



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio del potencial de aprovechamiento de la energía solar
para usos térmicos en las instalaciones de la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Oscar Vega Vegas

DIRECTORES: Guillermo Lareo Calviño
Andrés Suárez García

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio del potencial de aprovechamiento de la energía solar
para usos térmicos en las instalaciones de la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objeto realizar un estudio del potencial de aprovechamiento de la energía solar para usos térmicos en la Escuela Naval Militar en línea con las directrices establecidas por el Ministerio de Defensa que promueven la utilización de esta energía en bases navales. La energía solar térmica ofrece grandes ventajas tanto energéticas como económicas en comparación con energías basadas en combustibles fósiles. Con la ayuda del programa Sketchup, se ha dimensionado en 3D los edificios del área de estudio. Se ha calculado la demanda energética de los edificios relevantes para la colocación de las instalaciones solares térmicas mediante el sistema de cálculo F-Chart. Paralelamente, se ha calculado mediante Skelion, la radiación solar incidente sobre todas las áreas de estudio y se ha dimensionado la instalación solar térmica necesaria para cumplir con la contribución energética mínima establecida por la normativa vigente. A la vista de los resultados, se ha realizado un análisis económico básico que proporcione una estimación de la amortización de la inversión. Las propuestas planteadas, además de cumplir con la normativa para edificios de nueva construcción o rehabilitación, suponen un ahorro económico en comparación con las instalaciones actuales. La amortización calculada revela los beneficios de la utilización de la energía solar a medio-largo plazo.

PALABRAS CLAVE

Energía, solar, térmica, instalación, captador

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo a lo largo de toda la carrera. A mi hermano Pablo por haberme acompañado durante estos cinco años increíbles. A toda mi familia y amigos por el apoyo mostrado. A mis tutores por su implicación en las fases del trabajo y al personal de la Escuela Naval Militar por facilitarnos documentos de importancia para el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos.....	7
2 Antecedentes	9
3 Energía solar térmica (EST)	11
3.1 Breve reseña histórica	13
3.2 Situación actual	14
3.2.1 Energía solar a nivel mundial	14
3.2.2 Situación en Europa.....	14
3.2.3 Situación en España.....	15
3.3 Ventajas e inconvenientes.....	17
3.4 Glosario de términos	18
3.5 Marco legal	19
4 Instalaciones de EST	21
4.1 Generalidades.....	21
4.2 Tipos de instalaciones	22
4.3 Componentes fundamentales	24
4.3.1 Captadores solares térmicos	24
4.3.2 Intercambiador de calor	26
4.3.3 Acumuladores de agua caliente	27
4.3.4 Sistema de control.....	28
4.3.1 Fluido de trabajo	28
4.4 Aspectos que afectan al dimensionado básico de una IST.....	29
4.4.1 Generalidades	29
4.4.2 Integración de captadores en la edificación.....	31
4.4.3 Conexión de captadores solares térmicos de baja temperatura.....	32
4.4.4 Requisitos normativos	34
4.4.5 Método de dimensionado F-Chart	37
5 Metodología.....	43
5.1 Modelado 3D.....	44
5.1.1 Autocad.....	44
5.1.2 Sketchup	45

5.1.3 Desarrollo del modelado de la Escuela Naval Militar	46
5.1.4 Geolocalización y mallado del terreno	48
5.1.5 Integración de edificios en el terreno.....	51
5.2 Cálculo de irradiancia	52
5.2.1 Skelion	52
5.2.2 Desarrollo de la simulación	52
5.3 Dimensionado de la instalación	54
5.3.1 Cálculo F-Chart	54
5.4 Cálculo de la demanda de combustible.....	74
5.4.1 Coste de producción de ACS	76
6 Resultados	77
6.1 Modelado 3D. Sketchup.....	77
6.2 Irradiancia: extensión Skelion.....	78
6.3 Selección de edificios con mayor potencial de aprovechamiento.....	80
6.4 Dimensionado de captadores solares	81
6.5 Estudio económico básico.....	82
7 Conclusiones y líneas futuras	85
7.1 Conclusiones	85
7.2 Líneas futuras	85
8 Bibliografía.....	87
Anexo I: Resultados modelado 3D.....	89
Anexo II: Contribución solar de la propuesta de IST.....	97
Anexo III: Propuesta de la IST modelada en 3D.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Movimiento de la tierra alrededor del sol [2]	12
Figura 3-2. Superficie solar instalada en Europa de 1994 a 2014 [3]	15
Figura 3-3. Superficie solar instalada en España [10].....	17
Figura 4-1. Circuito primario y secundario de una IST [4].....	22
Figura 4-2. Sistemas por termosifón [8] y [1]	23
Figura 4-3. Sistema por circulación forzada [10].....	24
Figura 4-4. Captadores solares planos con cubierta [1]	24
Figura 4-5. Captadores solares de tubo de vacío [8]	25
Figura 4-6. Captadores solares sin cubierta [10].....	25
Figura 4-7. Intercambiador de calor con serpentín [4].....	26
Figura 4-8. Intercambiador de doble pared [2].....	26
Figura 4-9. Intercambiador de calor externo [2]	27
Figura 4-10. Ángulos para el posicionamiento del sol [4]	30
Figura 4-11. Horas de sol anuales en España [10]	31
Figura 4-12. Conexionado en serie.....	32
Figura 4-13. Conexionado en paralelo con retorno invertido	33
Figura 4-14. Conexionado en paralelo con tubería auxiliar	33
Figura 4-15. Zonas climáticas [5].....	34
Figura 5-1. Metodologías de trabajo. Elaboración propia.....	43
Figura 5-2. Medidor láser glm 100c [20]	45
Figura 5-3. Extension Warehouse [15].....	46
Figura 5-4. 3D Warehouse [15].....	46
Figura 5-5. Modelado 3D Elaboración propia.....	47
Figura 5-6. Tipo de plantilla Elaboración propia	47
Figura 5-7. Modelado 3D interno Elaboración propia	48
Figura 5-8. Geolocalización en Sketchup Elaboración propia	49
Figura 5-9. Orientación y colocación de los edificios en Sketchup Elaboración propia.....	49
Figura 5-10. Capa de altura de terreno Elaboración propia.....	50
Figura 5-11. Malla 3D del terreno Elaboración propia	50
Figura 5-12. Integración de edificios en el terreno Elaboración propia.....	51
Figura 5-13. Bases de sustentación para los edificios Elaboración propia.....	51
Figura 5-14. Características en la colocación de los captadores Elaboración propia.....	52
Figura 5-15. Situación de los captadores Elaboración propia	53

Figura 5-16. Base de datos PVGIS Elaboración propia	53
Figura 5-17. Superficie de colocación de captadores seleccionada cuartel Marqués de la Victoria Elaboración propia	64
Figura 5-18. Superficie de colocación de captadores cuartel Almirante Francisco Moreno Elaboración propia	66
Figura 5-19. Superficie de colocación de captadores gimnasio GM Barrutia Elaboración propia ..	69
Figura 5-20. Superficie de colocación de captadores cuartel Méndez Núñez Elaboración propia ..	72
Figura 5-21. Pérdidas por orientación, inclinación y sombras [10]	74
Figura 6-1. Detalles del modelado 3D Elaboración propia	77
Figura 6-2. Detalles del modelado 3D Elaboración propia	78
Figura 6-3. Escuela Naval Militar modelada en 3D Elaboración propia	78
Figura 6-4. Edificios seleccionados para su estudio en profundidad Elaboración propia.....	80
Figura 0-1. Jefatura de instrucción en 3D Elaboración propia.....	91
Figura 0-2. Patio de aulas en 3D Elaboración propia.....	91
Figura 0-3. Gimnasio GM Barrutia en 3D Elaboración propia.....	92
Figura 0-4. Casino de alumnos en 3D Elaboración propia.....	92
Figura 0-5. Cuartel Marqués de la Victoria en 3D Elaboración propia.....	93
Figura 0-6. Edificios muelle de torpedos Elaboración propia.....	93
Figura 0-7. Cuartel Almirante Francisco Moreno en 3D Elaboración propia.....	94
Figura 0-8. Cuartel Méndez Núñez en 3D Elaboración propia.....	94
Figura 0-9. Residencia de oficiales en 3D Elaboración propia	95
Figura 0-10. Barrio industrial en 3D Elaboración propia.....	95
Figura 0-11. Hospital en 3D Elaboración propia	95
Figura 0-1. Propuesta IST cuartel Almirante Francisco Moreno Elaboración propia.....	102
Figura 0-2. Propuesta IST cuartel Marqués de la Victoria Elaboración propia	102
Figura 0-3. Propuesta IST cuartel Méndez Núñez Elaboración propia.....	102
Figura 0-4. Propuesta IST gimnasio GM Barrutia Elaboración propia.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Zona climática [11]	34
Tabla 4-2. Contribución solar mínima [5].....	35
Tabla 4-3. Porcentaje máximo de pérdidas por orientación e inclinación [2].....	36
Tabla 4-4. Porcentaje máximo de pérdidas por sombras [2]	37
Tabla 4-5. Medias de consumo de ACS [5]	39
Tabla 5-1. Datos provincia de Pontevedra Fuente: Censolar	55
Tabla 5-2. Temperatura media de red y ambiente en Pontevedra Fuente: Censolar.....	56
Tabla 5-3. Porcentaje de ocupación cuartel Marqués de la Victoria Fuente: ENM.....	57
Tabla 5-4. Demanda energética cuartel Marqués de la Victoria enero-junio Elaboración propia ...	57
Tabla 5-5. Demanda energética cuartel Marqués de la Victoria julio-diciembre Elaboración propia	58
Tabla 5-6. Porcentaje de ocupación cuartel Almirante Francisco Moreno	58
Tabla 5-7. Demanda energética cuartel Almirante Francisco Moreno enero-junio Elaboración propia	59
Tabla 5-8. Demanda energética cuartel Almirante Francisco Moreno julio-diciembre Elaboración propia	59
Tabla 5-9. Porcentaje de ocupación cuartel de marinería Méndez Núñez Fuente: ENM	59
Tabla 5-10. Demanda energética cuartel marinería Méndez Núñez enero-junio Elaboración propia	60
Tabla 5-11. Demanda energética cuartel marinería Méndez Núñez julio-diciembre Elaboración propia	60
Tabla 5-12. Porcentaje de ocupación Gimnasio GM Barrutia Fuente: ENM.....	61
Tabla 5-13. Demanda energética gimnasio GM Barrutia enero-junio Elaboración propia.....	61
Tabla 5-14. Demanda energética gimnasio GM Barrutia julio-diciembre Elaboración propia	62
Tabla 5-15. Dimensionado de la IST cuartel Marqués de la Victoria Elaboración propia	65
Tabla 5-16. Dimensionado de la IST cuartel Almirante Francisco Moreno Elaboración propia.....	67
Tabla 5-17. Dimensionado de la IST gimnasio GM Barrutia Elaboración propia.....	70
Tabla 5-18. Dimensionado de la IST cuartel Méndez Núñez Elaboración propia.....	73
Tabla 5-19. Poder calorífico de combustibles [16]	75
Tabla 5-20. Densidades de combustibles [16].....	76
Tabla 5-21. Precio por unidad de medida de cada tipo de combustible [17]	76
Tabla 5-22. Coste de combustibles para el abastecimiento de las calderas Elaboración propia.....	76
Tabla 6-1. Resultado del dimensionado de la IST Elaboración propia	81
Tabla 6-2. Coste medio de una IST Elaboración propia	82

Tabla 6-3. Resultados del estudio económico de las instalaciones solares térmicas Elaboración propia82

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El dimensionado de las instalaciones solares térmicas propuestas está enfocado a la Escuela Naval Militar de Marín, Pontevedra, emplazada en la comunidad autónoma de Galicia dentro de la provincia de Pontevedra. En concreto, sobre los principales edificios que componen la academia; conjunto de inmuebles que forman el patio de aulas, jefatura de instrucción, casino de alumnos, cuarteles de alumnos Marqués de la Victoria y Francisco Moreno, cuartel de marinería Méndez Núñez, barrio industrial, edificio Isaac Peral, residencia de oficiales y suboficiales, gimnasio y edificaciones del muelle de torpedos. La Escuela Naval Militar se encuentra situada en localización 42°24' N y 008° 42' W.

El presente trabajo tiene por objetivo realizar un estudio de carácter energético acerca de la demanda térmica para producción de agua caliente sanitaria (en lo sucesivo ACS) de la Escuela Naval Militar y teniendo en cuenta la legislación vigente, proponer unas instalaciones solares térmicas en los edificios relevantes y aptos para ello. Para su realización, se obtienen las mediciones a partir de planos existentes y aquellas medidas que no existen se obtienen mediante mediciones “in situ”. Se realiza una simulación mediante software especializado en energía solar para obtener la radiación solar existente y mediante un método de cálculo se obtiene el dimensionado de la instalación que permita aportar la demanda energética necesaria.

El presente trabajo está estructurado en 4 secciones que desarrollan todo el proceso realizado para obtener el dimensionado de las instalaciones solares térmicas a partir de la creación de todos los edificios de la Escuela Naval Militar y del estudio de radiación solar existente. Las secciones detallan:

- Modelado en 3D de los inmuebles previamente mencionados mediante el Software de diseño Sketchup *pág. 44*
- Estudio de la radiación solar incidente sobre los tejados de los edificios *pág.52*.
- Análisis de viabilidad de una instalación solar térmica en las construcciones más relevantes *pág.54*
- Presupuesto de la IST y amortización de la misma *pág.82*.

2 ANTECEDENTES

A continuación se resumen brevemente los trabajos de fin de grado realizados durante el curso académico 2014-15, que constituyen un referente para el desarrollo del presente trabajo.

- TFG Instalación solar térmica en el edificio gimnasio-piscina

Trabajo destinado al estudio de la viabilidad en la implantación de una IST que permita cubrir la demanda de ACS del gimnasio GM Barrutia situado en la Escuela Naval Militar. Se llevaron a cabo los estudios de demanda de ACS en dicho edificio y se obtuvieron como resultados la contribución solar aportada por la instalación. Otro de los resultados aportados por el trabajo son una serie de mejoras en la instalación que contribuyesen a un beneficio energético. Además se realizó el estudio económico necesario para la instalación y su amortización correspondiente.

- TFG Diseño de los sistemas de mantenimiento y consumos auxiliares mediante energías renovables del Buque Escuela Juan Sebastián Elcano

Simulación mediante software especializado de las instalaciones necesarias para poder obtener energía a partir de diversas fuentes renovables y con ello reducir el consumo energético del buque Juan Sebastián de Elcano.

3 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA (EST)

Para poder entender la captación de energía solar es necesario conocer la radiación solar que podemos obtener por unidad de superficie a la hora de realizar un estudio de dimensionado de una IST. Por ello, es necesario conocer los fundamentos de la radiación solar.

