**TRABAJO FIN DE GRADO**

**ANÁLISIS DE INSTALACIONES DE ACS MEDIANTE ENERGÍA TÉRMICA SOLAR**

**Equipo de Proyecto:**

|  |  |
| --- | --- |
| **ESTUDIANTE** | **DIRECTORA** |
| **Ziortza ALTUBE MUÑOZ** | **Estibaliz PÉREZ IRIBARREN** |

**Curso académico: 2017-2018**

INDICE DE CONTENIDOS

[1. DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO 6](#_Toc507142265)

[2. INTRODUCCIÓN 7](#_Toc507142266)

[3. CONTEXTO 8](#_Toc507142267)

[4. OBJETIVOS Y ALCANCE 11](#_Toc507142268)

[5. BENEFICIOS QUE APORTA EL PROYECTO 12](#_Toc507142269)

[6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA 13](#_Toc507142270)

[6.1 Sistema de captación 13](#_Toc507142271)

[6.2 Sistema de acumulación 15](#_Toc507142272)

[6.3 Sistema de intercambio 17](#_Toc507142273)

[6.4 Sistema de control y sistema de disipación 18](#_Toc507142274)

[6.5 Sistema de apoyo 18](#_Toc507142275)

[6.6 Descripción del circuito hidráulico 19](#_Toc507142276)

[7. METODOLOGIA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO 21](#_Toc507142277)

[7.1 Datos de partida 21](#_Toc507142278)

[7.1.1 Condiciones de uso de la instalación 21](#_Toc507142279)

[7.1.2 Datos climatológicos 23](#_Toc507142280)

[7.1.3 Datos geográficos 23](#_Toc507142281)

[7.1.4 Contribución solar mínima 23](#_Toc507142282)

[7.2 Cálculo de la demanda energética 24](#_Toc507142283)

[8. ANÁLISIS DE RESULTADOS 27](#_Toc507142284)

[9. ANÁLISIS ECONÓMICO 31](#_Toc507142285)

[9.1 Coste de inversión 31](#_Toc507142286)

[9.1.1 Instalación solar 31](#_Toc507142287)

[9.1.2 Caldera 32](#_Toc507142288)

[9.1.3 Acumulador de ACS 33](#_Toc507142289)

[9.1.4 Coste total de inversión 34](#_Toc507142290)

[9.1.5 Coste de amortización 34](#_Toc507142291)

[9.2. Coste de mantenimiento 35](#_Toc507142292)

[9.2.1 Instalación solar 35](#_Toc507142293)

[9.2.2 Caldera 35](#_Toc507142294)

[9.2.3 Coste total de mantenimiento 36](#_Toc507142295)

[9.3. Coste de operación 36](#_Toc507142296)

[9.3.1 Caldera 36](#_Toc507142297)

[9.3.2. Bombas 36](#_Toc507142298)

[9.3.3 Coste total de operación 37](#_Toc507142299)

[9.4. Coste total 37](#_Toc507142300)

[10. ANALISIS MEDIOAMBIENTAL 38](#_Toc507142301)

[10.1 Emisiones de fabricación de equipos 39](#_Toc507142302)

[10.1.1 Instalación solar 39](#_Toc507142303)

[10.1.2 Caldera 40](#_Toc507142304)

[10.1.3 Acumulador de ACS 41](#_Toc507142305)

[10.1.4 Emisiones totales de la fabricación de la planta 41](#_Toc507142306)

[10.1.5 Amortización ambiental anual de la planta 42](#_Toc507142307)

[10.2 Emisiones de operación 43](#_Toc507142308)

[10.2.1 Caldera 43](#_Toc507142309)

[10.2.2 Bombas 43](#_Toc507142310)

[10.2.3 Emisiones totales de operación 43](#_Toc507142311)

[10.3 Emisiones totales 44](#_Toc507142312)

[11. RESUMEN DE RESULTADOS 45](#_Toc507142313)

[12. DESCRIPCIÓN DE TAREAS. GANTT 47](#_Toc507142314)

[13. PRESUPUESTO 50](#_Toc507142315)

[14. CONCLUSIONES 54](#_Toc507142316)

[15. FUENTES DE INFORMACIÓN 56](#_Toc507142317)

**INDICE DE FIGURAS**

[Ilustración 1: Conexión de captadores en serie-paralelo. 15](#_Toc507140040)

[Ilustración 2: Estratificación del acumulador. 16](#_Toc507140041)

[Ilustración 3: Acumuladores conectados en serie. 16](#_Toc507140042)

[Ilustración 4: Instalación térmica solar. 20](#_Toc507140043)

[Ilustración 5: Zonas climáticas según CTE. 24](#_Toc507140044)

[Ilustración 6: Modelación de la planta solar mediante el software Trnsys. 26](#_Toc507140045)

[Ilustración 7: Diagrama Gantt del TFG. 48](#_Toc507140046)

**INDICE DE TABLAS**

[Tabla 1: Valor del factor de centralización. 21](#_Toc507140142)

[Tabla 2: Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado. 22](#_Toc507140143)

[Tabla 3: Temperatura diaria media mensual de agua fría (ºC). 23](#_Toc507140144)

[Tabla 4: Contribución solar mínima anual para ACS en %. 24](#_Toc507140145)

[Tabla 5: Datos obtenidos a través del CHEQ4.2. 25](#_Toc507140146)

[Tabla 6: Datos sobre las instalaciones térmicas solares. 31](#_Toc507140147)

[Tabla 7: Costes de inversión de las instalaciones solares. 32](#_Toc507140148)

[Tabla 8: Costes de inversión de la caldera. 33](#_Toc507140149)

[Tabla 9: Costes de inversión del acumulador de ACS. 33](#_Toc507140150)

[Tabla 10: Costes totales de inversión. 34](#_Toc507140151)

[Tabla 11: Valores de FRC. 34](#_Toc507140152)

[Tabla 12: Costes de amortización. 35](#_Toc507140153)

[Tabla 13: Costes totales de amortización. 35](#_Toc507140154)

[Tabla 14: Costes de mantenimiento de la instalación solar. 35](#_Toc507140155)

[Tabla 15: Costes de mantenimiento de la caldera. 36](#_Toc507140156)

[Tabla 16: Costes totales de mantenimiento. 36](#_Toc507140157)

[Tabla 17: Costes de operación de la caldera. 36](#_Toc507140158)

[Tabla 18: Costes de operación de las bombas. 36](#_Toc507140159)

[Tabla 19: Costes totales de operación. 37](#_Toc507140160)

[Tabla 20: Costes totales. 37](#_Toc507140161)

[Tabla 21: Emisiones de CO2 de la instalación solar. 39](#_Toc507140162)

[Tabla 22: Emisiones de CO2 de la caldera. 40](#_Toc507140163)

[Tabla 23: Emisiones de CO2 del acumulador de ACS. 41](#_Toc507140164)

[Tabla 24: Emisiones totales de CO2 de la fabricación de la planta. 41](#_Toc507140165)

[Tabla 25: Valores de FAMAMB. 42](#_Toc507140166)

[Tabla 26: Emisiones de fabricación de equipos. 42](#_Toc507140167)

[Tabla 27: Emisiones totales de fabricación de equipos. 42](#_Toc507140168)

[Tabla 28: Emisiones de operación de la caldera. 43](#_Toc507140169)

[Tabla 29: Emisiones de operación de las bombas. 43](#_Toc507140170)

[Tabla 30: Emisiones totales de operación. 43](#_Toc507140171)

[Tabla 31: Emisiones totales. 44](#_Toc507140172)

[Tabla 32: Costes totales junto a las emisiones totales. 45](#_Toc507140173)

[Tabla 33: Planificación de las tareas para la realización del TFG. 47](#_Toc507140174)

[Tabla 34: Desglose de las horas internas y sus costes. 51](#_Toc507140175)

[Tabla 35: Desglose de las horas amortizaciones y sus costes. 51](#_Toc507140176)

[Tabla 36: Desglose de los gastos y sus costes. 52](#_Toc507140177)

[Tabla 37: Subtotales y coste total. 52](#_Toc507140178)

[Tabla 38: Presupuesto resumido. 53](#_Toc507140179)

**INDICE DE GRÁFICAS**

Gráfica 1: Factores multiplicadores diarios de ACS…………………………………………………..22

Gráfica 2: Factores multiplicadores anuales de ACS………………………………………………….22

Gráfica 3: Cobertura de la demanda de ACS (10 de enero)…………………………………………...28

Gráfica 4: Cobertura de la demanda de ACS (10 de julio)…………………………………………….29

Gráfica 5: Coste de Inversión/Mantenimiento - Superficie captadores solares……….…………….....31

Gráfica 6: Coste de inversión - Potencia térmica nominal…………………………………………….32

Gráfica 7: Coste de inversión - Volumen acumulador de ACS………………………………………..33

Gráfica 8: Emisiones de CO2eq - Superficie captadores solares…………………………………....…39

Gráfica 9: Emisiones de CO2eq - Potencia térmica nominal…………………………………..….......40

Gráfica 10: Emisiones de CO2eq - Volumen acumulador de ACS……………………………………41

Gráfica 11: Duración de las fases del proyecto…………………..……………………………………49

# DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO

* *Equipo de Proyecto:* Ziortza ALTUBE MUÑOZ, Estibaliz PÉREZ IRIBARREN.
* *Título del Proyecto*: Análisis de instalaciones de ACS mediante energía térmica solar.
* *Resumen*: Los edificios residenciales representan alrededor del 17% del consumo total de energía en España, siendo el agua caliente sanitaria (ACS) el 20%. Desde su entrada en vigor en 2006, el Código Técnico de la Edificación (CTE) español exige que un porcentaje mínimo de la demanda de ACS en edificios nuevos y renovados se cubra mediante energía solar térmica o mediante cualquier otra fuente de energía renovable o cogeneración.

De este modo, este trabajo tiene como objetivo analizar qué condiciones son las más adecuadas atendiendo criterios económicos y ambientales para cumplir los requisitos establecidos en el CTE para el suministro de ACS en una vivienda multifamiliar ubicada en Bilbao.

* *Summary*: Residential buildings represent about 17% of total energy consumption in Spain, being domestic hot water (DHW) 20% of it. Since its entrance into force in 2006, the Spanish Technical Building Code (CTE), requires a minimum percentage of the DHW demand in new and renovated buildings to be covered either by solar thermal or by any other renewable energy source or cogeneration.

Thereby, this work aims to analyze which conditions are more economically and   
environmentally suitable for meeting the requirements established in the CTE for supplying DHW in a multi-familiar housing sited in Bilbao.

* *Laburpena*: Bizitegi-eraikinek Espainiako guztizko energiaren kontsumoaren %17-a osatzen dute, %20-a ur bero sanitarioa (UBS) izanez. 2006an indarrean sartzetik, Espainiako Eraikuntzaren Kode Teknikoak (CTE) ezartzen du berritutako eraikin berrien UBS-aren eskariaren ehuneko minimo jakin baten jatorria, eguzki-energia termikoa edo beste edozein energia-iturri berriztagarri edota kogenerazioa izan behar duela.

Era honetan, lan honek, Espainiako CTE-ak, Bilbon kokatutako etxe multifamiliar baten UBS-aren horniketari buruz ezarritako eskakizunak betez, eta irizpide ekonomiko eta ingurumen irizpideak kontutan hartuz, baldintza optimoak zeintzuk diren aztertzea du helburu.

# INTRODUCCIÓN

El Código Técnico de la Edificación de España (CTE) establece que un porcentaje mínimo de demanda de ACS (30% en el caso de la zona climática en la que se trabajará) en edificios nuevos y renovados debe cubrirse mediante energía solar térmica o mediante cualquier otra fuente de energía renovable o cogeneración. El motivo del presente proyecto es el de dotar de un sistema de calentamiento de agua por energía solar a viviendas multifamiliares situadas en Bilbao.

Las simulaciones se llevarán a cabo con la ayuda del programa TRNSyS, habiendo obtenido previamente los datos necesarios mediante el programa CHEQ4.2.

Este estudio tratará de evidenciar las ventajas que conlleva el uso de la energía aportada por el sol frente a los sistemas convencionales, ya que como se verá, supone una disminución en la cantidad de emisiones contaminantes y un ahorro económico a medio plazo.

Por otra parte, se llevará a cabo un análisis de alternativas que analice qué tecnología, solar térmica o micro-CHP, es más adecuada económicamente para cumplir los requisitos establecidos en la CTE para el suministro de ACS en una vivienda multifamiliar localizada en Bilbao. Por lo tanto, consiste en definir tanto la instalación solar térmica como la de cogeneración para cubrir el mismo porcentaje de la demanda de ACS del edificio residencial.

Las ventajas del uso de la energía solar son numerosas, el sol es una fuente de energía  
inagotable, renovable, gratuita y está repartida por todo el planeta. Su uso no contamina en absoluto. Es la forma energética más respetuosa con el medio ambiente y al ser inagotable reduce la dependencia energética de las energías fósiles y contaminantes. Su implantación no afecta a la calidad del aire ni de los suelos. Las instalaciones solares son silenciosas, limpias y con una larga vida útil (entre 20 y 30 años). Asimismo facilita el autoabastecimiento y permite generar energía cerca de dónde se necesita sin necesidad de costosas infraestructuras para su transporte.

Es preciso, no obstante, señalar que existen algunos problemas que debemos afrontar  
y superar. Hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas  
fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas. Así, por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más la solemos necesitar.

De este modo, se llevara a cabo el análisis de varias instalaciones solares térmicas con el fin de obtener la más adecuada para cumplir los requisitos establecidos en el ya mencionado CTE para el suministro de ACS. Un programa de simulación permitirá evaluar diferentes escenarios para poder elegir entre ellos el que asegure mejores prestaciones, tanto ambientales como económicas.

# CONTEXTO

Es cada vez más evidente, sobre todo en los últimos años, que la sociedad actual depende cada año en mayor medida de la energía derivada del petróleo debido al gran crecimiento de la población mundial, siendo la tendencia a continuar en aumento en los próximos años.

Por otro lado, es notorio que el uso del petróleo está abocado a desaparecer desde el momento en el que es un recurso finito y no renovable a corto plazo, geológicamente hablando.

Adicionalmente, el petróleo genera graves y profundos problemas medioambientales, desde su extracción pasando por el transporte y refino, y acabando en su consumo y los gases resultantes del mismo.

Así mismo el carbón, el cual aún es usado para producir hasta un tercio de la electricidad en Europa mediante su combustión en centrales térmicas y en pleno apogeo en toda Asia debido a su disponibilidad dado que no se había explotado sus yacimientos hasta fechas recientes, aun dedicando esfuerzos considerables a desarrollar tecnologías de combustión limpia de carbón para ser implantadas en las próximas décadas, resulta altamente contaminante produciendo efectos conocidos como la lluvia acida. De la misma manera, aunque en menor medida, el gas natural también es un recurso finito y que crea problemas medioambientales.

Se ha intentado buscar la solución desde muchos ámbitos, no siendo definitivo ninguno de ellos, por diversos motivos. Por una parte, la proliferación de energía nuclear basada en la fisión del átomo de Uranio para uso civil por culpa de la dificultad de tratar los residuos radiactivos así como la mala imagen que de dicha energía se tiene en la sociedad que ha luchado por impedir la creación de nuevas centrales y de cementerios nucleares, hasta el coste elevado de otras alternativas como la energía mareomotriz o la geotermia y el de otras energías renovables, o la falta de desarrollo tecnológico que nos permitirían las centrales de fusión nuclear.

También es cierto que hay otras alternativas que sí están teniendo éxito como la energía eólica la cual está teniendo un gran desarrollo, o la hidráulica que siempre ha tenido un peso importante como energía renovable en el mix energético pero que no dispone de mucho recorrido en el momento que no existen muchos emplazamientos libres y su gran impacto ambiental al inundar grandes zonas para crear los embalses.

