratando con ello de reducir el consumo de combustibles fósiles y de la red eléctrica convencional.

Se incluye además, un cálculo económico que conllevaría la realización del proyecto, diferenciando cronológicamente cada una de las fases.

Por último, se hace alusión a las referencias bibliográficas empleadas y se dan varios anexos con los planos y datos utilizados para el estudio del proyecto.

2 CONTEXTO

Durante los últimos 40 años cerca del 81% de la energía primaria consumida mundialmente corresponde a combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas natural, como se puede observar en el gráfico. Además, aproximadamente el 6% de la energía consumida corresponde a energía nuclear. Estos tipos de energía son las conocidas energías no renovables, ya que su velocidad de consumo es mayor que su velocidad de regeneración por parte de la naturaleza.

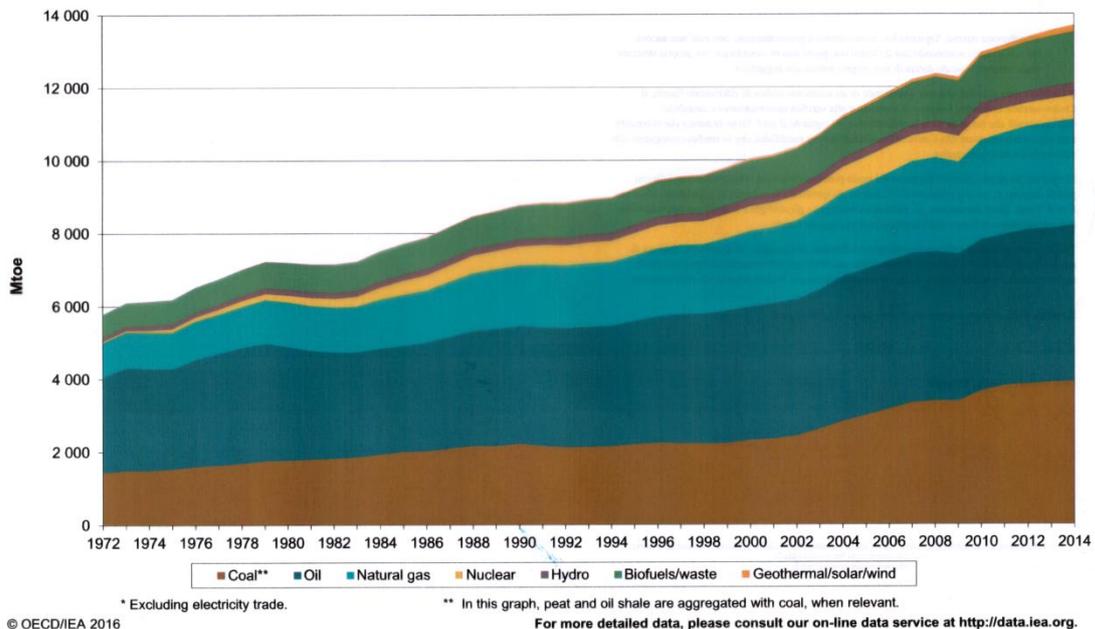


Ilustración 1: Suministro mundial de energía primaria.

Es decir, casi el 90% de los recursos energéticos que se han usado en las últimas décadas son recursos limitados; son recursos que estamos agotando. Además, la utilización de este tipo de energía ha provocado y sigue provocando un gran impacto ambiental en nuestro planeta. Causan una alta generación de residuos y también una gran contaminación del medio ambiente, que tiene como consecuencia el llamado efecto invernadero, que a su vez tiene consecuencias fatales sobre nuestro planeta.

Todo ello ha llevado a que la sociedad comenzara a cuestionarse la insostenibilidad del sistema energético, a plantearse un cambio de modelo, a adentrarse

en la búsqueda de nuevas formas de obtención de energía sostenibles y responsables con el medio ambiente.

Es más, el 11 de diciembre de 1997 fue adoptado el conocido Protocolo Kioto. Se trata de un protocolo, entrado en vigor en 2005, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, mediante el cual los países industrializados acordaron reducir las emisiones de gases efecto invernadero, en comparación con las emisiones producidas en 1990. Los compromisos asumidos por cada Estado Miembro de la UE dependían de una serie de parámetros de referencia, siendo el compromiso de España no superar el 15% del nivel de emisiones del año de referencia. El protocolo tenía una duración prevista hasta 2012; sin embargo, en 2016 comenzó a negociarse su continuidad a partir de 2013.

Fue entonces, en la cumbre de Doha donde se acordó que continuaría hasta 2020 con un compromiso mayor por parte de los Estados Miembros. La UE mostraba su intención de reducir las emisiones de gases en un 20% respecto al año de referencia 1990.

La Unión Europea también comenzó a promover la toma de acciones para hacer frente al cambio climático. Llevó a cabo la aprobación en 2008 del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático 2013-2020, cuyos objetivos son la reducción en un 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1990, un 20% de energías renovables para el consumo y un 20% de mejora de la eficiencia energética.

Posteriormente, acordó en 2014 el Marco sobre clima y energía para 2030 como continuidad del anterior pero con porcentajes más exigentes (objetivos del 40%, 27% y 27% respectivamente).

También, la Hoja de Ruta 2050 en el año 2013 cuyo objetivo es una economía baja en carbono. La hoja de ruta señala que en 2050 la UE deberá haber disminuido sus emisiones de gases efecto invernadero un 80% respecto a los niveles de 1990 exclusivamente mediante reducciones internas (es decir, sin recurrir a créditos internacionales).

En lo que al sector de la construcción respecta, en España está regulada por el CTE (*Código Técnico de Edificación*). Se trata de un marco normativo que establece las

exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). Siendo el sector de la construcción uno de los principales sectores económicos, esta normativa trata de responder a las demandas de la sociedad española, cada vez más preocupada por la calidad en los edificios, la seguridad, el bienestar, la energía y la protección del medio ambiente.

En este contexto, en el que la preocupación por la protección del medio ambiente aumenta con el tiempo, es de especial interés tratar de aprovechar al máximo los recursos renovables y limpios que nos ofrece nuestro planeta y así contribuir a la disminución de los gases efecto invernadero. En el sector de la construcción, en el caso de viviendas ya existentes, el aprovechamiento del sol mediante colectores solares y fotovoltaicos; del aire mediante molinos; de la biomasa, del calor de la tierra etc. para la producción de electricidad, permite combatir, aunque sea parcialmente, el cambio climático que tanto preocupa a toda la sociedad.

3 OBJETIVOS Y ALCANCE

Este proyecto tiene dos objetivos principales. Por un lado, el proyecto trata de ofrecer una manera de que una vivienda unifamiliar ubicada en Bakio, localidad de Bizkaia, pueda autoabastecerse total o parcialmente mediante energías renovables. De esta manera poder obtener energía tanto para ACS, calefacción y electricidad sin depender o dependiendo en menor proporción que en la actualidad, de combustibles fósiles o de la red eléctrica convencional, obteniendo así un beneficio económico.

Por otro lado, y no menos importante, tiene como objetivo reducir el consumo de recursos no renovables como combustibles fósiles. El consumo de éstos ha aumentado enormemente en las últimas décadas, produciendo graves efectos en nuestro planeta, tales como la contaminación atmosférica, destrucción de la capa de ozono, cambio climático, deshielo de los polos... Además estos recursos energéticos no son ilimitados. Luego es de vital importancia reducir al máximo posible su utilización. Y por ello este proyecto plantea el empleo de otro tipo de energías para abastecer a la vivienda.

4 BENEFICIOS DEL PROYECTO

El presente proyecto presenta diversos beneficios, tanto sociales como medioambientales y económicos.

Por un lado, el hecho de rehabilitar las instalaciones térmicas de una vivienda, permitiéndole obtener energía de recursos limpios y renovables le otorga una imagen muy positiva. Imagen que cada vez está más de moda en la actualidad. Además, incentiva a otras personas a contribuir de la misma manera.

Por otro lado, utilizar fuentes de energía renovables como el sol, el viento, la geotermia... tiene un gran beneficio para el medio ambiente. Esto se debe a que estos recursos son limpios y naturales, que no dañan a los ecosistemas ni al medioambiente. Su empleo reduce el uso de recursos no renovables como los combustibles fósiles, cuya utilización para la obtención de energía es muy contaminante y perjudicial para el planeta.

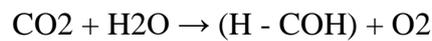
Por último, también tiene beneficios económicos ya que la utilización de fuentes de energía como el sol o el viento, entre otras, es, aunque intermitente, gratuita e inagotable. Aunque la rehabilitación de las instalaciones requiera de una inversión inicial considerable, a largo plazo genera grandes beneficios debido al alto coste de los combustibles fósiles que cada vez van más en aumento.

5 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Como se ha comentado el propósito de este proyecto es tratar de abastecer la vivienda mediante el uso de energías renovables. Hoy en día hay diversas alternativas para llevar a cabo este objetivo. En este apartado se explicarán brevemente en qué consisten algunas de las formas de obtención de energía a partir de energías renovables y se expondrá cuáles de ellas han sido seleccionadas para el abastecimiento de la vivienda en cuestión.

5.1 Biomasa

Se define biomasa como toda la materia viva existente en la tierra originada por un proceso biológico. Toda ella procede de la fotosíntesis, materia orgánica a partir del aire y la radiación solar:



El conjunto de materia orgánica, vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial que pueden utilizarse con fines energéticos es conocido como biomasa energética.

La biomasa puede obtenerse de diversas formas, residuos agrícolas, forestales o animales, residuos de industrias, residuos urbanos... (Figura 2) y se clasifica en función de su origen en natural, residual o cultivos energéticos.

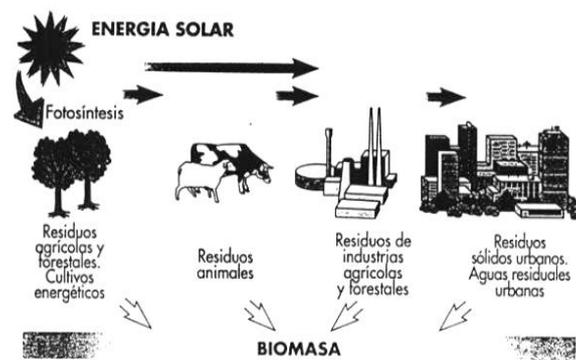


Ilustración 2: Generación de biomasa.

Después de diversas transformaciones, la biomasa se somete a un proceso de combustión para obtener así la energía. Hay distintos medios, estufas de pélets o leña que se emplean para dar calor a una estancia además de servir como elementos decorativos; calderas o centrales térmicas que suministran calor a varios edificios o grupos de viviendas. Para el caso de una vivienda unifamiliar lo más adecuado es utilizar calderas de baja potencia, que se suelen emplear para la obtención de ACS y calefacción.

La instalación requiere, a parte de la caldera, de un almacén para la biomasa y de un sistema de acumulación del calor obtenido, un intercambiador, bombas de impulsión, etc. (Figura 3).

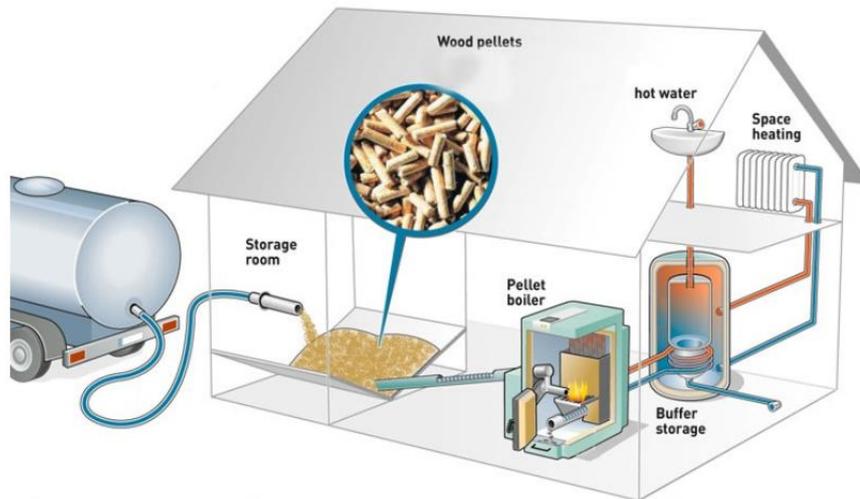


Ilustración 3: Instalación para la combustión de biomasa en viviendas.

El empleo de esta forma de energía renovable tiene diversas ventajas. Por un lado, en cuanto a las emisiones debidas a la combustión, el CO₂ que emite procede del CO₂ absorbido de la atmosfera por las plantas y árboles. Es decir, es un balance neutro del ciclo del carbono, no contribuye al cambio climático.

Por otro lado, el proceso de obtención de energía mediante la combustión de biomasa es un proceso de operación y mantenimiento sencillos mediante sistemas de control electrónico. Además, las calderas empleadas tienen una vida útil larga debida a su alta resistencia al desgaste, con un rendimiento entre el 75-90%.

5.2 Energía solar

El sol es la mayor fuente de energía que se conoce y desde tiempos inmemoriales el ser humano ha hecho uso de ella de diversas formas. El aprovechamiento energético del sol puede ser directo mediante procesos como la captación térmica o captación fotónica; o también puede ser indirecto. Este último se refiere al aprovechamiento del viento, generado por el calentamiento de masas aire, para producir electricidad, el aprovechamiento del ciclo del agua para obtener energía hidroeléctrica, etc. A continuación se analizan algunas de las formas de obtención de energía a partir de la energía solar para el abastecimiento de una vivienda. Pero antes se exponen ciertas características de la energía solar de especial interés.

La energía solar tiene como ventajas su elevada calidad energética, el pequeño o nulo impacto ecológico que conlleva su uso y su carácter inagotable a escala humana.

En la siguiente ilustración se puede observar la relación de estos parámetros con la eficiencia de los captadores:

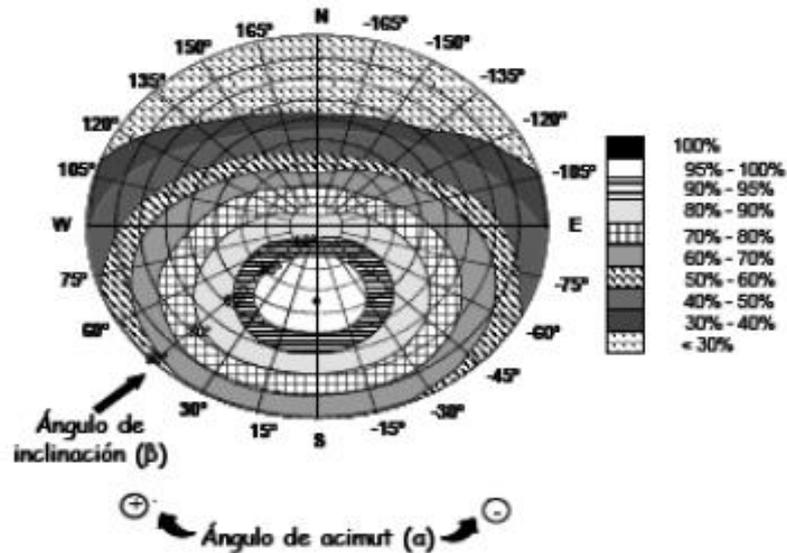


Ilustración 6: Eficiencia de captación en función de la inclinación y orientación de los captadores.

5.2.1 Energía solar térmica

La energía solar térmica es una de las formas de aprovechamiento de la energía solar. Consiste en captar la radiación proveniente del sol y convertirla en calor útil. Es una forma de obtención de energía cada vez más empleada en España, puesto que es uno de los países europeos con mayor radiación solar por unidad de superficie que recibe a lo largo del año.