Los rayos solares emitidos por el sol se propagan en forma de ondas electromagnéticas hasta llegar a la tierra, este aporte energético se denomina radiación solar. La tierra recibe un aporte energético de forma continuada de 1.367 W/m^2 aproximadamente. Para hacerse una idea del potencial energético que proporciona el sol, esta cifra denominada constante solar, pasado un año equivaldría a 20 veces todas las reservas energéticas fósiles existentes [1].

No obstante, hay que tener en cuenta diversos factores en la radiación incidente sobre la tierra ya que toda la energía no sobrepasa en su totalidad las capas externas de la atmósfera. Debido a los diferentes gases que componen las capas de la atmósfera, la tercera parte de la energía solar incidente es reflejada de vuelta al espacio mientras que las otras dos consiguen alcanzar la superficie terrestre.

Otros factores reseñables a la hora de tener en cuenta la radiación que llega a la superficie terrestre es la superficie relativa de la tierra que se opone a los rayos solares, es decir, no todas las zonas de la tierra reciben la misma radiación. Los polos son los que menor radiación sufren mientras que los trópicos son los que más. Esto se debe al plano de inclinación ecuatorial respecto al sol. Nuestro planeta se encuentra en un plano inclinación de 23.45° como muestra la Figura 3-1, respecto a la posición solar. La radiación variará en función de la entrada de los rayos solares si éstos inciden perpendicularmente como en los trópicos o de manera oblicua como ocurre en los polos.

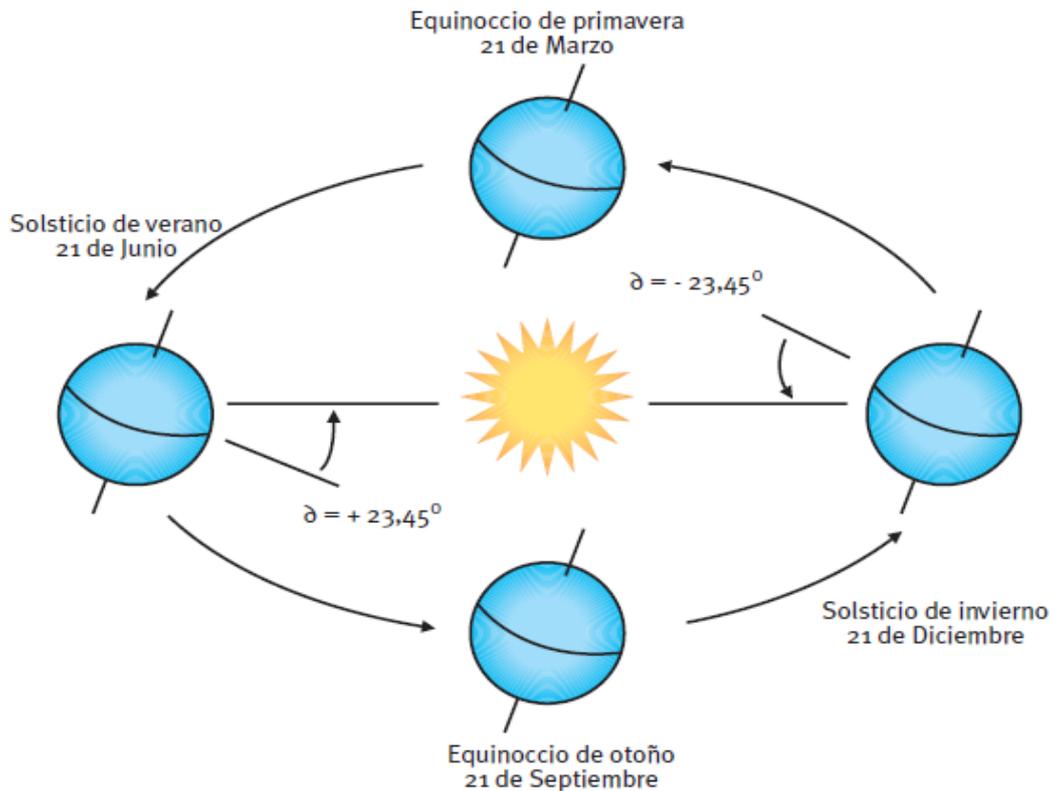


Figura 3-1. Movimiento de la tierra alrededor del sol [2]

Por ello, la declinación del sol respecto a la tierra es muy relevante en función de la zona terrestre que se encuentre bajo estudio y proporciona la explicación de porqué los valores máximos de radiación no se encuentran en el ecuador sino en latitudes superiores e inferiores a los trópicos de Cáncer y Capricornio. El sol es el centro de nuestro sistema y entorno a él giran todos los planetas, la órbita generada por la tierra alrededor del mismo es una elipse de excentricidad muy pequeña por lo que la distancia del sol a la tierra no varía apenas a lo largo del año. La órbita generada por la tierra forma el plano denominado plano de la eclíptica en el que se definen los eclipses de sol y luna [2].

Aquellos puntos que se forman al intersecar el plano de la eclíptica con el plano del ecuador da lugar a los puntos equinociales, la recta perpendicular a la línea equinoccial sobre el plano de la eclíptica proporciona dos puntos, uno máximo y otro mínimo, denominados solsticio de verano e invierno reciben este nombre ya que en estos puntos cercanos al sol, éste permanece durante unos días estacionario en declinación.

Sin embargo, no sólo los inconvenientes mencionados afectarán a la hora de realizar el análisis. Para poder obtener valores con mayor exactitud se deberá tener en cuenta aspectos como la hora del día, la estación del año y evidentemente las condiciones atmosféricas existentes.

En zonas donde la nubosidad sea abundante puede dar lugar a la idea de que la energía solar no es aprovechable, no obstante, las relaciones entre la nubosidad y la radiación solar es algo complejo. En zonas del norte de Europa entre la suma de radiación directa y radiación difusa se pueden obtener cifras bastante reseñables. Más concretamente en el caso de España, se reúnen muchos de los aspectos necesarios para convertirlo en uno de los países europeos con mejor pronóstico de aprovechamiento solar.

3.1 Breve reseña histórica

Desde tiempos de la antigua Grecia, el ser humano ha estado en contacto de manera directa o indirecta con la radiación solar. El ideal de construcción de edificaciones de aquellas épocas tenía como sustento conseguir una vivienda cálida en las estaciones invernales y fresca en las estaciones de verano. Unos siglos más adelante, el sol se convierte en un pilar fundamental de determinadas leyes romanas como se detalla en el código Justiniano, que prohibía la construcción de edificios que pudieran impedir la incidencia de los rayos solares en determinados lugares públicos. Posteriormente, la radiación solar se ha aprovechado en función de los materiales de construcción siendo en determinadas zonas más blancos para proporcionar mayor reflexión de la radiación o más oscuros para aprovechar su absorción [1].

Sin embargo, la llegada de la revolución industrial en el siglo XIX provocó la decaída del interés de la radiación solar a la hora de la construcción de inmuebles, se invirtió en métodos más eficaces y austeros que con la llegada del petróleo permitían controlar el clima interno de los edificios. La importancia de la estética de los edificios ha provocado que el aprovechamiento de la energía solar no se trate como un tema prioritario a la hora de realizar construcciones.

En España no sería hasta 1859 cuando el físico castellano Manuel Rico fue el pionero en la toma de mediciones de radiación solar, dando los primeros pasos en el ámbito de la Energía teniendo los primeros resultados del efecto de las ondas electromagnéticas procedentes del sol sobre un volumen de agua cuya temperatura variaba a lo largo de la exposición a la radiación.

A finales del siglo XIX empiezan a surgir las primeras patentes de captadores solares planos por parte del norteamericano C.L. Kemp quien fabrica los primeros prototipos y los saca al mercado con el nombre de “Clímax”, consiguiendo en años posteriores bastante éxito con su venta en zonas de Norte América.

El comienzo de la tecnología actual nace con el sistema denominado “día y noche”, desarrollado por W.J. Bailey quien separó la instalación de captación de la de almacenamiento pudiendo proporcionar 24 horas de agua caliente restando importancia al clima del día.

En lo referente a la tecnología solar española, no surgen propuestas hasta 1921 con los primeros prototipos de captadores solares desarrollados por el ingeniero Félix Sancho pero la guerra civil española supuso un parón en la investigación tecnológica dentro del ámbito energético.

El inicio de la instalación a gran escala de captadores solares ocurre en 1938 donde varios ingenieros pertenecientes al MIT “Massachusetts Institute of Technology” en Estados Unidos comienzan con la instalación de paneles en el tejado, con el fin de abastecer a la vivienda de calefacción.

Durante años posteriores se ha continuado investigando en nuevos tipos de captadores y materiales que permitan un mayor porcentaje de calor debido a la escasez de recursos y energía que ocasionó la segunda guerra mundial.

En la actualidad, el uso de energías renovables en todos los ámbitos posibles vuelve a surgir debido al comienzo en la escasez de energías fósiles, o el impacto medioambiental que las técnicas tradicionales están generando, por ello, en muchos países se ha optado por legislar la utilización de energía solar como es el caso de España, donde la energía solar está ocupando un puesto importante a la hora de querer construir una vivienda.

3.2 Situación actual

A continuación se describe la situación de la energía solar, concretamente térmica a nivel mundial, en España y Europa. No sólo los países que más contribuyen con la protección medioambiental sino también los mayores fabricantes de captadores que influyen en el estado del mercado [1].

3.2.1 Energía solar a nivel mundial

La contribución de la EST respecto al consumo energético mundial es todavía escasa aunque hay síntomas de crecimiento. A la hora de valorar la adaptación de la energía solar hay que tener en cuenta el interés de muchos ciudadanos por este tipo de tecnologías, las ayudas en materia económica ofrecidas por muchos países y la reducción del precio de captadores en países como China o Japón. Todos estos factores muestran una tecnología en desarrollo que ha sufrido un avance importante a lo largo de los últimos años [3].

La EST ha alcanzado unos niveles de popularidad excepcionales en los últimos años, no solo en el ámbito de agua caliente sanitaria sino también en la calefacción de viviendas. Actualmente la principal función de captadores solares a nivel mundial es la producción de ACS para uso doméstico.

El aporte de energía solar para sistemas de calefacción es la segunda aplicación más utilizada, este tipo de uso es especialmente recomendable en países fríos, siendo cada vez más utilizado tanto en viviendas familiares como en instalaciones colectivas. Este ámbito de aplicación es muy utilizado en países como China, Australia, Nueva Zelanda o Europa, donde las vistas a la edificación ya tienen en cuenta la energía solar como un método de integración a los edificios.

La última aplicación resaltable de la EST a nivel mundial es la climatización de piscinas. Este tipo de aplicación está teniendo gran acogida en países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Austria, aunque durante los últimos años ha sufrido una disminución en el mercado.

En cuanto al dominio de la EST a nivel mundial, China continúa copando el mercado. Los datos aproximados de instalación de captadores revelan que el 40% de los mismos se encuentran instalados en China. A China le siguen Japón, Turquía, Alemania e Israel. De estos países destaca Israel donde el 85% de las viviendas ya poseen una instalación solar térmica gracias a una ley creada hace 20 años donde todos los edificios de menos de 20 metros de altura requerían la instalación de captadores solares.

3.2.2 Situación en Europa

Actualmente Europa representa solo el 9% del mercado mundial en la EST, con un total de 14 millones de m^2 de captadores solares térmicos en funcionamiento. El desarrollo de la EST en Europa no habría sido posible sin el empuje aportado por países como Alemania, Grecia, Austria y España que, poseen el 78% de la capacidad energética solar térmica en Europa [1].

La utilización de la EST para producción de ACS es el método más solicitado por los europeos al igual que en el resto de países a nivel mundial, seguidamente encontramos la calefacción y de una manera muy poco significativa la climatización de piscinas, este tipo de aplicación es resaltable únicamente en Austria o Alemania.

Europa se caracteriza por la investigación en nuevas tecnologías renovables, véase Figura 3-2. Aunque los países europeos están conduciendo el desarrollo en investigación de la EST, este desarrollo podría finalizar si Europa no aumenta su capacidad de energía solar instalada en los mercados.

Mientras otro tipo de energías renovables ofrecen opciones poco respetuosas con el medioambiente, Europa está ofreciendo ayudas públicas para incrementar la instalación de captadores solares térmicos. Las ayudas públicas más habituales en los países europeos son subvenciones que varían entorno al 20% o 60% del coste de la IST como es el caso en Austria, Alemania, Dinamarca, España, Holanda o Suecia. El último país que se ha añadido a las ayudas con las energías renovables es Francia con el “Plan Soleil”, que permite deducirse más del 40 % de la declaración de la renta en los costes de la instalación.

Otro de los países Europeos que marca la diferencia es Alemania con su programa “Marktanzreiz” que ha generado grandes resultados desde los años 90 colocando a Alemania como líder en Europa llevando actualmente 5.7 millones de m^2 instalados.

Grecia ocupa el segundo puesto en lo que a capacidad solar térmica se refiere, con un 14% del total de la superficie instalada en la Unión Europea, ofreciendo según las estadísticas ACS a uno de cada cuatro habitantes [3].

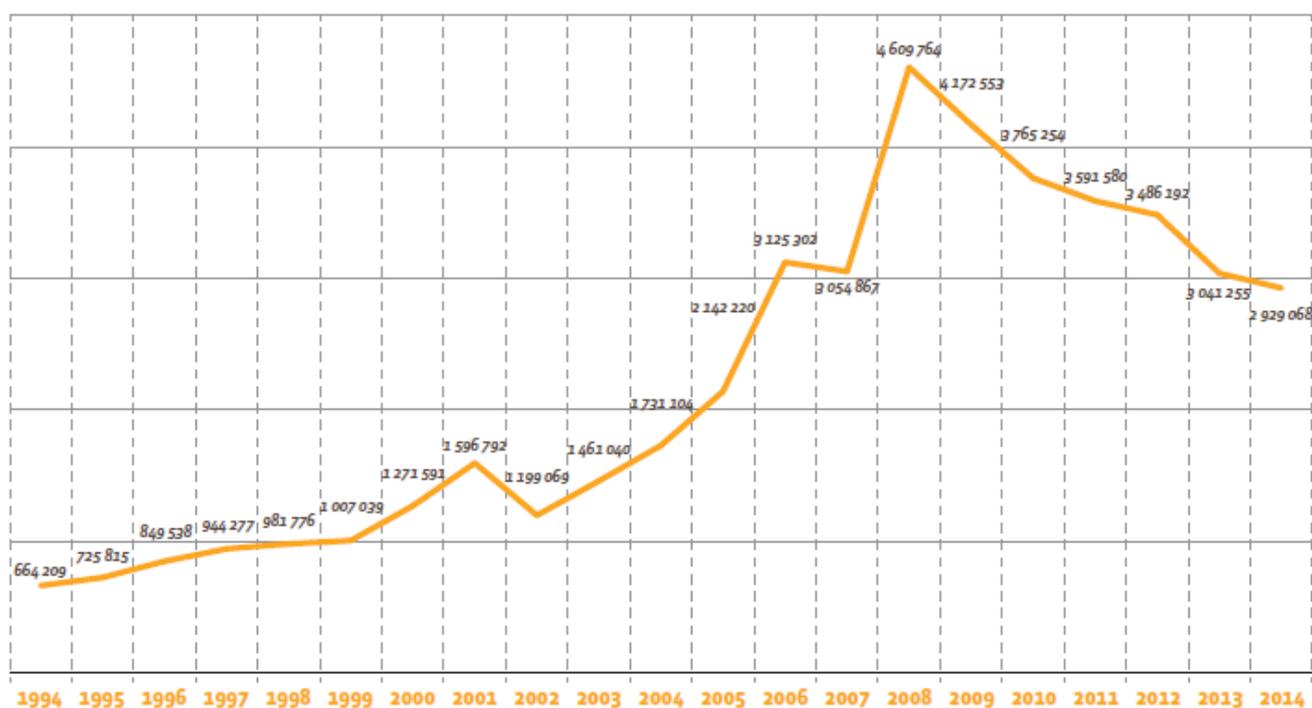


Figura 3-2. Superficie solar instalada en Europa de 1994 a 2014 [3]

3.2.3 Situación en España

España ocupa el cuarto puesto en el aprovechamiento de la EST, por delante de Italia, Francia o Gran Bretaña. España representa el 6% del total del mercado europeo gracias a más de 20 años de experiencia.