En el año 1997 se firmó en Japón el Protocolo de Kioto, a través del cual se buscan objetivos concretos de reducción de emisiones de CO2 a nivel mundial, otorgando a cada país un calendario de reducción de emisiones de tal manera que se asigna una cuota en función de nivel de partida en cuanto a emisiones y en función de su desarrollo económico y tecnológico.

Es por ello, y en previsión de asegurar el abastecimiento energético futuro, así como para mejorar el medioambiente y cumplir con los objetivos de reducción de emisiones, que desde los gobiernos de los países se han ido desarrollando normas y tratados que intentan disminuir las necesidades energéticas por un lado, y por otro tratan de suplir dichas necesidades fomentando el uso de energías limpias y renovables. Encuadrado en el segundo apartado de buscar alternativas que suplan las energías fósiles y agotables, estarían aquellas normas que promueven y obligan a usar entre otras la energía eólica, energía hidráulica, solar (desde su vertiente tanto fotovoltaica como térmica y termo solar), biomasa, biocombustibles como el etanol, etc.

En el caso de España, la problemática de disponibilidad y dependencia hacia los recursos fósiles, se convierte en un gran hándicap al tener una gran dependencia del exterior. Esta dependencia energética del exterior se cifra según el Ministerio de Industria en un 85%, ya que España carece de combustibles fósiles.

Tanto desde un punto de vista internacional como desde el punto de vista nacional, es claramente necesaria una fuerte apuesta por las energías renovables, que en gran medida  
reducirían las emisiones de agentes nocivos al medio ambiente así como la reducción de  
la dependencia de los combustibles fósiles.

Esto cobra aún más interés en países con escasos recursos energéticos convencionales como es España, país que sí posee abundantes recursos energéticos renovables como son la eólica y la solar.

Como parte de esta promoción de las energías alternativas renovables, y dado que en el ámbito de la edificación se genera una cantidad importante del consumo de energía (Los edificios residenciales representan alrededor del 17% del consumo total de energía en España, siendo el agua caliente sanitaria (ACS) el 20% de lo anterior), surgió la necesidad de adaptar la normativa de construcción y edificación mediante el llamado Código Técnico de la Edificación (CTE), en el cual uno de los apartados, en el que se basa este proyecto, trata de aplicar la energía solar térmica a la producción de agua caliente para usos sanitarios.

En concreto, se desarrollan en dicha norma unos requisitos mínimos legales de aporte de energía para el calentamiento de agua de uso sanitario en edificios de nueva construcción, que provenga de energía solar, en función de la zona del país, el uso del edificio, la ocupación, etc.

Actualmente este tipo de instalaciones no responden a una buena rentabilidad ya que  
las inversiones iniciales suelen ser muy elevadas para el ahorro anual que suponen.  
Pero gracias a las ayudas y subvenciones y a que los precios de los componentes de  
la instalación solar no son tan altos como hace unos años, el número de instalaciones  
aumenta cada año.

En comparación como otros países de Europa, España se encuentra en una situación  
privilegiada debido a la gran cantidad de radiación solar que recibe. Sin embargo, no  
dispone de una política energética tan avanzada como otros países del continente que  
implante la utilización de esta tecnología.

# OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la tecnología solar térmica actualmente utilizadas en España para satisfacer la carga de ACS en una vivienda multifamiliar de acuerdo con criterios económicos y ambientales.

El propósito es diseñar una instalación solar térmica que satisfaga las necesidades de Agua Caliente Sanitaria, cumpliendo las especificaciones del Código Técnico de Edificación (CTE) en relación con el aporte solar mínimo, en un edificio de viviendas situado en la ciudad de Bilbao.

Para ello, se pretende instalar un sistema solar basado en colectores solares planos,  
descartando la posibilidad de implementar un conjunto de colectores de vacío por ser  
su precio notablemente más alto.

El procedimiento a seguir será calcular la energía procedente del sol que llega a los  
paneles solares en forma de radiación, la cual se convierte en calor que se  
aprovecha en el calentamiento de agua, restando las pérdidas que se producen, ya sea por la inclinación de los colectores, o por las sombras.

Para realizar el dimensionamiento de la instalación solar serán necesarios los datos  
meteorológicos medios mensuales de la zona elegida para la ubicación del edificio, como son, la temperatura ambiente, temperatura de la red de agua, velocidad del viento y radiación solar. También será necesario conocer el consumo y la demanda de agua caliente sanitaria del edificio.

A partir de los datos obtenidos, se elegirá un campo de captadores capaz de aportar la fracción solar mínima de ACS al edificio y se procederá al cálculo y diseño de la instalación y de todos sus componentes.

Se tendrá en cuenta además que no es posible satisfacer el 100% de la demanda energética con el sistema de captación solar y por tanto se integrará un sistema de aporte auxiliar de calor, es decir, el sistema estará dotado también de una caldera de gas natural.

Este proyecto tiene como objetivo también comprobar que la instalación es posible  
desde el punto de vista económico mediante un estudio en el que se realizará una  
valoración económica.

Finalmente, se hará un análisis del beneficio medioambiental que se produciría con la construcción de la instalación solar térmica, de manera que mediante un balance medioambiental se verá cómo las emisiones de dióxido de carbono se reducen de forma considerable.

# BENEFICIOS QUE APORTA EL PROYECTO

El continuo crecimiento del consumo de energía mundial y el más que probable  
agotamiento de las fuentes energéticas tradicionales nos lleva a intentar cambiar el  
modelo energético actual. Este cambio, se basa fundamentalmente en la implementación de medidas que conlleven a aumentar la eficiencia energética en las instalaciones y en la apuesta por las energías renovables.

La energía solar térmica de baja temperatura cómo energía renovable de generación  
distribuida está especialmente indicada para su instalación en edificios que suelen  
encontrarse en los centros urbanos de las ciudades dónde la contaminación es mayor y la  
reducción de emisiones es muy conveniente.

Entre los beneficios que conlleva el uso de las energías renovables está, además del ahorro económico y medioambiental, la generación todo un sector profesional. En el cual se genera empleo de calidad y larga duración, empezando por los proyectistas, pasando por las empresas instaladoras y por último llegando a las empresas de mantenimiento que mantendrán la instalación durante la vida útil de ésta.

# DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

El objetivo perseguido es diseñar una instalación solar térmica de tal manera que  
se cumpla la normativa vigente en la actualidad a través del Código Técnico de la  
Edificación (CTE) mediante la que aprovecharemos la energía solar para abastecernos  
de energía limpia y eficaz la cual servirá para producir agua caliente sanitaria.

Se estudiarán los casos de edificios multifamiliares de 100 viviendas, considerando los valores de la contribución a la demanda de ACS del 30% (valor mínimo establecido por la CTE) y del 50%.

El funcionamiento de una instalación solar térmica se basa en la captación de la energía radiante para transformarla directamente en energía térmica con el aumento de temperatura de un fluido de trabajo.

Se denomina circuito primario al circuito encargado de recoger la energía térmica de los colectores y transferirla al acumulador solar a través de un intercambiador de calor. Por este circuito circula el fluido caloportador.

Por el circuito secundario circula el agua de consumo. El acumulador solar y el acumulador de ACS estarán conectados en serie. Calentada el agua de consumo, esta queda almacenada y dispuesta para ser consumida.

Una instalación solar térmica consta de varios sistemas como son, el sistema de captación, sistema de acumulación, sistema de intercambio y el sistema de apoyo.

## Sistema de captación

Está formado por uno o varios captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula a través de ellos.

Según la Guía Asit, se recomienda que todos los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo. Los colectores que se van a emplear son los conocidos como Colectores de Placa Plana ya que están destinados a la producción de A.C.S. a bajas temperaturas (menos de 80ºC). Son los más utilizados por tener la relación coste-producción de calor más favorable.

Los colectores planos se componen principalmente de:

• Un absorbedor, para absorber la máxima radiación solar y emitir la mínima.  
• Una cubierta transparente par a disminuir las pérdidas, tanto de calor por

convección producidas por el aire exterior, como las de calor emitido por el

absorbedor.  
• Un serpentín por donde circula el fluido caloportador.  
• Un aislante térmico.  
• Una caja para contener todos los elementos anteriores.

Estos captadores se ubicarán en un lugar soleado, accesible. Y lo más cercano posible al sistema de acumulación. Si el lugar es de difícil acceso, se deberían tomar las medidas oportunas para facilitar la accesibilidad a los mismos de forma que se facilite su limpieza, mantenimiento y reparación.

Todos los captadores tendrán la misma orientación o inclinación. Cabe destacar que situaremos las placas solares orientadas hacia el Sur, considerada como orientación optima, ya que es la orientación más favorable para la captación solar de los mismos. La mejor inclinación, teniendo en cuenta que se considerara un consumo constante anual, será igual a la latitud geográfica, que en nuestro caso corresponde a 43 grados (Bilbao).

El cumplimiento del CTE exige que en cualquier caso las posibles sombras sobre el campo de captadores serán tales que las perdidas sean inferiores a un límite del 10%, que es el valor que se considerará para cálculos que se harán posteriormente en este trabajo. El valor de las pérdidas totales, que será igual a la suma de las pérdidas por orientación e inclinación y pérdidas por sombreado, deberá ser inferior al 15%. En nuestro caso se supondrá nulo este valor.

Los colectores considerados en el estudio tienen un rendimiento medio que se ajusta a la función lineal a0-a1∙Tm\*, donde el factor cuadrático de las pérdidas térmicas se puede considerar despreciable. De acuerdo al documento técnico DTIE 18.03 “Integración de energías renovables en la rehabilitación energética de los edificios”, se ha tomado un factor óptico de 0,8057 y un factor de pérdidas lineal de 6,0143. La superficie de los colectores considerados es de 2,35 m2.

En el caso de A.C.S. el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

50 < *V/A* < 180

donde *A* será el área total de los captadores, expresada en m2, y *V* es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria *M*: *V* = *M*.

El dimensionamiento de los captadores se hará mediante el software libre CHEQ4.2. Se conectaran en serie- paralelo y el fluido que pasa a través de ellos será agua con un 20% de glicol, que los protege y las tuberías de los daños causados ​​por las temperaturas de congelación.

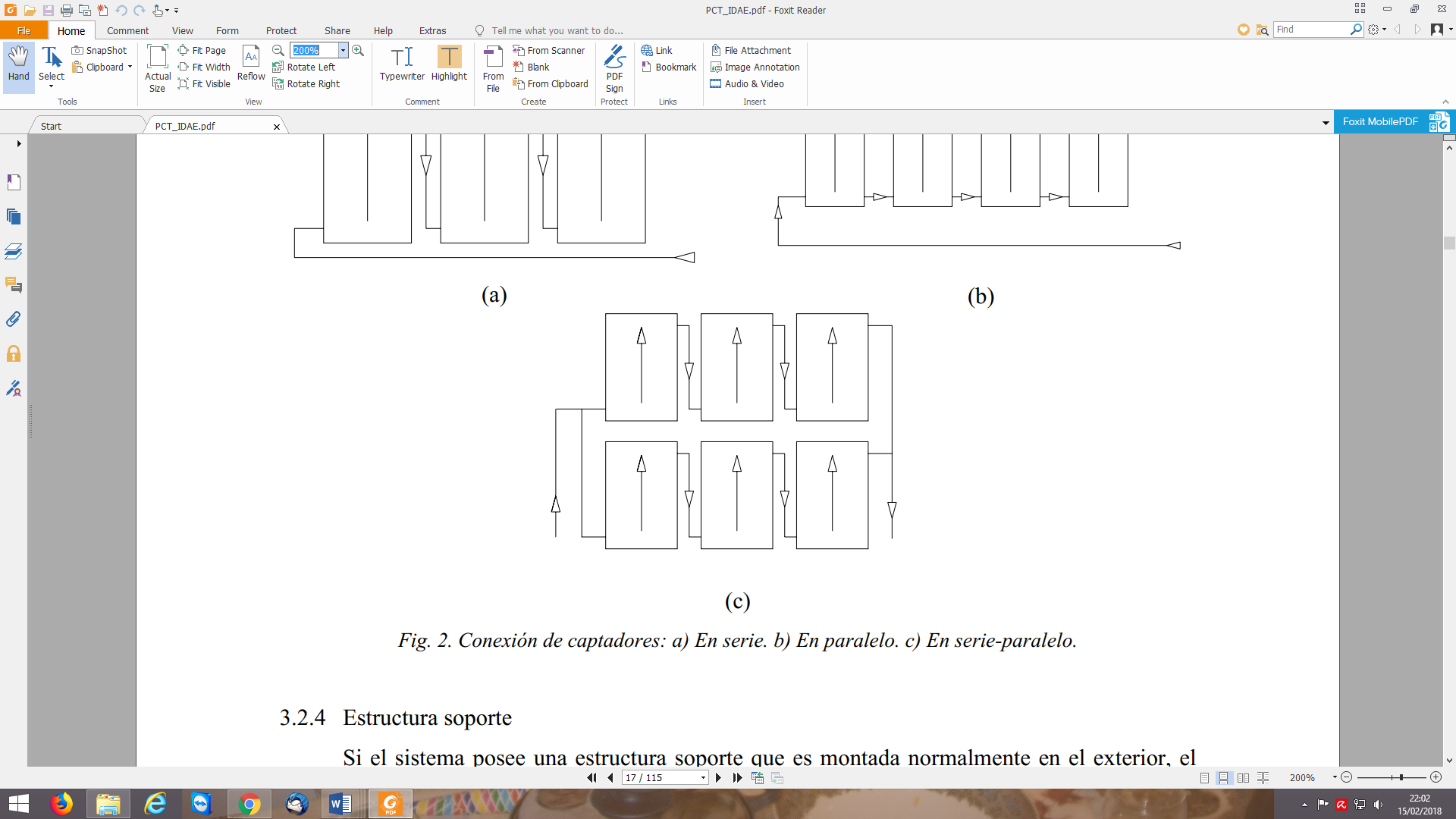


Ilustración 1: Conexión de captadores en serie-paralelo.

## 6.2 Sistema de acumulación

Está constituido por los depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precise su uso, ya que la necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la captación que se obtiene del sol. Esto, hará necesario disponer de un sistema de acumulación de la energía generada que haga frente a la demanda en momentos de poca o nula radiación solar, así como a la producción solar en momentos de poco o nulo consumo.

Para los sistemas solares térmicos se utiliza un depósito acumulador.

Los acumuladores de agua caliente sanitaria deben ser capaces de soportar los altos niveles de presión y temperaturas de trabajo previstas, no sufrir deterioros por fenómenos de corrosión y han de cumplir obligatoriamente con los requisitos exigidos al almacenamiento de agua potable.

Deberán ofrecer un buen aislamiento térmico, adecuada estratificación de temperaturas, elevada capacidad térmica del medio de almacenamiento, bajos costes y una vida útil de aproximadamente 15 años.

Suele ser de forma cilíndrica por su fácil construcción. La altura debe ser mayor que el diámetro ya que de esta manera se favorece el fenómeno de la estratificación. El agua disminuye su densidad al aumentar la temperatura, por lo que cuanto mayor sea la altura, mayor será la diferencia entre la temperatura en la parte superior e inferior del depósito, es decir, mayor será la estratificación.

En caso de que el sistema de acumulación está formado por varios acumuladores estos deberían conectarse, si no existen otros condicionantes, en serie. Esta forma de conexión, también ayuda a aumentar la estratificación de temperaturas.