En el ámbito de la construcción, el calor útil obtenido por medio de instalaciones solares térmicas es empleado para la generación de ACS y calefacción. El esquema básico de estas instalaciones está compuesto por tres partes principales (Figura 7):

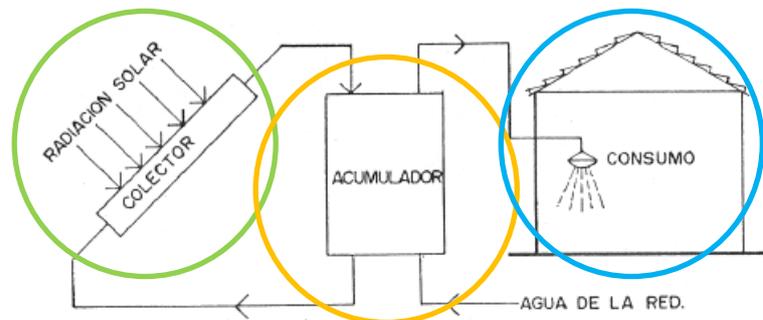


Ilustración 7: Esquema de aprovechamiento de la energía solar térmica.

La primera de ellas (la zona verde en la imagen) está compuesta por un panel colector encargado de captar la energía solar y transmitírsela a un fluido que fluye en su interior a lo largo de unos tubos (generalmente agua), que portará este calor al segundo subsistema, el acumulador (zona naranja). Éste se encarga de acumular esta energía de manera que pueda ofrecerse en cualquier momento que se demande. Por último, el sistema de distribución (zona azul) es el encargado de distribuir a los puntos de consumo la energía almacenada.

En este ámbito, los sistemas pueden ser de circuito abierto o cerrado. En el primer caso, el agua circulante por los colectores es utilizada directamente. Sin embargo, en el segundo caso, existen dos circuitos diferentes, el primario y el secundario, conectados mediante un intercambiador (Ilustración 8). El primario correspondería a la parte que capta la energía solar calentando el agua que es impulsada a través de una bomba. El calor captado se cede mediante el intercambiador al circuito secundario, en el que es almacenada en un depósito. Este segundo circuito también dispone de una bomba de impulsión, además de un sistema auxiliar que se emplea en el caso de que mediante los colectores solares no pueda suplirse toda la demanda.

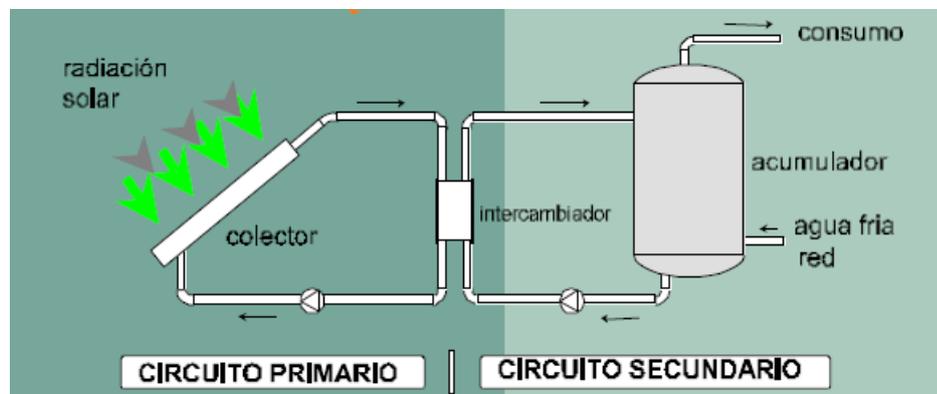


Ilustración 8: Esquema instalación de circuito cerrado.

5. 2.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es otra de las formas de aprovechamiento directo de la energía solar. Esta forma de obtención de energía se basa en el efecto fotovoltaico, que consiste en la conversión directa de radiación electromagnética en corriente eléctrica. Se lleva a cabo a través de unas células denominadas células solares fotovoltaicas.

La primera célula solar fotovoltaica data de 1954 fabricada a manos de Chapin, Fueller y Pearson. Su funcionamiento se basa en la formación de uniones entre semiconductores con distintos dopajes, de manera que se forme un campo eléctrico.

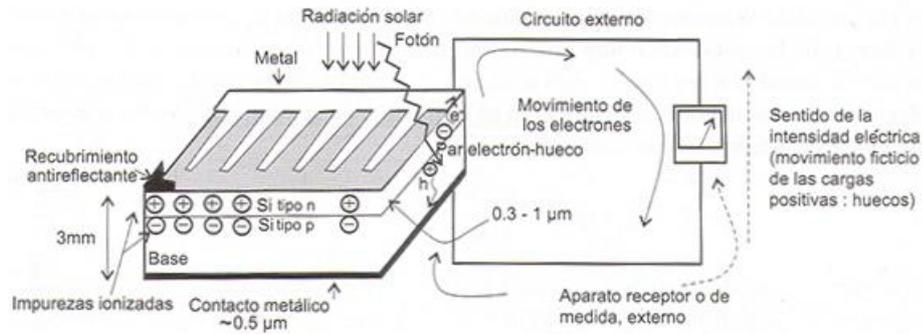


Ilustración 9: Funcionamiento de una célula fotovoltaica.

En cuanto a los tipos de células, principalmente pueden ser de Silicio monocristalinas, policristalinas o de capa delgada (Silicio amorfo, CuInSe₂/CdS o CdTe/CdS). Para autoabastecimiento en viviendas normalmente se suelen utilizar las de Silicio policristalinas.

Las células se agrupan, conectadas en serie, formando módulos que se disponen en paneles de distintas tensiones nominales (6, 12 o 24V). Estos módulos pueden ser cristalinos o integrados. Los primeros disponen de una cubierta exterior normalmente de vidrio templado; de capas encapsulantes para proteger las células, protecciones frente a la humedad, y de un marco soporte que aporte rigidez (Figura).

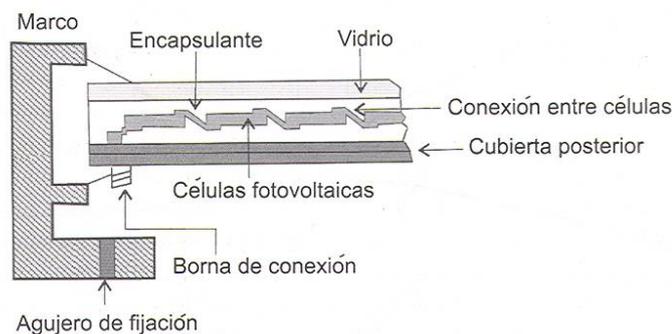


Ilustración 10: Corte de un módulo cristalino.

Los módulos integrados sin embargo, se fabrican por técnicas automatizadas y su sección es como la que se presenta en la siguiente imagen:

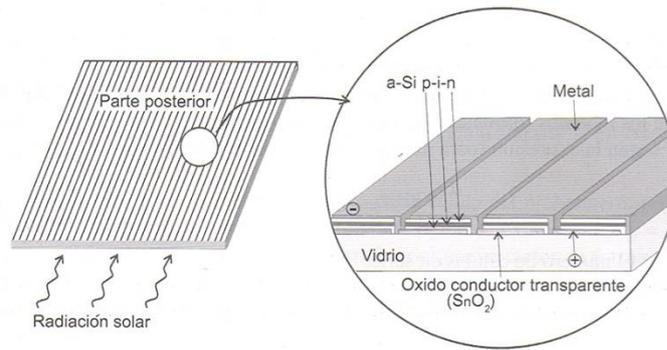


Ilustración 11: Módulo integrado.

Las instalaciones fotovoltaicas constan de los siguientes componentes:

- Sistema de captación de energía
- Sistema de acumulación de energía
- Sistema de regulación
- Sistema de adaptación del suministro eléctrico.

También pueden disponer de un sistema de transporte de energía y de un sistema de control, medida y protección.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser fundamentalmente de dos tipo: aisladas (aquellas orientadas a aplicaciones de señalización, electrificación rural...) o conectadas a la red (enfocadas a la venta de energía eléctrica y autoconsumo).

En la actualidad, cada vez son más empleadas en el ámbito de la construcción, como medio de autoabastecimiento de las viviendas, contribuyendo así a la reducción del uso de las energías fósiles. En la siguiente imagen se puede observar el esquema básico de una instalación fotovoltaica de una vivienda.

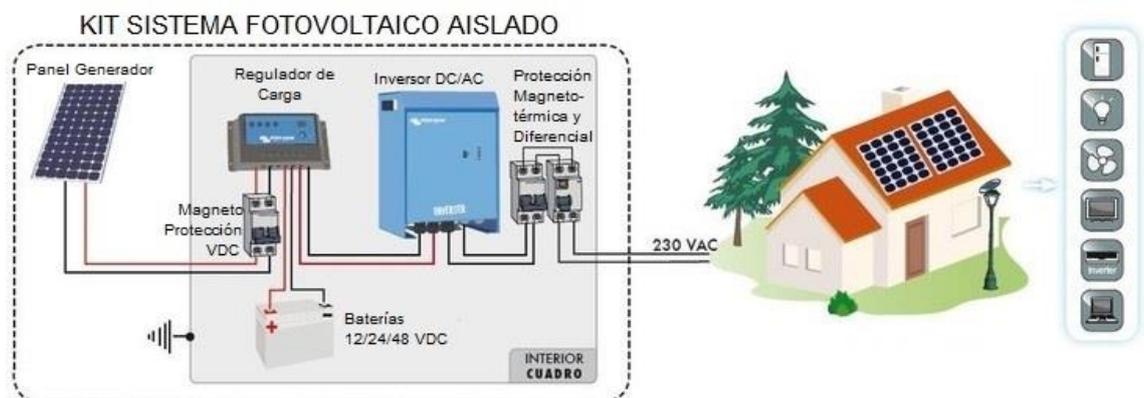


Ilustración 12: Esquema de una instalación fotovoltaica en viviendas.

5.2.3 Energía eólica

Por último, cabe mencionar la energía eólica. Es una de las formas de obtención indirecta de energía a partir de la energía solar. El sol al no incidir de igual manera en todas las partes de la superficie terrestre, provoca que algunas zonas se calienten más que otras. De esta manera, el aire de las zonas más calientes se eleva por la diferencia de densidades, creándose zonas de bajas presiones. A su vez, el aire frío, de mayor densidad, desciende generando otras zonas de altas presiones. Debido a esta diferencia de presiones que hace que el aire se mueva, se origina el viento.

La energía eólica consiste en el aprovechamiento del viento para la obtención de energía mecánica haciéndolo pasar por unos aerogeneradores. Éstos poseen un rotor que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica. Finalmente, esta energía es convertida en energía eléctrica a través de un generador (Figura X). Es importante destacar que de toda la energía cinética que posee el viento, solo se puede aprovechar un 40-45%.



Ilustración 13: Componentes de un aerogenerador.

La energía eólica es un tipo de energía también empleada desde hace siglos con los primeros molinos. Sin embargo tuvo un estancamiento hasta finales del siglo XX que despegó debido al desarrollo tecnológico, a la nueva visión de uso y al potencial que esta energía limpia tenía. Cabe destacar que España es uno de los países que mayor auge ha experimentado en cuanto al aprovechamiento de este tipo de fuente de energía.

Cada vez más se emplea la energía eólica en el sector de la construcción. Muchas viviendas utilizan aerogeneradores de mini-eólica para autoabastecerse. Estas mini instalaciones están constituidas generalmente por los siguientes elementos: el aerogenerador, un regulador eólico con resistencias de frenado, baterías donde acumular la energía eléctrica, un inversor, etc. (Figura 14).

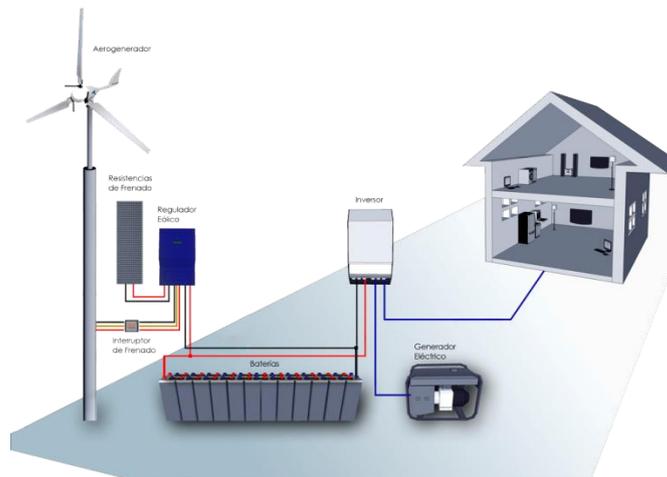


Ilustración 14: Esquema de una instalación mini-eólica.

5.3 Geotermia

Cuando se habla del aprovechamiento de recursos renovables para la obtención de distintos tipos de energía, la geotermia se refiere al aprovechamiento del calor del interior de la tierra, una fuente de energía limpia y eficiente.

La tierra está compuesta por tres capas, llegando a estar su capa más interna (el núcleo) a temperaturas de hasta 4.200 °C. Sin embargo su capa superficial (la corteza) se encuentra desde 1.000 °C hasta los 20°C de la superficie. Es esta diferencia de temperaturas tan alta la que provoca que se originen flujos de calor continuos del núcleo hacia la superficie.

Hay diferentes tipos de recursos geotérmicos que se clasifican en función del nivel de temperatura. Para aplicaciones como el autoconsumo en viviendas (para calefacción, ACS y climatización) se emplean recursos de muy baja temperatura (menos de 30 °C). Estos recursos también se conocen como ‘Recursos Someros’. Se ha excluido la generación de electricidad puesto que precisa de temperaturas mucho mayores.

Los recursos geotérmicos someros utilizan tanto el calor generado bajo la superficie terrestre, como el calor absorbido por radiación solar incidente en la superficie. Las instalaciones de geotermia de estas características extraen el calor del terreno y lo transmiten a la vivienda mediante una bomba de calor en invierno; y ceden el calor absorbido de la vivienda al terreno en verano. De esta manera se mantienen las temperaturas adecuadas en la vivienda para cada época del año (Ilustración 15).

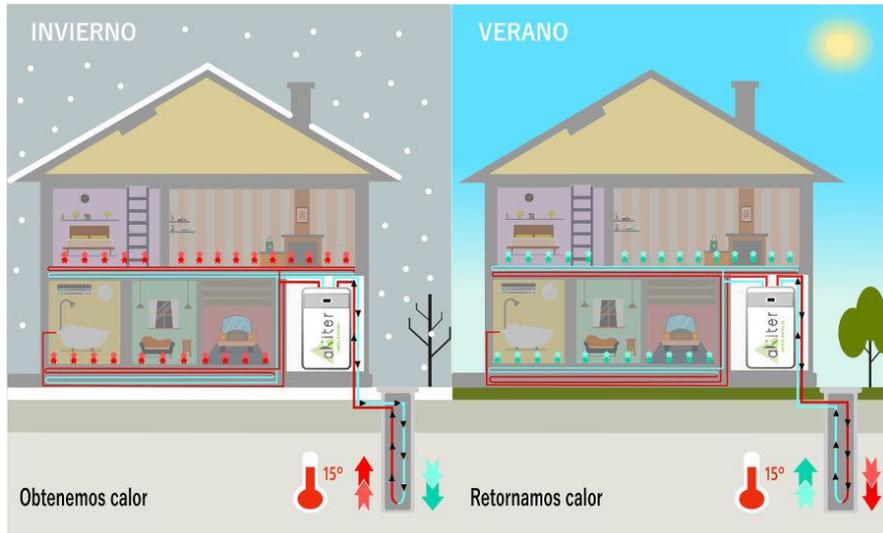


Ilustración 15: Esquema de funcionamiento de la geotermia.