Sin embargo el desarrollo tecnológico de la EST ha sido muy cambiante a lo largo de los años. A finales de los 70 y principios de los 80 comenzaron los primeros estudios en este tipo de energía renovable. Teniendo en cuenta la crisis energética de entonces, se idealizó la EST, creyendo en unas expectativas sobredimensionadas respecto a las posibilidades reales de ese momento. Gracias a las buenas expectativas del mercado muchas empresas surgieron para fabricación de captadores e instalación de los mismos. No todas las empresas cumplían las garantías técnicas de calidad y

fiabilidad por lo que algunas de las instalaciones no proporcionaron los resultados previstos y la EST obtuvo la creencia de que ofrecía poca durabilidad, mal rendimiento y problemas frecuentes una vez instalada.

Debido a estos últimos acontecimientos, la EST sufrió un gran estancamiento en el mercado y una selección exhaustiva de los fabricantes e instaladores que pudieran ofrecer calidad y fiabilidad.

Unos años más adelante, entre 1985 y 1995, los precios energéticos sufrieron un gran descenso por lo que la mentalidad de crisis energética desapareció. Las empresas relacionadas con la EST se estabilizaron y asentaron en el mercado llegando a incrementar la demanda hasta 10 000 m^2 de captadores al año aproximadamente. Durante este periodo la calidad y garantías ofrecidas por los fabricantes incrementaron en gran medida hasta el punto de mejorar de manera notable el mantenimiento de las instalaciones. Lo más resaltable es la creación de la “garantía de resultados solares” un cláusula creada por los fabricantes que aseguraba a los clientes una producción de energía a partir de radiación solar, en el caso de no alcanzar lo establecido, los usuarios eran compensados mediante el pago de la diferencia de la diferencia entre la energía proporcionada por la instalación y la energía asegurada previamente. Otra de las propuestas ofrecidas por el gobierno fue el “programa Prosol” de la Junta de Andalucía, basado en el pago a plazos de la inversión en una IST, este tipo de medidas se ha implantado en el resto de territorio español y se han implantado nuevas medidas como subvenciones directas [1].

En la última década la utilización de instalaciones de EST ha incrementado considerablemente gracias a ayudas públicas, a la madurez del mercado y a la multitud de posibilidades que ofrecen las empresas a nivel tecnológico. De la media de 10 000 m^2 alcanzados en los 90, se ha incrementado a 60 000 m^2 en los inicios del 2000 hasta 90 000 m^2 a finales del 2005.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, España se encuentra lejos de los objetivos fijados en el Plan de Energías Renovables. Por ello, se ha puesto recientemente en vigor las nuevas medidas del Código Técnico de Edificación que obligan a instalar un aporte mínimo de EST para ACS para edificios de nueva construcción y rehabilitación.

Los principales clientes de EST en España solicitan la instalación de captadores solares térmicos de baja temperatura para el consumo de ACS, en segundo lugar el principal interés se encuentra en hoteles y restaurantes.

Haciendo referencia al reparto de superficie de captadores según las diferentes zonas geográficas en el mercado español, las comunidades autónomas que poseen mayor superficie son aquellas que cuentan con un clima más favorable para el aprovechamiento de la radiación solar como muestra en la Figura 3-3. Destacan principalmente Andalucía, Cataluña, Canarias, Islas Baleares, Comunidad autónoma Valenciana y Madrid. Es destacable que las zonas con mayor turismo cuentan con mayor superficie de instalaciones solares.

Distribución de la superficie de energía solar térmica en España por captadores instalados a finales de 2005

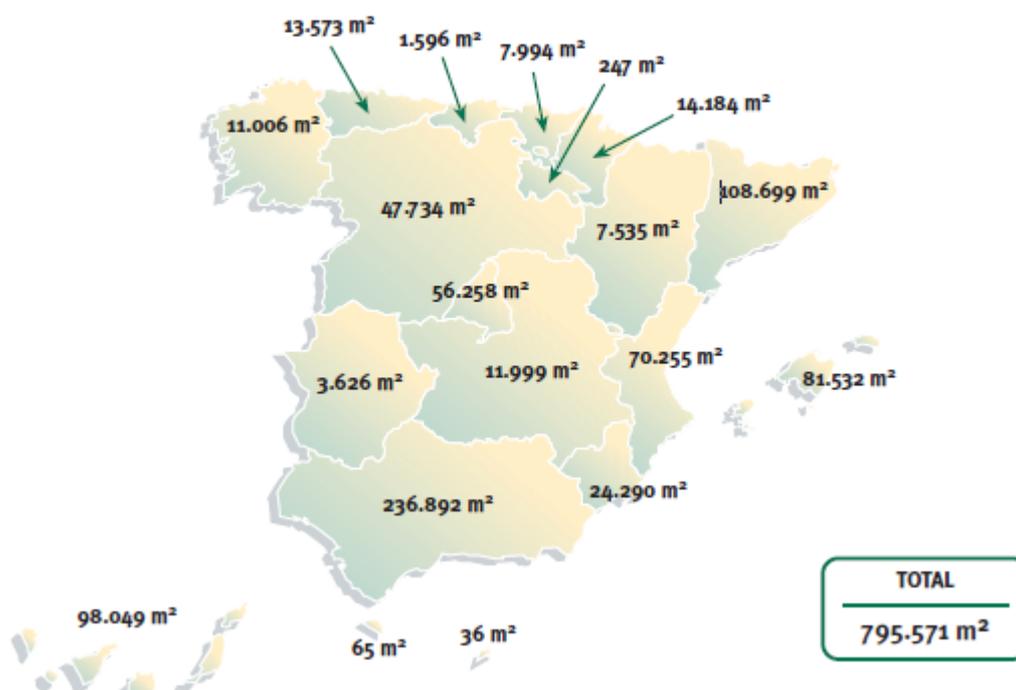


Figura 3-3. Superficie solar instalada en España [10]

3.3 Ventajas e inconvenientes

Los principales métodos de abastecimiento de energía actuales se agotarán tarde o temprano. Las principales fuentes son el petróleo, el carbón y el gas natural, este tipo de fuentes de energía tienen su origen en restos orgánicos depositados hace millones de años. A causa de la gran demanda existente en estos productos se han disminuido sus reservas de forma drástica [4].

En caso de continuar utilizando estos medios para conseguir energía, se producirá su desaparición o su extracción no será rentable. Por ello, es importante invertir en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan obtener energía de manera eficiente, económica y mediante recursos renovables y respetuosos con el medioambiente.

Uno de estos recursos es la energía solar proveniente de manera continuada por el sol y que no daña el entorno donde vivimos.

Las ventajas más destacables de la EST de baja temperatura utilizada para el aporte de ACS en las viviendas son:

- La energía proviene de radiación directa del sol.
- No se genera gases contaminantes.
- No se emiten gases que generen efecto invernadero.
- Todos los residuos producidos son fáciles de eliminar y no resultan peligrosos.
- No provoca un cambio significativo sobre la flora y fauna de la zona.
- No se prevé su agotamiento a medio plazo ya que su fuente generadora es el sol.
- Los costes de extracción, transporte y almacenamiento son relativamente sencillos.

Una de las principales diferencias en comparación con otro tipo de energías convencionales o renovables es que los puntos donde se genera la energía a partir de la radiación solar coinciden con el punto de consumo, por tanto no es necesario desarrollar grandes infraestructuras para su transporte o creación.

Otro de los puntos positivos de este tipo de energía es que la zona de instalación de captadores solares suele centrarse en entornos urbanos donde la contaminación existente es muy alta y se reduciría con la implantación de energía solar.

La utilización de captadores solares puede reducir sensiblemente el porcentaje de dióxido de carbono responsable del calentamiento global. Según las estadísticas una familia puede llegar a reducir una tonelada de dióxido de carbono al año.

Sin embargo, hay que destacar el impacto visual de este tipo de tecnología sobre el paisaje, por ello se está desarrollando nuevos métodos para integrar de forma arquitectónica los captadores solares en los edificios.

3.4 Glosario de términos

- **ACS**
Agua caliente sanitaria
- **Aislante térmico**
Material que protege y separa una zona o material de la temperatura a la que podría estar sometido debido a que no es permeable a la conductividad térmica.
- **Captador solar**
Sistema de captación de la radiación solar
- **EST**
Energía solar térmica
- **Irradiancia**
Término usado para determinar la cantidad de energía que se capta en un área, es decir, la cantidad de radiación solar incidente sobre una superficie terrestre, obtenido en KW/m^2 .
- **IST**
Instalación solar térmica
- **Kilovatios hora**
Es la potencia media consumida durante una hora. Sirve como unidad de registro de consumo de energía. Equivale al consumo de un aparato de 1.000W de potencia durante una hora.
- **Poder calorífico inferior (PCI)**
Calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. Una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua y por ello ese calor no se aprovecha.
- **Poder calorífico superior (PCS)**
Calor generado cuando en los productos de la combustión del agua aparece en forma líquida, es decir, se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes del combustible. Con las temperaturas de humos habituales el vapor de agua se evacua con los mismos en forma de vapor, por ello el PDI es comúnmente utilizado.
- **Radiación**
Proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio. Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas a través del vacío o de un medio material.
- **Termia**
Es una unidad de energía, equivalente a 1 millón de calorías. Se usa en el suministro de gas natural para calcular las facturas. Como el gas suministrado tiene un poder calorífico algo variable, el cobro se hace en termias o KWh en vez de m^3 .

3.5 Marco legal

Teniendo en cuenta la normativa existente, uno de los documentos de referencia a la hora de realizar el dimensionado de una IST es el Código Técnico de Edificación. Éste establece lo que los edificios de nueva construcción o en rehabilitación han de tener en cuenta a la hora de instalar una IST en el diseño. Todas las viviendas deben obtener un porcentaje de energía procedente de una instalación solar térmica entre un 30% y 70% en función de la demanda de agua caliente sanitaria de la vivienda y según la zona climática correspondiente a la zona geográfica donde se vaya a realizar la instalación. Toda la información referente a la obtención de agua caliente sanitaria mediante EST viene detallada en la sección HE4 “*Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*” [5].

El Código Técnico de Edificación no solo hace referencia a normativa relativa a la producción de agua caliente sanitaria, existen otras medidas destinadas a disminuir la demanda energética de los edificios respecto a la calefacción y refrigeración ya que las viviendas residenciales consumen actualmente en España el 60% del consumo energético de una familia [6].

El Documento Básico HE “*Ahorro de la energía*” depende directamente de la siguiente legislación:

- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- La Directiva EPBD Recast 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios
- El Real Decreto de Certificación 235/2013 de procedimiento básico para la certificación energética de los edificios
- El Reglamento Delegado 244/2012 que completa la EPBD Recast estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y sus elementos
- Directrices que acompañan el Reglamento Delegado 244/2012, con referencia 2012/C 115/01

4 INSTALACIONES DE EST

La sección que se desarrolla pretende explicar los fundamentos básicos de una IST y los principales componentes que permiten su correcto funcionamiento.

4.1 Generalidades

Uno de los métodos más utilizados para aprovechar directamente la radiación aportada por el sol es mediante la una IST, la energía en forma de radiación transmitida por el sol es convertida en energía térmica, calor cuya finalidad es producir ACS destinada al consumo humano [4].

A este tipo de tecnología se le conoce como conversión térmica a baja temperatura, ya que el rango máximo de temperaturas que alcanza el fluido de trabajo dentro de la instalación ronda los 100°C o menos.

Inicialmente con el desarrollo de este tipo de tecnología se comenzaron a utilizar instalaciones de circuito abierto, es decir, aquellas donde el ACS para consumo era tanto el fluido primario de la instalación solar como el agua caliente sanitaria de consumo. Sin embargo, este tipo de instalaciones han ido desapareciendo ya que presentan inconvenientes respecto a higiene y funcionamiento a largo plazo, debido a esto, en la actualidad se opta mayoritariamente por realizar una instalación de circuito cerrado.

Una instalación termosolar de circuito cerrado se caracteriza por la utilización de al menos dos circuitos cerrados independientes, el circuito primario donde se encuentra el fluido caloportador de trabajo que transportará la energía en forma de calor recibida por la radiación solar en los captadores y que cederá mediante un intercambiador de calor al circuito secundario donde se encuentra el ACS para consumo humano. Hay que resaltar que ambos circuitos nunca deben mezclarse a causa de las características del fluido de trabajo en el circuito primario que resultarían perjudiciales para la salud de las personas.

Por tanto, en cualquier sistema termosolar nos encontraremos al menos con dos circuitos, aquel que donde circula en fluido caloportador, es decir, un líquido anticongelante que evita dañar la instalación frente a heladas y que absorbe el calor al atravesar una batería de tubos dentro de los captadores solares.

Posteriormente, el fluido de trabajo del circuito primario llega al intercambiador que se encuentra en las instalaciones más simplificadas dentro del acumulador de ACS, es básicamente un serpentín de tubos por donde circula el fluido caloportador y cede la energía al agua de consumo proveniente de la red, calentándola como se muestra en la Figura 4-1.

Circuitos de la IST

- Circuito primario: circuito formado por los captadores y las tuberías que lo unen donde el fluido caloportador absorbe la energía solar y la transmite al fluido del acumulador.
- Circuito secundario: circuito donde se recoge la energía absorbida por el circuito primario para el almacenamiento y su distribución a los puntos de consumo.
- Circuito de consumo: circuito por donde circula el ACS de consumo.