El Agua Caliente Sanitaria para consumo se extrae de la parte más alta del acumulador, ya que es la parte con mayor temperatura, y la salida hacia los colectores solares se hace desde la parte más baja del acumulador.

|  |
| --- |
| T1  Agua caliente |
| T2 |
| T3 |
| T4  Agua fría |

T1>T2>T3>T4

Ilustración 2: Estratificación del acumulador.

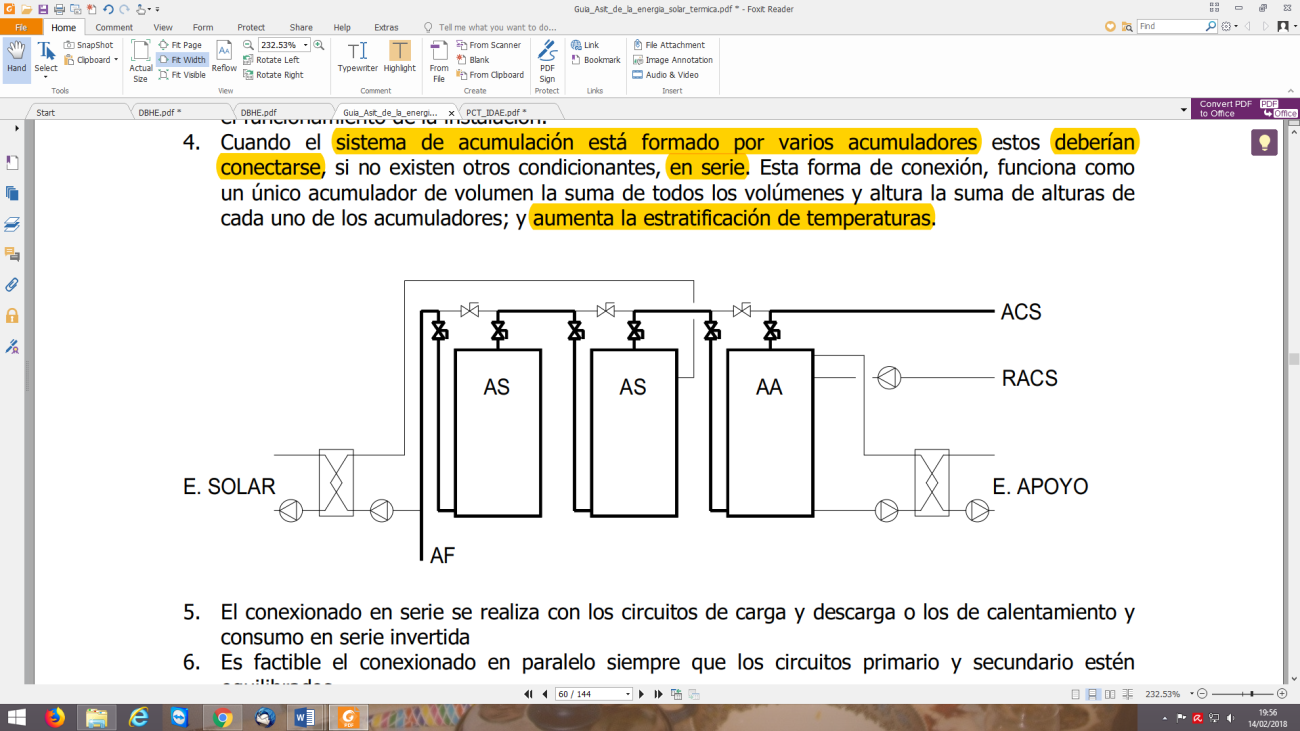
En nuestro caso, trataremos con un único depósito de acumulación solar que estará conectado en serie con el depósito de ACS.

Ilustración 3: Acumuladores conectados en serie.

Un factor importante a tener en cuenta en este apartado será la prevención de legionelosis.

Las medidas preventivas generales son la eliminación o reducción de zonas sucias gracias a un buen diseño de las instalaciones y un mantenimiento adecuado. Evitando las condiciones que favorecen la supervivencia y multiplicación de la Legionella, mediante revisión, limpieza y desinfección. La limpieza y la desinfección se llevará a cabo mínimo una vez al año (Hipercloración y Choque térmico).

## Sistema de intercambio

Está formado por los elementos de la instalación encargados de transferir la energía térmica captada en el sistema de captación hasta el depósito del acumulador de ACS.

El principal de estos elementos será el intercambiador, pero además hay que considerar el conjunto de tuberías, válvulas y demás piezas que forman parte del sistema de transporte del calor.

El intercambiador de calor en una instalación solar se utiliza cuando se requiere transferir calor de un fluido a otro sin que estos se mezclen, quedando independizados de esta manera los dos circuitos. Su función en la instalación solar consiste en transferir la energía captada en los colectores que contienen agua con anticongelante (glicol), para evitar heladas, al ACS para que esta sea acumulada.

El intercambiador de calor utilizado será de placas. Un intercambiador de placas consiste en una pila de placas de metal, corrugadas, que se mantienen unidas mediante presión en un bastidor y selladas por medio de una junta, de manera que se forman una serie de pasillos interconectados a través de los cuales se hacen circular los fluidos de trabajo. Estos fluidos son impulsados por bombas.

Estos intercambiadores, presentan, frente a otros, las siguientes ventajas:

1.- Alta calidad del material, garantizando la duración y la rentabilidad.  
2.- Son modulables (añadir o quitar placas) lo que permite una fácil corrección en caso de error en el dimensionado previo o ampliación de la instalación.  
3.- Gran facilidad de mantenimiento, por ser desmontables y de fácil limpieza.  
4.- Excelente eficiencia, que permite una gran potencia de intercambio con un pequeño tamaño.

La eficiencia del intercambiador mide la transferencia de calor del intercambiador real de nuestra instalación frente a un intercambiador ideal en el que las temperaturas de los dos fluidos entre los que se realiza el intercambio térmico terminaran igualándose. El hecho de que la eficiencia sea menor que la unidad no quiere decir, a diferencia del rendimiento, que existan pérdidas de energía, sino que al no darse la transferencia térmica de forma óptima la energía que no se transfiere se queda en el circuito primario.

Para realizar los cálculos de este trabajo se considerará una eficiencia del 90%. Considerando que el flujo másico y la substancia que circula por los dos tubos es la misma, el cálculo de la eficiencia se hará mediante la siguiente formula,

< 100%

Donde la temperatura máxima (Tmax) corresponde a la temperatura del líquido caloportador (agua+glicola) tras su paso por los captadores solares y la mínima (Tmin) a la temperatura del agua que sale del acumulador solar para dirigirse al intercambiador de calor. T será la temperatura del agua que se dirige de nuevo al acumulador tras haberse calentado al pasar por el intercambiador.

## Sistema de control y sistema de disipación

La instalación incluye un sistema de control para evitar el sobrecalentamiento, que podría dañar los componentes y materiales, ordenando la activación y desactivación de las bombas. El sistema de control es un controlador de temperatura diferencial que compara la temperatura del flujo que sale de los colectores solares y la temperatura en el tanque solar. El sistema de control activa las bombas del circuito solar cuando la diferencia de temperatura es superior a 10ºC, y las desactiva cuando esta diferencia es inferior a 2ºC. Este control evita que las bombas enciendan ciclos continuos.

Adicionalmente, se instala un sistema de disipación para mantener la temperatura de impulsión a usuarios menores de 80ºC. El sistema de disipación funciona de tal forma que cuando la temperatura de impulsión del tanque de ACS es mayor a 80ºC, el calor remanente se disipa. La potencia del sistema de disipación depende de la superficie de los colectores solares disponibles en la planta.

## Sistema de apoyo

Éste último es una instalación tradicional que utiliza combustible fósil, para completar el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista. Es necesaria durante gran parte del año, y debe permitir garantizar el abastecimiento de energía en determinados momentos extremos como, un aporte muy escaso o nulo de la instalación solar por la baja o nula radiación incidente, sea cual sea la demanda de la instalación.

En nuestro caso, se instalará una caldera de gas natural como energía de apoyo para aquellos periodos en los que la energía solar suministrada sea insuficiente. De tal manera que, si en el tanque de acumulación se dan las condiciones de suministro, es decir que tengamos agua a 60 °C, el agua no pasará por la caldera e irá directamente a consumo. Por el contrario, si en el tanque tenemos el agua por debajo de 60 °C, el agua pasará por la caldera hasta que consiga dicha temperatura.

## Descripción del circuito hidráulico

En este apartado se describirán otros elementos que también componen la instalación propuesta.

* Tuberías:

Las tuberías permiten la unión entre los diferentes componentes de la instalación. Se recomienda utilizar tuberías de conexión metálicas debido a las altas  
temperaturas y presiones que se alcanzan en el circuito. Los materiales utilizados para  
el aislamiento de estas tuberías deben superar correctamente cualquier tipo de  
incidencia climatológica, ya que, en muchos casos se encuentran situadas en tramos  
exteriores.

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de las tuberías del sistema deberá  
ser tan corta como sea posible y evitar al máximo los codos y pérdidas de carga en  
general.

Para la elección de los materiales de las tuberías nos basaremos en el Código Técnico  
de la Edificación ya que establece que en el circuito primario podrán utilizarse tuberías de cobre y de acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas y protección exterior con pintura anticorrosiva.

Las tuberías del circuito serán de cobre por ser técnicamente idóneo y económicamente muy competitivo. El Cobre permite una fácil instalación y mecanizado además de una gran facilidad en su manipulación, y admite grandes presiones. Las pérdidas de carga se verán reducidas con respecto a otros materiales como el hierro por ejemplo, ya que las tuberías tendrán un acabado interior totalmente liso.

* Vasos de expansión:

Su función es absorber las variaciones de volumen del fluido caloportador y de las aguas ocasionadas por la dilatación térmica. Compensarán estos excesos y los elementos que componen la instalación no llegarán a sobrepasar su presión nominal de trabajo.

En las instalaciones solares, como es el caso que nos ocupa, se utilizan vasos de expansión cerrados (el fluido contenido en el mismo no está en comunicación directa con la atmósfera), ya que son de fácil montaje, no requieren de aislamiento y no absorbe oxígeno del aire. Consisten en un recipiente metálico que está conectado a las tuberías y que alberga en su interior una membrana de material elástico formando una cámara de aire. Al aumentar la presión del circuito conectado, el agua a través de la membrana comprime el aire compensando así el exceso de volumen.

* Bombas:

Las bombas son el componente de la instalación cuya misión fundamental es compensar la pérdida de presión hidrostática dando el impulso necesario para producir la circulación del fluido caloportador en el circuito. El transporte del fluido desde los captadores hasta el  
intercambiador de calor y desde éste hasta el almacenamiento se realiza con la ayuda de  
bombas hidráulicas. Las bombas utilizadas en sistemas de energía solar térmica son de tipo centrífugo. Deben vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por la tubería, y mantener la presión deseada en cualquier punto de la instalación.

* Purgadores:

Los purgadores son sistemas necesarios para realizar la purga de aire que queda  
contenida en la instalación. La presencia de aire perjudica el buen funcionamiento de  
los circuitos, especialmente cuando se concentra en forma de bolsas que pueden  
llegar a impedir la circulación del fluido.

* Válvulas:

Las válvulas son dispositivos que se emplean para controlar o impedir la circulación  
del fluido por una tubería. Como todos los elementos de los circuitos hidráulicos, las  
válvulas deben resistir las condiciones de máxima temperatura y presión a las que se  
vayan a ver sometidas.

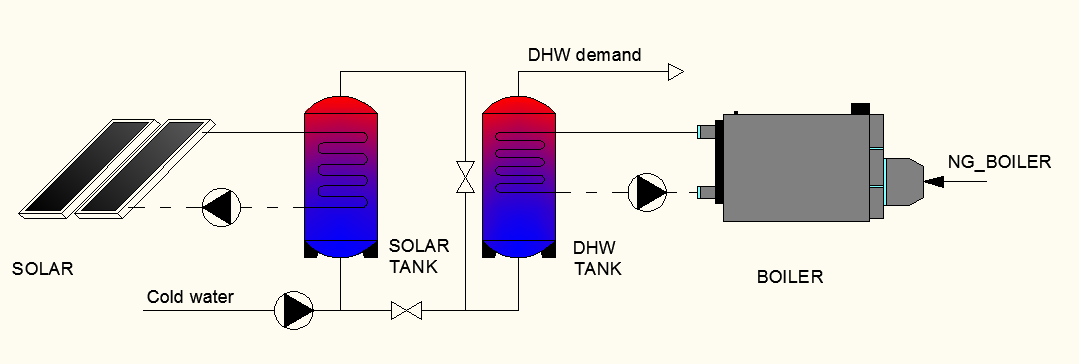


Ilustración 4: Instalación térmica solar.

# METODOLOGIA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

Como ya se ha dicho, las plantas solares estarán dimensionadas para 100 viviendas multifamiliares ubicadas en Bilbao, y para las diferentes contribuciones de estas plantas a las cargas de ACS, del 30% y del 50%.

Una vez que se obtienen las cargas y el tamaño de las plantas, se llevan a cabo simulaciones dinámicas.

Los resultados obtenidos a través de las simulaciones se utilizan para realizar análisis económicos y ambientales, así como para determinar la energía primaria no renovable ahorrada durante el funcionamiento de ambas plantas.

## **Datos de partida**

Previamente al dimensionado de la instalación de energía solar, es necesario conocer  
una serie de datos de partida:

- Condiciones de uso de la instalación: consumo de A.C.S.

- Datos climatológicos: radiación sobre los captadores, temperatura exterior, temperatura de agua de red.

- Datos geográficos: latitud del lugar de ubicación de los captadores.

- Contribución solar mínima

**7.1.1** Condiciones de uso de la instalación

Las demandas de ACS se calculan de acuerdo con el CTE en España, que establece que el consumo diario de ACS en viviendas multifamiliares es de aproximadamente 28 litros por persona.

Según el CTE, se utilizara un factor de centralización que multiplicara la demanda diaria de agua caliente sanitaria calculada en los edificios de viviendas multifamiliares, correspondiente al número de viviendas del edificio. En el caso de 100 viviendas, su valor será de 0,75.