En la siguiente imagen se puede observar los elementos de una instalación genérica de geotermia para viviendas:

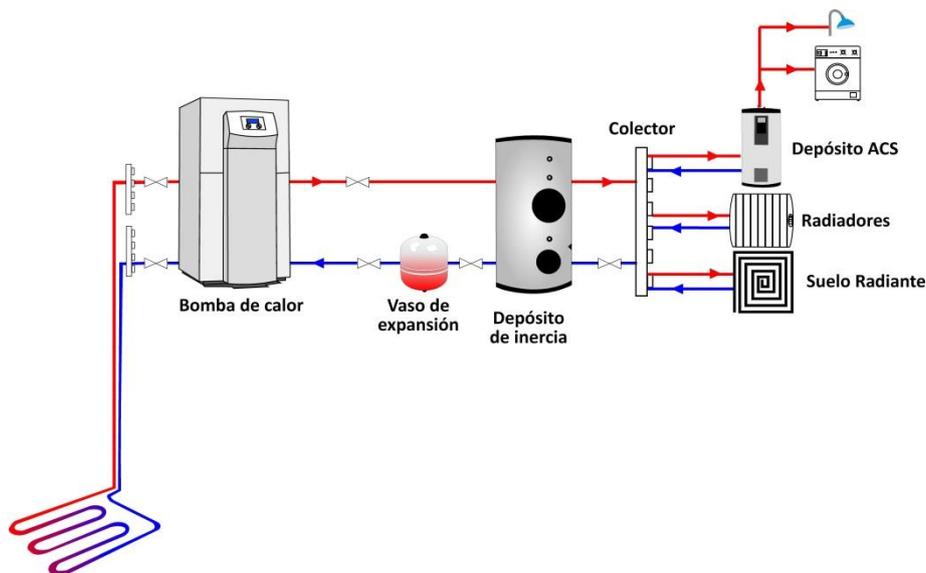


Ilustración 16: Esquema de una instalación de geotermia.

Este método de obtención de energía es muy eficiente. Actualmente ya es instalado en más de 1 millón de veces en Europa que permiten ahorrar hasta un 70% de la factura de energética. Además, tiene también como ventajas que tiene un impacto visual nulo, ya que la bomba de la instalación no emplea combustible, luego no se generan humos que haya que extraer mediante chimeneas. Y tampoco genera impacto sonoro.

5.4 Elección de alternativas

De entre las alternativas que se han expuesto, primero de todo se ha optado por cambiar la caldera actual de la casa por una caldera de biomasa para la obtención de ACS y calefacción. Esta decisión se ha basado, aparte de en todas las ventajas antes expuestas, en el alto rendimiento de las instalaciones de combustión de biomasa, aún su gran sencillez. Además, es considerada uno de los recursos renovables con mayor potencial debido a la gran cantidad de medios que España tiene para generarla (recursos agrícolas, forestales...).

En cuanto a las energías provenientes de la energía solar se ha elegido implantar paneles solares térmicos ACS y una caldera de biomasa para calefacción, que también servirá de apoyo para ACS cuando sea necesario. También se implantarán paneles fotovoltaicos para la producción de electricidad y así reducir el consumo de la red. Se ha optado por estas dos alternativas debido a su alto rendimiento en comparación con las instalaciones eólicas. Además, los paneles tienen un menor impacto visual en la vivienda y al colocarse en el tejado, no ocupan espacio útil del terreno.

Por último, se ha descartado la posibilidad de la geotermia ya que, aun siendo una opción muy ventajosa, la vivienda ya está construida y una obra de excavación para implantar la instalación de geotermia sería demasiado laboriosa. Se han considerado de mayor sencillez las alternativas mencionadas y con ellas suficiente para que la vivienda pueda autoabastecerse mediante energías renovables.

6 METODOLOGÍA, MEDIOS Y TÉCNICAS BÁSICAS

6.1 Vivienda

6.1.1 Ubicación

La vivienda que se analiza en este proyecto es una vivienda unifamiliar, ubicada en la localidad de Bakio, en la zona costera de Bizkaia. Los datos de latitud, longitud y altitud a la que se encuentra se encuentran en la siguiente ilustración.

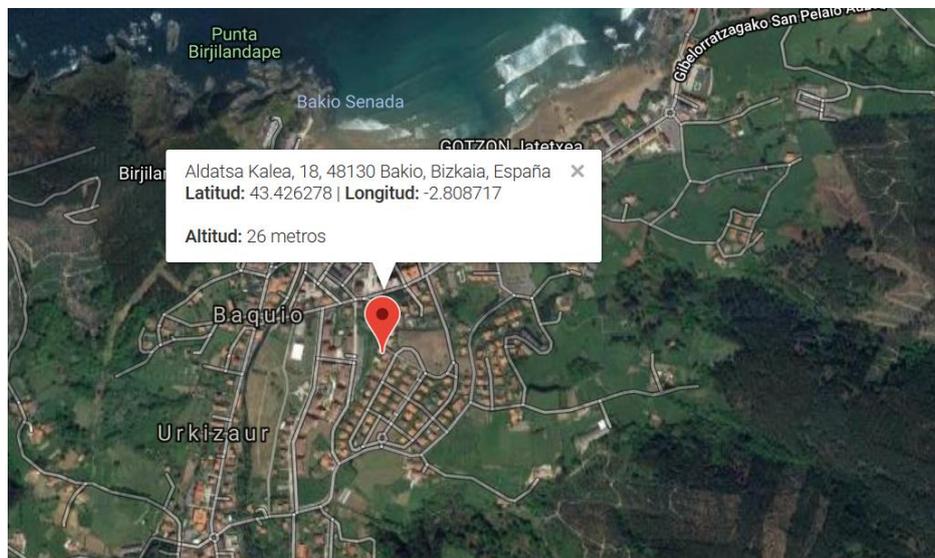


Ilustración 17: Localización de la vivienda

6.1.2 Datos climatológicos

En cuanto al clima de Bakio, la vertiente atlántica, que incluye las provincias de Bizkaia, Gipuzkoa y la zona norte de Araba, posee un clima moderado en cuanto a temperaturas, y muy lluvioso. Se conoce como clima Atlántico, es un clima templado húmedo sin estación seca.

El CTE establece una clasificación de las zonas climáticas de España. En ella clasifica Bilbao, con una altura inferior a 250m, como Zona Climática 1. Por tanto, por cercanía y ya que no existe variación del clima notable entre localidades, se considera Bakio perteneciente a dicha zona climática.

A partir de AEMET se ha obtenido un informe de temperaturas y precipitaciones medias de la localidad y se muestra en la imagen a continuación:

| Nombre del mapa | media | unidades | STD |
|--|-------|----------|-----|
| Temperatura media de las mínimas anual | 8.9 | °C | 0.5 |
| Temperatura media de las máximas anual | 18.3 | °C | 0.4 |
| Temperatura media anual | 13.6 | °C | 0.4 |
| Precipitación media anual | 1487 | mm | 11 |

| Nombre del mapa | acumulado | unidades |
|---------------------------|-----------|----------|
| Precipitación media anual | 8.93 | Hm3 |

Ilustración 18: Datos climatológicos Bakio (AEMET).

En cuanto a la irradiación global, a partir del Atlas de Radiación Solar en España se ha obtenido el siguiente gráfico.

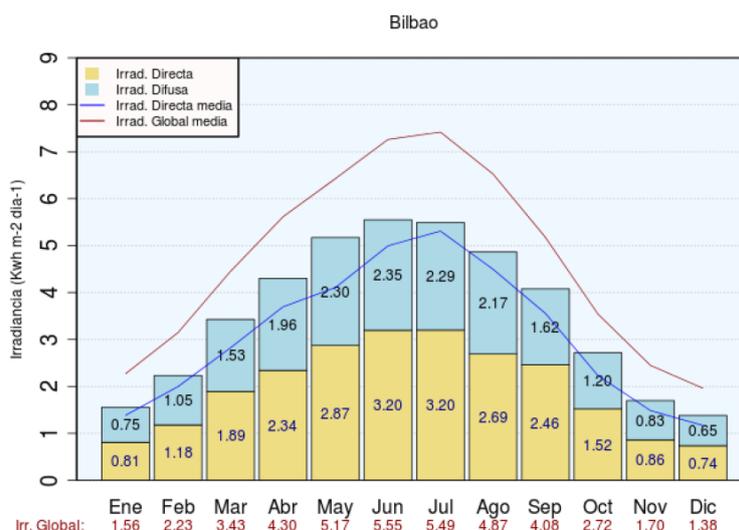


Ilustración 19: Irradiancias global, directa y difusa.

Los valores mínimos de radiación se registran durante todo el año en la zona que comprende el norte de Galicia, Cantabria, Asturias y País Vasco, especialmente en el norte de Galicia y País Vasco durante los meses de Diciembre a Febrero. Aun así los valores son suficientes para un buen aprovechamiento de la energía solar.

6.1.3 Dimensionamiento de la vivienda

La vivienda que se analiza en este proyecto es una vivienda unifamiliar de tres plantas. Planta sótano, con una superficie útil de 66m²; la planta baja, con 149.25 m² y la planta primera con una superficie útil de 117.45 m².



La disposición de cada una de las plantas es la siguiente: en la planta sótano se encuentra el garaje, con acceso desde el exterior por medio de una rampa y un una estancia empleada como txoko además del acceso al resto de plantas a través de unas escaleras. En la planta baja se disponen la cocina, el hall, un aseo interior, un tendedero, una sala de estar y el comedor. Por último, en la primera planta se encuentran las habitaciones, baños, roperos y sala de estar. Las distintas distribuciones mencionadas se pueden ver con más detalle en el Anexo I.

6.2 Análisis de la demanda energética de la vivienda

6.2.1 Demanda eléctrica

El consumo de electricidad de la vivienda se ha obtenido a partir de un estudio realizado por la IDEA sobre el consumo energético del sector residencial en España. A partir de él y, se ha obtenido que para una vivienda unifamiliar situada en la Zona Atlántico Norte (atendiendo a las zonas climáticas especificadas para el estudio SPAHOUSEC) el consumo energético unitario anual es de 16.1 GJ por vivienda. Se ha tenido en cuenta el consumo por iluminación, electrodomésticos y cocina.

Para obtener un valor más aproximado del consumo mensual se ha recurrido a una vivienda de características muy similares ubicada a menos de 15 km. Esta segunda vivienda tiene de media el siguiente consumo diario:

| MES | kWh/día | MES | kWh/día |
|---------|---------|------------|---------|
| Enero | 21,17 | Julio | 12,9 |
| Febrero | 23,44 | Agosto | 12,9 |
| Marzo | 19,35 | Septiembre | 11,67 |
| Abril | 20 | Octubre | 11,29 |
| Mayo | 15,32 | Noviembre | 15,83 |
| Junio | 15,83 | Diciembre | 15,32 |

Tabla 1: Consumo diario de electricidad.

La demanda anual de la vivienda resulta en 5.911,97 kWh, siendo 3.212,25 kWh en los meses de invierno (oct-marzo) y 2.699,72kWh en los meses de verano (may-sep).

6.2.2 Demanda térmica de ACS

Para el caso de la demanda de ACS se ha calculado según los requerimientos establecidos por el *CTE – HE 4 – Contribución solar mínima de ACS*.

Esta normativa impone que el consumo de ACS a 60 °C de una vivienda debe ser de 28 litros por persona y día. En este caso, en el que la vivienda tiene 3 dormitorios, el CTE considera que habitan como mínimo 4 personas. Además, al tratarse de una vivienda unifamiliar, se considera el factor de centralización igual a la unidad. A partir de estas consideraciones se obtiene que el consumo de 112 litros diarios de ACS.

El CTE también establece que para una vivienda situada en la zona climática I y cuya demanda es de 50-5000 litros diarios, la contribución solar mínima debe ser del 30%. Luego, mínimo deben obtenerse 33.6 litros de ACS diarios mediante energía solar.

Para calcular los kWh necesarios para la producción de los 112 litros diarios se emplea la siguiente fórmula:

Demanda mensual [kWh]

$$= \text{Consumo mensual} * \rho_{\text{agua}} * C_{p\text{agua}} * (T_{\text{consumo}} - T_{\text{red}}) * \left(\frac{1}{3600}\right)$$

Donde la densidad del agua (ρ_{agua}) es 1 kg/L, $C_{p\text{agua}}$ es 4,185 kJ/kg K y divide entre 3.600 para pasarlo a horas. En cuanto a las temperaturas, el CTE en la sección HE-4 especifica que para Bilbao son las siguientes:

| Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|
| 9 | 10 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 | 17 | 16 | 14 | 11 | 10 |

Tabla 2: Temperatura media mensual de agua fría (°C)

A partir de estos datos y mediante la ecuación descrita, se obtiene la demanda mensual de energía para ACS:

| | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T (°C) | 9 | 10 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 | 17 | 16 | 14 | 11 | 10 |
| ACS (L) | 3472 | 3136 | 3472 | 3360 | 3472 | 3360 | 3472 | 3472 | 3360 | 3472 | 3360 | 3472 |
| kWh | 205,85 | 182,28 | 201,81 | 191,39 | 189,70 | 175,77 | 173,56 | 173,56 | 171,86 | 185,67 | 191,39 | 201,81 |

Tabla 3: Demanda mensual de energía

De esta forma, el consumo anual de ACS resulta de 40.880 litros y 2.244,65 kWh.

6.2.3 Demanda térmica de calefacción

Por último, para el caso de la demanda térmica de calefacción se ha procedido calculando primeramente la carga térmica del edificio. Se han tenido en consideración tanto la carga por infiltraciones como la carga térmica a través de huecos y la carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores.

Posteriormente, siguiendo la normativa establecida por el RITE y el CTE se ha obtenido la temperatura interior exigida en calefacción y la temperatura exterior media de la localidad de la vivienda.

Por último, considerando lo anterior y teniendo en cuenta las dimensiones de la vivienda antes expuestas, se ha calculado la demanda de calefacción para cada estancia de la vivienda.

6.2.3.1 Cálculo de cargas térmicas

Carga por transmisión a través de huecos, muros y techos

La carga térmica por transmisión de calor a través de cerramientos hacia locales no calefactados o hacia el exterior se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = C_o * U * S * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde,

Co es el coeficiente de orientación del muro. Las pérdidas de calor a través de los cerramientos no son las mismas si está orientado al sur o al norte, y ello se tiene en cuenta aplicando el factor corrector adimensional Co .

U es el coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, también llamado transmitancia térmica, expresado en $W/m^2\text{°C}$.

S es la superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas, en m^2 .

T_{int} es la temperatura interior de diseño del local (°C)

T_{ext} es la temperatura exterior de cálculo al otro lado del local (°C)

En la siguiente tabla se muestran los valores de Co en función de la orientación.

| Orientación | Co |
|-------------|-------|
| Norte | 1.15 |
| Nordeste | 1.125 |
| Este | 1.10 |
| Sudeste | 1.05 |
| Sur | 1 |
| Suroeste | 1.025 |
| Oeste | 1.05 |
| Noroeste | 1.10 |

Tabla 4: Coeficiente de orientación del muro.

Primero de todo, se han calculado las superficies de huecos, muros y pilares de cada estancia que se debe calefactar de la vivienda y se han clasificado según la orientación. Estas superficies se encuentran en el Anexo II.

Después, se han seleccionado las temperaturas de operación. Como temperatura interior de diseño (T_{int}) se pueden tomar los valores de la siguiente tabla, que recoge las condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior, según las estaciones del año:

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

Tabla 5: Condiciones interiores de diseño según el RITE.

Se ha elegido una T_{int} de 21 °C de referencia en invierno.

En cuanto a la temperatura exterior de diseño (T_{ext}), se va a dimensionar las instalaciones para poder cubrir la demanda de calefacción en las situaciones más desfavorables. Luego se ha elegido la temperatura exterior mínima en invierno. Esta se ha obtenido mediante AEMET y se ha cogido como referencia la estación meteorológica de Bilbao, que registra unas temperaturas mínimas de -0.2 °C.