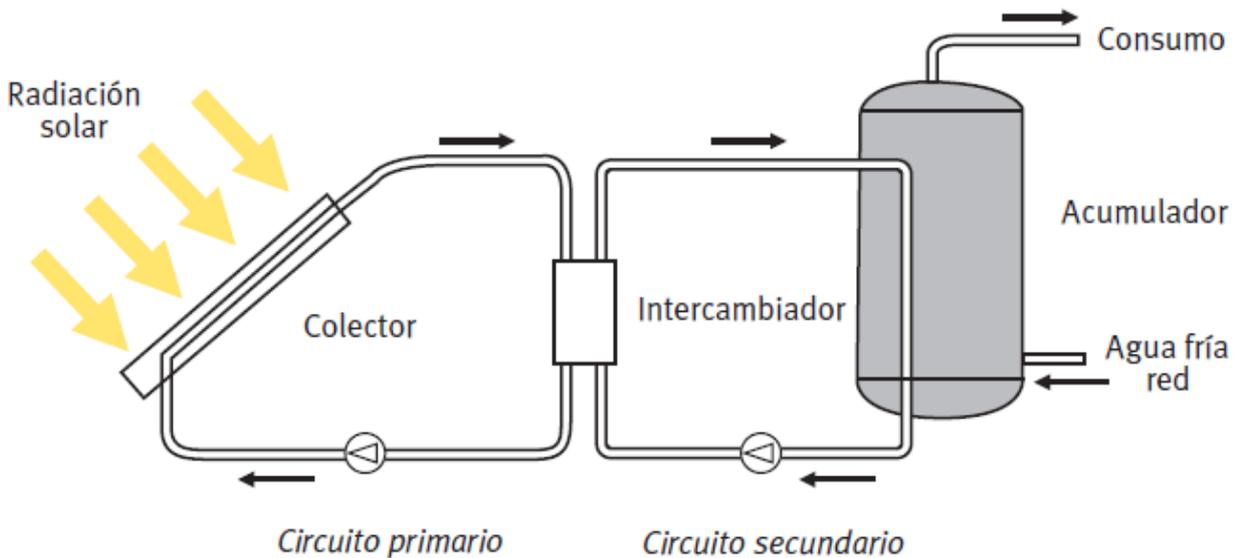


Figura 4-1. Circuito primario y secundario de una IST [4]

El circuito secundario formado principalmente por la instalación interna de ACS de la vivienda se encargará de transportar el agua a los puntos de consumo [2].

En el caso en el que el aporte de radiación no permita obtener la temperatura deseada entrará en funcionamiento automáticamente el sistema de apoyo formado por la caldera de gas o gasoil encargada de generar el calor complementario. Todo este proceso será vigilado mediante un sistema de control.

4.2 Tipos de instalaciones

Teniendo en cuenta la circulación del fluido caloportador las instalaciones se clasifican en:

- Sistemas por termosifón: Son los sistemas termosolares más conocidos, muy habituales en viviendas unifamiliares donde el depósito de acumulación se encuentra sobre los captadores solares ya que es una instalación más económica y de fácil montaje. En cambio, es menos eficiente que el de circulación forzada, la circulación del fluido de trabajo por el principio de convección natural en donde al recibir energía calorífica por el aporte de radiación solar, el fluido se dilata aumentando su volumen y disminuyendo su densidad. Al pesar menos, dicho fluido sube hasta la parte alta del circuito donde entra en contacto con el acumulador cediendo la energía al ACS más fría que se encuentra dentro del mismo enfriándolo y haciendo que el fluido de trabajo descienda a la parte baja para volver a realizar el proceso circulando a través de los captadores.

Esta circulación es generada siempre y cuando exista un gradiente de temperaturas entre el fluido caloportador y el fluido del acumulador, ACS que al ser calentada se recircula al circuito interno del edificio para su consumo.

Este tipo de instalación hace que su uso este muy expandido en la sociedad ya que solo es necesario una toma de agua de la red y conexión al circuito interno de la vivienda.

Sin embargo, la fuerza que impulsa el fluido de trabajo en estos sistemas es pequeña por lo que hay que prestar especial atención a la hora de su diseño y montaje con el fin de favorecer el movimiento natural del fluido a causa de la convección, es por esto que el acumulador debe siempre estar colocado en una posición superior a los captadores véase la Figura 4-2.

Otro aspecto que hace de estos sistemas muy atractivos es que no consumen energía eléctrica ya que no necesitan bomba para realizar la fuerza impulsora del fluido de trabajo. En cambio, un punto de especial atención es que a la hora de realizar una instalación de este tipo es obligatorio comprobar la resistencia del tejado ya que es ahí donde se instalarán tanto captadores como acumulador todo en uno [7].



Figura 4-2. Sistemas por termosifón [8] y [1]

- Sistemas por circulación forzada:

Este sistema es más eficiente que por termosifón, sin embargo, también es más caro. La circulación del fluido caloportador se realiza mediante una bomba capaz de establecer un caudal determinado en función de las necesidades térmicas de cada situación.

Al tener una bomba que proporcione la fuerza para la circulación del fluido ya no es necesario que el intercambiador de calor se encuentre en la parte alta de los captadores, por tanto el depósito de acumulación no tiene que estar junto a los captadores a merced de las condiciones climatológicas como se muestra en la Figura 4-3.

De esta forma es posible instalar acumuladores de mayor capacidad y más pesados en el interior de la vivienda.

Este tipo de sistemas necesitan además de electricidad para alimentar la bomba de circulación, un sistema de regulación y control que regule el encendido de la bomba cuando exista una gran diferencia de temperaturas en el fluido en la salida de los captadores y en el acumulador. Por tanto, el sistema de regulación y control debe poseer un termostato que permita regular el arrancado de la bomba y su paro en caso de que la temperatura entre captadores y acumulador sea similar. El termostato constará de dos sensores térmicos instalados en la salida del último captador solar y en la parte interna del depósito del acumulador [7].

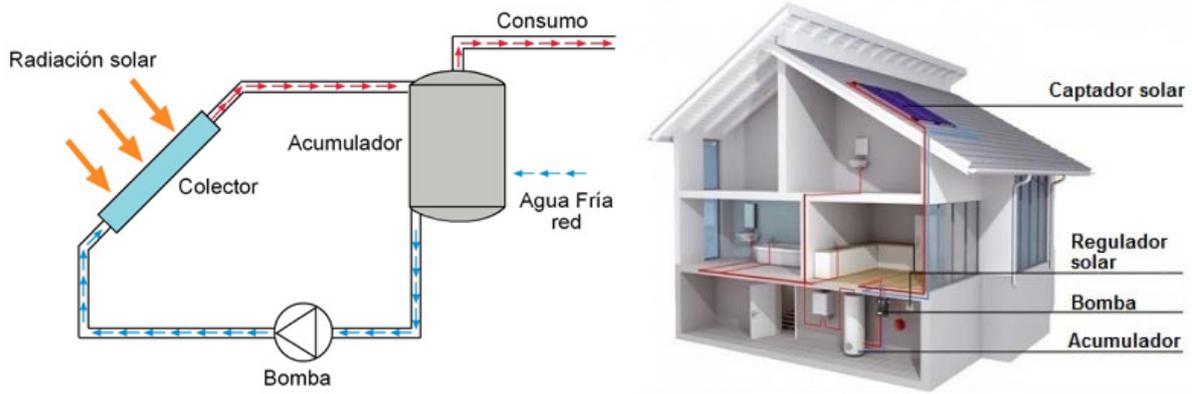


Figura 4-3. Sistema por circulación forzada [10]

4.3 Componentes fundamentales

4.3.1 Captadores solares térmicos

Los captadores solares térmicos más comunes para el tratamiento de ACS son los captadores planos con cubierta. En cambio, existen otro tipo de captadores a la venta para la producción de agua caliente como los tubos de vacío o los captadores de caucho EPDM para la climatización de piscinas cubiertas [4].

- Captadores planos con cubierta: los componentes principales que constituyen este captador son la placa absorbedora o superficie de absorción, la cual se encarga de recoger la energía procedente de la radiación solar y se la transmite al fluido portador del calor que recorre un serpentín o una batería de tubos interna. Otra de las partes fundamentales en los captadores es la cubierta de vidrio o plástico encargada de aprovechar el efecto invernadero.

La diferencia básica que caracteriza unos captadores de otros es el tipo de parrilla, el tipo de conexiones y la calidad de los materiales, todo ello afecta en gran medida a la curva de rendimiento del captador.

Este tipo de captadores esta generalmente ligado a la producción de ACS, climatización de piscinas cubiertas, calefacción, refrigeración solar y procesos industriales [2].



Figura 4-4. Captadores solares planos con cubierta [1]

- Captadores de tubo de vacío:
 - Heat pipe: La transmisión del calor al fluido portador se realiza mediante un proceso de evaporación y condensación de un alcohol que es calentado por el absorbedor mostrado en la Figura 4-5. Está destinado principalmente a procesos industriales en donde la temperatura de trabajo ronde los 100°C aunque también es posible encontrarlos en instalaciones destinadas a ACS, Calefacción, Refrigeración solar, etc.

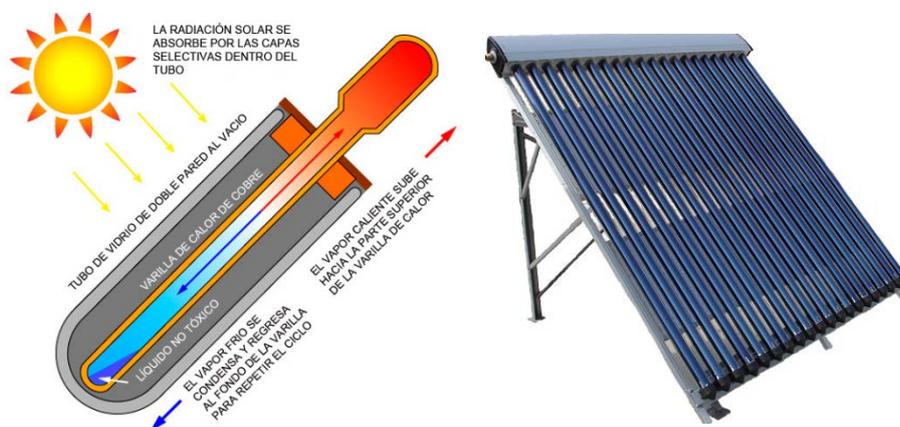


Figura 4-5. Captadores solares de tubo de vacío [8]

- Flujo Directo: El fluido portador de calor es introducido en un tubo, el intercambio de calor se produce debido a la circulación del fluido desde el absorbedor al tubo por donde el fluido se mueve. Las aplicaciones más habituales son para procesos industriales donde las temperaturas oscilen en torno a 100°C aunque también es imposible su utilización en ACS, calefacción, refrigeración etc. La ventaja más importante de este tipo de captadores es que es posible instalarlos totalmente horizontales lo que facilita su integración arquitectónica [8].
- Captadores sin cubierta: como se aprecia en la Figura 4-6, están formados por un conjunto de tubos de caucho (EPDM), éstos son expuestos al sol y absorben la radiación solar transmitiéndola al fluido caloportador que circula en su interior. Su aplicación principal es la climatización de piscinas descubiertas ya que tiene un bajo rendimiento en verano [2].



Figura 4-6. Captadores solares sin cubierta [10]

4.3.2 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor es el dispositivo que permite la transferencia de calor entre el fluido del circuito primario procedente de la radiación solar al agua caliente de consumo del circuito secundario, permitiendo la separación de ambos fluidos.

En función de la zona donde se encuentre el intercambiador se distinguen:

4.3.2.1 Intercambiadores de calor internos

En este tipo de configuración el intercambiador se encuentra en el interior del depósito del acumulador realizando dentro de éste la transferencia de energía calorífica [4]. Nos podemos encontrar dos tipos de intercambiadores internos:

- Intercambiador interno con serpentín

En este tipo de intercambiador serpentín se encuentra en la parte baja del depósito acumulador. El serpentín es un tubo de cobre o acero inoxidable en forma de espiral. Al encontrarse en la parte baja, es aquí donde se encuentra el agua más fría por lo que el gradiente de temperatura entre el fluido caloportador y el ACS será mayor.

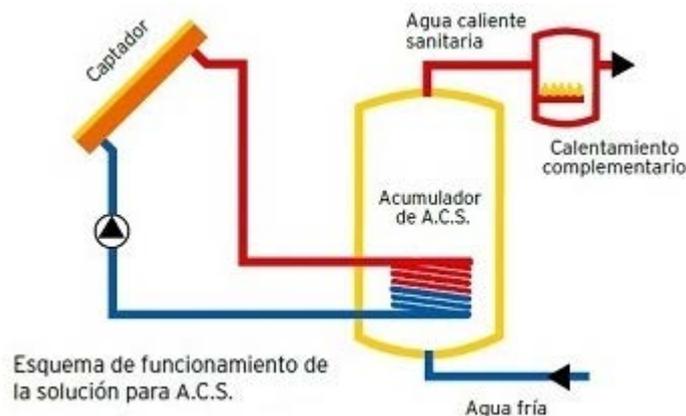


Figura 4-7. Intercambiador de calor con serpentín [4]

- Intercambiador interno de doble pared

Este tipo de intercambiador tiene doble envolvente, es decir, dentro del depósito acumulador existen realmente dos depósitos, véase la Figura 4-8, uno construido en el interior del otro. Con este método el fluido caloportador rellena el espacio existente entre el depósito externo e interno. Así el fluido caloportador rodea el volumen del ACS.

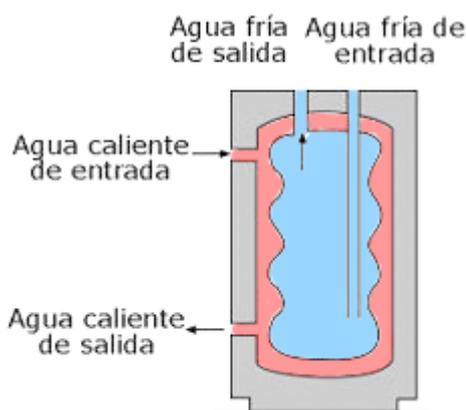


Figura 4-8. Intercambiador de doble pared [2]

4.3.2.2 Intercambiadores de calor externos

El intercambiador se encuentra fuera del acumulador en donde su instalación es independiente al mismo. Este tipo de configuración es utilizada en instalaciones donde es necesario un depósito para el acumulador mayor a los 1000 de ACS.

Este tipo de configuraciones permite incrementar el rendimiento general de la instalación sustituyendo únicamente el intercambiador existente por otro de mayor capacidad con una mayor superficie de intercambio. Por tanto, la finalidad de este tipo de configuración está destinado a instalaciones medianas o grandes. Al encontrarse el intercambiador externo al acumulador es necesario la utilización de dos bombas una en cada circuito, primario y secundario como se puede ver en la Figura 4-9.