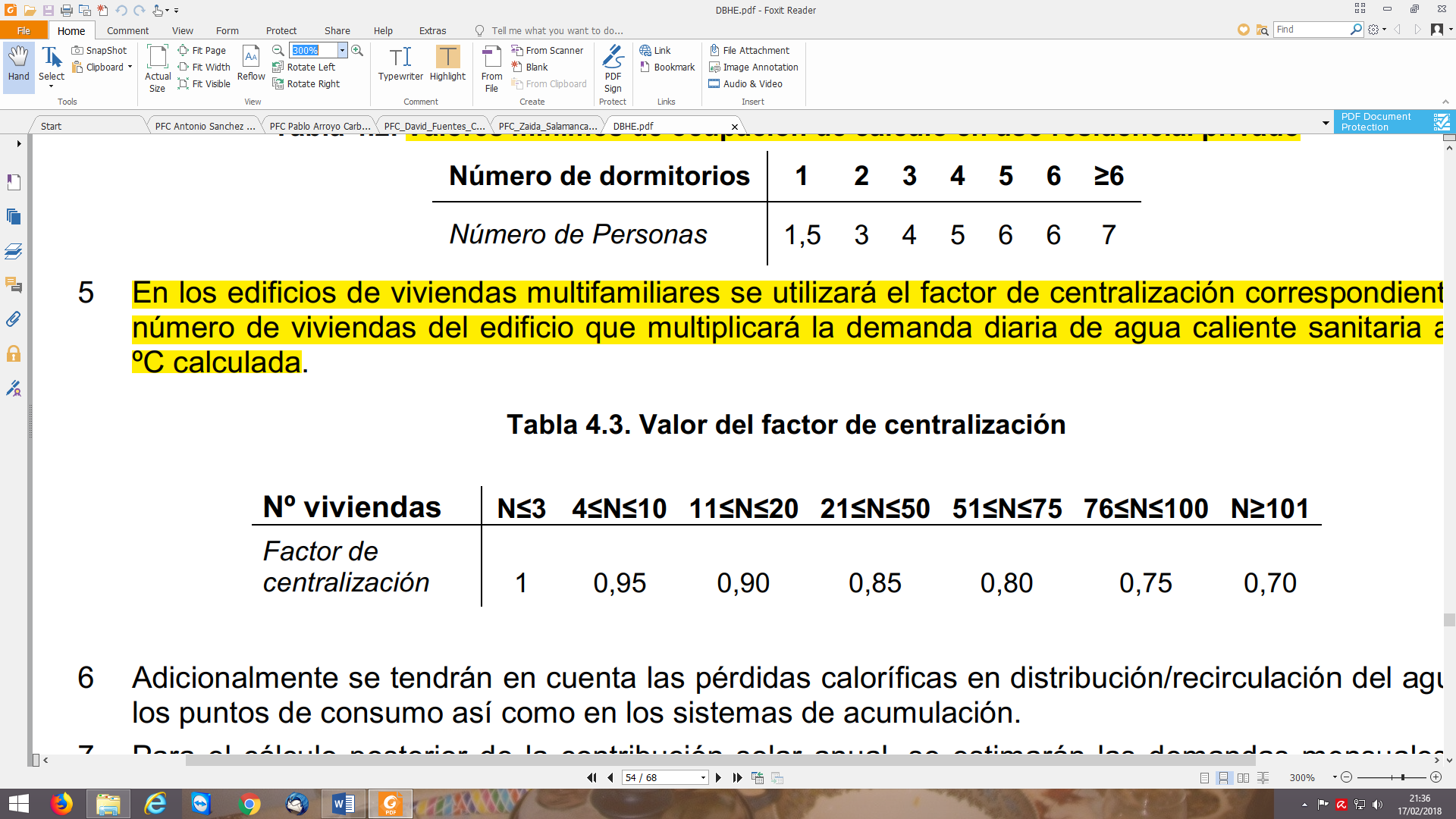


Tabla 1: Valor del factor de centralización.

Siguiendo las especificaciones del CTE, se supondrá una ocupación promedio de tres personas para cada una (2 habitaciones).

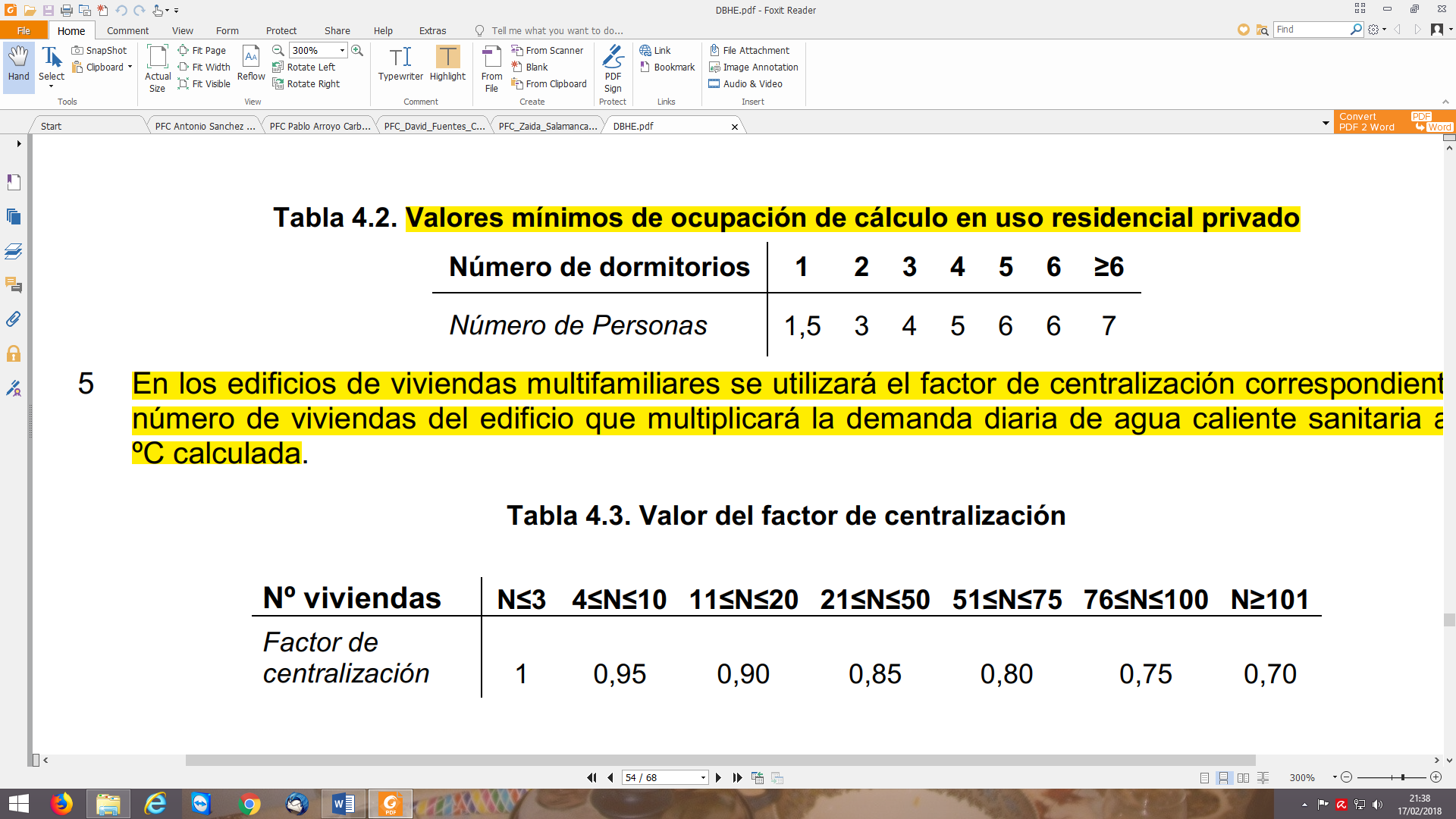
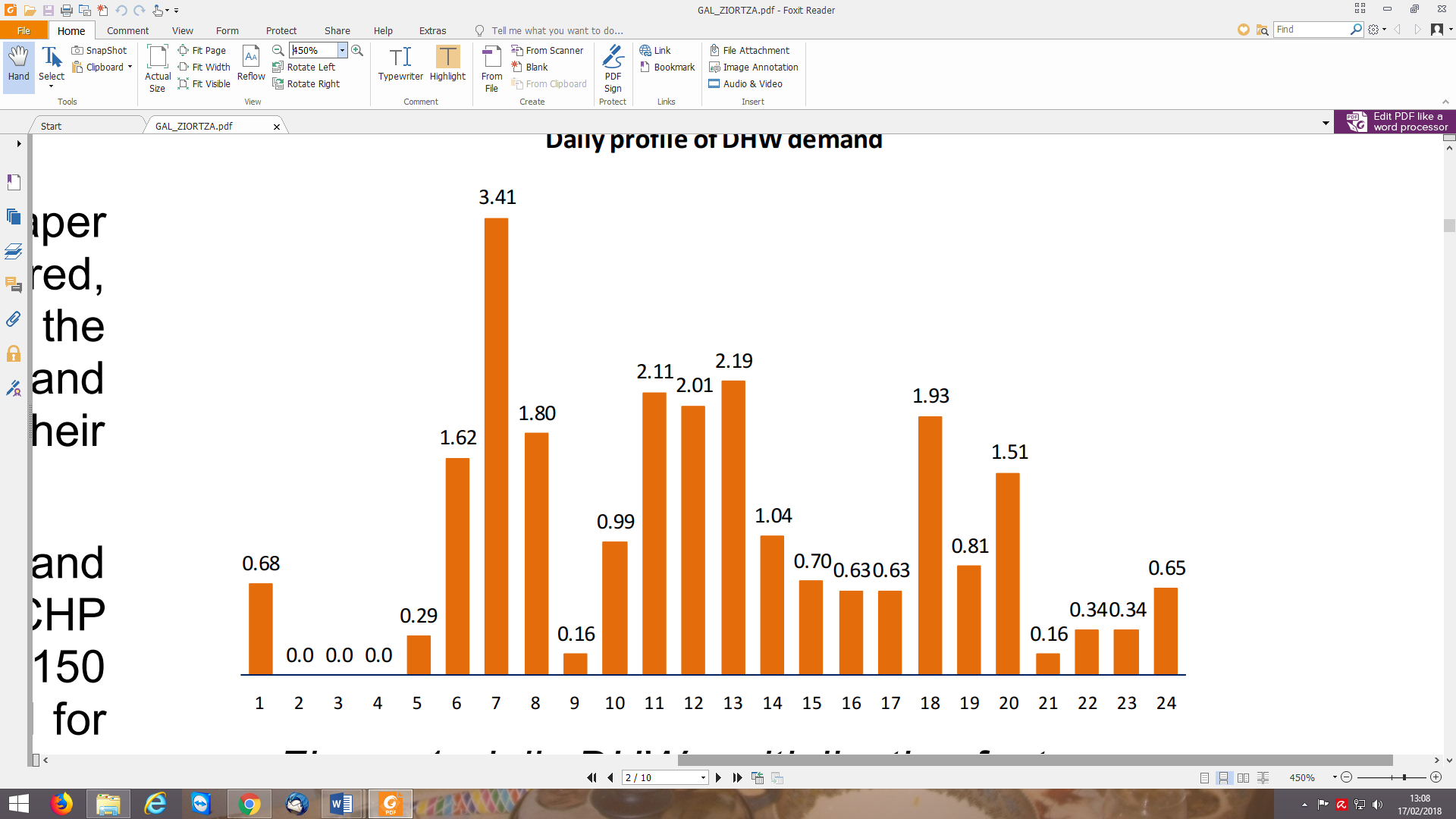


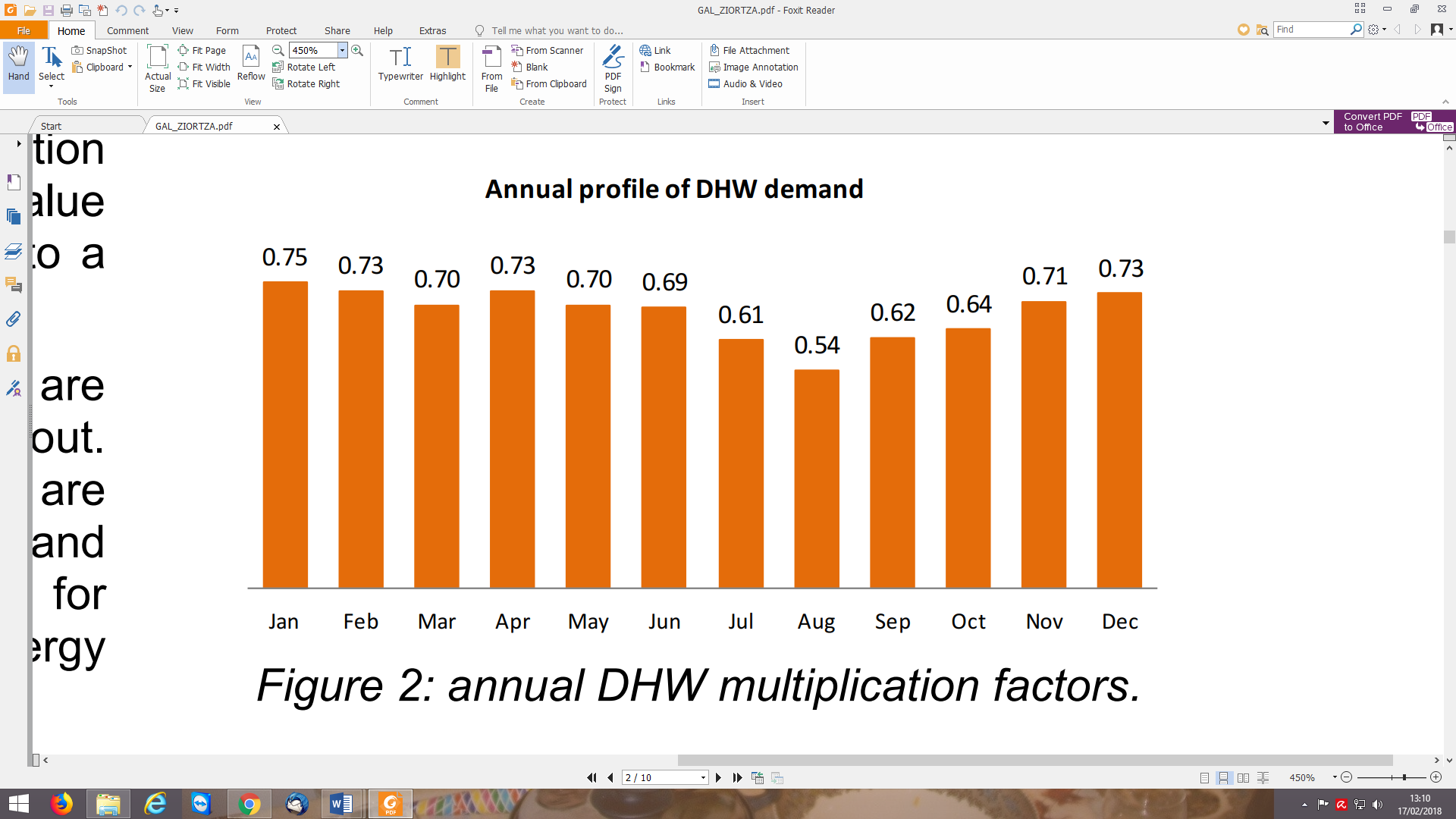
Tabla 2: Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado.

La producción de ACS está diseñada para trabajar con, de acuerdo con la legislación vigente, el suministro de temperaturas entre 60ºC y 80ºC para evitar la legionelosis, como lo determina el RD 865/2003.

El consumo por hora de DHW en litros se obtiene del producto de factores de multiplicación por hora y mensuales y el consumo estimado en el CTE para todos los usuarios. Estos factores se muestran en los perfiles anuales y diarios representados en las gráficas 1 y 2.



***Gráfica 1: Factores multiplicadores diarios de ACS.***



***Gráfica 2: Factores multiplicadores anuales de ACS.***

**7.1.2** Datos climatológicos

De acuerdo con el CTE, en la siguiente tabla se observan las temperaturas diarias medias mensuales de agua fría en cada capital.