Para la temperatura del terreno se ha empleado la siguiente ecuación:

$$T_{\text{terreno}} = 0.0068 \cdot T_{\text{amb}}^2 + 0.963 \cdot T_{\text{amb}} + 0.6865$$

Que considerando una temperatura ambiente de 9.3 °C en invierno, se obtiene una temperatura del terreno de 10.23 °C.

Por último se han calculado las transmitancias de cada cerramiento. Para ello se ha tenido en cuenta la sección HE-1 del CTE que establece que la transmitancia térmica U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}}$$

Donde R_{tot} es la resistencia térmica total del cerramiento en $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, que en el caso de que el cerramiento este constituido por diferentes capas se calcula mediante:

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

Donde R_1, R_2, \dots, R_n son las resistencias térmicas de cada capa y R_{si} y R_{se} son respectivamente las resistencias térmicas superficiales del aire interior y exterior. Estas últimas tomarán los siguientes valores:

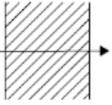
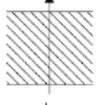
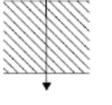
| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor | | R_{se} | R_{si} |
|--|---|----------|----------|
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal |  | 0,04 | 0,13 |
| Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$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

Tabla 6: Resistencias térmicas superficiales.

Siguiendo este procedimiento se han calculado las transmitancias para los distintos tipos de cerramientos:

- Fachadas: la vivienda tiene tres tipos de fachadas distintas. En la siguiente imagen se puede ver el corte de la fachada:

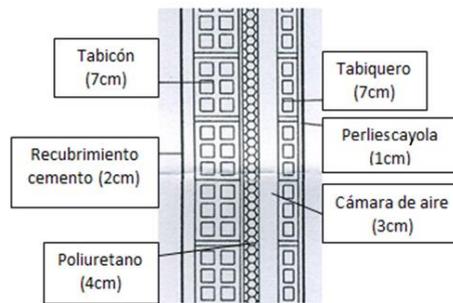


Tabla 7: Composición de la fachada tipo 1.

Los otros tipos de fachada en vez del tabicón y el recubrimiento de cemento, disponen de ladrillo caravista de $\frac{1}{2}$ pie (fachada tipo2) y de piedra y tabicón (fachada tipo3).

Teniendo en cuenta, entre otras, las siguientes conductividades térmicas:

| Material | Conductividad (W/m·K) |
|---------------|-----------------------|
| Cemento | 0.29 |
| Ladrillo rojo | 0.6 |
| Poliuretano | 0.02 |
| Aire | 0.024 |
| Perliescayola | 0.072 |

Tabla 8: Propiedades de los materiales.

Se ha obtenido finalmente que la fachada tipo 1 tiene una $U=0.268 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, la tipo 2 $U=0.27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y la tipo 3 $U=0.273 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

- Cubierta: la cubierta está compuesta por distintas capas. Desde el exterior al interior se disponen la teja de cerámica, el rastrel, aislante, un forjado de semivigueta y bovedilla de hormigón y mortero monocapa en alerones. Considerando las conductividades de cada material se obtiene una transmitancia de $0.6959 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Imagen X).

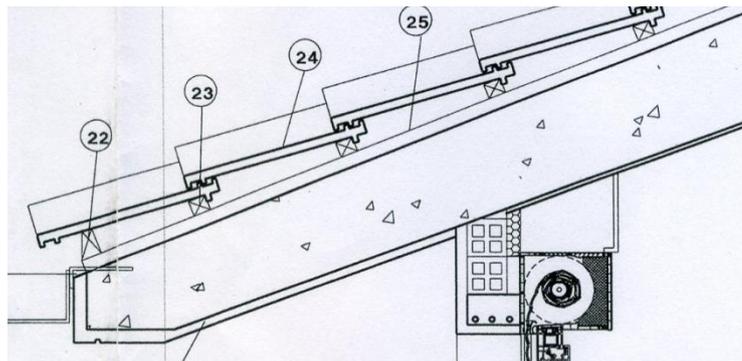


Tabla 9: Capas componentes de la cubierta.

- Los pilares se tomarán con una transmitancia de $0.824 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Huecos: hay diferentes tipos de ventanas que se agrupan en tres tipos. Para calcular la transmitancia del hueco con el marco y el vidrio debemos aplicar:

$$U_H = F_M * U_M + F_V * U_V$$

Donde

F_M es la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de la parte maciza en el caso de puertas.

F_V es la fracción del hueco ocupada por el cristal.

U_M es la transmitancia del marco.

U_V es la transmitancia del cristal

Considerando que los vidrios son Vidrios Climalit 4, 12, 4 selladas por el exterior de $U_V=1.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y la carpintería exterior es de aluminio lacado en Blanco con rotura de puente térmico de $U_M=1.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. En función del tipo de ventanas instaladas en la vivienda tendremos las siguientes transmitancias:

- Ventanas Tipo P: Área vidrio = 2.9 m^2 // Área hueco = 3.842 m^2
 $F_V = 2.9/3.842=0.755 \rightarrow F_M=0.245$
 $U_H= 1.526$

- Ventanas Tipo A: Área vidrio = 1.0883m² // Área hueco = 1.704m²
 $F_v = 0.64 \rightarrow F_m = 0.36$
 $U_H = 1.492$
- Ventanas Tipo G y C, se asumen con igual transmitancia a las de tipo A.

En el Anexo III se encuentran imágenes de los distintos tipos de ventanas.

- Forjado sanitario: tiene una transmitancia de 0.71 W/m²·K.
- Suelos interiores: tiene una transmitancia de 0.63 W/m²·K.

A partir de estas transmitancias y teniendo en cuenta las superficies y orientaciones de cada cerramiento se obtienen aplicando la ecuación antes descrita las siguientes cargas térmicas:

| Planta | Estancia | Qtrans (W) |
|---------|----------------|------------|
| Sótano | Estar | 1637,97 |
| Baja | Hall | 250,2 |
| Baja | Cocina | 448,79 |
| Baja | Tendedero | 117,07 |
| Baja | Estar | 339,73 |
| Baja | Comedor | 1865,96 |
| Primera | Hab. Principal | 1142,42 |
| Primera | Habitación 2 | 860,1 |
| Primera | Habitación 3 | 712,59 |
| Primera | Habitación 4 | 873,27 |
| Primera | Baño 1 | 712,61 |
| Primera | Baño 2 | 371,02 |
| Primera | Estar | 596,76 |

Tabla 10: Cargas térmicas por transmisión de cada estancia.

Cargas por ventilación e infiltración

La carga transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior (Q_{si}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{si} = V * \rho * C_{e,aire} * \Delta T$$

Donde,

Q_{si} es la carga térmica por infiltración y ventilación de aire exterior (W);

V es el caudal de aire infiltrado y de ventilación (m³/s);

ρ es la densidad del aire, de valor 1,18 kg/m³;

$C_{e,aire}$ es el calor específico del aire, de valor 1012 J/kg°C;

ΔT es la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior.

Para el cálculo de los caudales de ventilación tendremos en cuenta lo establecido por el CTE Salubridad. Éste determina los caudales mínimos de aire exterior necesarios para que en cada estancia no superen las concentraciones máximas de CO₂ establecidas por la norma y para que también puedan ser eliminados los contaminantes no relacionados con la vida humana. Estos valores mínimos se encuentran en las siguientes tablas.

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

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

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

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

Tabla 11: Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.

| Locales | Caudal mínimo q_v en l/s | |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | Por m ² útil | En función de otros parámetros |
| Trasteros y sus zonas comunes | 0,7 | |
| Aparcamientos y garajes | | 120 por plaza |
| Almacenes de residuos | 10 | |

Tabla 12: Caudales de ventilación mínimos en locales no habitables.

** En la zona de la cocina habrá que disponer además de una ventilación extra de 50l/s, para la eliminación de los contaminantes generados durante su uso.

A partir de estos datos y a través de la fórmula ya mencionada, se obtienen las distintas pérdidas por infiltraciones correspondientes a cada estancia de la vivienda.

| Planta | Estancia | V (m ³ /s) | ΔT | Q (W) |
|---------|----------------|-----------------------|------|----------|
| Sótano | Estar | 0,01 | 21,2 | 253,16 |
| Baja | Hall | 0 | 21,2 | 0 |
| Baja | Cocina | 0,058 | 21,2 | 1468,34 |
| Baja | Tendedero | 0,008 | 21,2 | 202,53 |
| Baja | Estar | 0,01 | 21,2 | 253,16 |
| Baja | Comedor | 0,01 | 21,2 | 253,16 |
| Primera | Hab. Principal | 0,008 | 21,2 | 202,53 |
| Primera | Habitación 2 | 0,004 | 21,2 | 101,26 |
| Primera | Habitación 3 | 0,004 | 21,2 | 101,26 |
| Primera | Habitación 4 | 0,004 | 21,2 | 101,26 |
| Primera | Baño 1 | 0,008 | 21,2 | 202,53 |
| Primera | Baño 2 | 0,008 | 21,2 | 202,53 |
| Primera | Estar | 0,001 | 21,2 | 25,32 |
| | | | | |
| TOTAL | | | | 3367,054 |

Tabla 13: Cargas térmicas por infiltración.

Las cargas térmicas totales (infiltraciones más transmisión) resultan las siguientes:

| Planta | Estancia | Qtot (W) |
|---------|----------------|----------|
| Sótano | Estar | 1891,13 |
| Baja | Hall | 250,20 |
| Baja | Cocina | 1917,13 |
| Baja | Tendedero | 319,60 |
| Baja | Estar | 592,89 |
| Baja | Comedor | 2119,12 |
| Primera | Hab. Principal | 1344,95 |
| Primera | Habitación 2 | 961,36 |
| Primera | Habitación 3 | 813,85 |
| Primera | Habitación 4 | 974,53 |
| Primera | Baño 1 | 915,14 |
| Primera | Baño 2 | 573,55 |
| Primera | Estar | 622,08 |

Tabla 14: Cargas térmicas totales.

6.3 Diseño de las instalaciones

6.3.1 Instalación térmica de energía solar

Como ya se ha mencionado anteriormente, se instalará un sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica para el consumo de ACS. A priori se expondrá brevemente en qué consiste una instalación de energía solar térmica y a continuación se desarrollan los distintos componentes necesarios para su instalación para el caso de la vivienda y de la demanda en cuestión.

6.3.1.1 Fundamento teórico

El cuanto al fundamento teórico, la energía solar térmica es empleada para calentar un fluido (fluido calo-portador) que circula por el interior de un colector. Este calor es posteriormente transmitido mediante un intercambiador al agua de consumo, que normalmente se acumula en un depósito. Dicho proceso puede verse en la figura siguiente. Además de los componentes mencionados, la instalación dispondrá también de un sistema hidráulico de bombeo, de ciertos elementos de seguridad, un vaso de expansión... que posteriormente se explicarán.

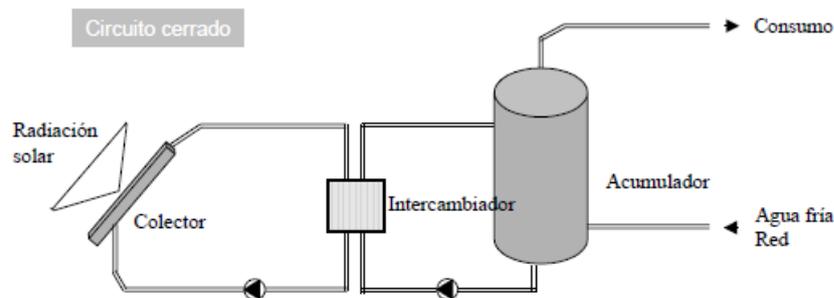


Ilustración 20: Esquema de instalación de circuito cerrado.

Los sistemas solares dispondrán también de una caldera de apoyo, ya que generalmente no se suelen diseñar para cubrir el 100% de la demanda. Esto es debido a que cubrir la totalidad de la demanda supondría un dimensionamiento de la instalación para las peores épocas del año, quedando casi sin uso en las mejores. La caldera de apoyo mencionada será una caldera de biomasa, para seguir en la línea de empleo de energías renovables, cuya instalación se desarrolla a continuación de la instalación solar térmica.

6.3.1.2 Diseño del sistema captador

Captadores solares

Es el elemento del sistema que capta la energía solar incidente. Sus componentes principales se muestran en la figura siguiente:

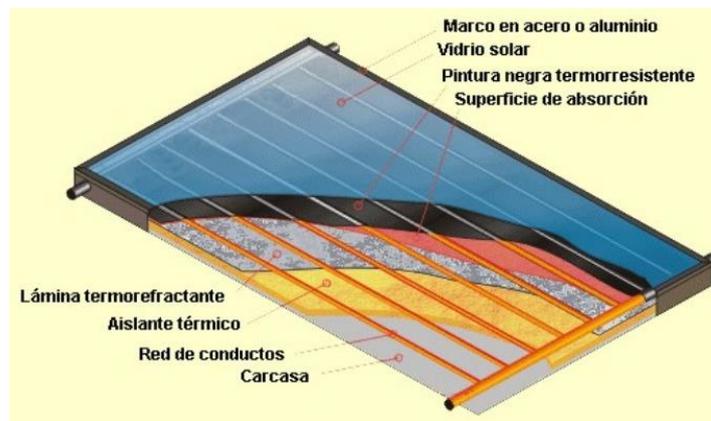
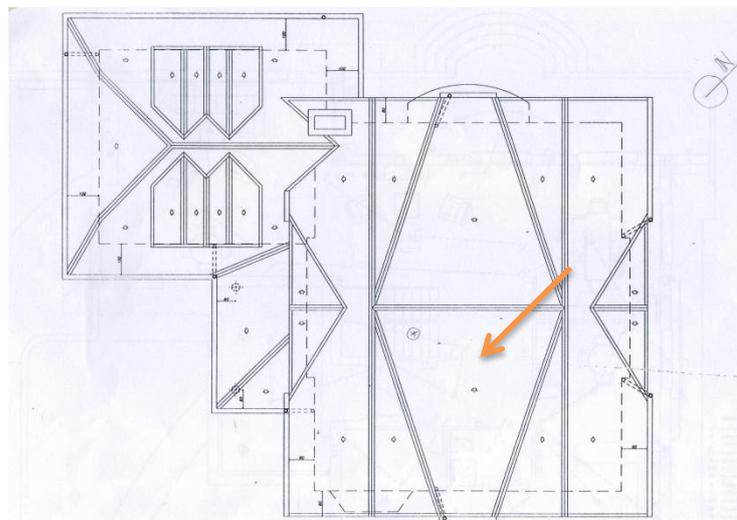


Ilustración 21: Componentes del colector de placa plana.

Se ha optado por colectores solares planos integrados sobre el tejado, mediante bastidores. Debido a la irregularidad de la cubierta de la vivienda, se han analizado las orientaciones de las distintas aguas y se ha optado por la colocación de los colectores en el agua de orientación suroeste, cuya inclinación es de 15° y con una superficie de unos 26m^2 aproximadamente (Ilustración 5).



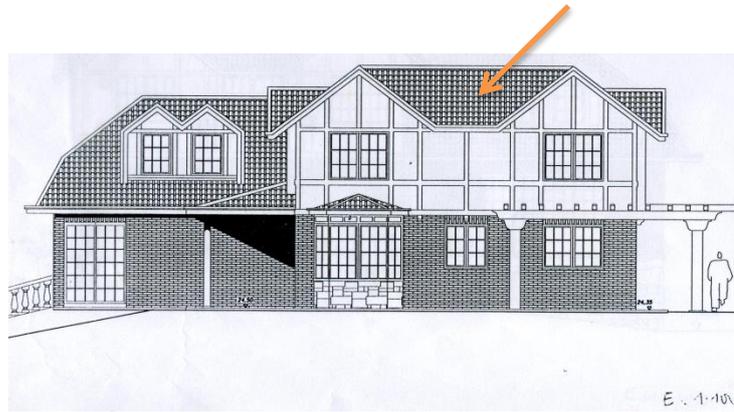


Ilustración 22: Ala de situación de los captadores solares.