Nos encontramos ante una configuración más cara pero más eficiente para instalaciones con gran demanda energética.

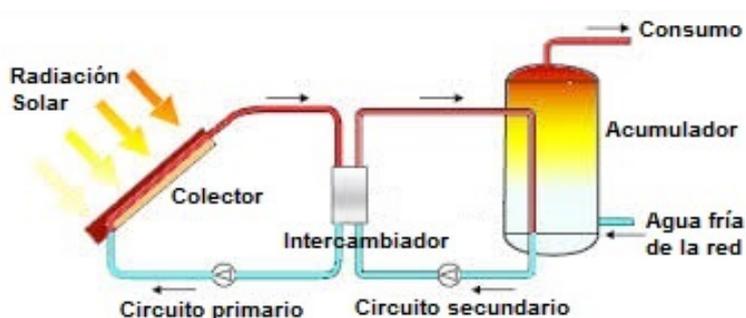


Figura 4-9. Intercambiador de calor externo [2]

4.3.3 Acumuladores de agua caliente

La función principal de un acumulador es servir de elemento de almacenamiento de ACS y mantener la temperatura del ACS para el consumo el máximo tiempo posible [4].

Un acumulador fiable y de calidad debe disponer de: una envolvente aislante con el fin de reducir al máximo las pérdidas de calor al exterior, un volumen que proporcione una capacidad de acumulación adecuada al consumo de agua caliente de la vivienda, seguridad y larga vida útil.

Los acumuladores más comunes tienen forma cilíndrica para favorecer el fenómeno de estratificación, es decir, que el agua fría se sitúe en la parte baja y el agua más caliente en la parte alta del depósito. Una característica básica en un acumulador es ofrecer una capacidad de estratificación muy elevada para favorecer el rendimiento térmico del sistema. En el caso de utilizar un serpentín como intercambiador, éste debe colocarse en la parte baja del depósito ya que el agua fría se situará en esta zona. No es conveniente que la velocidad de entrada y salida del agua en el acumulador sea alta ya que producirá corrientes de circulación generando mezclas y empeorando la estratificación.

La situación de las conexiones en el depósito acumulador se realizará de la siguiente forma:

- La salida de agua fría desde el depósito hacia el intercambiador, para una configuración de intercambiador externo, o hacia los captadores, se realizará por la parte inferior del acumulador.
- la conexión que viene del intercambiador, para el caso de configuración con intercambiador externo, o de los captadores hacia el depósito, se realizara con un altura comprendida entre el 50% y 75% de la altura máxima del depósito acumulador.

Los materiales más comunes utilizados para la fabricación de acumuladores que ofrezcan durabilidad y seguridad son el carbono, acero inoxidable, aluminio o fibra de vidrio reforzado. En acumuladores fabricados en acero al carbono, suele ser habitual realizarlos un esmaltado o vitrificado para evitar la corrosión. En depósitos de gran almacenamiento se suele utilizar el acero inoxidable. Sin embargo, debe estudiarse el tipo de agua de la zona, en concreto el valor del pH o contenido de cloruros. Si el agua posee un pH ácido o una concentración de cloruros elevada puede ocasionar corrosión en el acumulador.

Respecto a la relación de tamaño del acumulador establecida por el Código Técnico de Edificación para producción de ACS debe cumplirse la siguiente relación [5]:

$$50 < V/A < 180$$

En aquellos casos donde se quiera realizar un dimensionado más preciso para un consumo uniforme a lo largo del año, el volumen del depósito del acumulador debe cumplir:

$$0.8 * M < V < M$$

$$1.25 < 100A/M < 2$$

-A = Área de los captadores solares instalados en m^2

-M = Consumo de la instalación en $litros/día$

-V = Volumen del depósito acumulador en $litros$

4.3.4 Sistema de control

En las instalaciones solares térmicas de circulación forzada es necesaria la utilización de un sistema de control y regulación que permita regular la fuerza de circulación de la bomba del circuito primario en base a las necesidades energéticas del edificio. El sistema se encarga del correcto funcionamiento de la instalación y su aprovechamiento óptimo. El sistema más común está basado en un control diferencial en función de las temperaturas de diferentes puntos del sistema.

Las temperaturas controladas son:

- La temperatura del fluido caloportador a la salida de los captadores T_1
- La temperatura del ACS en la parte inferior del depósito acumulador T_2

El sistema de control mantendrá las bombas paradas si la diferencia de temperaturas es menor de $2^\circ C$, $\Delta T = T_1 - T_2 < 2^\circ C$, y arrancarán en caso de que la diferencia sea mayor de $7^\circ C$, $\Delta T = T_1 - T_2 > 7^\circ C$.

Otras de las funciones de protección del sistema de control serán:

- Que no se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales de la instalación.
- Que la temperatura del fluido caloportador no disminuya a una temperatura $3^\circ C$ superior a la de congelación del fluido de trabajo.

En base al Código Técnico de Edificación solo será necesaria la instalación de un sistema de medida energética de la IST en aquellas que superen los $20 m^2$ de superficie de captadores.

4.3.1 Fluido de trabajo

El fluido caloportador es aquel que circula a través del absorbedor de los captadores absorbiendo la EST captada por estos de la radiación solar y la transfiere al agua de consumo a través del intercambiador.

La elección del fluido de trabajo adecuado verá afectados en gran medida la fiabilidad y durabilidad de la instalación [2].

El fluido debe presentar una serie de características para su funcionamiento correcto:

- Calor específico elevado
- Temperatura de ebullición alta
- Temperatura de congelación baja
- Alta estabilidad en el rango de temperaturas y presiones de trabajo
- Protección frente a la corrosión
- Compatibilidad con los materiales de la instalación

El fluido más común a utilizar en el circuito primario es una mezcla de agua y anticongelante. Esta mezcla genera una variación de las físicas del agua. Por ello la mezcla y la instalación deberá afrontar determinadas exigencias. Entre las más importantes destacan:

Estabilidad: muchos de los productos anticongelantes producen corrosión a algunas zonas de la instalación cuando se degradan con temperaturas superiores a 120°C.

Toxicidad: Algunos anticongelantes son tóxicos, lo que hace destacar la imposibilidad de mezcla del fluido de trabajo y el agua de consumo a través de un intercambiador de calor.

4.4 Aspectos que afectan al dimensionado básico de una IST

A la hora de dimensionar una IST es necesario conocer la forma de determinar la energía aportada por el sol en función de su posición respecto al área de estudio y las exigencias mínimas establecidas por el CTE en lo referente a pérdidas y contribución solar para poder realizar un dimensionado correcto.

4.4.1 Generalidades

4.4.1.1 Posicionamiento del sol

Para poder establecer la posición del sol respecto a un punto fijo en la superficie de la tierra es necesario conocer dos coordenadas [2]:

-Altura solar/Elevación (α en la Figura 4-10): Ángulo generado al trazar una línea desde el centro del sol al punto de observación en la superficie terrestre con el plano horizontal.

-Azimut solar (ψ en la Figura 4-10): Ángulo generado por la proyección de la línea que une el centro del sol con el meridiano del lugar.

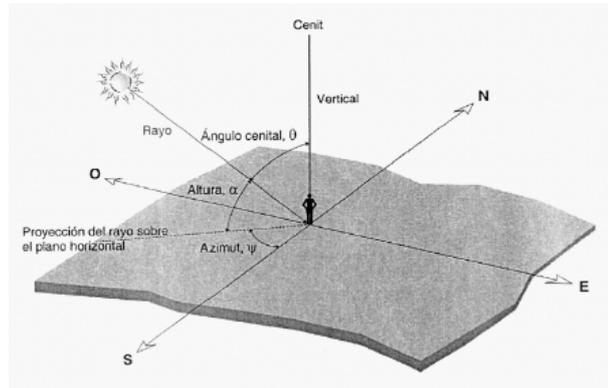


Figura 4-10. Ángulos para el posicionamiento del sol [4]

4.4.1.2 Irradiancia solar

Dentro de la radiación solar incidente en la superficie terrestre y que es relevante a la hora de realizar nuestro estudio se pueden clasificar diferentes tipos de radiación según su incidencia y origen, la irradiancia solar viene definida por la potencia radiante en forma de energía por unidad de tiempo sobre la superficie de un plano medida en W/m^2 [9]:

- Irradiancia directa: es aquella que se transmite sin haber sufrido cambios en su dirección desde que se propaga del sol. Se caracteriza por la sombra que produce al incidir sobre los objetos opacos. Se expresa en W/m^2 .
- Irradiancia difusa: parte de la radiación incidente se ve reflejada y absorbida por los gases que componen la atmósfera, la radiación solar que atraviesa las capas altas llegan a la superficie terrestre, parte de esta radiación se ve dispersada a causa de las reflexiones y absorciones que sufre al atravesar la atmósfera afectada por nubes, partículas, polvo etc. Expresada en W/m^2 .
- Irradiancia reflejada: es aquella que sufre la reflexión de los rayos solares en la superficie terrestre ya sean edificios, montañas, objetos, el mar etc. El valor de esta reflexión dependerá proporcionalmente del coeficiente de reflexión de cada tipo de superficie. Este tipo de radiación tiene el calificativo de Albedo, no se tiene en cuenta a la hora de la realización de los cálculos necesarios para la instalación solar.
- Irradiancia Global: se trata de la integración de todas las radiaciones previamente mencionadas. Se expresa en MJ/m^2 o KWh/m^2

4.4.1.3 Soleamiento

En Función de la tecnología utilizada para la recogida de energía solar podremos obtener energía con finalidad térmica o eléctrica. En este caso se utilizarán para el estudio de captadores térmicos para la recogida de calor. Ya que el estudio tiene como finalidad el análisis de una instalación solar térmica, el análisis en los captadores se centrará en gran medida en la radiación solar de forma directa, ya que éstos variarán significativamente su rendimiento, obteniendo valores mucho mayores de este modo [10]. En el caso de España nos encontramos con una región cuyos valores medios de horas de sol anuales rondan las 2500 horas véase Figura 4-11, esto hace que el clima, la humedad y la incidencia de

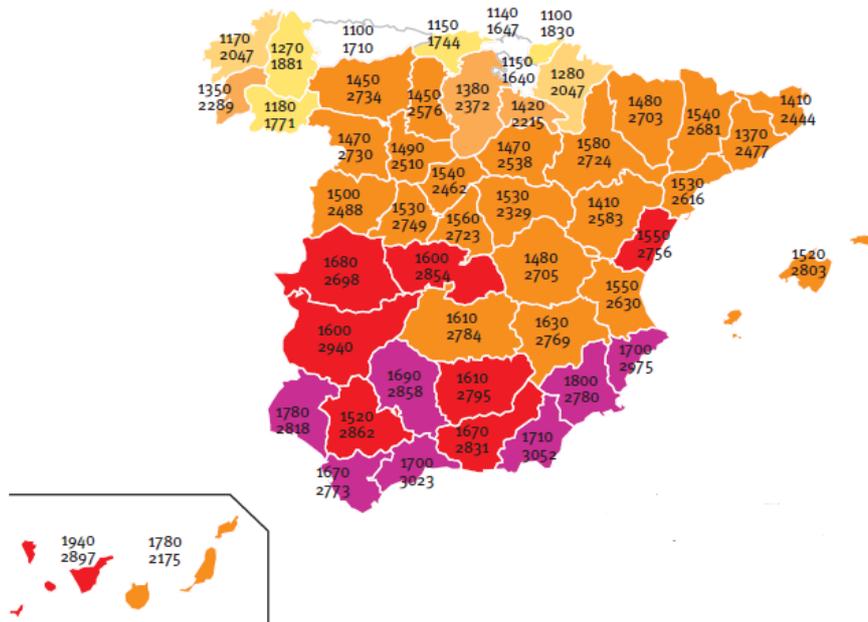


Figura 4-11. Horas de sol anuales en España [10]

rayos solares proporcione a España un puesto relevante a la hora de poder aprovechar energía solar con fin térmico. Según cifras obtenidas, hay una importante diferencia en la radiación solar existente dependiendo de la comunidad autónoma donde nos encontremos. El estudio al realizarse en una de las comunidades autónomas más lluviosas de España como es Galicia se tiene en cuenta en función de los datos de radiación medios anuales con el fin de obtener la viabilidad de la instalación.

4.4.2 Integración de captadores en la edificación

Existen tres posibles consideraciones de integración de captadores en los edificios [4]:

General: la instalación de módulos se realiza sobre una estructura que les proporcione sustentación, inclinación y orientación óptimas para el funcionamiento perfecto de la instalación. Este tipo de configuración está destinada a cubiertas planas o con poca inclinación.

Superposición de módulos: la configuración de la instalación se realiza colocando los captadores de forma paralela a la envolvente del edificio. Es necesaria una estructura sobre la envolvente del edificio para ofrecer la sustentación necesaria a los captadores. La inclinación y orientación de los captadores será la misma que la de la envolvente del edificio, esto no ocurre en el caso de captadores de tubo de vacío de tipo flujo directo.

Integración arquitectónica: esta clase de configuración cumple una doble función tanto energética como arquitectónica. Los captadores cumplen funciones de elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica. En este tipo de integración la inclinación y orientación de los captadores dará la propia de la envolvente del edificio.

4.4.3 Conexión de captadores solares térmicos de baja temperatura

La instalación solar térmica debe poderse integrar junto con la instalación convencional de la vivienda, teniendo un sistema auxiliar de apoyo que proporcione la energía para garantizar el suministro de ACS en situaciones de poca o nula radiación solar o en momentos cuando la demanda de agua caliente de consumo sea superior a la prevista [6].

La instalación de captadores solares deberá conectarse entre sí y con el resto de la instalación. La toma del fluido caloportador en los captadores será siempre por la parte inferior y la salida por la parte opuesta [4] y [2].

Entre las diferentes formas de configuración básicas de conexión de captadores destacan:

- Conexión de captadores en serie

Este tipo de configuración es utilizada en instalaciones que requieran de temperaturas elevadas en el fluido del sistema. Este método de conexión permite que el fluido caloportador al atravesar cada uno de un captador al siguiente, vaya incrementando su temperatura. Sin embargo, este tipo de instalación no es recomendable ya que los captadores situados al final de la instalación como se muestra en la Figura 4-12, trabajan con un bajo rendimiento. Esta desventaja se produce ya que el fluido aumenta cada vez más su temperatura a la entrada de los colectores ocasionando que el gradiente térmico que se pueda conseguir sea menor a la salida del colector. La solución más razonable para solucionar este problema es acudir a otras tecnologías como instalaciones de media y alta temperatura.