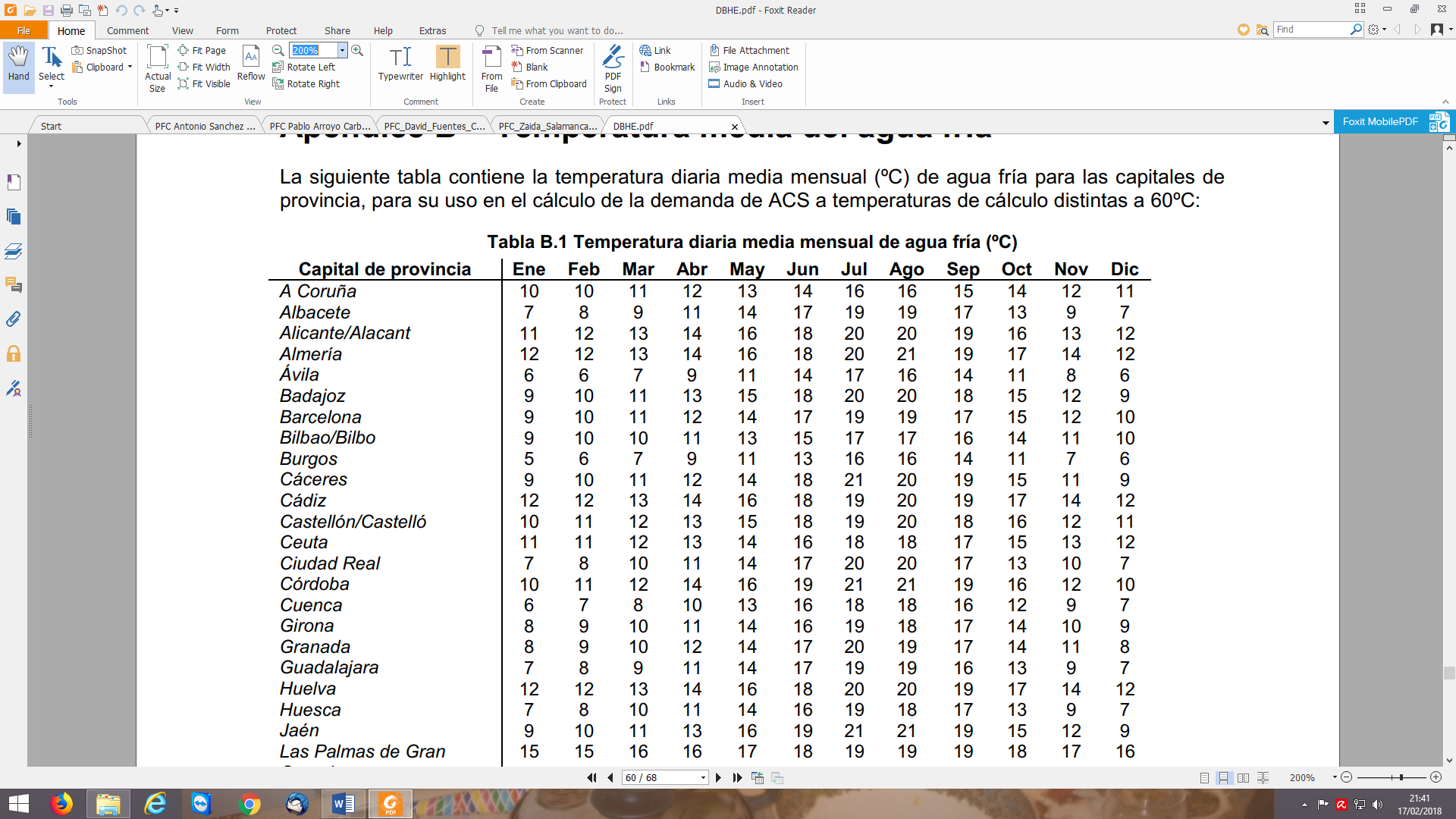


Tabla 3: Temperatura diaria media mensual de agua fría (ºC).

**7.1.3** Datos geográficos

El dato geográfico más importante y crítico para el cálculo de la instalación es la  
latitud, ya que esta es la que nos marca la inclinación de los paneles de captación.

En el caso de Bilbao, latitud: 43º

**7.1.4** Contribución solar mínima

Deberemos tener en cuenta la contribución solar mínima respecto a la ciudad en las que se encontraran las instalaciones térmicas solares diseñadas, Bilbao.

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales.  
En la siguiente se establece, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de ACS a una temperatura de referencia de 60ºC, la contribución solar mínima anual exigida para cubrir las necesidades de ACS.

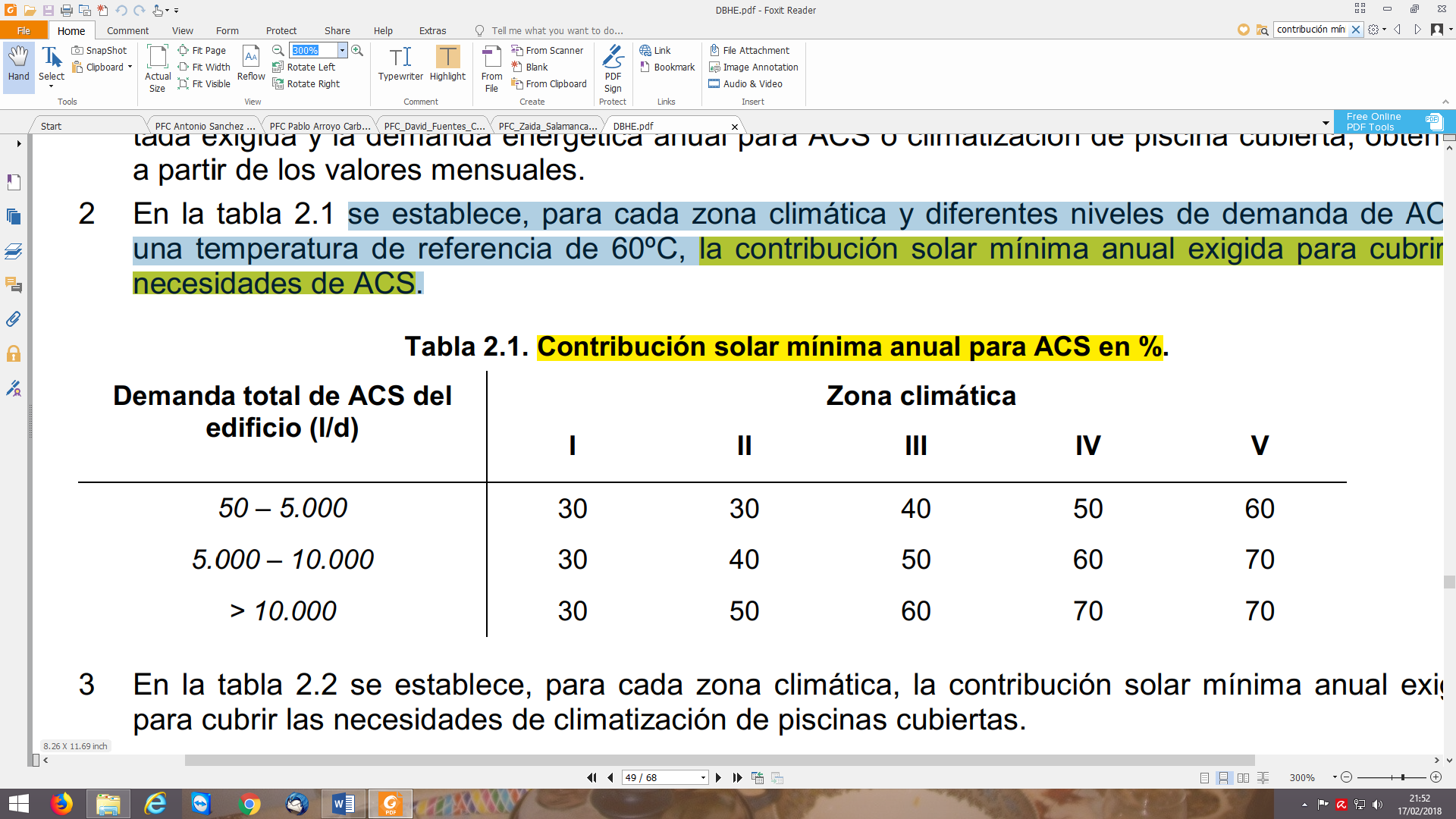


Tabla 4: Contribución solar mínima anual para ACS en %.

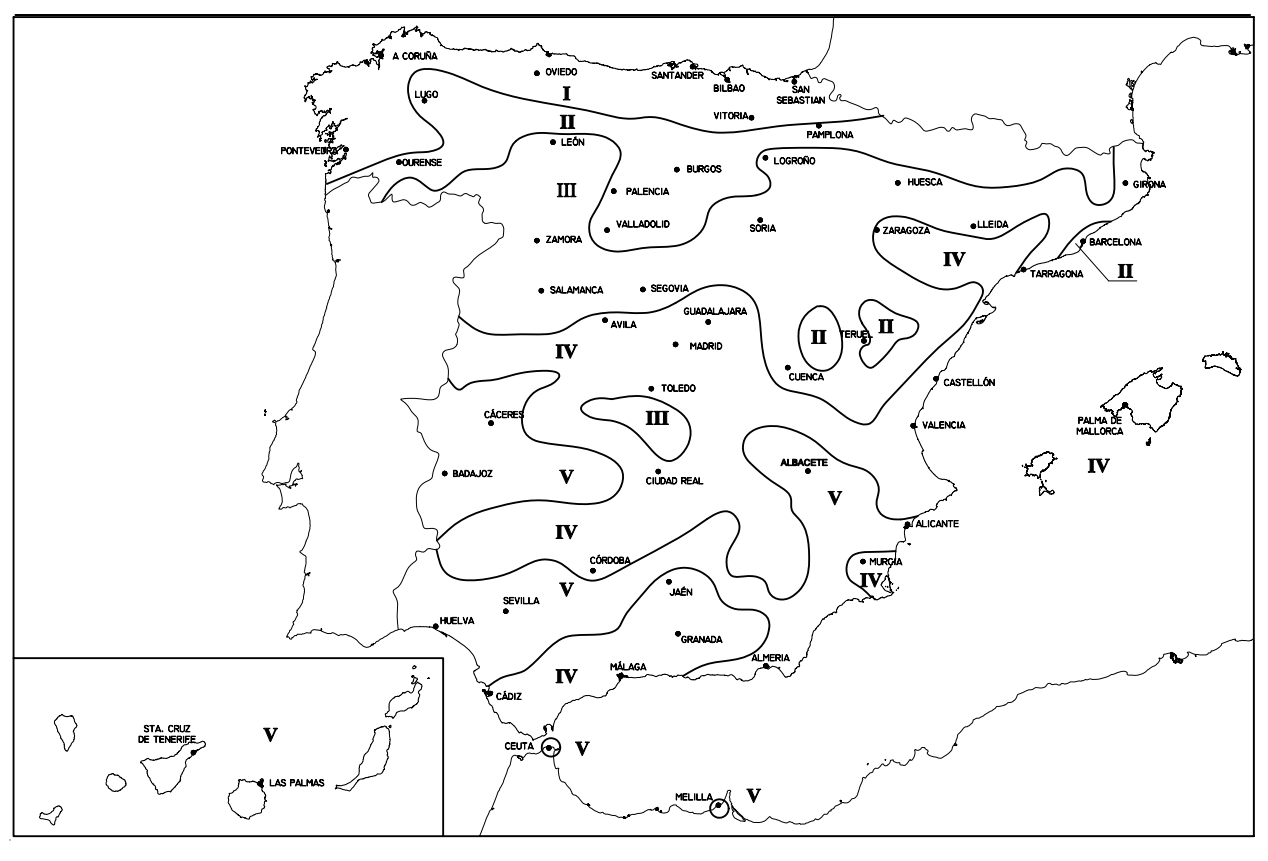
**Del mapa de zonas climáticas de España podemos ver que Bilbao se encuentra  
situada en la zona I, por lo tanto, independientemente de cual sea la demanda total de ACS, el valor de la fracción solar mínima será del 30%.

Ilustración 5: Zonas climáticas según CTE.

**7.2** Cálculo de la demanda energética

Para calcular la demanda de ACS en términos de energía, se deben definir las temperaturas de entrada y suministro de agua fría. Como se mencionó anteriormente, la temperatura de suministro de ACS está entre 60ºC y 80ºC. Para los cálculos, la temperatura media anual del ACS se supone que es de 72ºC, mientras que los datos de la temperatura del agua fría del flujo que ingresa a la instalación se obtienen del CTE (Tabla 3).

También debemos conocer con la mayor precisión posible, la carga térmica total de la  
instalación.

Dicha carga térmica, será la demanda energética de la instalación, que en este caso  
y por tratarse de Agua Caliente Sanitaria es directamente proporcional al consumo de la  
misma.

Así tomando una temperatura de salida del acumulador de 60ºC como exige el Real  
Decreto 865/2003 y una temperatura inicial de esta (procedente de la red de distribución  
general, TRED), calculamos mediante la siguiente fórmula la cantidad de energía necesaria  
para obtener Agua Caliente Sanitaria a la temperatura exigida:

Q (MJ) = MDHW (kg) \* Cp (kJ/ºC\*kg) \* (TDHW - TRED) (ºC)

Donde:

Q = Energía calorífica necesaria (MJ)

MDHW = ACS mensual consumida (kg)

Cp = Calor especifico del agua = 4,18 (kJ/ºC\*kg)

(TSOLAR - TRED) = salto térmico que se proporciona al agua de red (ºC)

Los datos que se obtienen a través del software CHEQ4.2 a la hora de realizar el dimensionamiento de las plantas solares para cada uno de los casos descritos anteriormente se recogen en la siguiente tabla.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Superficie captadores (m2)** | **Volumen acumulador solar (l)** | **V/A (l/m2)** | **Consumo diario (l/día)** |
| 100 | 31,2 | 56,3 | 3000 | 53,3 | 6300 |
| 100 | 50,1 | 103,2 | 5500 | 53,3 | 6300 |

Tabla 5: Datos obtenidos a través del CHEQ4.2.

Las plantas solares se han modelado en el software de simulación TRNSYS 17 según la ilustración 5. Para cada caso, se ha llevado a cabo una simulación dinámica para obtener resultados de análisis de energía para cargas ACS variables en el tiempo. Todas las pruebas presentadas en este documento se basan en una simulación de paso de 6 minutos en un año; este paso de tiempo se usa para tener en cuenta los procesos transitorios que ocurren en los tanques de almacenamiento.

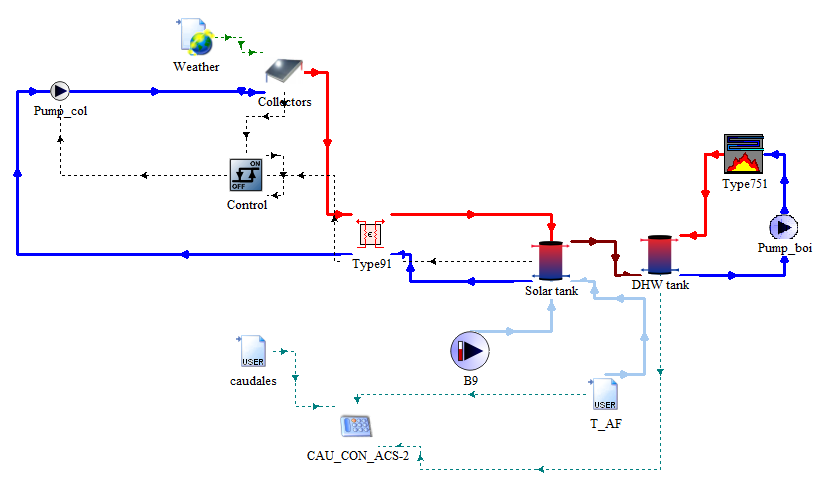


Ilustración 6: Modelación de la planta solar mediante el software Trnsys.

Los elementos que componen la instalación de la simulación en Trnsys son:

* Colectores de placa plana (Type 73)
* Caldera (Type 751)
* Tanque de almacenamiento de agua caliente (Type 4a)
* Intercambiador de calor (Type 91)
* Bomba de caudal variable (Type 110)
* Bombas de caudal constante (Type 114)
* Controlador diferencial (Type 2b)
* Desviador de caudal (Type 11f)
* Mezclador de caudales (Type 11h)

La energía aportada por los colectores y la caldera se obtienen de la simulación de cada caso en estudio. Las simulaciones permiten determinar el número de horas que trabaja cada dispositivo de generación, la energía útil obtenida –que depende del comportamiento del sistema de almacenamiento– y la energía disipada. También se ha considerado la energía consumida por las bombas. En los resultados, se analiza el calor útil aportado por los colectores solares.