A partir del *Atlas de Radiación Solar* se ha obtenido que para dicha orientación e inclinación la irradiación global media diaria anual es de 3.351 kWh/m². En la siguiente tabla se encuentran los valores mensuales de la irradiación global:

| MES | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| kWh/m ² | 1,58 | 2,22 | 3,04 | 3,99 | 4,73 | 5,07 | 5,09 | 4,69 | 3,80 | 2,78 | 1,91 | 1,31 |

Tabla 15: Irradiación global para orientación suroeste e inclinación 15°

Se han escogido captadores solares T20-US de TERMICOL Gamme Excel de aproximadamente 2 m², debido a su versatilidad y características que garantizan una eficiencia alta incluso en zonas frías. Entonces, de cada captador, para la irradiación de 1,31 kWh/m² en el caso más desfavorable (diciembre) se puede obtener una potencia de 2,62 kWh diaria.



Ilustración 23: captador solar T-US

Como anteriormente se ha comentado, el consumo de ACS (a 60 °C) de la vivienda es de 112 litros diarios y para suplirlo son necesarios 2.244,65 kWh anuales.

Para los meses de invierno son necesarios unos 200 kWh, luego en el caso de diciembre 6,49 kWh diarios. Luego se van a instalar dos colectores obteniendo 5,24 kWh/día, que no es el 100% de la demanda, pero se supera con creces el mínimo establecido por el CTE, que como se ha dicho antes es la opción más óptima. La demanda restante se cubrira mediante la caldera de biomasa cuyo desarrollo se expone más adelante.

La conexión entre las placas será en serie, ya que aunque este tipo de conexión reduzca el rendimiento térmico de los captadores, tiene como ventaja que el caudal total es menor. Esto implica que los diámetros de las tuberías, los recorridos y tamaños de las bombas serán menores. Luego supone una reducción en costes tanto de instalación como de mantenimiento.

6.3.1.3 Sistema de intercambiador-acumulación

En cuanto al dimensionamiento del acumulador se realizará de forma que pueda abastecer como mínimo el consumo diario. Se recomienda un volumen de entre 50 y 100 litros por m² de superficie captadora. Se ha escogido un volumen de 50 litros por m², luego es necesario un acumulador de 200 litros, que además es superior al volumen de la demanda diaria de ACS.

Se ha optado por un depósito con intercambiador de serpentín integrado SANIT SE 200 de la marca DOMUSA TEKNIK. Es un interacumulador de clase B de eficiencia energética, que dispone un sistema de control y regulación que puede combinarse con cualquier tipo de caldera. Utiliza un intercambiador de serpentín de gran recorrido que permite mejorar la eficiencia de intercambio manteniendo temperaturas homogéneas a lo largo de todo el depósito.



Tabla 16: Intercambiador SANIT SE 200

El intercambiador está equipado además con una bomba de carga de primario, sistemas de seguridad de ACS y una brida de inspección, que permite realizar la limpieza del interior del depósito.

6.3.1.4 Circuito hidráulico

Fluido calo-portador

Como se ha mencionado antes, el fluido calo-portador es aquel que circula por el circuito primario de la instalación térmica. En las aplicaciones de ACS el fluido comúnmente empleado es agua. Para evitar problemas de congelación del fluido por heladas es recomendable emplear mezclas de agua potable y de anticongelantes. Hasta hace un par de años se empleaba el propilenglicol como tal, pero debido a su prohibición se emplea el etilenglicol como anticongelante. La proporción será 70% agua y 30% anticongelante.

En cuanto al caudal volumétrico, se recomienda que sea de unos 50 litros/m² h, luego para 4 m² de superficie colectora, el caudal del circuito primario resulta de 200 litros.

Vasos de expansión

Para evitar problemas de sobrecalentamiento se emplean vasos de expansión. Cuando el fluido se sobrecalienta además de que pueden darse problemas de corrosión de la instalación, pueden generarse sobrepresiones en el circuito muy peligrosas en circuitos cerrados. Estas sobrepresiones se contrarrestan con vasos de expansión.

Según el CTE los vasos de expansión cerrados deberán ser capaces de compensar una dilatación de como mínimo el 6% del volumen total del circuito primario. Luego siendo éste de 200 litros, se optará por un vaso de expansión de 12 litros. Se ha seleccionado por tanto, el modelo 12 SMF de Industrias Ibaiondo S.A.



Tabla 17: Vaso de expansión 12 SMF de 12 L

Bombas de impulsión

Al tratarse de un sistema forzado en el que es necesario el impulso del agua en la instalación, debe disponerse de bombas de impulsión. El CTE impone la siguiente norma para la potencia eléctrica máxima de las bombas:

| Sistema | Potencia eléctrica de la bomba |
|------------------|--|
| Sistema pequeño | 50 W o 2% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores |
| Sistemas grandes | 1 % de la mayor potencia calorífica que puede suministrar el grupo de captadores |

Tabla 18: Potencia eléctrica máxima de la bomba

Siguiendo estas indicaciones se ha seleccionado la bomba BOMBAD-05 de TERMICOL para el circuito secundario, indicada para instalaciones de 1 a 6 captadores. En cuanto a la bomba de circulación del circuito primario, ésta viene incluida con el intercambiador-acumulador.



Tabla 19: Bomba de circulación Termicol.

Sistemas de seguridad y control

La instalación térmica debe disponer de diferentes elementos de seguridad. Por un lado debe tener un sistema de control que controle el funcionamiento del circuito

primario y secundario. Su función es regular los flujos de energía asegurando que no se superen las temperaturas máximas soportadas por los componentes de la instalación y logrando así el funcionamiento óptimo del sistema. Se ha seleccionado el sistema de control CENTRALI-07, Termicol Básica STDC para ACS.



Tabla 20: Sistema de control de TERMICOL.

Por otro lado, debe disponer también de un sistema de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas... Para ello se dispone como se ha mencionado ya de un vaso de expansión para evitar sobrecalentamientos y de anticongelante en el circuito primario para proteger frente a heladas. Además, deberá disponerse de elementos de purga para así evitar la formación de bolsas de aire en el interior de las tuberías.

6.3.2 Instalación de biomasa

Como se ha mencionado antes, se colocará una caldera de biomasa para cubrir la demanda de calefacción, que además servirá de apoyo de la instalación solar térmica para ACS en los meses más desfavorables. Actualmente, la vivienda dispone de una caldera de gas situada en el tendedero de la planta baja, que se sustituirá por la caldera de biomasa.

Como se ha desarrollado en el apartado 5.1, estas instalaciones consisten en calderas que mediante la combustión de biocombustibles se genera energía para su posterior uso. Hay muchos tipos de biocombustibles: pellets, astillas, residuos agroindustriales, leña... Se han escogido los pellets ya que aun no siendo la alternativa más económica, tiene las siguientes ventajas:

- Es un biocombustible prefabricado muy fácil de obtener en cualquier tienda.
- No necesita de un proceso de secado previo a la combustión.
- Produce un bajo contenido en cenizas.

- Posee un alto PCI y bajo porcentaje de humedad.

A continuación, se desarrollan los diferentes elementos que componen la instalación siguiendo la normativa del RITE y la ‘Guía Técnica de instalaciones de biomasa en edificios’.

6.3.2.1 Elementos de la instalación

Caldera de biomasa

Al tratarse de una vivienda unifamiliar utilizada como residencia habitual se ha escogido una caldera pequeña de baja potencia. Esta caldera debe tener una potencia tal que pueda cubrir la demanda de calefacción y además de poder cubrir la demanda de ACS que con los colectores solares no se puede cubrir.

Entonces, para la calefacción serán necesarios como mínimo 13295,54 W, obtenidos a partir de la carga térmica del edificio calculada en el apartado 6.2.3.

En cuanto al ACS, según los cálculos de la instalación solar térmica, en el mes más desfavorable (Diciembre) quedaban sin cubrir 39,37kWh. Para obtener la potencia necesaria se supone que la caldera está en funcionamiento 8 horas diarias en los meses de máxima demanda energética y mediante la siguiente ecuación:

$$Potencia [kW] = \frac{Demanda\ mensual\ ACS}{n^{\circ}\ días\ del\ mes * horas\ funcionamiento}$$

Se obtiene que la caldera debe aportar también 158,75 W para ACS. Por lo tanto, la caldera debe ser de como mínimo 13,45 kW. Atendiendo a este resultado, se ha escogido una caldera Bioclass HM de 16 kW de DOMUSA TEKNIK que se emplea con pellets y con un rendimiento del 93,5%. Además, viene equipada con un sinfín de alimentación.



Tabla 21: Caldera Bioclass HM de 16 kW.

Otras de las razones de la elección de esta caldera es que incorpora una modulación electrónica que ajusta la potencia de la caldera a la demanda en cada momento.

También, dispone de un conjunto de turbuladores que eliminan restos de cenizas en los pasos de humos, disminuyendo así la contaminación atmosférica. En algunos casos se pueden emplear equipos adicionales de separación de partículas para reducir en mayor medida la contaminación.

Por último, dispone de un sistema de limpieza de cenizas automático que se encarga de enviar periódicamente las cenizas generadas en la combustión al cenicero. Y de ahí, se pueden recoger manualmente.

Sistema de almacenamiento de la biomasa

El IDEA dicta que las instalaciones de biomasa deben disponer de un sistema de almacenamiento del biocombustible que puede ser prefabricado o de obra (de nueva construcción). En este caso se ha seleccionado un almacenamiento prefabricado: un contenedor o tolva exterior, que es muy común en el caso de viviendas unifamiliares. Para calcular el tamaño del contenedor hay que tener en cuenta la demanda que tiene que cubrir y las características de la caldera y el biocombustible. Así, mediante la ecuación:

$$\text{Consumo pellets [kg/s]} = \frac{\text{Demanda energetica [kJ]}}{\eta * \text{PCI pellets} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}$$

Se obtiene que para una demanda de 13.45kW y un rendimiento del 93,5% y un PCI de los pellets de 18.000 kJ/kg, son necesarios 0.00079 kg/s (suponiendo la situación más desfavorable). Por lo tanto, como se ha supuesto que el funcionamiento de la caldera es de 8 horas diarias, serán necesarios 713.5 kg de pellets en el mes de diciembre.

Para este cálculo se han escogido pellets de alta calidad que según el IDEA tienen como PCI mínimo 18.000 kJ/kg, densidad mínima 1.120 kg/m³, humedad relativa máxima de 10% en masa y contenido en cenizas máximo de 0,5% en peso.

Teniendo en cuenta la densidad de los pellets, será necesario un depósito acumulador de $0,637 \text{ m}^3$ como mínimo. Siguiendo estos requerimientos, se selecciona un silo SP120G de $1,3 \text{ m}^3$ de la marca SUPERSILO que incluye una boca de llenado y es adaptable a sistemas de extracción por sinfín rígido y flexible.



Tabla 22: Silo SP120G.

Sala de calderas

La elección de la sala de calderas para una instalación de biomasa resulta de las partes más complicadas en edificios ya construidos. En este caso la caldera de gas se ubica en el tendedero de la planta baja. Debido al reducido tamaño de la estancia y a que la caldera de biomasa requiere de más elementos adicionales, se reubicara al garaje de la planta sótano donde hay espacio suficiente y además cumple el requisito del RITE que establece que la sala de calderas debe tener una altura mínima de 2,5 m.

El silo se colocara en la sala de calderas junto a la caldera de biomasa, y el suministro del biocombustible a la caldera se hará mediante un sinfín (Ilustración 23).

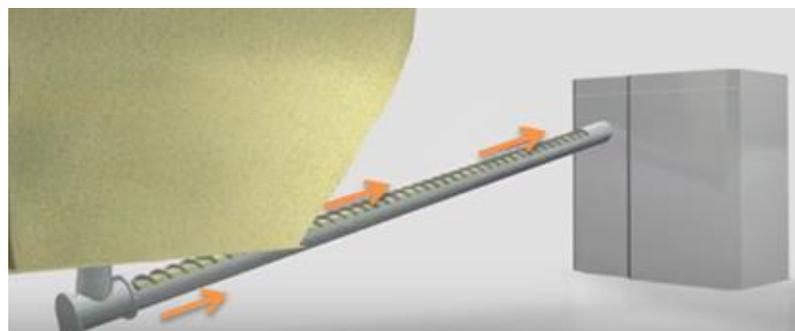


Tabla 23: Alimentación de biocombustible mediante sinfín.

Para cumplir con la normativa del RITE hay que tener en cuenta también que la sala de calderas debe tener una determinada ventilación natural. Ésta debe ser, en cm^2 , 5

veces la potencia nominal instalada en kW. Por lo tanto, para una potencia de 16 kW, se deberá disponer de una ventilación natural de 80 cm². Aspecto fácil de conseguir, teniendo en cuenta que se trata del garaje, que ya dispone de ventilación por distintas aberturas como la puerta de acceso para los coches.

Sistema de suministro del biocombustible

El llenado del silo se llevará a cabo mediante un sistema neumático que lleva los pellets desde el camión de suministro al silo. Por lo que habrá que hacerse la obra civil correspondiente habilitando una tubería por la que introducir la biomasa desde el camión. En las siguientes ilustraciones se muestra cómo resultaría el sistema de suministro de los pellets.

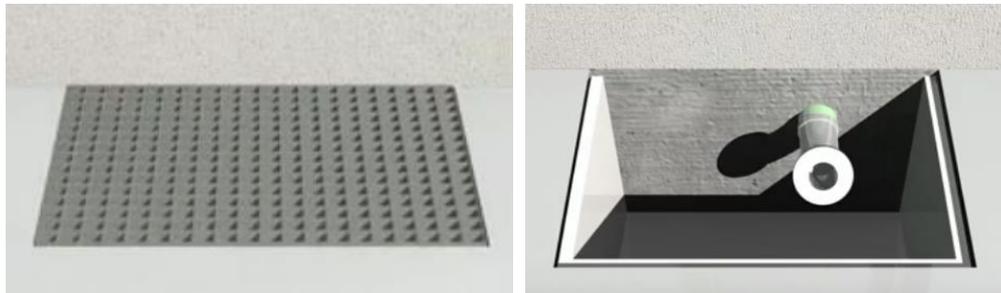


Tabla 24: Esquema sistema de suministro del biocombustible.

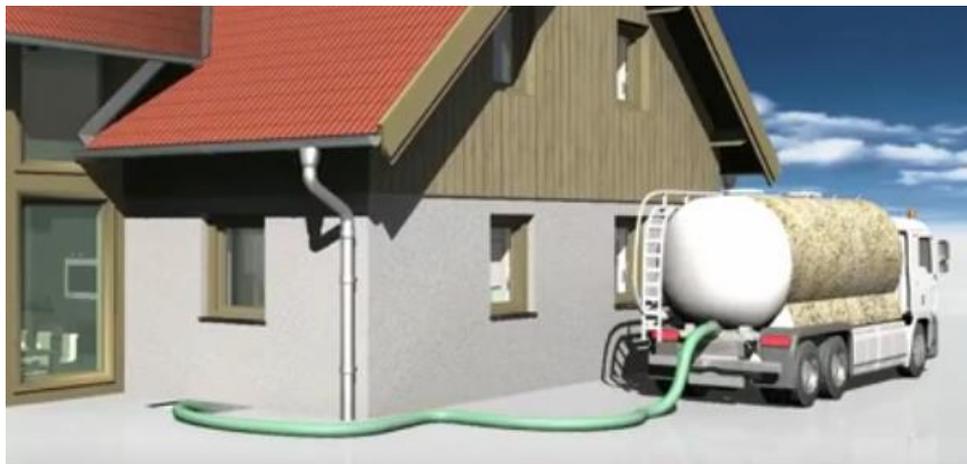


Tabla 25: Sistema de alimentación.