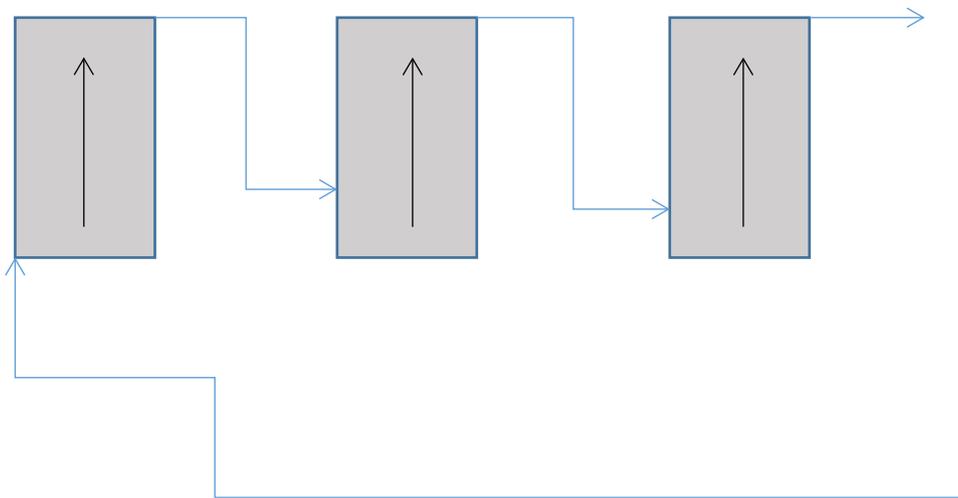


Figura 4-12. Conexión en serie

- Conexión en paralelo con retorno invertido

Gracias a este tipo de configuración mostrada en la Figura 4-13, evitamos la instalación de válvulas para equilibrar el caudal. El número máximo de captadores posibles en este tipo de instalación vendrá definido por el fabricante de los mismos. En caso de ser necesario, se puede realizar una disposición de los captadores en varias filas, estando cada una de estas conectada en paralelo.

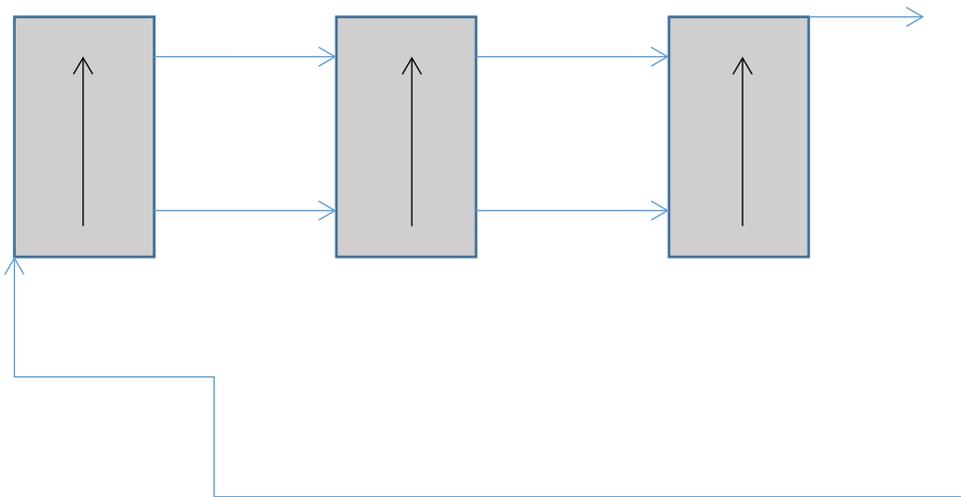


Figura 4-13. Conexión en paralelo con retorno invertido

- Conexión en paralelo con tubería auxiliar exterior y equilibrado con válvula

Este método de instalación se utiliza en aquellos casos donde el conexionado en paralelo con retorno invertido no sea posible. Para este tipo de instalación será necesario una tubería externa equilibrada mediante válvulas, véase la Figura 4-14. En este tipo de configuración no es recomendable conectar muchos colectores ya que aquellos situados en el centro recibirán menos caudal que los de los extremos.

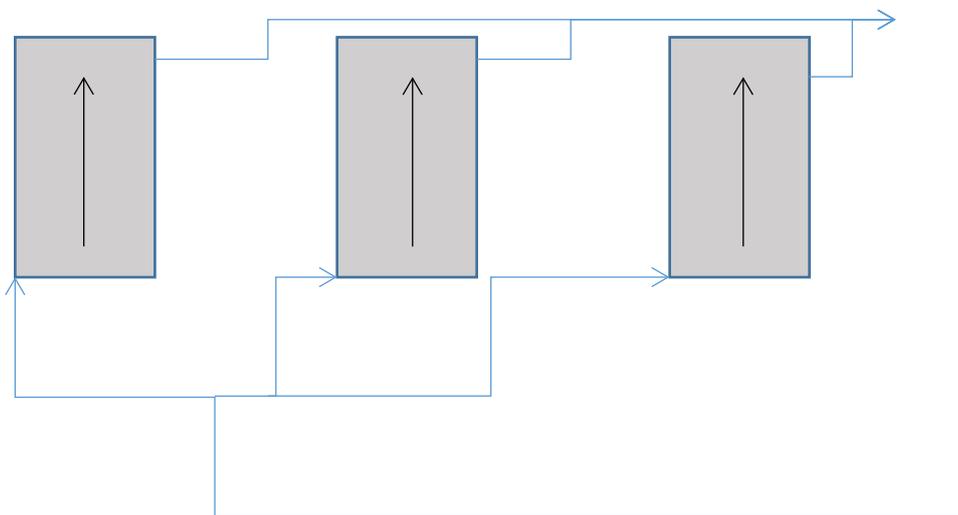


Figura 4-14. Conexión en paralelo con tubería auxiliar

4.4.4 Requisitos normativos

4.4.4.1 Exigencias en instalaciones de energía solar

En referencia al Código Técnico de edificación, Documento básico HE, sección HE4 Ahorro de la Energía [5], se aplica a edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios en los que exista una demanda de ACS y/o climatización de piscinas cubiertas.

ZONA CLIMÁTICA	MJ/m ²	KWH/m ²
I	$H < 13.7$	$H < 3.8$
II	$13.7 \leq H < 15.1$	$3.8 \leq H < 4.2$
III	$15.1 \leq H < 16.6$	$4.2 \leq H < 4.6$
IV	$16.6 \leq H < 18$	$4.6 \leq H < 5$
V	$H \geq 18$	$H \geq 5$

Tabla 4-1. Zona climática [11]

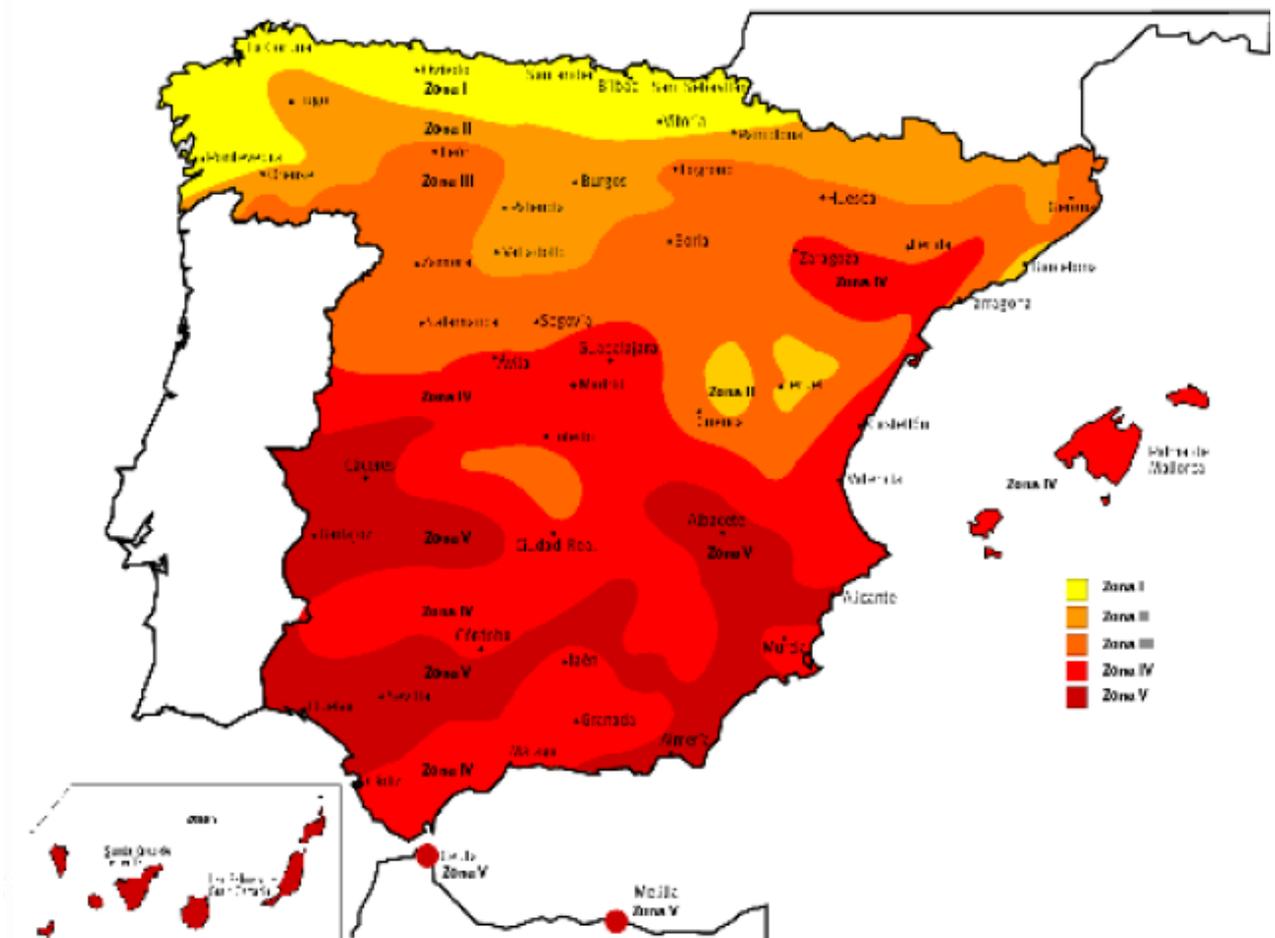


Figura 4-15. Zonas climáticas [5]

Para establecer los límites de las zonas climáticas en España, se han establecido diferentes zonas en función de la radiación solar incidente global media diaria anual sobre el plano horizontal, teniendo como referencia los siguientes intervalos definidos según la Tabla 4-1 y Figura 4-15.

4.4.4.2 Contribución solar mínima

La contribución solar anual se refiere a la fracción solar entre los valores anuales de la energía proporcionada por los captadores previamente diseñados y la demanda energética anual de referencia para el diseño de la instalación [6].

En la siguiente Tabla 4-2, se describen los niveles de demanda de ACS a temperatura de 60 °C, la contribución solar aportada mínima anual.

Caso general de calderas de: Gasóleo, propano, gas natural u otras.

Caso General	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
Demanda total de ACS (l/d)					
50-5000	30	30	50	60	70
50-6000	30	30	55	65	70
6000-7000	30	35	61	70	70
7000-8000	30	45	63	70	70
8000-9000	30	52	65	70	70
9000-10000	30	55	70	70	70
10000-12500	30	65	70	70	70
12500-15000	30	70	70	70	70
15000-17500	35	70	70	70	70
17500-20000	45	70	70	70	70
>20000	52	70	70	70	70

Tabla 4-2. Contribución solar mínima [5]

En caso de cumplir la contribución mínima establecidos según el código técnico de edificación, el diseño de la instalación solar estará limitado por:

- Ningún mes del año la energía generada por la instalación superará el 110% de la demanda energética total
- En más de tres meses no superará el 100%

La contribución solar mínima exigida, podrá disminuirse en ciertos casos:

- Cuando el aporte de ACS se cubra mediante energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación a partir de recuperadores de calor independientes de la propia instalación generadora de calor del edificio.
- Cuando el emplazamiento del edificio no disponga de acceso a sol suficiente debido a barreras externas.
- En caso de aplicación a rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones sin medio de solución a causa de la configuración inicial del edificio o de la normativa urbanística.
- En edificios de nueva construcción, cuando existan limitaciones debido a la normativa urbanística, que impidan la posición de la superficie captadora.
- Cuando lo dictamine el órgano competente de protección histórica-artística.

4.4.4.3 Pérdidas

En referencia al Código Técnico de Edificación [5] se describe los siguientes:

Pérdidas por orientación: detrimento causado por no situar los captadores en la posición perfecta. Expresadas en MJ/m^2 o KWh .

Pérdidas por inclinación: detrimento causado por no situar los captadores con la altura exacta. Expresadas en MJ/m^2 o KWh .

El hecho de encontrarnos en España en el hemisferio Norte la orientación óptima para el diseño de la instalación al posicionar los captadores sería al sur geográfico, en cuanto a la inclinación, se deberá tener en cuenta el periodo predominante de ocupación en función de:

- Ocupación constante anual: inclinación = latitud geográfica
- Ocupación predominante en invierno: inclinación = latitud geográfica + 10°
- Ocupación predominante en verano: inclinación = latitud geográfica - 10°

Las pérdidas debidas a orientación e inclinación deberán calcularse en base a:

- Ángulo de inclinación: formado por la superficie de los captadores con la horizontal. 0° para captadores en posición horizontal y 90° en posición vertical.
- Ángulo de acimut: formado por la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar. Toma valor de 0° para captadores con orientación sur, -90° para captadores con orientación este y $+90^\circ$ para captadores con orientación oeste.

Criterios de máxima pérdida: en aquellos casos en los que la orientación o inclinación sea diferente de la óptima, las pérdidas energéticas no serán mayores de las generadas en la posición óptima como muestra la Tabla 4-3:

Caso	% máximo de pérdidas por orientación e inclinación
General	10 %
Superposición	20 %
Integración Arquitectónica	40 %

Tabla 4-3. Porcentaje máximo de pérdidas por orientación e inclinación [2]

Pérdidas por sombras: irradiación solar no aprovechada por los captadores debido a que se producen sombras sobre los mismos en algún momento del día.

Criterios de máxima pérdida: las pérdidas energéticas producidas no deberán ser mayores que las generadas aplicando los siguientes porcentajes sobre la producción estimada de los captadores en el hipotético caso de no producirse nunca sombras según la Tabla 4-4:

Caso	% máximo de pérdidas por sombras
General	10 %
Superposición	15 %
Integración arquitectónica	20 %

Tabla 4-4. Porcentaje máximo de pérdidas por sombras [2]

4.4.5 Método de dimensionado F-Chart

Conocido como método de cálculo basado en curvas f, está considerado a nivel mundial como uno de los métodos de cálculo que ofrecen mayor fiabilidad al realizar estimaciones a medio-largo plazo de ACS y calefacción [11].

La complejidad en el tipo de instalación solar a construir será determinante a la hora de escoger este método para realizar los cálculos u otro más detallado, ya que al tratarse de un sistema simplificado no es aplicable al dimensionado de instalaciones complejas.

Para utilizar este método de cálculo se utilizan bases de datos meteorológicos proporcionados por el IDAE o empresas meteorológicas especializadas.