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

Gracias a los resultados obtenidos a través del software TRNSYS, se estudiará el comportamiento de la instalación frente a las diversas situaciones a las que se pueda ver expuesto durante el año.

Como caso representativo, se analizará el edificio de 100 viviendas, ante una contribución a la demanda de ACS del 30%. Para la selección de los casos a estudiar en este apartado, se tendrán en cuenta los datos climatológicos de la provincia en la que se consideran instalados nuestros sistemas. Por una parte, se seleccionará un día correspondiente al mes cuya temperatura del agua de red sea la mínima, que de acuerdo a los datos que proporciona el CTE se corresponde con el mes de enero (9ºC). Este mes también se corresponde con el de menor radiación solar. Por otro lado, también se tomara en cuenta un día correspondiente al mes de mayor temperatura de red y mayor radiación solar, siendo este el mes de julio (17ºC).

Los datos obtenidos mediante TRNSYS serán:

* TRED: Temperatura del agua fría proveniente de la red (ºC)
* TSOLAR: Temperatura de salida del agua en el acumulador solar (ºC)
* TDHW: Temperatura del agua de consumo (ºC)
* TE\_COL: Temperatura del fluido caloportador a la entrada de los colectores (ºC)
* TS\_COL: Temperatura del fluido caloportador a la salida de los colectores (ºC)
* MDHW: caudal másico de ACS en condiciones para su uso (kg/hr)
* MCOL: caudal másico del fluido portador que atraviesa los colectores solares (kg/hr)
* TE\_CALD: Temperatura del agua a la entrada de la caldera de gas natural (ºC)
* TS\_CALD: Temperatura del agua a la salida de la caldera de gas natural (ºC)
* MCALD: caudal másico de ACS que pasa por la caldera de gas natural (kg/hr)

A partir de esta información se harán los cálculos pertinentes para la obtención de otros datos interesantes para nuestro estudio, como son:

* Calor aportado por los colectores solares de la instalación, que se calculará mediante la siguiente formula:

Qcol (kJ) = Cp (kJ/ºC\*kg) \* MDHW (kg/hr) \* (TSOLAR-TRED) (ºC)

* Calor total demandado, que se obtendrá según la expresión:

Qtotal (kJ) = Cp (kJ/ºC\*kg) \* MDHW (kg/hr) \* (TDHW-TRED) (ºC)

* Calor aportado por la caldera de gas natural del sistema de apoyo, que será la diferencia entre las dos anteriores:

Qcald (kJ) = Qtotal (kJ) – Qcol (kJ)

**Primer caso: 10 de Enero**

Como se ha dicho, este caso hará referencia a una situación en la que nuestra instalación hace frente a temperaturas mínimas respecto a las que se dan a lo largo del año.

Los resultados que han proporcionado los cálculos hechos a lo largo del día 10 de enero se reflejan en el siguiente gráfico.

***Gráfica 3: Cobertura de la demanda de ACS (10 de enero).***

En este podemos observar, como en las primeras horas del día (0h – 1h, 4h - 6h), el calor que proporcionan los colectores es de un valor muy pequeño. De hecho, teniendo en cuenta que se trata de un día invernal, y que situándonos en el hemisferio norte, los días tendrán una duración más corta de lo habitual, se supondrá que la aportación energética proveniente del sol durante esas horas será prácticamente nula. Por lo tanto, podremos decir que se trata de calor generado en días anteriores, que gracias al acumulador solar, que se encarga de almacenar la energía térmica generada por las placas solares, podrá ser usado en esas circunstancias en las que la instalación carece de luz solar. Como se ha dicho, durante ese periodo, el calor proveniente de los colectores es mínimo o incluso nulo, y por lo tanto, la mayor parte del calor tendrá que conseguirse a través del sistema de apoyo (caldera de gas natural), que durante esas horas tendrá su mayor actividad.

A medida que avanza el día, veremos que la aportación del sol aumenta, sobre todo en las horas centrales en las que la radiación solar será máxima. De la misma manera, la aportación de la caldera ira disminuyendo, debido a que la temperatura del agua tras su paso por el intercambiador de calor aumentará en estos casos, por las razones ya expuestas anteriormente.

**Segundo caso: 10 de Julio**

Del mismo modo, este segundo caso, tratará de reflejar el comportamiento de la instalación durante uno de los días más cálidos del año, tomando como referencia el 10 de Julio.

Los datos obtenidos en relación a este caso también se han plasmado en el gráfico que aparece a continuación.

***Gráfica 4: Cobertura de la demanda de ACS (10 de julio).***

Estudiamos en esta ocasión una situación en la que la duración del día será mucho mayor en comparación a la que hemos analizado en el primer caso, y por ello la radiación solar será más abundante. De esta manera, la contribución solar aumentara.

Vemos que al igual que pasaba en el caso anterior, durante un cierto periodo de las horas iniciales del día (0h – 1h, 4h – 8h), hay opción de obtener calor a través de la energía solar, gracias al servicio de los acumuladores solares, que como antes ya se ha dicho, se encargan de almacenar energía durante periodos en los que no se precisa su uso, para poder adminístrala de la manera más conveniente posible. A partir de las 9h de la mañana aproximadamente, aumentando de esta manera durante un valor aproximado de 2 horas el tiempo de radiación solar respecto del caso que se ha analizado en primer lugar, en el que no se recibía radiación solar hasta las 11h (valor aproximado), será posible usar energía proveniente de los colectores que ahora reciben la radiación solar. Es notorio que en esta época del año las condiciones climatológicas permiten que la energía acumulada a lo largo del día sea mayor que en el caso anterior.

La energía restante, será la que deberá proporcionar el sistema de energía convencional.

# ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realizaran unos cálculos previos a los cálculos finales de los costes, y la información se resume en la siguiente tabla:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Contribución a la demanda de ACS (%) : diseño** | 30 | 50 |
| **Demanda de ACS (MWh)** | 126,91 | 126,91 |
| **Energía útil colectores (MWh)** | 45,38 | 68,71 |
| **Energía caldera (MWh)** | 81,53 | 58,20 |
| **Contribución a la demanda de ACS (%): simulación** | 35,75 | 54,14 |
| **Consumo Gas Natural caldera (MWh)** | 90,59 | 64,67 |
| **Consumo bombas (MWh)** | 1,9 | 1,9 |
| **Ahorro de energía primaria (MWh)** | 50,42 | 76,34 |

Tabla 6: Datos sobre las instalaciones térmicas solares.

## Coste de inversión

Los costes de inversión, llamados también costos pre-operativos, corresponden a aquellos que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento.

### 9.1.1 Instalación solar

Para obtener el valor de la inversión de cada una de las instalaciones consideradas, se hará uso de la gráfica que proporciona la DTIE (Integración de Energías Renovables en la Rehabilitación Energética de Edificios). En este caso, el área de los colectores (m2) determinará el precio de la inversión de la instalación, ya que gracias a la gráfica se deducirá un valor en €/m2 que se corresponda con el área mencionada. El precio final obtenido tendrá en cuenta tanto los colectores solares, como las tuberías, el intercambiador de calor, el disipador y el acumulador solar.

***Gráfica 5: Coste de Inversión/Mantenimiento - Superficie captadores solares.***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Superficie captadores (m2)** | **Coste de inversión (€/m2)** | **Coste de inversión (€)** |
| 100 | 35,75 | 56,3 | 835 | 47.011 |
| 100 | 54,14 | 103,2 | 810 | 83.592 |

Tabla 7: Costes de inversión de las instalaciones solares.

Como vemos en la tabla 7, el coste de inversión disminuye con la superficie de los captadores solares, y a su vez, con la contribución a la demanda de ACS.

### **9**.1.2 Caldera

El coste de inversión de la caldera de nuestras instalaciones se calculara en base a la siguiente gráfica, que se ha obtenido mediante el Generador de precios CYPE (precio de instalación de caldera de condensación por potencia nominal). Obtendremos directamente el coste de inversión, usando la potencia nominal (kW) de la caldera en uso, que será la misma para ambos casos estudiados.

***Gráfica 6: Coste de inversión - Potencia térmica nominal.***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Potencia nominal (kW)** | **Coste de inversión (€)** |
| 100 | 230 | 17.837 |

Tabla 8: Costes de inversión de la caldera.

### 9.1.3 Acumulador de ACS

La gráfica de la que se hará uso en este apartado también se ha obtenido mediante el Generador de precios CYPE (precio del depósito por volumen). En esta ocasión, la gráfica nos facilitara el coste del depósito (€), en base al volumen que este tenga (l). Será igual en los dos casos, y se considerará un volumen de 1000 l.

***Gráfica 7: Coste de inversión - Volumen acumulador de ACS.***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Volumen acumulador ACS (l)** | **Coste inversión (€)** |
| 100 | 1000 | 2.462 |

Tabla 9: Costes de inversión del acumulador de ACS.

### 9.1.4 Coste total de inversión

Se realizara el cálculo del coste total de la inversión, llevando a cabo la suma de los costes anteriormente calculados para cada caso:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Coste inversión inst. solar (€)** | **Coste inversión caldera (€)** | **Coste inversión tanque ACS (€)** | **Coste total inversión (€)** |
| 100 | 35,75 | 47.011 | 17.837 | 2.462 | 67.310 |
| 100 | 54,14 | 83.592 | 17.837 | 2.462 | 103.891 |

Tabla 10: Costes totales de inversión.

### 9.1.5 Coste de amortización

Los costos anuales de las plantas se calculan multiplicando la inversión por el factor de recuperación de capital o el factor de amortización (CRF).

El factor de recuperación de capital de define de la siguiente manera:

FRC = (i \* (1 + i) ^ n) / (((1 + i) ^ n) - 1)

Donde i es la tasa de interés y n es la vida útil de la planta.

Considerando un tipo de interés de 5% (razonable para las circunstancias económicas reales en España) obtendremos los siguientes valores del FRC:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **n (vida útil)** | **FRC** |
| **Instalación solar** | 25 | 0,071 |
| **Caldera** | 15 | 0,096 |
| **Depósito de ACS** | 15 | 0,096 |

Tabla 11: Valores de FRC.

Se resumen también los costes de inversión en esta tabla, ya que son necesarios para los cálculos de este apartado:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Contribución a la demanda 30%** | | **Contribución a la demanda 50%** | |
|  | **Coste de inversión (€)** | **Coste de amortización (€)** | **Coste de inversión (€)** | **Coste de amortización (€)** |
| **Instalación solar** | 47.011 | 3.338 | 83.592 | 5.935 |
| **Caldera** | 17.837 | 1.712 | 17.837 | 1.712 |
| **Acumulador de ACS** | 2.462 | 236 | 2.462 | 236 |

Tabla 12: Costes de amortización.

Con un último cálculo se conseguirán los costes totales anuales de amortización:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Coste de amortización (€)** |
| 100 | 35,75 | 5.286 |
| 100 | 54,14 | 7.883 |

Tabla 13: Costes totales de amortización.

## 9.2 Coste de mantenimiento

### 9.2.1 Instalación solar

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Superficie captadores (m2)** | **Coste de mantenimiento (€/m2)** | **Coste de mantenimiento (€)** |
| 100 | 35,75 | 56,3 | 44 | 2.477 |
| 100 | 54,14 | 103,2 | 41 | 4.231 |

La grafica 5 utilizada anteriormente nos servirá para obtener el coste de mantenimiento en relación a la instalación, que se definirá de igual manera que se ha hecho en el caso anterior.

Tabla 14: Costes de mantenimiento de la instalación solar.

### 9.2.2 Caldera

El cálculo del coste de mantenimiento de la caldera de gas natural utilizada en las instalaciones térmicas solares como sistema de apoyo, se realiza tomando como referencia el coste de inversión que se ha calculado anteriormente. El 9,5% de ese valor será el valor del coste de mantenimiento de la caldera para cada caso.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Potencia nominal (kW)** | **Coste de inversión (€)** | **Coste de mantenimiento (€)** |
| 100 | 230 | 17.837 | 1.695 |

Tabla 15: Costes de mantenimiento de la caldera.

### 9.2.3 Coste total de mantenimiento

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Coste total de mantenimiento (€)** |
| 100 | 35,75 | 4.172 |
| 100 | 54,14 | 5.926 |

Tabla 16: Costes totales de mantenimiento.

## 9.3 Coste de operación

### 9.3.1 Caldera

El coste de operación estará ligado al consumo de gas natural.

Para su cálculo, consideraremos un rendimiento del 90% para la caldera, y tendremos en cuenta el precio actual del gas natural que se encuentra en un 0,05 €/kWh.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Consumo GN de la caldera (MWh)** | **Coste de operación (€)** |
| 100 | 35,75 | 90,59 | 4.529,5 |
| 100 | 54,14 | 64,67 | 3.233,5 |

Tabla 17: Costes de operación de la caldera.

### 9.3.2 Bombas

Para este cálculo, utilizaremos por una parte el valor del consumo eléctrico de las bombas, y por otro lado el coste de la electricidad que se corresponde con 12,5 c€/kWh.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Consumo bombas (MWh)** | **Coste de operación (€)** |
| 100 | 35,75 | 1,9 | 237,5 |
| 100 | 54,14 | 1,9 | 237,5 |

Tabla 18: Costes de operación de las bombas.

### 9.3.3 Coste total de operación

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Coste total de operación (€)** |
| 100 | 35,75 | 4.767 |
| 100 | 54,14 | 3.471 |

Tabla 19: Costes totales de operación.

## 9.4 Coste total

El coste total será igual a la suma de cada coste calculado en los apartados anteriores:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Coste total (€)** |
| 100 | 35,75 | 14.225 |
| 100 | 54,14 | 17.280 |

***Tabla 20: Costes totales.***

# ANALISIS MEDIOAMBIENTAL

Los edificios que integran el uso de renovables en sus instalaciones consiguen reducir el consumo energético y las emisiones de CO2 a la atmósfera, un problema que hay que atajar para cumplir los objetivos marcados por la Unión Europea y para frenar, o en la medida de lo posible disminuir, el impacto del cambio climático.

El análisis ambiental en el trabajo actual toma en cuenta los GEI emitidos durante el ciclo de vida de los equipos de la instalación desde la cuna hasta la puerta, esto es, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación de componentes. Además de esto, también se consideran las emisiones durante la operación de la planta, incluidas las emisiones debidas al consumo de gas natural y electricidad.

Todas las gráficas utilizadas para llevar a cabo el análisis medioambiental de este proyecto, se han conseguido gracias a la Base de datos Ecoinvent: emisiones de equipos.

Ecoinvent 3.0, es la base de datos más utilizada para los inventarios del ciclo de vida (LCI) sobre suministro de energía, materiales, químicos, metales y servicios de transporte.

En este documento, el método utilizado para el cálculo de las emisiones de GEI es el método IPCC desarrollado por el Panel Internacional sobre Cambio Climático. La categoría de cambio climático se caracteriza por el IPCC GWP 100 (Potencial de calentamiento global), que se expresa como el potencial del calentamiento global durante un período de 100 años en kg de dióxido de carbono / kg de emisión, comparando el efecto de la liberación de 1 kg de GEI con el efecto causado por el CO2. Todos los factores de emisión se dan en kg de CO2 equivalente.

Para determinar las emisiones de GEI de los componentes, la base de datos Ecoinvent proporciona datos ambientales de dispositivos genéricos utilizados en plantas térmicas.

Obtenemos los valores de emisión de CO2 correspondientes al Gas Natural y a la electricidad del Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), siendo estos:

En el caso del gas natural: 0,252 kgCO2eq / kWhPCI

En cuanto a la electricidad: 0,357 kgCO2eq / kWhPCI

Se consideran nulas las emisiones de mantenimiento.