Depósito de inercia

Las calderas de biomasa no tienen un funcionamiento continuo y precisan de tiempos de arranque de entre 10 y 15 minutos. Además, no están funcionando durante

todo el día, si no que como se ha mencionado se considera que trabajan en torno a 8 horas diarias. Es decir, la respuesta de la caldera no es inmediata.

Para solventar este inconveniente, se propone la instalación de un depósito de inercia cuya función es almacenar el calor residual para su posterior uso y así aumentar la eficiencia de la instalación.

El RITE recomienda que el depósito de inercia sea de unos 10-15 litros por kW de potencia instalada. Luego para una potencia instalada de 16 kW, se optará por el “Depósito de Inercia Serie COOL - de 100 a 500 Litros” del Grupo BIOSAN.



Tabla 26: Depósito de inercia Serie COOL.

Depósito acumulador de ACS

La instalación de biomasa también se emplea para el suministro de ACS cuando el aporte solar no sea suficiente; por tanto, la instalación deberá disponer también de un depósito acumulador de esta ACS. Teniendo en cuenta que para la instalación solar térmica se ha empleado un sistema acumulador de 200 litros; se estima que para la energía que hay que cubrir mediante la instalación de biomasa es suficiente con un depósito de 100 litros.

Se escoge, por tanto, un intercambiador SANIT SE 100 de la misma marca DOMUSA TEKNIK.

Chimenea de humos

Al igual que en la combustión de otros combustibles, en el proceso de combustión de la biomasa se generan humos que hay que evacuar mediante las

instalaciones adecuadas. Para el caso de la biomasa también se utilizan chimeneas de humos, pero con la desventaja de que deben prever volúmenes de gases ligeramente superiores a los casos de otros combustibles. Esto se debe a la humedad de los biocombustibles, que en la combustión se evapora mezclándose con el resto de gases de combustión.

La norma establece que esta evacuación de gases debe hacerse por la cubierta de la vivienda mediante un nuevo conducto adecuado. Según las especificaciones del fabricante de la caldera, el diámetro de la salida de humos debe ser de 125 mm. Luego el área de salida de humos será de 122.7 cm^2 . La altura aproximada del tramo recto de la chimenea deberá ser de 7 metros.

Es importante a la hora de la instalación de la chimenea que ésta sea de materiales resistentes a la temperatura de los productos de la combustión. Además, debe estar bien aislada para evitar que los gases se condensen en su recorrido por la chimenea. Se ha escogido un Kit Chimenea 125 Doble Pared 316/304 con 5 módulos extra de 1m para cumplir con la altura especificada.

Sistema de control

La instalación precisa también de un sistema de control que permita regular el funcionamiento de los equipos, que permita ser capaz de dar la orden de la puesta en marcha y parada de los equipos, la modificación del régimen de funcionamiento, etc. para así garantizar las condiciones óptimas de combustión, aumentando la eficiencia y disminuyendo las emisiones de gases.

Hoy en día hay diversos tipos de unidades de control. Para la instalación en cuestión, es recomendable una unidad de control remoto que permita regular y gestionar el circuito de calefacción y los depósitos de inercia y de ACS.

Radiadores

Para los radiadores se ha seleccionado la marca Baxi y siguiendo la demanda de calefacción expuesta en la sección 6.2.3 se ha seleccionado el tipo de radiador y el número de elementos de cada radiador para cada estancia de la vivienda. Todo ello se refleja en la siguiente tabla:

| Planta | Estancia | Qtot (W) | Tipo radiador | Pot. (W/elem) | | Nºelem. | Qreal (W) |
|---------|----------------|----------|---------------|---------------|-------|---------|------------|
| Sótano | Sala de juegos | 1891,13 | Dubal 80 | 155,5 | 12,16 | 13 | 2021,5 |
| Baja | Hall | 250,20 | Dubal 80 | 155,5 | 1,61 | 2 | 311 |
| Baja | Cocina | 1917,13 | Dubal 80 | 155,5 | 12,33 | 13 | 2021,5 |
| Baja | Tendedero | 319,60 | Dubal 80 | 155,5 | 2,06 | 3 | 466,5 |
| Baja | Estar | 592,89 | Dubal 80 | 155,5 | 3,81 | 4 | 622 |
| Baja | Comedor | 2119,12 | Dubal 80 (x2) | 155,5 | 13,63 | 7(x2) | 1088,5(x2) |
| Primera | Hab. Principal | 1344,95 | Dubal 70 | 138,5 | 9,71 | 10 | 1385 |
| Primera | Habitación 2 | 961,36 | Dubal 70 | 138,5 | 6,94 | 7 | 969,5 |
| Primera | Habitación 3 | 813,85 | Dubal 70 | 138,5 | 5,88 | 6 | 831 |
| Primera | Habitación 4 | 974,53 | Dubal 70 | 138,5 | 7,04 | 8 | 1108 |
| Primera | Baño 1 | 915,14 | Dubal 80 | 155,5 | 5,89 | 6 | 933 |
| Primera | Baño 2 | 573,55 | Dubal 80 | 155,5 | 3,69 | 4 | 622 |
| Primera | Estar | 622,08 | Dubal 70 | 138,5 | 4,49 | 5 | 692,5 |

Tabla 27: Radiadores Baxi Dubal para cada estancia.

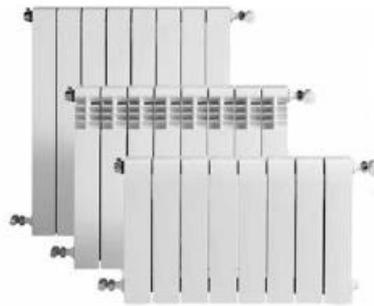


Ilustración 24: Radiadores Baxi Dubal.

6.3.3 Instalación solar fotovoltaica

Siguiendo el objetivo de tratar de aprovechar al máximo los recursos renovables que nos ofrece el planeta, se propone a continuación la instalación de paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda de electricidad que se ha calculado en la sección 6.2.1 de este proyecto.

Como bien se ha desarrollado anteriormente las instalaciones fotovoltaicas consisten en la colocación de células fotovoltaicas que consiguen crear una corriente eléctrica, mediante la energía que les proporcionan los fotones de la radiación solar incidente. Se ha optado por una instalación fotovoltaica directamente conectada a la red. Estas instalaciones requieren de los siguientes componentes:

- Generadores fotovoltaicos que generen la corriente eléctrica.

- Reguladores de carga para proteger a las baterías frente a problemas de sobrecargas o sobre-descargas.
- Inversores que convierten la corriente continua generada en corriente alterna para su posterior uso.

En la siguiente ilustración se puede observar un esquema de la instalación que se propone a continuación:



Ilustración 25: Esquema instalación fotovoltaica.

6.3.3.1 Elementos de la instalación

Módulos fotovoltaicos

Al igual que para la instalación de los colectores solares térmicos, se ha escogido la misma parte de la cubierta para la colocación de los módulos fotovoltaicos. Esta elección se ha basado en tratar de mimetizar al máximo los aprovechamientos de energía renovables con el ambiente, buscando la mejor orientación posible teniendo en cuenta la irradiación solar.

Para calcular el número de módulos fotovoltaicos necesarios para cubrir la demanda se emplean los datos mensuales de radiación obtenidos por el Atlas de Radiación Solar para la localidad de Bakio, una inclinación de 15° y orientación sur-este.

| MES | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| kWh/m ² | 1,58 | 2,22 | 3,04 | 3,99 | 4,73 | 5,07 | 5,09 | 4,69 | 3,80 | 2,78 | 1,91 | 1,31 |

Tabla 28: Irradiación global mensual para orientación suroeste e inclinación 15º

Se observa que los meses de invierno son los meses que menos irradiación reciben y que menos horas de luz tienen, luego se realizará el dimensionamiento de la instalación en base a los datos del mes más desfavorable. Habitualmente se suele utilizar como período de diseño los meses de invierno.

Siguiendo la normativa establecida por el IDEA para nuestra localidad de 43º de latitud, la inclinación óptima resulta de unos 53º. Como la cubierta tiene una inclinación de 15º, harán falta de soportes que inclinen los paneles 40º más.

Se ha escogido un el ‘Panel Solar 325W 24V Talesun Policristalino’ con una potencia de pico de 330 W.



Ilustración 26: Panel fotovoltaico.

La potencia obtenida por los paneles fotovoltaicos depende de factores como la climatología la inclinación, orientación u horas de radiación solar. Para calcular en número de paneles fotovoltaicos necesarios, se emplea la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{\text{Consumo diario mensual}}{\text{HSP} * \text{Rendimiento general} * \text{Potencia pico módulo}}$$

El rendimiento general de la instalación se supone del 90% y la potencia pico del módulo es de 330 W y el HSP son las horas de sol pico. Para calcular este último, se considera la irradiación del mes considerado (1,58 kWh/m² en enero), que se multiplica por un factor de corrección atmosférica (en este caso 1,05 al ubicarse la vivienda en una atmósfera limpia) y por el factor K, que según la tabla anterior es de 1,7 para. Luego se obtiene un valor de HSP de 2,82 horas.

A partir de estos datos y para una demanda de 21.170Wh, se obtiene que serían necesarios 26 paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos seleccionados tienen una superficie de casi 2 m². Luego en la parte de la cubierta que se ha elegido para su instalación no habría espacio suficiente para la colocación de todos ellos. Por tanto, se plantean dos alternativas:

Alternativa 1

Esta primera opción plantea la posibilidad de colocar únicamente los paneles fotovoltaicos posibles para la superficie de la cubierta disponible. Y la demanda de electricidad que quedara sin suplir, se cubriría mediante el aporte de la red eléctrica común.

Alternativa 2

Debido a la irregularidad de la cubierta y a que emplear soportes que inclinen los paneles puede originar problemas (acumulación de suciedad, resistencia al viento...), se plantea también la posibilidad de instalarlos en el jardín, donde habría de suficiente espacio para la implantación de todos ellos. Los inconvenientes serían el impacto visual que generarían y de la reducción de superficie útil del jardín que actualmente disponen. Además, habría que tener en cuenta las posibles sombras de la vegetación, que disminuirían la irradiación incidente en los paneles.

Se opta por la primera alternativa, que es la más viable teniendo en cuenta las características de la vivienda. Además, aunque no se cubra toda la demanda de electricidad, se contribuye en la medida de lo posible al empleo de energías renovables para el autoconsumo de la vivienda.

Luego teniendo en cuenta la superficie ocupada por los colectores solares térmicos, se opta por instalar 7 paneles fotovoltaicos. Por tanto, se podrá obtener una potencia de 6kWh aproximadamente. Los 15 kWh restantes, se obtendrán de la red convencional.

Regulador

Para evitar sobrecargas o sobre-descargas se instalan reguladores de carga en el sistema. Éstos dependen de la intensidad máxima de trabajo (8,76A cada panel) y el

voltaje en el que se haya diseñado la instalación (24V en este caso). Instalando 7 paneles se tiene una intensidad total de 60,7A. Luego, se ha seleccionado el regulador ‘Regulador 12V / 24V 40A PWM Must Solar’, que al ser de 40A deberán instalarse dos reguladores.



Ilustración 27: Regulador de carga.

Inversor

Por última la instalación fotovoltaica necesita de un inversor que convierta en CA de 220V la electricidad generada y así poder emplearla para cualquier aparato o electrodoméstico de la vivienda. Para calcular la potencia del inversor se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Potencia inversor} = f * \sum \text{potencias nominales de los equipos consumidores}$$

Donde f es un coeficiente de simultaneidad que normalmente toma valores entre 0,5 y 0,7. Entonces, se obtiene que para una potencia instalada de 2.310 W (considerando los 7 paneles fotovoltaicos) es necesario un inversor de 1155W. Como se ha planteado una instalación fotovoltaica de conexión directa a la red, no se dispone de baterías acumuladoras; por ello se ha escogido un inversor de conexión a red: ‘Inversor Red FRONIUS Primo 3.0-1 3kW’, válido hasta 3kW.



Ilustración 28: Inversor Red FRONIUS

8 PRESUPUESTO

En esta sección del proyecto se va a realizar, de forma aproximada, un análisis económico de lo que conllevaría la puesta en marcha de las instalaciones.

8.1 Costes de instalación

En las siguientes tablas se desglosa el coste (IVA incluido) de los elementos de las diferentes instalaciones propuestas en el proyecto.

- Instalación solar térmica:

| Elemento | Coste unitario | Coste total |
|----------------------------------|----------------|-------------------|
| Paneles solares T-US de TERMICOL | 580,00 € | 1.160,00 € |
| Intercambiador SANIT SE 200 | 1.222,10 € | 1.222,10 € |
| Vaso de expansión 12 SMF de 12 L | 20,68 € | 20,68 € |
| Bomba de circulación TERMICOL | 375,00 € | 375,00 € |
| Sistema de control de TERMICOL | 210,00 € | 210,00 € |
| COSTE TOTAL | | 2.987,78 € |

Ilustración 29: Coste de la instalación solar térmica.

- Instalación de biomasa:

| Elemento | Coste unitario | Coste total |
|-------------------------------------|----------------|-------------------|
| Caldera Bioclass HM de 16 kW | 2.820,00 € | 2.820,00 € |
| Silo SP120G para pellets | 1.437,00 € | 1.437,00 € |
| Depósito de inercia Serie COOL | 372,32 € | 372,32 € |
| Acumulador SANIT SE 100 | 752,00 € | 752,00 € |
| Radiadores Baxi | | 1.765,25 € |
| Kit Chimenea 125 Doble Pared 316/30 | 247,28 € | 247,28 € |
| Módulos | 60,00 € | 300,00 € |
| COSTE TOTAL | | 7.693,85 € |

Ilustración 30: Costes instalación biomasa.

En cuanto a los radiadores que se han propuesto para la instalación, en la siguiente tabla se muestra el desglose de precios por estancia:

| Planta | Estancia | Nºelementos | Coste/elem | Ctot (€) |
|---------|----------------|-------------|------------|----------|
| Sótano | Sala de juegos | 13 | 19,15 | 248,95 |
| Baja | Hall | 2 | 19,15 | 38,3 |
| Baja | Cocina | 13 | 19,15 | 248,95 |
| Baja | Tendedero | 3 | 19,15 | 57,45 |
| Baja | Estar | 4 | 19,15 | 76,6 |
| Baja | Comedor | 7(x2) | 19,15 | 268,1 |
| Primera | Hab. Principal | 10 | 17,65 | 176,5 |
| Primera | Habitación 2 | 7 | 17,65 | 123,55 |
| Primera | Habitación 3 | 6 | 17,65 | 105,9 |
| Primera | Habitación 4 | 8 | 17,65 | 141,2 |
| Primera | Baño 1 | 6 | 19,15 | 114,9 |
| Primera | Baño 2 | 4 | 19,15 | 76,6 |
| Primera | Estar | 5 | 17,65 | 88,25 |
| TOTAL | | | | 1.765,25 |

Ilustración 31: Coste radiadores Baxi.

- Instalación solar fotovoltaica:

| Elemento | Coste unitario | Coste total |
|---|----------------|-------------|
| Panel Solar 325W 24V Talesun Policristalino | 190,60 € | 1.334,2 € |
| Regulador 12V / 24V 40A PWM Must Solar | 96,58 € | 193,16 € |
| Inversor Red FRONIUS Primo 3.0-1 3kW | 1.157,68 € | 1.157,68 € |
| COSTE TOTAL | | 2.684,74 € |

Ilustración 32: Costes instalación fotovoltaica.

En el análisis económico hay que tener en cuenta también otros factores que entran en juego: la obra civil necesaria para la colocación de las instalaciones, presupuesto de reserva para imprevistos, coste financiero, costes indirectos... Se considera que los costes de mano de obra para cada instalación son aproximadamente un 5% del coste total.