A continuación se describirá el método de cálculo apoyado sobre curvas f para la obtención de la aportación del sistema solar para poder cubrir un porcentaje de las cargas térmicas.

4.4.5.1 Desarrollo del método

La fracción solar “f” se define como la demanda de ACS que una instalación solar puede cubrir. Este factor viene dado por dos datos adimensionales D_A y D_B :

$$-D_A = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

$$-D_B = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Energía calorífica mensual}}$$

Las pérdidas por transporte y acumulación se consideran despreciables en comparación con la energía solar aportada por la instalación:

$$Q_U + E_{AUX} = Q_A + P \approx Q_A$$

- Q_U : Energía solar captada (J/mes)

- E_{AUX} : Energía auxiliar consumida (J/mes)

- Q_A : Carga calorífica para calentamiento de ACS (J/mes)

-P: Pérdidas durante el transporte y la acumulación (J/mes)

El rendimiento total de la instalación vendrá definido por:

$$f = \frac{Q_U}{Q_A}$$

La ecuación base de cálculo de este sistema es:

$$f = 1.029 * D_A - 0.065 * D_B - 0.245 * D_A^2 + 0.0018 * D_B^2 + 0.0215 * D_A^3$$

La secuencia lógica para el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo de D_A .
4. Cálculo de D_B .
5. Determinación de la gráfica f .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual.

La cantidad de Energía térmica para el calentamiento de ACS se refiere a la carga calorífica que hay que aportar al agua fría entrante en el circuito para elevar su temperatura hasta la de consumo [12].

Esta carga calorífica se calcula mediante:

$$Q_A = C_P * Q_{ASC} * \rho * N * (T_{REF} - T_{AF})$$

- Q_A : Carga calorífica de calentamiento de ACS (J/mes)

- C_P : Calor específico (Agua= 4187 J/ (Kg * °C)

- Q_{ASC} : Consumo de agua caliente (l/día)

- ρ : Densidad del agua (1 kg/l)

-N: Número de días del mes

- T_{REF} : Temperatura de referencia (°C)

- T_{AF} : Temperatura de agua de red (°C)

La estimación de ACS que se consume debe ser una estimación lo mayor real posible, por ello haremos referencia al código técnico de edificación documento básico HE4 donde se expone los consumos medios en función del tipo de vivienda.

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60°C	
Viviendas unifamiliares	30	Por persona
Viviendas multifamiliares	22	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por cama
Hotel ****	70	Por cama

Hotel ***	55	Por cama
Hotel/Hostal **	40	Por cama
Camping	40	Por emplazamiento
Hotel/pensión *	35	Por cama
Residencia	55	Por cama
Vestuarios/duchas colectivas	15	Por servicio
Escuelas	3	Por alumno
Cuarteles	20	Por persona
Fábricas y talleres	15	Por persona
Oficinas	3	Por persona
Gimnasios	20 a 25	Por usuario
Lavanderías	3 a 5	Por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	Por comida
Cafeterías	1	Por almuerzo

Tabla 4-5. Medias de consumo de ACS [5]

El rendimiento del sistema depende directamente de las variables adimensionales D_A y D_B :

$$-D_A = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

La energía absorbida por el captador viene dada por:

$$E_A = A_C * F'_R (\tau\alpha) * R * N$$

- A_C : Superficie del captador (m^2)

- R : Radiación incidente sobre la superficie de captación (KJ/m^2)

- N : Número de días del mes

- $F'_R (\tau\alpha)$: Factor adimensional obtenido a partir de:

$$F'_R (\tau\alpha) = F_R (\tau\alpha)_n * \left[\frac{\tau\alpha}{\tau\alpha_n} \right] * (/F_R)$$

- $F'_R (\tau\alpha)_n$: Eficiencia óptica del captador.

- $\frac{\tau\alpha}{\tau\alpha_n}$: se toma como constante (0.96 superficie transparente sencilla o 0.94 superficie transparente doble)

- (F'_R / F_R) : Factor de corrección captador-intercambiador, se toma el valor de 0.95.

$$-D_B = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Energía calorífica mensual}}$$

La energía perdida por el captador viene dada por:

$$E_p = A_C * F'_R UL * (100 - T_A) * \Delta T * K_1 * K_2$$

- A_C : Superficie del captador

- $F'_R UL = F_R UL (F'_R / F_R)$

- $F_R UL$: Coeficiente de pérdidas del captador

- T_A : Temperatura ambiente media

- ΔT : Intervalo de tiempo (s)

- K_1 : Corrección por almacenamiento

- $K_1 = [Masa\ de\ acumulación\ en\ Kg / 75\ A_C]^{-0.25}$

$37.5 < [Masa\ de\ acumulación\ en\ Kg / 75\ A_C] < 300$

- K_2 : Corrección del ACS determinado por la temperatura mínima de ACS, temperatura global del agua de la red y la temperatura media ambiente. Dado por:

$$-K_2 = 11.6 + 1.18T_{ACS} + 3.86T_R - \frac{3.32T_A}{100 - T_A}$$

- T_{ACS} : Temperatura mínima del ACS.

- T_R : Temperatura de la red.

- T_A : Temperatura media del ambiente

Obtenidos los datos necesarios podemos establecer la fracción solar “ f ” mediante:

$$f = 1.029 * D_A - 0.065 * D_B - 0.245 * D_A^2 + 0.0018 * D_B^2 + 0.0215 * D_A^3$$

Los valores que obtengamos deberán estar dentro del intervalo:

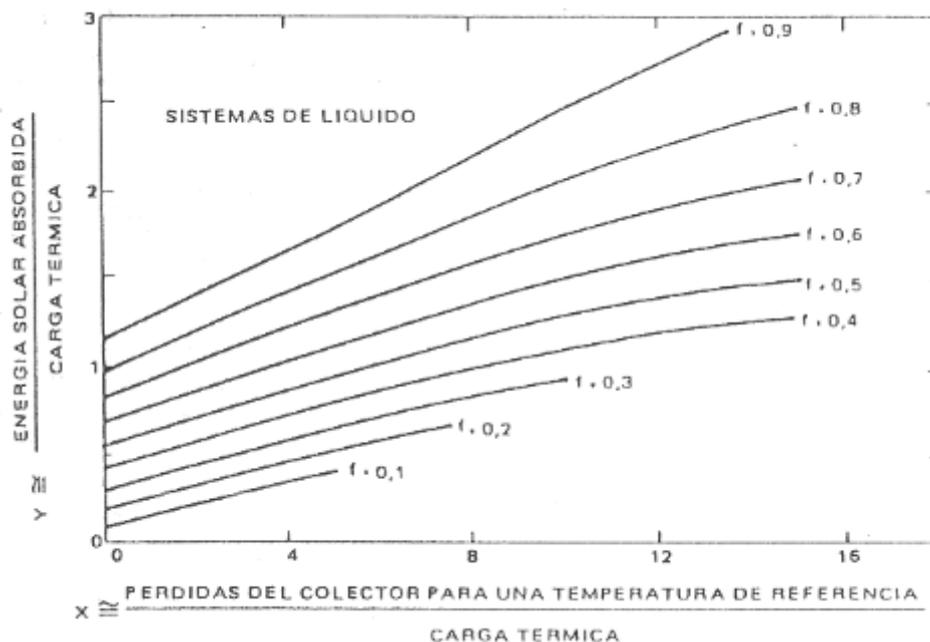


Gráfico 4-1. Gráfica de fracción solar [11]

$$\langle D_A \rangle < 3 \quad 0 < D_B < 18$$

$$Y = D_A \quad X = D_B$$

Obteniendo con todo lo desarrollado la carga solar útil.

$$f = \frac{Q_U}{Q_A} \quad Q_U = Q_A * f$$

Realizando un cálculo integrado para todos los meses obtenemos:

$$Q_{U\text{annual}} = \frac{\sum_{x=1}^{x=12} Q_U}{\sum_{y=1}^{y=12} Q_A}$$

5 METODOLOGÍA

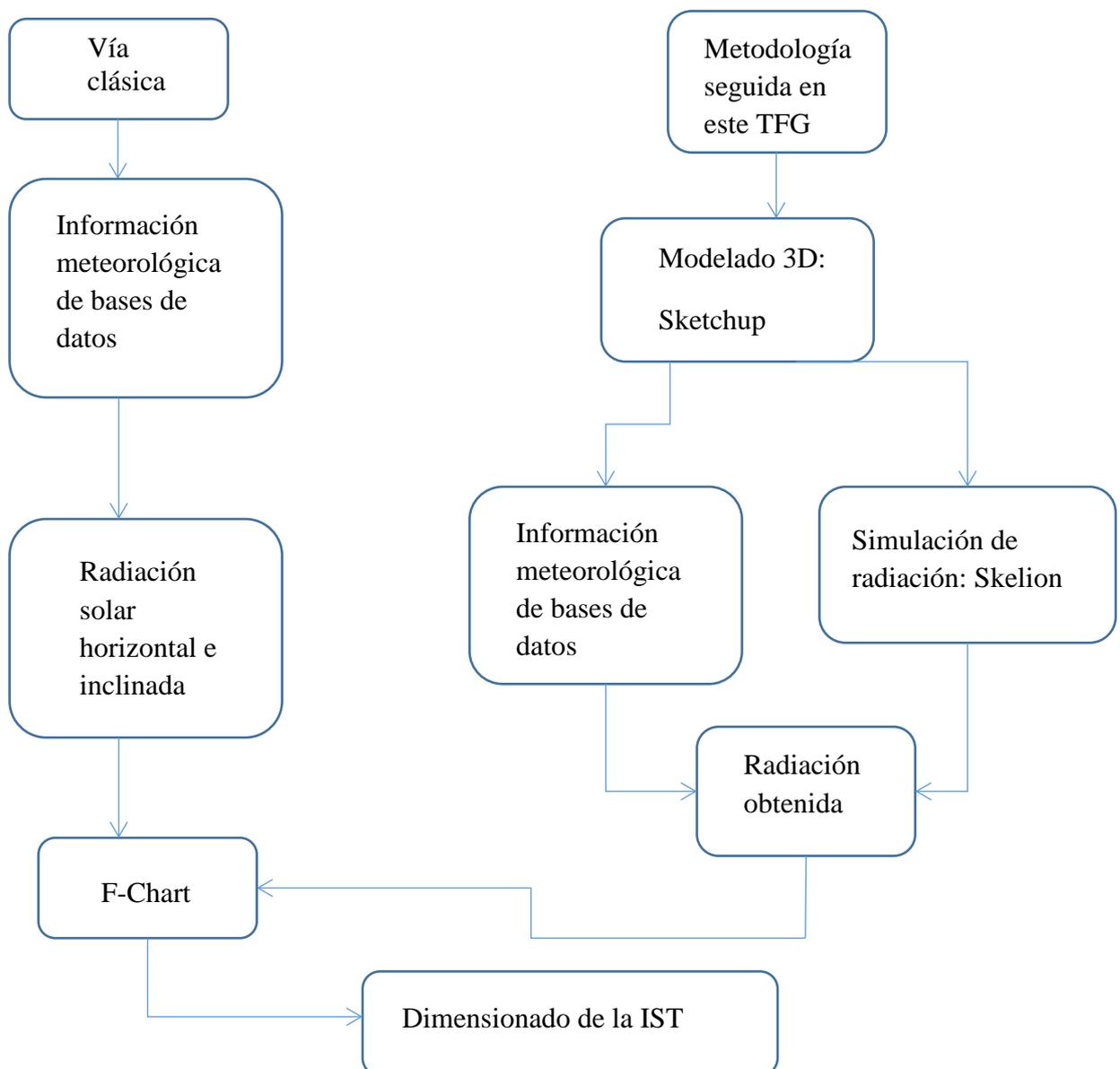


Figura 5-1. Metodologías de trabajo. Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 5-1, existe una forma clásica y tradicional de realizar los cálculos y desarrollos necesarios para el dimensionado de una IST de forma bastante simplificada. El método escogido para la realización del proyecto ha sido un poco más complejo del habitual incluyendo software de diseño con el objetivo de obtener la radiación solar sobre las áreas de estudio reales de forma más exacta y fiable ya que nos permite calcular la radiación solar existente en la zona de la cubierta de estudio para realizar la IST, tiene en cuenta todos los factores meteorológicos que puedan afectar a la captación de radiación solar y están contempladas las posibles sombras generadas por edificios adyacentes

5.1 Modelado 3D

A la hora de poder realizar el dimensionado de una instalación solar, es necesario conocer los edificios óptimos para poder instalarla en función de la radiación solar incidente, afectada por: las sombras generadas por todos los objetos y edificios colindantes a la zona de estudio, las sombras que produce el terreno donde se encuentran asentados los edificios y la orientación e inclinación de los tejados de los edificios donde se pretenda realizar el dimensionado.

Para tener todos estos factores en consideración se han utilizado una serie de herramientas materiales y gráficas para modelar la Escuela Naval Militar en 3 dimensiones.

5.1.1 Autocad

Para poder realizar la simulación de radiación solar lo más fiable posible, se han utilizado los planos reales de la Escuela Naval Militar proporcionados por la Oficina de Mantenimiento de la misma, muchos de los planos se encuentran en formato físico y digital [13].

Para poder obtener las medidas exactas de las fachadas y tejados se ha utilizado el software Autocad.

Autocad es un programa de diseño asistido por ordenador utilizado para representaciones 2D y 3D. Creado por la empresa Autodesk, este software está reconocido a nivel internacional para uso de edición en el dibujo de planos o imágenes 3D, su uso está destinado nivel profesional como estudios de arquitectura, ingenieros, diseñadores industriales etc.

Para nuestro caso no ha sido necesario un aprendizaje en profundidad en este software ya que ha sido un medio para obtener las medidas exteriores de las edificaciones.

No todas las medidas han sido obtenidas a través de los planos, ya que muchos de ellos no existían o estaban en formato de papel en pésimas condiciones a causa de los años. La mayor parte de la información aportada por los planos eran dibujos exteriores o interiores en planta de los edificios. Para solventar la ausencia de todas las medidas necesarias se utilizó una herramienta física, un medidor láser. El medidor permitió obtener muchas de las alturas de las edificaciones que no estaban detalladas en los planos.

El medidor laser modelo glm 100c perteneciente a la marca Bosch mostrado en la Figura 5-2. Medidor láser glm 100c [20] cuenta con las siguientes características:

- Margen de medición: 0.05 – 100 m
- Exactitud de la medición angular:
- +/- 0.2°
- Exactitud de la medición: +/- 1.5 mm



Figura 5-2. Medidor láser glm 100c [20]

Funciones principales:

- Medición de inclinación integrada
- Medición indirecta de longitudes
- Medición indirecta de alturas
- Función temporizador

5.1.2 Sketchup

Para el dimensionado en 3D de los edificios se ha utilizado un software creado por la empresa Google. Sketchup es un software de diseño de modelado en 3D que posee un gran abanico de funciones y herramientas de dibujo para proyectos de: arquitectura, diseño interior, ingeniería mecánica, ingeniería civil, industria cinematográfica, videojuegos etc. Inicialmente este programa se introdujo para permitir que la gente realizara proyectos complejos en 3D de forma simplificada [14].