## 10.1 Emisiones de fabricación de equipos

### 10.1.1 Instalación solar

En esta grafica se reflejan las emisiones de CO2 de la instalación, que en este caso, como antes ya se ha explicado, englobará los colectores solares, las tuberías, el intercambiador de calor, el disipador y el acumulador solar.

***Gráfica 8: Emisiones de CO2eq - Superficie captadores solares.***

Teniendo en cuenta de nuevo la superficie de los captadores solares, obtendremos las emisiones de la instalación solar para cada caso:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Superficie captadores (m2)** | **Emisiones de CO2eq (kg)** |
| 100 | 35,75 | 56,3 | 8.164 |
| 100 | 54,14 | 103,2 | 14.237 |

***Tabla 21: Emisiones de CO2 de la instalación solar.***

Podemos ver que las emisiones de CO2 aumentan a medida que aumenta la superficie de los captadores solares, es decir, cuando la contribución de la planta solar a la carga de ACS es mayor.

### 10.1.2 Caldera

En el caso de la caldera, nos basaremos nuevamente en su potencia térmica nominal, que como se ha dicho anteriormente, consideramos de igual valor para los dos casos que se estudian.

***Gráfica 9: Emisiones de CO2eq - Potencia térmica nominal.***

Con los datos obtenidos mediante la gráfica, en la siguiente tabla se calculan las emisiones de CO2eq debidas a la caldera:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Número de viviendas | QCAL (kWh) | Emisiones CO2eq (kg) |
| 100 | 230 | 3.765 |

***Tabla 22: Emisiones de CO2 de la caldera.***

Se debe decir que, a pesar de que en este proyecto sólo se analiza el consumo de ACS, las calderas podrían utilizarse para cubrir la demanda de calefacción cuando se requiriese.

### 10.1.3 Acumulador de ACS

De igual manera que en el estudio económico, la gráfica relacionada con el acumulador nos proporcionara las emisiones que este emite basándose en su capacidad volumétrica (l).

***Gráfica 10: Emisiones de CO2eq - Volumen acumulador de ACS.***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Volumen acumulador ACS (l)** | **Emisiones CO2eq (kg)** |
| 100 | 1000 | 1096 |

***Tabla 23: Emisiones de CO2 del acumulador de ACS.***

### 10.1.4 Emisiones totales de la fabricación de la planta

Se calcularan a partir de los tres apartados anteriores y su valor se recoge en esta tabla:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Emisiones CO2eq (ton)** |
| 100 | 35,75 | 13,03 |
| 100 | 54,14 | 19,10 |

***Tabla 24: Emisiones totales de CO2 de la fabricación de la planta.***

### 10.1.5 Amortización ambiental anual de la planta

Las emisiones de fabricación de equipos se calculan multiplicando el impacto ambiental del equipo por el factor de amortización ambiental (FAMAMB).

El factor de amortización ambiental se define de la siguiente manera: FAMAMB = 1/n

Donde, al igual que para el cálculo del FRC, n se refiere a la vida útil.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **n (vida útil)** | **FAMAMB** |
| **Instalación solar** | 25 | 0,04 |
| **Caldera** | 15 | 0,067 |
| **Depósito de ACS** | 15 | 0,067 |

***Tabla 25: Valores de FAMAMB.***

En la siguiente tabla se calculan las emisiones de fabricación en función del impacto ambiental de los equipos y haciendo uso del valor de FAM que corresponda.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Contribución a la demanda 30%** | | **Contribución a la demanda 50%** | |
|  | **Impacto ambiental del equipo (kg)** | **Emisiones de fabricación de equipos (kg)** | **Impacto ambiental del equipo (kg)** | **Emisiones de fabricación de equipos (kg)** |
| **Instalación solar** | 8.164 | 326,6 | 14.237 | 569,5 |
| **Caldera** | 3.765 | 251,0 | 3.765 | 251,0 |
| **Acumulador de ACS** | 1.096 | 73,1 | 1.096 | 73,1 |

***Tabla 26: Emisiones de fabricación de equipos.***

Para finalizar, se calcula el valor total de las emisiones de fabricación de equipos:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Emisiones de fabricación de equipos (ton)** |
| 100 | 35,75 | 0,65 |
| 100 | 54,14 | 0,89 |

***Tabla 27: Emisiones totales de fabricación de equipos.***

## 10.2 Emisiones de operación

### 10.2.1 Caldera

El coste de operación estará ligado al consumo de gas natural.

Para su cálculo, consideraremos un rendimiento del 90% para la caldera, y tendremos en cuenta su correspondiente valor: 0,252 kgCO2eq / kWhPCI.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Consumo GN de la caldera (MWh)** | **Emisiones de operación (ton)** |
| 100 | 35,75 | 90,59 | 22,83 |
| 100 | 54,14 | 64,67 | 16,30 |

***Tabla 28: Emisiones de operación de la caldera.***

### 10.2.2 Bombas

Para este cálculo, utilizaremos por una parte el valor del consumo eléctrico de las bombas, y por otro lado el siguiente valor: 0,357 kgCO2eq / kWhPCI .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Consumo bombas (MWh)** | **Emisiones de operación (ton)** |
| 100 | 1,9 | 0,68 |

***Tabla 29: Emisiones de operación de las bombas.***

### 10.2.3 Emisiones totales de operación

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Emisiones de operación (ton)** |
| 100 | 35,75 | 23,51 |
| 100 | 54,14 | 16,98 |

Tabla 30: Emisiones totales de operación.

## 10.3 Emisiones totales

Partiendo de los cálculos hechos a lo largo del análisis medioambiental, lo finalizaremos con el calculo de las emisiones totales para cada uno de los casos que se están analizando:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Emisiones totales (ton)** | **Contribución de la fabricación (%)** |
| 100 | 35,75 | 24,16 | 2,69 |
| 100 | 54,14 | 17,87 | 4,98 |

Tabla 31: Emisiones totales.

# RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados más relevantes obtenidos se ven de forma más clara en la siguiente tabla que recoge tanto los costes totales como las emisiones totales de cada planta:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de viviendas** | **Contribución a la demanda de ACS (%)** | **Costes totales (€)** | **Emisiones totales (ton)** |
| 100 | 35,75 | 14.225 | 24,16 |
| 100 | 54,14 | 17.280 | 17,87 |

Tabla 32: Costes totales junto a las emisiones totales.

Podemos observar en esta tabla, como primera conclusión, que el hecho de aumentar la contribución a la demanda de ACS de la instalación solar térmica, supone una disminución de las emisiones de CO2eq, y a su vez trae un aumento en el coste de la instalación.

La tabla 29 nos indica que a pesar de que la vida útil de los colectores solares es mayor que la del acumulador de ACS, las emisiones de amortización de estos primeros son mucho más altas.

* + - * + 8164 kg > 1096 kg (30 %)
        + 14237 kg > 1096 kg (50 %)

La razón de que se dé tal hecho, la vemos en la gráfica 8, en la que observamos que las mayores emisiones de fabricación serán las de los colectores, superando a las del circuito primario, que está básicamente compuesto de cobre, y a las del acumulador solar. Las emisiones de fabricación del circuito primario son notablemente inferiores a las dos restantes (colectores y acumulados solar).

En la tabla 31 se lleva acabo el cálculo de la contribución de la fabricación respecto a las emisiones totales para cada instalación. Podemos ver que este valor es tan pequeño que incluso podría decirse que es despreciable. De hecho, si miramos los valores de las emisiones totales por fabricación (tabla 27) y los de las emisiones totales de operación (tabla 30), veremos que la diferencia es abismal:

* Emisiones totales de fabricación: 0,65 ton (30%) y 0,89 ton (50%)
* Emisiones totales de operación: 23,51 ton (30%) y 16,98 ton (50%)

De la misma manera, los resultados nos indican, que a pesar de que el valor sigue siendo muy pequeño, la contribución de la fabricación aumenta cuando la contribución a la demanda de ACS aumenta, es decir, cuando más energía de la generada proviene de la energía térmica solar. Esto se debe a que, en el caso de las energías renovables, como la energía térmica solar, las emisiones durante el uso son nulas. En consecuencia, las emisiones debidas a la fabricación no resultarán despreciables respecto a las emisiones totales en determinados casos en los que la contribución de la energía renovable tenga cada vez mayor valor, ya que las emisiones correspondientes al uso serán nulas en esos casos.

Volviendo a los datos recogidos en la tabla 32, podemos decir que la energía térmica solar se trata de una energía que hoy en día presenta no solo ventajas, sino también una serie de inconvenientes.

El empleo de esta energía limpia supone una significativa reducción de emisiones de CO2 y una mejora de la calidad de vida, aumentando los beneficios ambientales con la energía solar térmica, ya que la emisión de CO2 al ambiente como consecuencia de la utilización de combustibles fósiles es uno de los principales responsables del efecto invernadero. No emite gases perjudiciales para la salud y contribuye a la reducción gases efecto invernadero que afectan el cambio climático.

* No es contaminante.
* Al tratarse de una energía renovable, permite sustituir una parte del consumo de combustible fósil y/o electricidad, evitando o retrasando el agotamiento de los recursos naturales.
* La energía solar es una fuente de energía limpia, renovable, gratuita e inagotable.
* Permite un mayor ahorro de agua y electricidad.
* No deteriora la calidad del aire o de los suelos donde se encuentre.
* Contribuye al respeto y cuidado al medio ambiente.
* Es un sistema de fácil instalación e integración en la vivienda y apenas necesita mantenimiento.

Por otra parte, probablemente el mayor punto de discusión sea el coste de la misma. Los numerosos incentivos que se han venido otorgando a la producción de energía camuflan el coste real de producción.

Sin embargo, hoy en día la optimización de la eficiencia de los paneles ha supuesto que el coste de producción de energía solar sea en algunas situaciones menores que el de la energía convencional.

# DESCRIPCIÓN DE TAREAS. GANTT

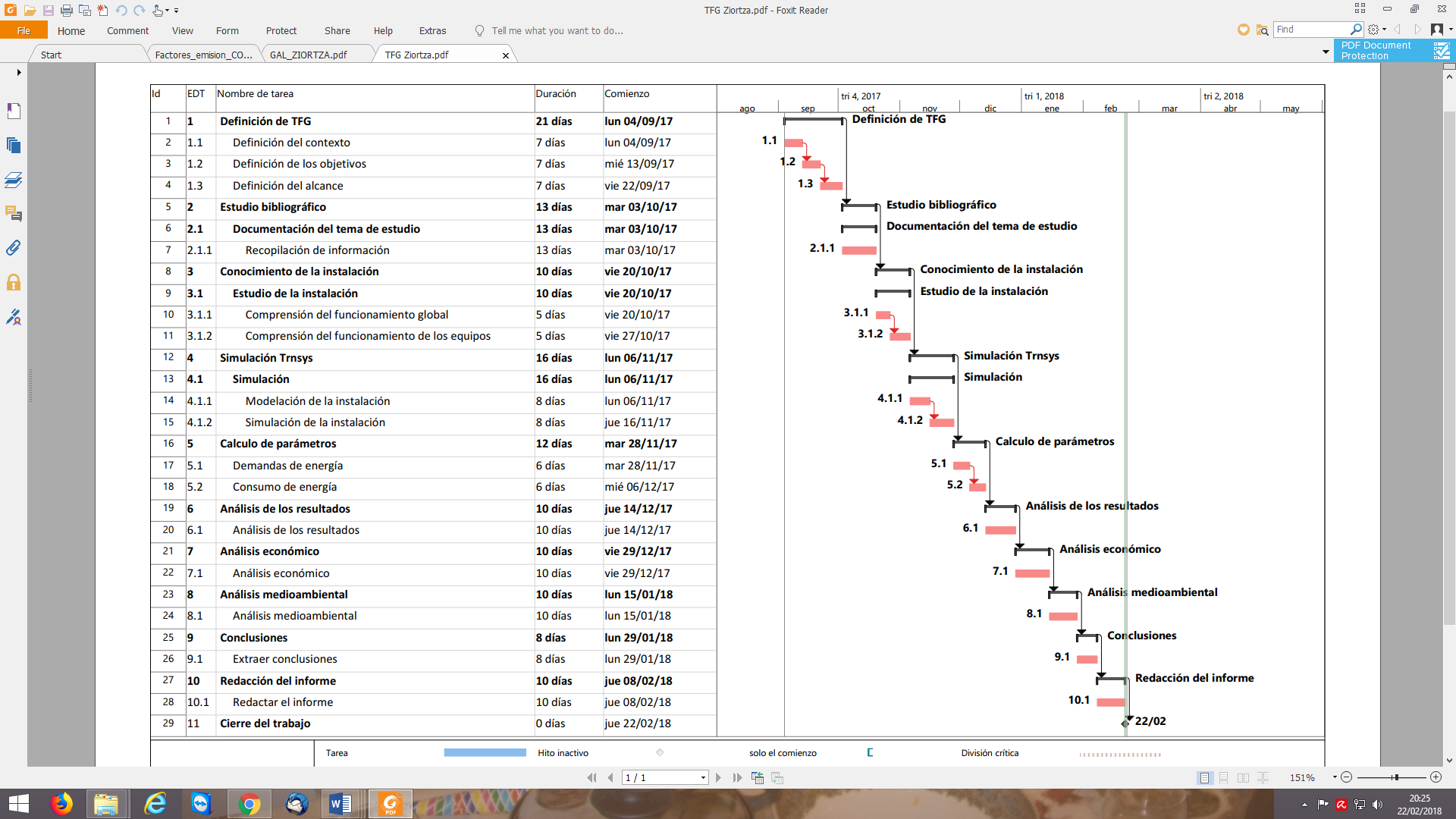
El proyecto expuesto dio comienzo el lunes 4 de septiembre de 2017 (04/09/2015), y su finalización se prevé para el día 22 de febrero de 2018 (22/02/2018).

A continuación, se recoge el conjunto de tareas que se han llevado a cabo:

|  |  |
| --- | --- |
| 1. **Definición de TFG** | **21 días** |
| * 1. Definición del contexto | 7 días |
| * 1. Definición de los objetivos | 7 días |
| * 1. Definición del alcance | 7 días |
| 1. **Estudio bibliográfico** | **13 días** |
| * 1. Documentación del tema de estudio | 13 días |
| 2.1.1 Recopilación de información | 13 días |
| 1. **Conocimiento de la instalación** | **10 días** |
| * 1. Estudio de la instalación | 10 días |
| * + 1. Comprensión del funcionamiento global | 5 días |
| * + 1. Comprensión del funcionamiento de los equipos | 5 días |
| 1. **Simulación Trnsys** | **16 días** |
| * 1. Simulación | 16 días |
| * + 1. Modelación de la instalación | 8 días |
| * + 1. Simulación de la instalación | 8 días |
| 1. **Calculo de parámetros** | **12 días** |
| * 1. Demandas de energía | 6 días |
| * 1. Consumo de energía | 6 días |
| 1. **Análisis de los resultados** | **10 días** |
| * 1. Análisis de los resultados | 10 días |
| 1. **Análisis económico** | **10 días** |
| * 1. Análisis económico | 10 días |
| 1. **Análisis medioambiental** | **10 días** |
| * 1. Análisis medioambiental | 10 días |
| 1. **Conclusiones** | **8 días** |
| * 1. Extraer conclusiones | 8 días |
| 1. **Redacción del informe** | **10 días** |
| * 1. Redactar el informe | 10 días |
| 1. **Cierre del trabajo** | **0 días** |

Tabla 33: Planificación de las tareas para la realización del TFG.