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Coste total elementos | 13.366,37 € |
| Mano de obra e instalación (5%) | 688,32 € |
| Costes indirectos (7%) | 935,65 € |
| Imprevistos (10%) | 1.336,64 € |
| COSTE TOTAL | 16.306,97 € |

Ilustración 33: Costes totales.

8.2 Costes de explotación

La explotación de las instalaciones conlleva que se requiera de un mantenimiento anual de las instalaciones. Se supone que los costes de mantenimiento de las instalaciones suponen un 0,5% del coste total anteriormente calculado, luego resultaría un gasto adicional de 81,53 € anuales.

En cuanto a la explotación de la instalación de biomasa, hay que añadir los costes de la cantidad de pellets empleados en la caldera. El consumo de pellets en el mes de diciembre es de 713.5 kg. Teniendo en cuenta que la calefacción solo se emplea en los meses fríos, se estima un consumo de pellets 3000kg anuales. Suponiendo un precio del biocombustible de 0,27 €/kg, conlleva un gasto adicional de 810 €.

En cuanto a la instalación solar fotovoltaica, como parte de la demanda es cubierta por la red eléctrica convencional, hay que incluirlo en los gastos de Aproximadamente 15 kWh diarios son obtenidos de la red y a un precio de 0,149€/kWh, supone un coste de 815,775 € anuales. A este precio hay que añadirle el impuesto sobre la electricidad y después el IVA, luego resulta un coste de 1.037,53 € anuales. No se le añade ningún 'impuesto al sol' ya que se trata de una instalación de menos de 10kW.

Por lo tanto, los costes de explotación resultan 1.929,06€ anuales.

8.3 Costes de explotación de la instalación térmica actual

En cuanto al coste de la electricidad, actualmente toda la demanda eléctrica se extrae de la red convencional. Esto, siguiendo el mismo procedimiento de antes, conlleva un coste de 1.452,54 € anuales.

Para el cálculo de los costes de calefacción y ACS, se considera una vivienda de características muy similares situada en la zona. Ésta tiene un consumo medio de gas natural de 2,43 € diarios, que anualmente supone un coste de 886,95 €. Teniendo en cuenta unos gastos de mantenimiento de la instalación de 200€, se obtiene un coste total para ACS y calefacción de 1.086,95 €.

Por lo tanto, los costes totales de explotación actual son de 2.539,49 €

9 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En este apartado se procede a analizar la rentabilidad del proyecto propuesto. Para ello, se tiene en cuenta la inversión inicial realizada y el beneficio anual obtenido.

En cuanto a la inversión inicial realizada, ésta corresponde, según los gastos calculados en la sección anterior, a 16.306,97 €.

Para calcular el beneficio anual obtenido hay que tener en cuenta los costes de explotación de la instalación térmica actual en la vivienda y los costes de explotación de las nuevas instalaciones propuestas. El beneficio anual es de 610,43 €.

A partir de estos datos se puede calcular el tiempo necesario para rentabilizar la inversión inicial (Payback).

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Inversión}}{\textit{Beneficio anual}}$$

Luego obtenemos un payback de 26,71 años.

10 CONCLUSIONES

Como conclusión de este proyecto podemos observar cómo es posible ser responsable con el medio ambiente y cuidar nuestro planeta.

Es cierto que hay que realizar una inversión inicial que puede resultar rechazo por parte de las personas para adentrarse en el proyecto. Sin embargo, hemos comprobado cómo tras unos años se obtiene un beneficio económico considerable. Pero más allá del beneficio económico, el mayor beneficio que se obtiene es la contribución a reducir el uso de combustibles fósiles y recursos no renovables que tanto daño están haciendo a la tierra.

Por eso con este proyecto se trata de mentalizar y educar a la gente sobre las posibilidades que están al alcance de su mano para cuidar el medioambiente. Posibilidades que no son tan complicadas ni costosas como desgraciadamente opina la mayoría de personas.

Se ha concluido también que España, siendo uno de los países europeos con mayor potencial solar y geotérmico, no aprovecha ese potencial como pudiera llegar a hacerlo. Por ello, queremos animar también a las personas a que se unan a la causa de las energías renovables.

LISTADO DE REFERENCIAS

- Introducción y contexto. Marco energético mundial:

<https://www.iea.org/statistics/>

<http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/protocolo-kioto.aspx>

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es

- Clima Euskadi:

http://www.euskalmet.euskadi.eus/s07-5921/es/contenidos/informacion/cla_clasificacion/es_7264/es_clasificacion.html

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte.html>

- Demanda energética: eléctrica y ACS:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DccHE.pdf>

<https://www.terra.org/data/cteseccionhe4.pdf>

- Cálculo de cargas térmicas por transmisión:

http://www.ingenierosindustriales.com/wp-content/uploads/2009/04/calculo_carga_termica.pdf

- Energía eólica. Aerogeneradores:

<https://www.iberdrola.com/te-interesa/medio-ambiente/energia-eolica>

- Biomasa:

<https://www.certificadosenergeticos.com/biomasa-acsc-calefaccion-refrigeracion-viviendas>

http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Guia_Instalaciones_Biomasa.pdf

<http://www.seccion.es/renovables/instalaciones-de-biomasa-todo-lo-que-debes-saber-para-proyectarlas/>

- Elementos para biomasa: caldera, silo, depósitos, chimenea de humos:

<https://www.domusateknik.com/es/gestor/recursos/uploads/archivos/catalogos/biomasa/bioclass/bioclass.pdf>

https://www.supersilo.es/images/downloads/supersilo-katalog_es.pdf

<http://grupobiosan.com/depositos-de-inercia-acumuladores-acsc/depositos-de-inercia-para-calefaccion/deposito-de-inercia-calefaccion-refrigeracion.html>

<https://www.caloronline.es/shop/product/kit-chimenea-125-doble-pared-316304/>

- Radiadores Baxi:

<https://www.baxi.es/-/media/websites/baxies/files/catalogo-2017-bajaress.pdf>

- Energía solar en edificación:

https://egela1718.ehu.es/pluginfile.php/585892/mod_folder/content/0/02%20SOLAR/SOLAR%20TERMICA/Energia%20Solar%20en%20Edificacion.pdf?forcedownload=1

- Energía solar térmica en viviendas:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/82289/Instalacion+de+energ%EDa+solar+t%E9rmica+en+viviendas.pdf;jsessionid=47A342CC38D6A6503018EAD7F8588D41?sequence=1>

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Prod14_ST_viviendas_unifamiliares_04_3_bcfa905.pdf

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1663/Alonso%20Garc%c3%ada%20%20.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

<http://www.sitiosolar.com/proyecto.pdf>

- Elementos energía solar térmica: colectores, intercambiador, vaso de expansión, bomba de circulación y sistemas de control:

<http://www.termicol.es/uploads/files/entrada-5488524682f11-1.pdf>

<https://www.domusateknik.com/es/gestor/recursos/uploads/archivos/catalogos/acumuladores-agua-caliente/SANIT.pdf>

http://www.materialescalefaccion.com/CatalogosPDF/Catalogo_lbaiondo.pdf

<http://www.termicol.es/accesorios/productos>

- Energía fotovoltaica en viviendas:

http://www.idae.es/file/9057/download?token=6Ft_4gHQ

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19920/Sanchez_Ferradal_Estefania_TFG_2017.pdf.pdf?sequence=2

- Elementos instalación fotovoltaica: Paneles, regulador de carga e inversor:

<https://autosolar.es/pdf/ficha-tecnica-talesun-325-poli.pdf>

<https://autosolar.es/reguladores-de-carga-pwm/regulador-12v-24v-40a-pwm-must-solar>

<https://autosolar.es/inversores-de-red-monofasicos/inversor-red-fronius-primo-30-1-3kw>

- Costes:

https://ahorraclima.es/calderas-de-pellets/domusa-bioclass-hm-16-1274.html?gclid=CjwKCAjws8vaBRBFEiwAQfhs-JcV3EfggYryh-OUTfOeC3EZPwYGVk9llkxvCzbHE_b6av8DMphmPRoCUeQQAvD_BwE

<https://www.saneamientosdimasa.es/descargas/TERMICOL%202017.pdf>

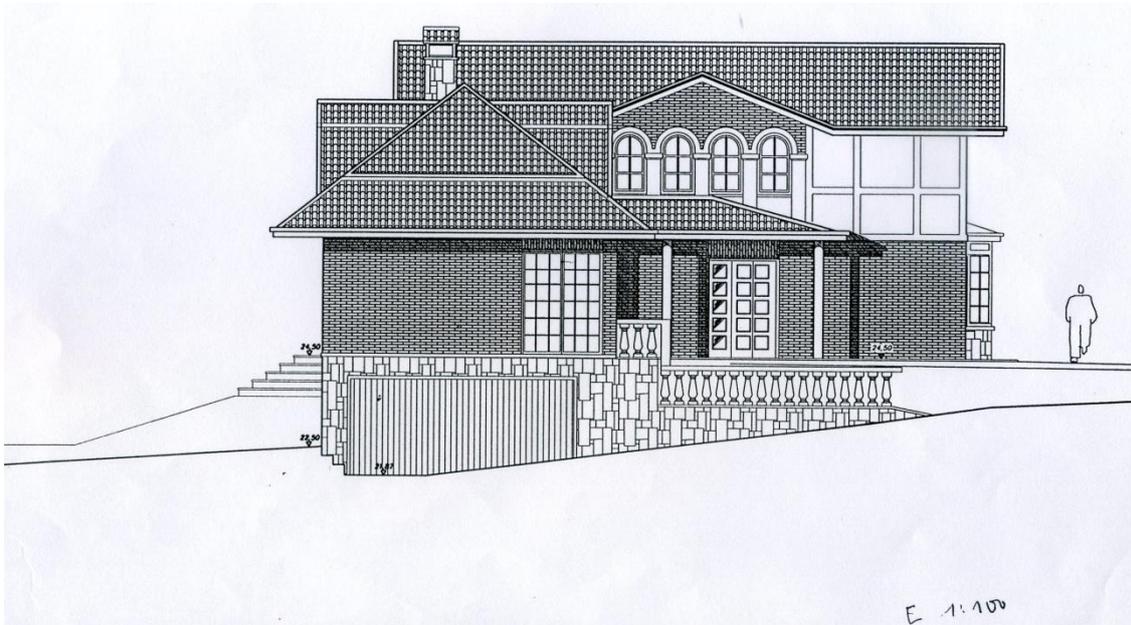
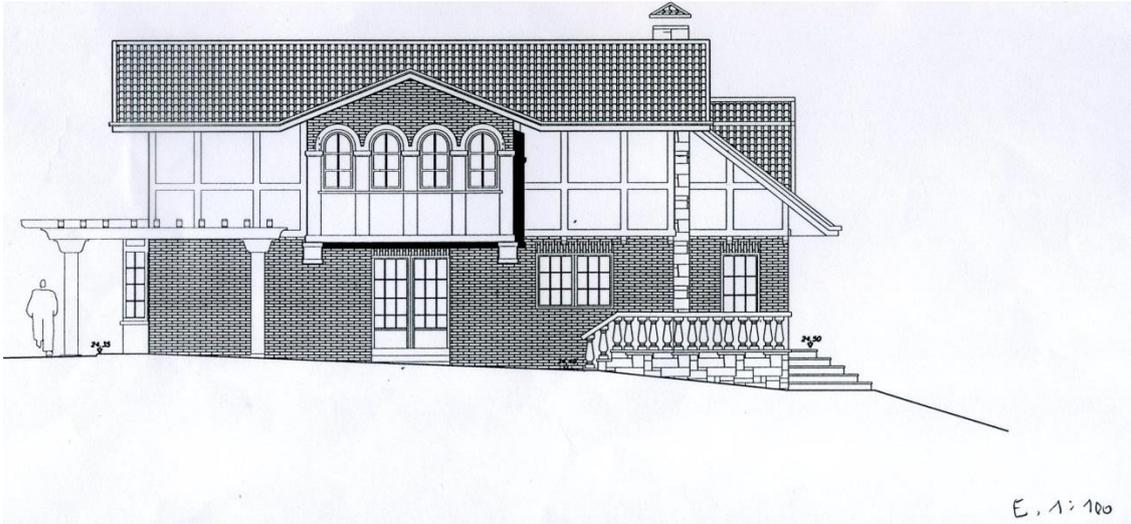
<https://centralbiomasa.com/acumuladores/acumuladores-sanit-s-200-litros-para-agua-caliente-sanitaria-acs-acero-inoxidable-domusa>

https://www.disalcli.com/images/pdf/ES_TARIFA%20SUPERSILO%202016.pdf

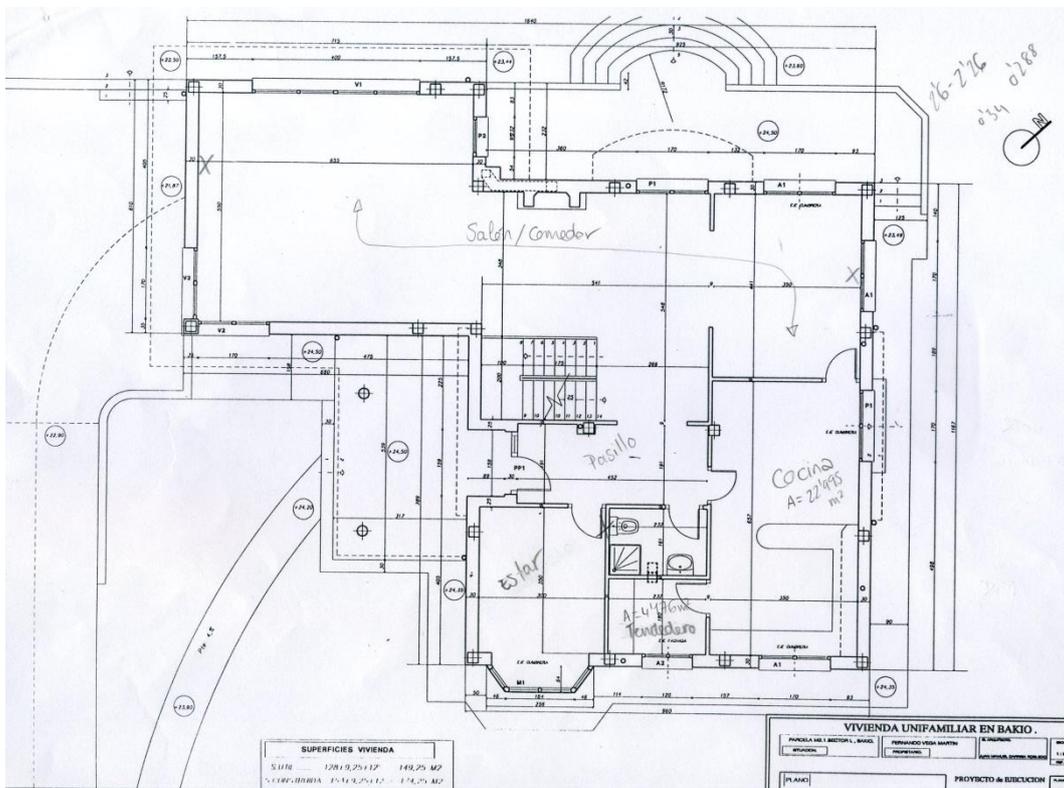
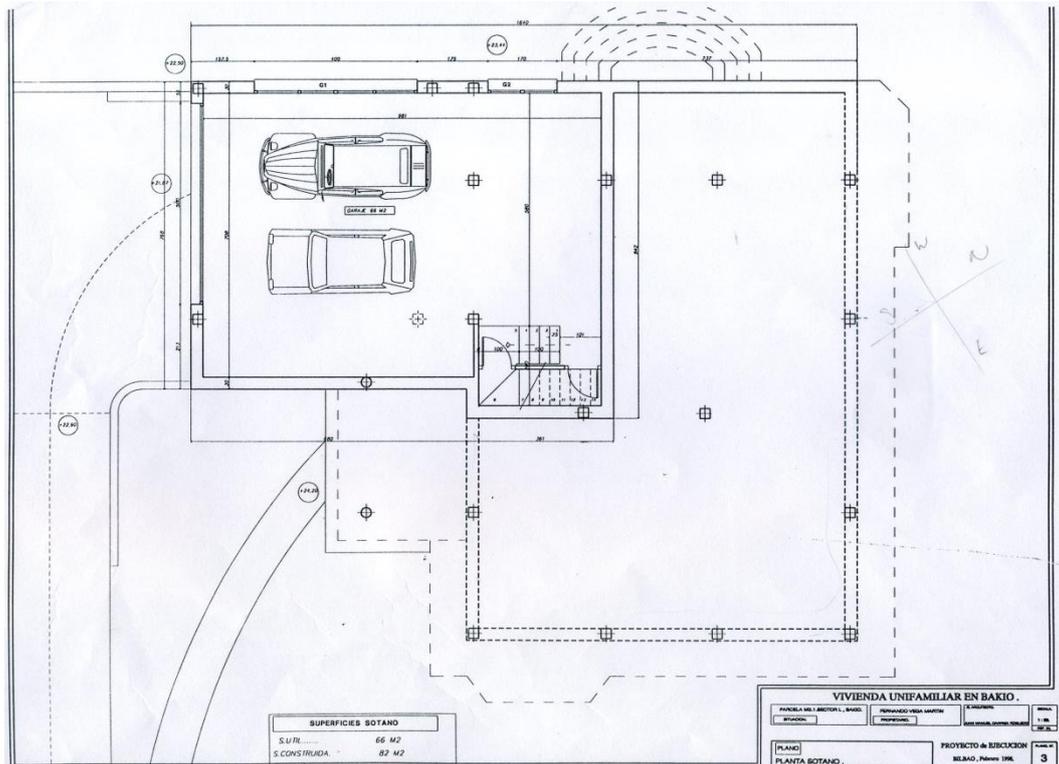
ANEXOS