A continuación, se incluye un diagrama Gantt que recapitula lo expuesto en la tabla de manera más visual:



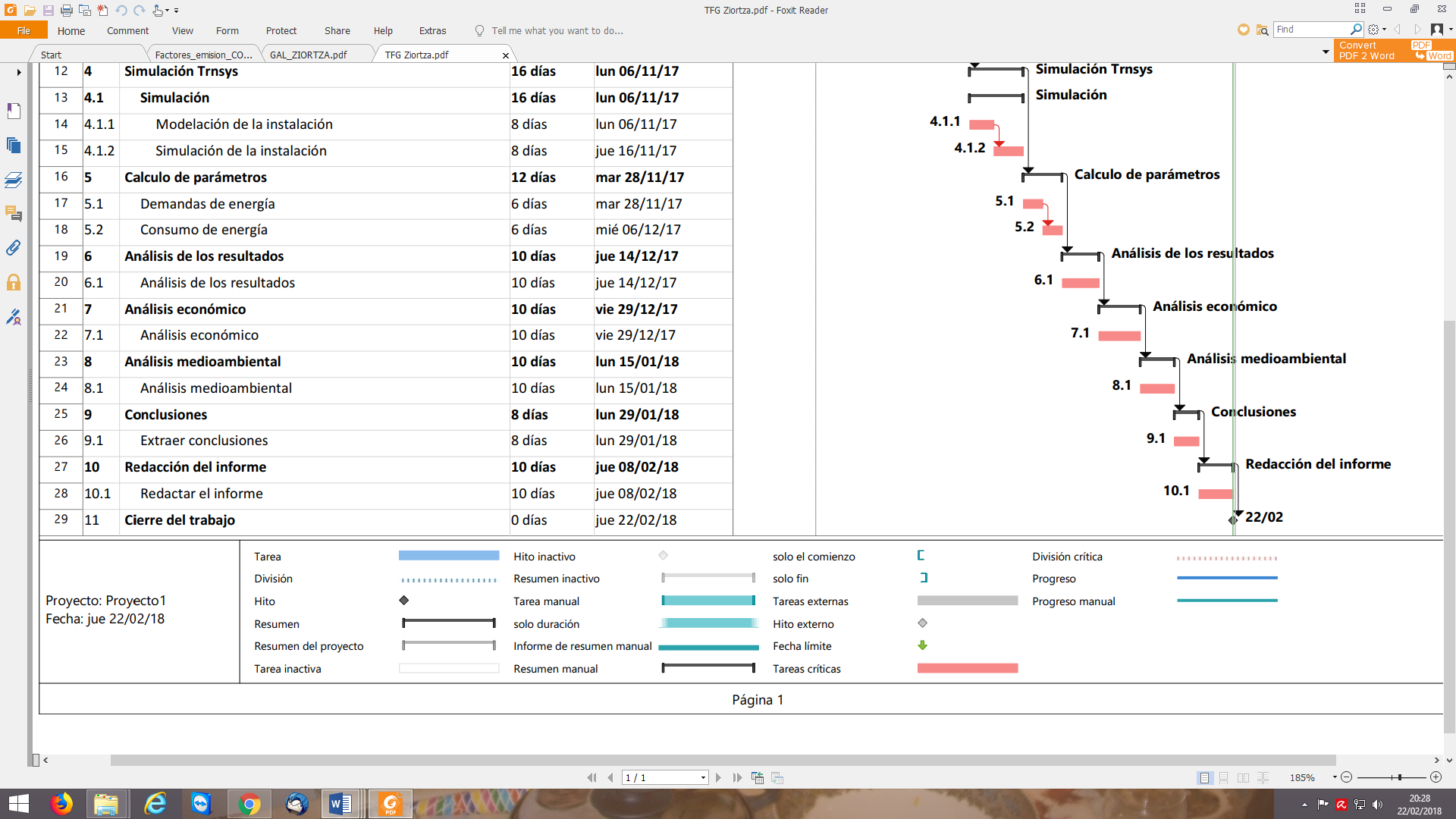


Ilustración 7: Diagrama Gantt del TFG.

Gráfica 11: Duración de las fases del proyecto.

Como se puede apreciar, se ha invertido el mayor tiempo del proyecto (24%) en elaborar los diferentes análisis (económico, medioambiental y análisis de resultados). Este paquete de trabajo es sin duda el más laborioso del proyecto y el que más horas de trabajo requiere. A continuación, se sitúa la fase relativa a la definición del contexto, objetivos y alcance del TFG, ocupando un 18% del tiempo total.

La simulación en el software Trnsys ha supuesto un 13%, el estudio bibliográfico se corresponde con un 11%, y el cálculo de los parámetros con un 10%. El conocimiento de la instalación y la redacción del informe, suponen un 8% cada uno, y las conclusiones un 7%.

# PRESUPUESTO

Todo proyecto exige realizar un presupuesto de los gastos que supondrían su completa realización, el cual debe compararse con el descargo de gastos efectuado en la materialización del proyecto. En este caso, al ser un trabajo ya realizado, lo que se va a denominar presupuesto equivale en realidad al descargo de gastos. Es recomendable realizar el presupuesto con propósito de ser un apoyo informativo para proyectos venideros; para saber si existe suficiente capital para acometerlo y para estimar su rentabilidad. El presupuesto refleja los diferentes gastos relativos a su procedencia y se ha considerado apropiado desglosar el presupuesto en las siguientes partidas: horas internas, amortizaciones, gastos, subcontrataciones, costes indirectos, imprevistos y total. Por si alguna duda surgiese, se detalla adelante el significado de cada partida.

*Horas internas*: son las horas que emplean los trabajadores contratados por la empresa ejecutora para realizar las tareas del proyecto.

*Amortizaciones*: correspondientes a los activos fijos de la empresa que ésta utiliza para el proyecto: maquinaria, ordenadores, etc.

*Gastos*: todo lo utilizado exclusivamente en el proyecto, no puede ser utilizado posteriormente. Materiales, viajes, luz, material de oficina…

*Subcontrataciones*: la contratación temporal de terceras personas cuya participación en el proyecto es necesaria.

*Gastos indirectos*: los gastos no imputables a ningún proyecto en particular. Lo normal es calcularlos como un porcentaje determinado de los gastos directos, o si no se incluyen dentro del conjunto de gastos directos. En este trabajo se ha considerado el 5% de los gastos directos.

*Imprevistos*: se estiman como un porcentaje de la suma total de los anteriores gastos, tratando de evitar efectos perjudiciales a causa de posibles desviaciones en el cálculo del presupuesto. En este trabajo se ha considerado el 5% del subtotal (gastos directos + gastos indirectos).

En primer lugar se detallan los costes asociados a las horas internas que se han dedicado al proyecto

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **HORAS INTERNAS** | **Unidad** | **Coste/Unidad** | **Nº unidades** | **Coste** |
| **Ingeniero Senior** | h | 50 | 150 | 7.500 € |
| **Ingeniero Junior** | h | 30 | 200 | 6.000 € |

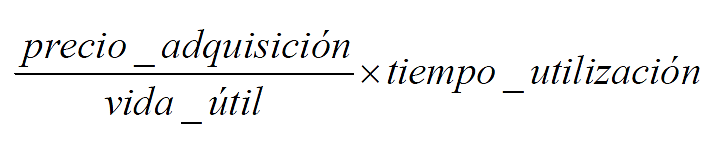
Tabla 34: Desglose de las horas internas y sus costes.

Como se aprecia en la tabla superior, las horas internas son la suma de las dedicadas por la tutora del proyecto y de las dedicadas por la estudiante. La tutora ejerce la función de Ingeniera Senior y su coste asociado es de 50 € por cada hora de trabajo. La estudiante ejerce la función de Ingeniera Junior y cobra 30 € por cada hora dedicada al proyecto. El número de horas trabajadas aproximadas ha sido de 150 horas para la tutora y 200 horas para la estudiante, lo que en total suma un coste de 13.500 €.

Seguidamente se detallan las amortizaciones:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **AMORTIZACIONES** | **Coste adquisitivo** | **Vida útil (h)** | **Tiempo de uso (h)** | **Amortización** |
| **Ordenador** | 800 € | 10.000 | 200 | 16 € |
| **Licencia Trnsys** | 1.500 € | 15.000 | 150 | 15 € |

Tabla 35: Desglose de las horas amortizaciones y sus costes.

Como se aprecia en la tabla, para la realización del trabajo fin de grado se ha requerido el uso de un ordenador y de la licencia de Trnsys. Para estos productos no se habla en términos de coste si no de amortización dado que no han sido comprados expresamente para la realización de este trabajo. Esto implica que su vida útil no se limita a este proyecto, sino que simplemente se ve reducida; de modo que ambos productos han podido ser utilizados en proyectos pasados o podrán ser utilizados en proyectos futuros. La amortización se define por lo tanto como el coste asociado a las pérdidas de valor de los activos fijos, ordenador y licencia Trnsys, por su utilización en este trabajo. Se calcula según la siguiente expresión:

Los resultados obtenidos son de 16 € para el ordenador y de 15 € para la licencia de Trnsys. El coste total asociado a las amortizaciones es igual a su suma: 31 €.

A continuación se detallan los gastos, es decir el coste de los activos que se han comprado expresamente para la realización de este trabajo fin de grado:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **GASTOS** | **Unidad** | **Coste/Unidad** | **Nº unidades** | **Coste** |
| **Material de oficina** | - | - | - | 85 € |
| **Documentación** | - | - | - | 50 € |

Tabla 36: Desglose de los gastos y sus costes.

Estos activos se componen principalmente de material de oficina y de documentación. En cuanto al material de oficina empleado, éste se compone principalmente de folios de papel reciclado A4, bolígrafos BIC, lapiceros, gomas de borrar, fundas de plástico y de 4 CDs para la posterior grabación del proyecto. En cuanto a la documentación por la que se ha tenido que pagar, esta ha sido principalmente la relativa a los datos de la vivienda que se ha analizado (demandas, dimensiones…). El material de oficina ha supuesto un coste aproximado de 85 € y el precio de la documentación requerida, se detalla en la bibliografía y se estima en 50 €. El coste total es la suma de ambos y equivale a 135 €.

Por último, destacar que se ha encargado la fabricación de los 4 CDs al personal de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Bilbao, y que el coste asociado a esta subcontratación ha sido nulo.

Finalmente, los cuatro conceptos mencionados (horas internas, amortizaciones, gastos y subcontrataciones) suman un coste total de 13.666 € que constituye el subtotal 1. A este subtotal cabe añadir los costes indirectos, que representan el 5% del subtotal 1, es decir 683 €. Sumando el subtotal 1 y los costes indirectos, se obtiene el subtotal 2, igual a 14.349 €. A este segundo subtotal hay que añadir los costes derivados de imprevistos que se puedan ocasionar durante la realización del trabajo, como pueden ser los retrasos debidos a fallos en la programación… Estos se estiman como el 5% del subtotal 2 y equivalen a 717 €. La suma del subtotal 2 y de los costes derivados de imprevistos constituye el coste total de proyecto, que equivale a 15.066 €.

|  |  |
| --- | --- |
| **SUBTOTAL 1** | 13.666 € |
| **COSTES INDIRECTOS** | 683 € |
| **SUBTOTAL 2** | 14.349 € |
| **IMPREVISTOS** | 717 € |
| **TOTAL** | 15.066 € |

Tabla 37: Subtotales y coste total.

Por último se introduce la siguiente tabla a modo de resumen:

|  |  |
| --- | --- |
| **PARTIDA** | **COSTE** |
| **Horas internas** | 13.500 € |
| **Amortizaciones** | 31 € |
| **Gastos** | 135 € |
| **Subcontrataciones** | 0 € |
| **SUBTOTAL 1 (5% de subtotal 1)** | 13.666 € |
| **Costes indirectos** | 683 € |
| **SUBTOTAL 2** | 14.349 € |
| **Imprevistos (5% de subtotal 2)** | 717 € |
| **TOTAL PROYECTO** | 15.066 € |

Tabla 38: Presupuesto resumido.

# CONCLUSIONES

En este apartado se van a recapitular las principales conclusiones del estudio realizado:

* Los edificios residenciales representan alrededor del 17% del consumo total de energía en España, siendo el agua caliente sanitaria (ACS) el 20%.
* El Código Técnico de la Edificación de España (CTE) establece que un porcentaje mínimo de demanda de ACS (30% en el caso de la zona climática en la que se trabajará) en edificios nuevos y renovados debe cubrirse mediante energía solar térmica o mediante cualquier otra fuente de energía renovable o cogeneración.
* El objetivo principal de este trabajo es estudiar la tecnología solar térmica actualmente utilizadas en España para satisfacer la carga de ACS en una vivienda multifamiliar de acuerdo con criterios económicos y ambientales.
* El propósito es diseñar una instalación solar térmica que satisfaga las necesidades de Agua Caliente Sanitaria, cumpliendo las especificaciones del Código Técnico de Edificación (CTE) en relación con el aporte solar mínimo, en un edificio de viviendas situado en la ciudad de Bilbao.
* Se estudiarán los casos de edificios multifamiliares de 100 viviendas, considerando los valores de la contribución a la demanda de ACS del 30% (valor mínimo establecido por la CTE) y del 50%.
* Una instalación solar térmica consta de varios sistemas como son, el sistema de captación, sistema de acumulación, sistema de intercambio y el sistema de apoyo.
* Se llevan a cabo simulaciones dinámicas durante un periodo de un año, a través del software TRNSYS. Los resultados obtenidos a través de esas simulaciones se utilizan para realizar análisis económicos y ambientales, así como para determinar la energía primaria no renovable ahorrada durante el funcionamiento de ambas plantas.
* Previamente al dimensionado de la instalación de energía solar, es necesario conocer  
  una serie de datos de partida: condiciones de uso de la instalación, consumo de A.C.S., datos climatológicos, datos geográficos y contribución solar mínima.
* Se realiza el cálculo de la demanda energética.
* Para el análisis de resultados obtenidos se toman como casos representativos, un día correspondiente al mes cuya temperatura del agua de red sea la mínima siendo la radiación solar mínima también (10 de enero), y un día correspondiente al mes de mayor temperatura de red y mayor radiación solar (10 de julio).
* Deducimos del análisis económico llevado acabo que el coste de las instalaciones solares térmicas aumenta a medida que aumente su contribución a la demanda de ACS.

Con un 30% el coste total es de 14.225 €, y para una contribución del 50%, este coste total asciende a 17.280 €.

* Observamos gracias al análisis medioambiental que las emisiones de CO2eq disminuyen con este aumento de la contribución.

Al 30% de contribución le corresponden unas emisiones totales de 24,16 ton, y para el 50% las emisiones serán de 17,87 ton.

* Por lo tanto, no queda en evidencia que podamos hablar de una alternativa más apropiada o menos apropiada, ya que a mayor contribución, mayor serán los costes y menores las emisiones. Debido a eso, diremos que la energía solar aporta tanto ventajas en el entorno medioambiental como desventajas en cuanto al coste económico, y habrá que valorar la escena en su conjunto para evaluar y decidir la opción más ventajosa en cada caso.
* El proyecto expuesto dio comienzo el día 04/09/2017 y finalizó el día 22/02/2018.
* El coste total que ha supuesto este proyecto es igual a 15.066 €.

# FUENTES DE INFORMACIÓN

* CTE: Código Técnico de la Edificación
* DB-HE: Documento Básico Ahorro de Energía
* Guía Asit de la Energía Solar Térmica
* IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Instalaciones de Energía Solar Térmica  
Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura

* RITE: Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los EdificiosFactores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España
* DTIE

Instalaciones solares Térmicas Para Producción de Agua Caliente Sanitaria

Integración de Energías Renovables en la Rehabilitación Energética de los Edificios