ANEXO I: Planos

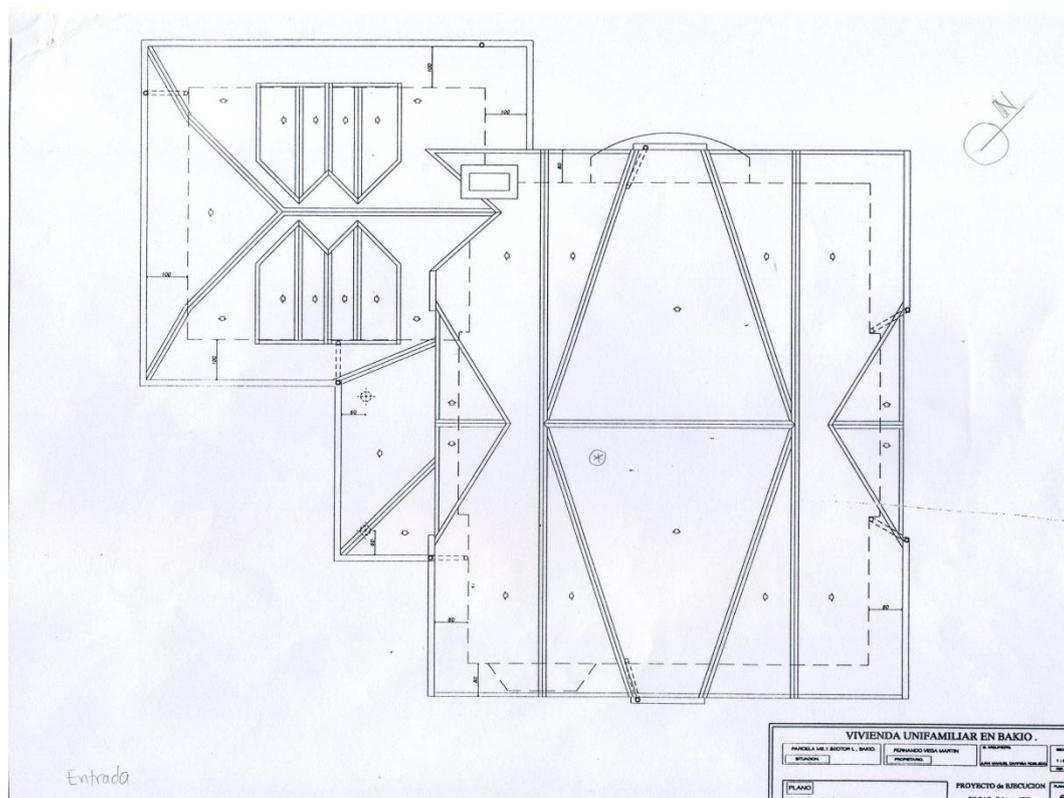
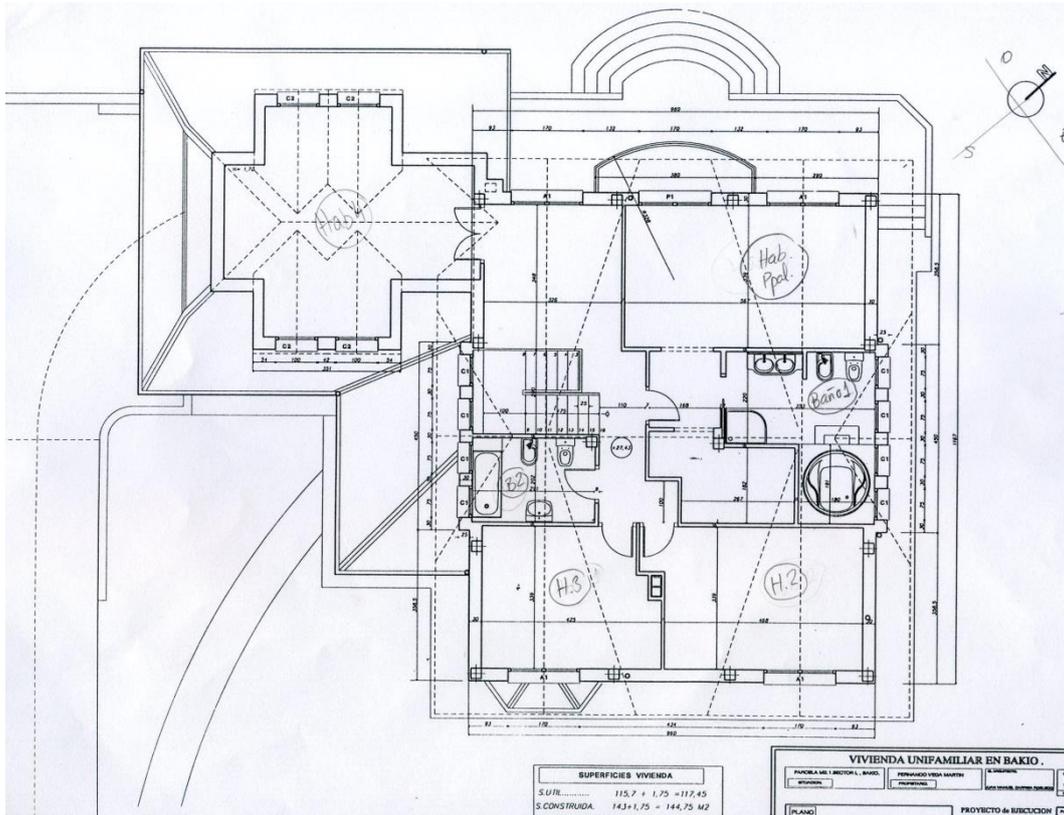




Rehabilitación de las instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar



Rehabilitación de las instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar



ANEXO II: Superficies de cerramientos exteriores para carga térmica según orientaciones.

PLANTA PRIMERA

- Habitación 1:
 - NOROESTE:
Muro tipo 1: 10.8465 m².
Hueco A1 y P1: 6.256 m².
Pilares: 1.356 m².
 - NORDESTE:
Muro tipo 1: 7.4241 m².
Pilares: 0.678 m².
- Baño 1:
 - NOROESTE:
Muro tipo 1: 5.685 m².
Muro tipo 2: 5.1014 m².
Hueco C1: 5.36 m².
- Habitación 2:
 - NORDESTE:
Muro tipo 1: 7.4241 m².
Pilar: 0.678 m².
 - SUDESTE:
Muro tipo 1: 11.2081 m².
Hueco A1: 2.414 m².
Pilar: 0.678 m².
- Habitación 3:
 - SUDESTE:
Muro tipo 1: 10.2363 m².
Hueco A1: 2.414 m².
Pilar: 0.678 m².
 - SUROESTE:
Muro tipo 1: 6.9834 m².
Pilar: 0.678 m².
- Baño 2:
 - SUROESTE
Muro tipo 2.8425m2.
Muro tipo 2: 2.5507 m2.
Hueco C1: 2.68 m2.
- Habitación 4: Solo cubierta.
- Estar:
 - NOROESTE:
Muro tipo 1: 11.524 m2.
Hueco: 2.414 m2.
Pilar: 0.678 m2.
- Cubierta total: 290 m2.

PLANTA BAJA

- Hall:
 - SUROESTE: 3.3 m².
- Cocina:
 - SUDESTE:
 - Hueco A1: 2.414 m².
 - Muro 2: 4.918 m².
 - Pilares: 1.56 m².
 - NORDESTE:
 - Hueco P1 3.842 m².
 - Muro 2: 11.966 m².
 - Pilares: 1.56 m².
- Tendedero:
 - SUDESTE:
 - Hueco A2: 1.704 m².
 - Muro2: 4.952 m².
 - Pilares: 0.78 m².
- Estar:
 - SUROESTE:
 - Pilares: 1.56 m².
 - Muro 2: 8.97 m².
 - NOROESTE:
 - Muro 2: 2.314 m².
 - SUDESTE:
 - Hueco: 5.274 m².
 - Muro 2: 1.04 m².
 - Pilares: 0.78 m².
- Comedor:
 - NOROESTE:
 - Muro: 11.323 m².
 - Hueco A1: 2.414 m².
 - Hueco P2: 2.147 m².
 - Pilares: 2.34 m².
 - NORDESTE:
 - Muro: 18.5 m².
 - Huecos: 15.296 m².
 - Pilares: 4.68
 - SUROESTE:
 - Muro: 10.328 m².
 - Hueco: 3.842 m².
 - Pilar: 0.78 m².
 - SUDESTE:
 - Muro: 12.148 m².
 - Hueco: 3.842 m².
 - Pilar: 0.78 m².

PLANTA SÓTANO

- Sala Estar:
 - NOROESTE:
 - Muro: 4.82 m².
 - Muro soterrado: 9.98 m².
 - NORDESTE:
 - Muro: 33.2 m².
 - SUDESTE:
 - Muro: 23 m².
 - SUROESTE:
 - Muro: 13.34 m².
 - Tabique con garaje: 18.68 m².
 - Pilar con garaje: 0.69 m².
- Solera:
 - 66 m² de superficie útil.
 - 88 m² de superficie construida.

ANEXO III: Huecos.

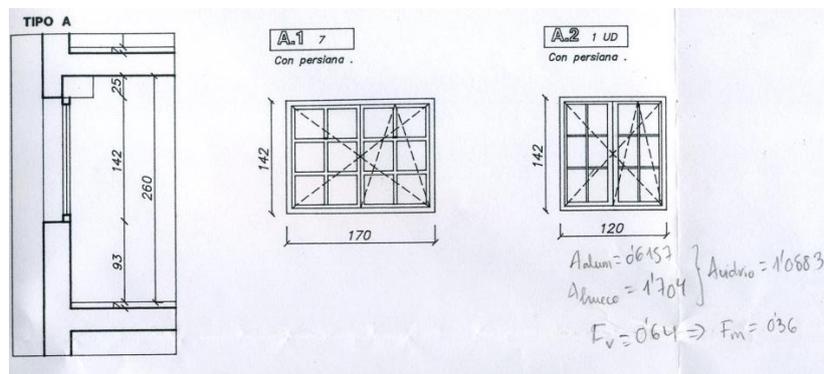


Tabla 29: Ventana tipo A.

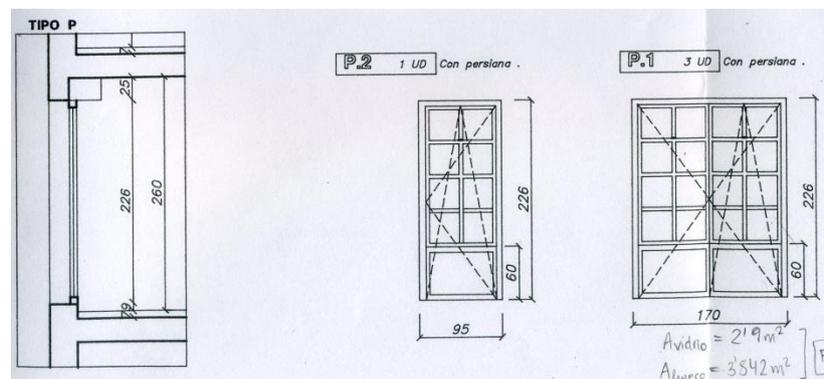


Tabla 30: Ventana tipo P.

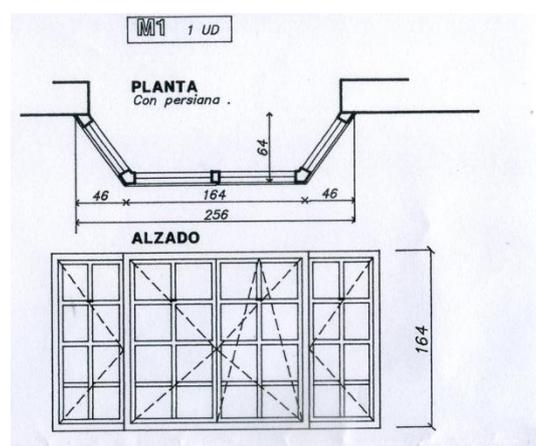


Tabla 31: Ventana tipo M.

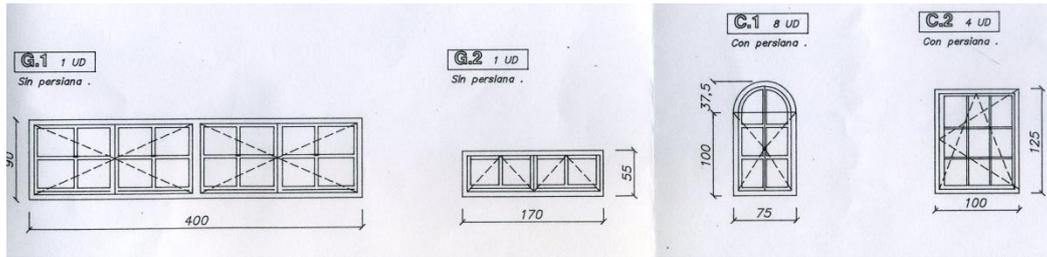


Tabla 32: Ventanas tipo G y C.

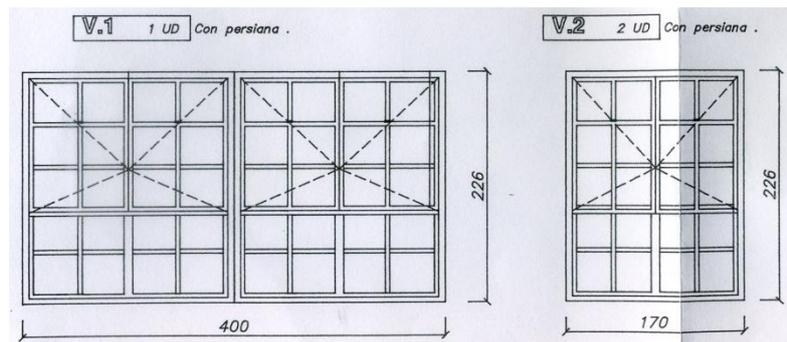


Tabla 33: Ventanas tipo V.