Actualmente el software pertenece a Trimble Navigation, compañía comprada por Google en 2006. Su característica más chocante es que tienen dos principales versiones: Sketchup Make y Sketchup Pro. Sketchup Make es el software con las funciones básicas y de uso libre, es decir, gratuito al público. Sketchup Pro posee funciones de carácter profesional para realizar proyectos a más alto nivel por ello esta versión es de pago. A causa del éxito del software se ha creado un apartado llamado “Extension Warehouse” mostrado en la Figura 5-3, donde se pueden encontrar todas las extensiones para Sketchup relativas a proyectos más específicos en algunas categorías como: impresión 3D, arquitectura, diseño de interiores, construcción, urbanismo, paisajismo, cine, ingeniería etc.



Figura 5-3. Extension Warehouse [15]

Otro de los apartados característicos de este programa es que Sketchup permite compartir el trabajo realizado por todos los usuarios a través de la pestaña “3D Warehouse”, véase la Figura 5-4, donde los clientes pueden compartir con el mundo todos los proyectos que hayan realizado y mediante una sencilla búsqueda se pueden obtener objetos ya dimensionados e importarlos a un proyecto propio.

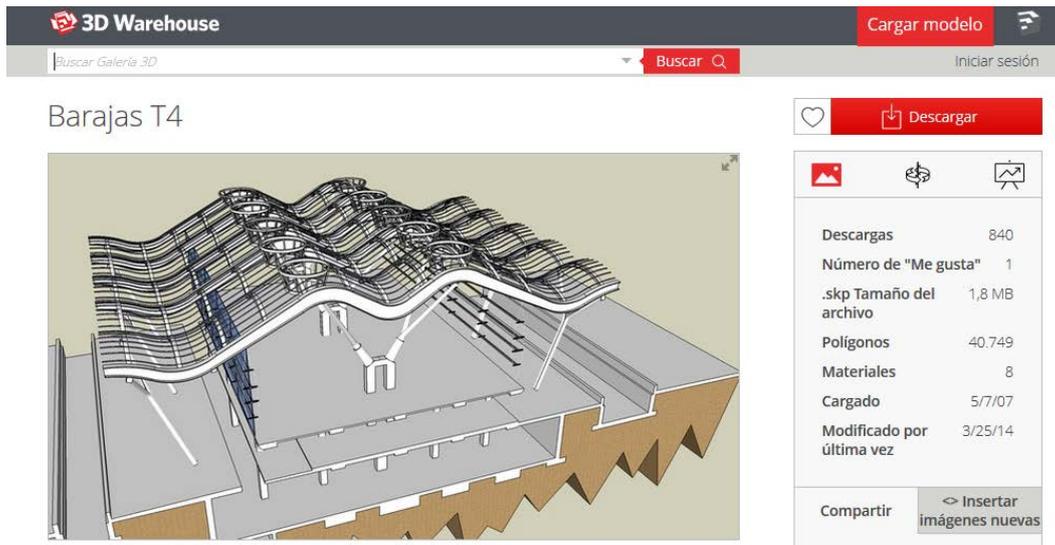


Figura 5-4. 3D Warehouse [15]

5.1.3 Desarrollo del modelado de la Escuela Naval Militar

Para el dimensionado de la instalación solar térmica se ha creado la Escuela Naval Militar en 3D con el fin de poder obtener los datos más exactos y fiables en cuanto a radiación solar incidente sobre las superficies a estudiar se refiere.

Toda la información obtenida a partir de los planos en Autocad y las mediciones realizadas manualmente se han volcado en Sketchup para dimensionar los edificios. Los principales problemas a la hora de realizar los dibujos 3D derivan de los planos obtenidos ya que la mayoría son planos de interiores relativos a aulas y oficinas, muy pocos planos hacen referencia a fachadas y tejados.

Cuando comenzamos a utilizar Sketchup, éste nos exige seleccionar una plantilla en función del tipo de proyecto que estemos realizando ya sea arquitectura, urbanismo, paisajes, carpintería, etc., y, conforme al tipo de plantilla escogido, viene ligado el sistema de unidades a utilizar, en nuestro caso urbanismo en metros.

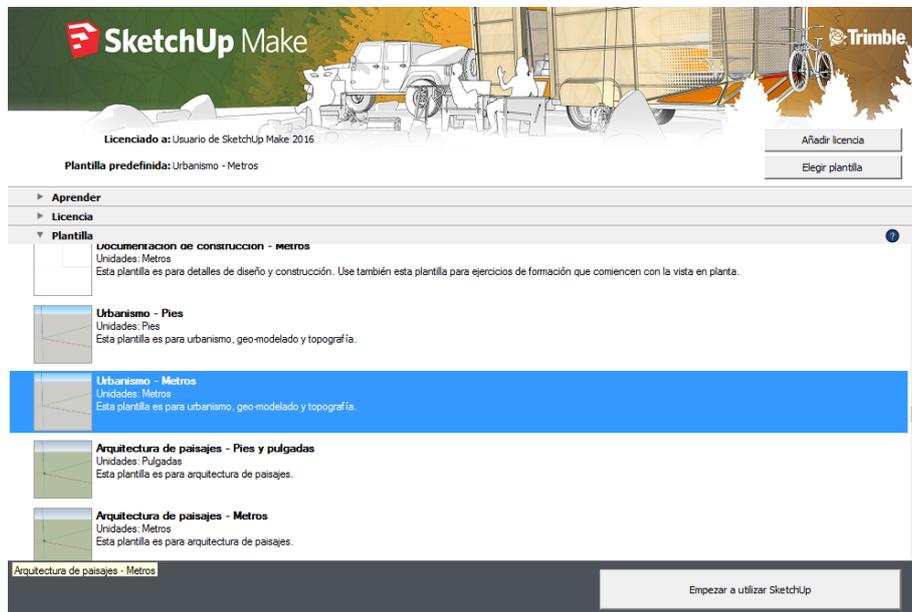


Figura 5-6. Tipo de plantilla Elaboración propia

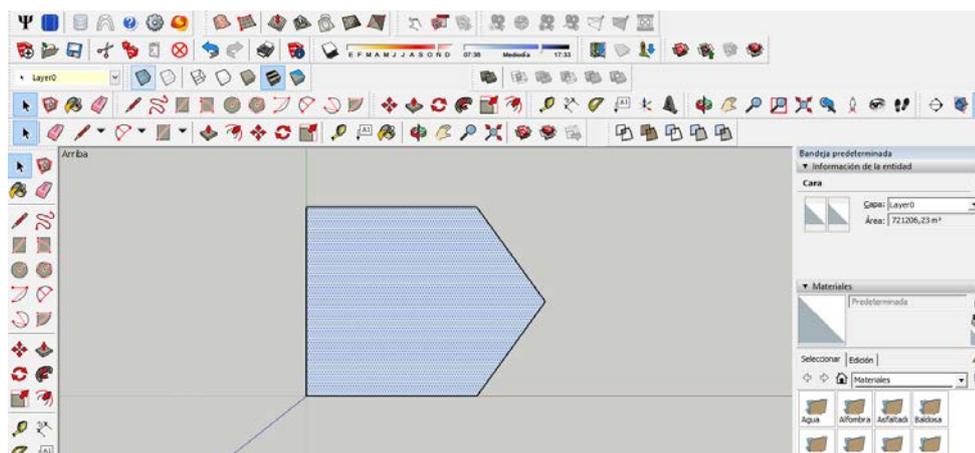


Figura 5-5. Modelado 3D Elaboración propia

Los primeros pasos utilizados a la hora de dimensionar la ENM son trabajar a partir de la planta o el perfil de los edificios y mediante extrusiones de las caras se obtiene la altura o longitud deseada. Una de las herramientas más utilizadas es las líneas guía, permiten trazar líneas de forma discontinua sin afectar al dimensionado que se esté llevando a cabo y ofrecer ayudas de referencia.

Una vez obtenida la forma genérica de los edificios se han realizado algunos detalles característicos de los mismos que pueden ser relevantes en la generación de sombras sobre los tejados o bien por estética para representar fielmente el edificio. Las herramientas para extruir superficies sirven también para eliminarlas extruyendo hacia el interior como se puede observar en los arcos dimensionados de la Figura 5-7.

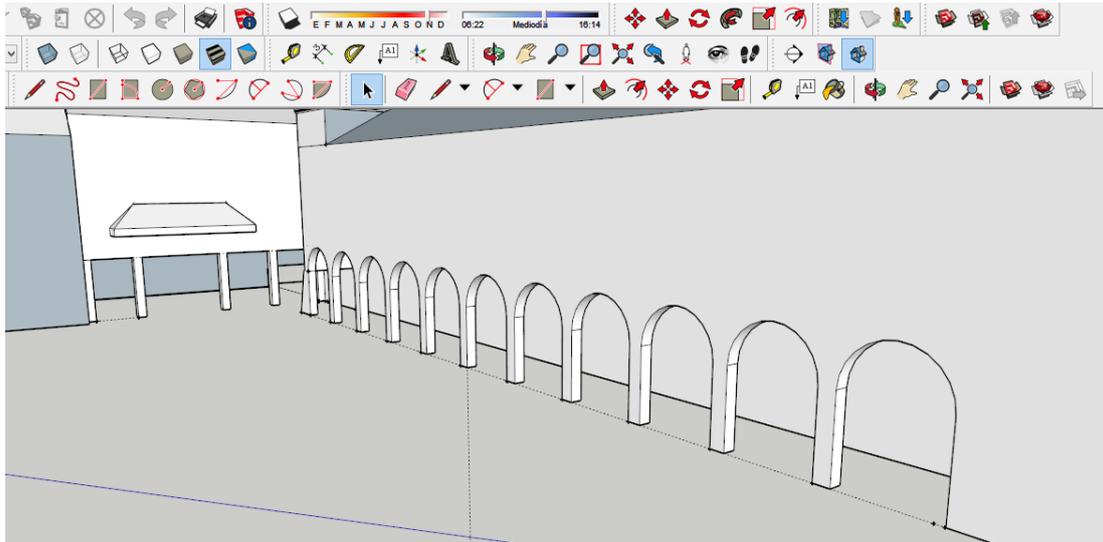


Figura 5-7. Modelado 3D interno Elaboración propia

A la hora de realizar el trazado de los edificios se ha evitado dibujar superficies curvas con el objetivo de poder estudiar la radiación solar sobre las mismas. Una vez obtenida la modelación de todos los edificios es necesario solucionar los problemas de orientación de los mismos respecto al norte geográfico y obtener su situación exacta en el terreno.

5.1.4 Geolocalización y mallado del terreno

Sketchup permite importar una geolocalización mediante Google Maps, la imagen importada mantiene medidas y escala necesarias para el desarrollo del proyecto seleccionado. En nuestro caso no ha sido necesario utilizar las medidas en planta de la geolocalización ya que los planos reales nos daban unas medidas más fiables y exactas.

Para realizar la geolocalización es necesario buscar a través de la ventana de Sketchup la zona de estudio como se muestra en la Figura 5-8, y, una vez obtenida, seleccionar la zona en detalle donde se colocarán los edificios.



Figura 5-8. Geolocalización en Sketchup Elaboración propia

Tras seleccionar la zona, Sketchup utilizará la imagen como base del proyecto en una de las caras que represente el suelo y se podrán importar los edificios ya creados previamente para orientarlos respecto a la imagen en planta de Google Maps, véase la Figura 5-9.

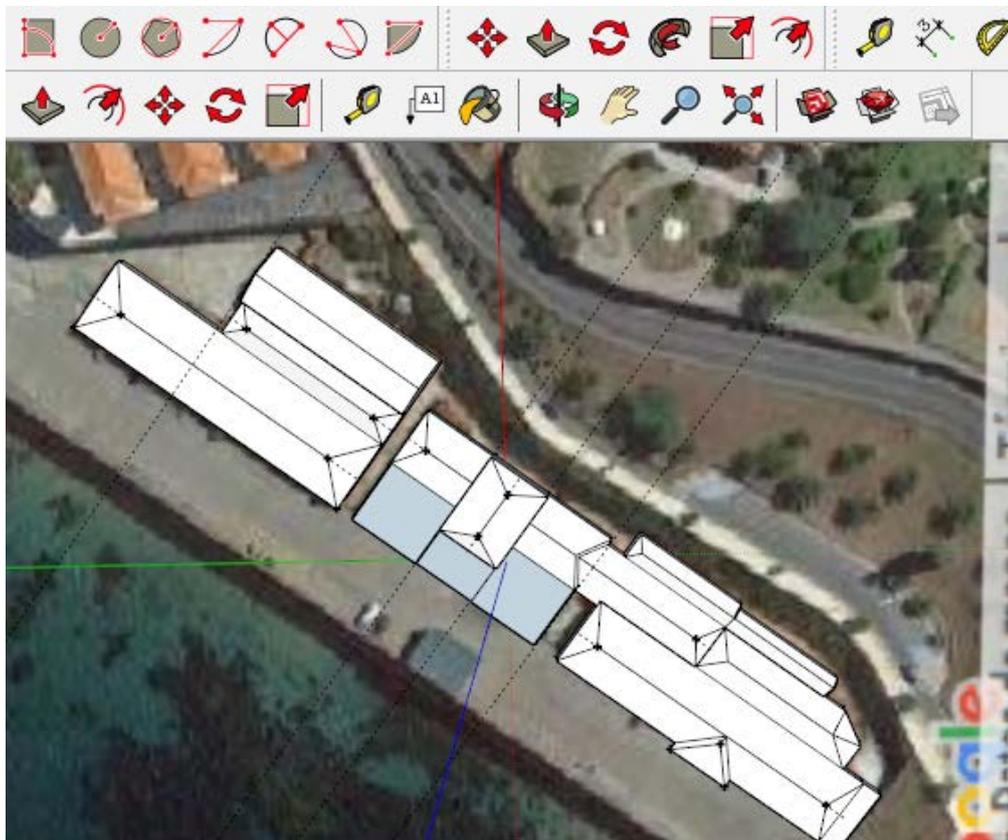


Figura 5-9. Orientación y colocación de los edificios en Sketchup Elaboración propia

Además de tener en cuenta la orientación de los edificios es necesario situarlos a la altura correcta del terreno, ya que al encontrarnos a nivel del mar el terreno aumenta en altura a medida que nos dirigimos al interior, este terreno será causante de sombras en determinados momentos del día y por ello se modela para el posterior cálculo de radiación solar.

Sketchup nos ofrece diferentes capas de trabajo, una de ellas tras haber realizado la geolocalización, es visualizar la altura del terreno, como se muestra en la Figura 5-10.

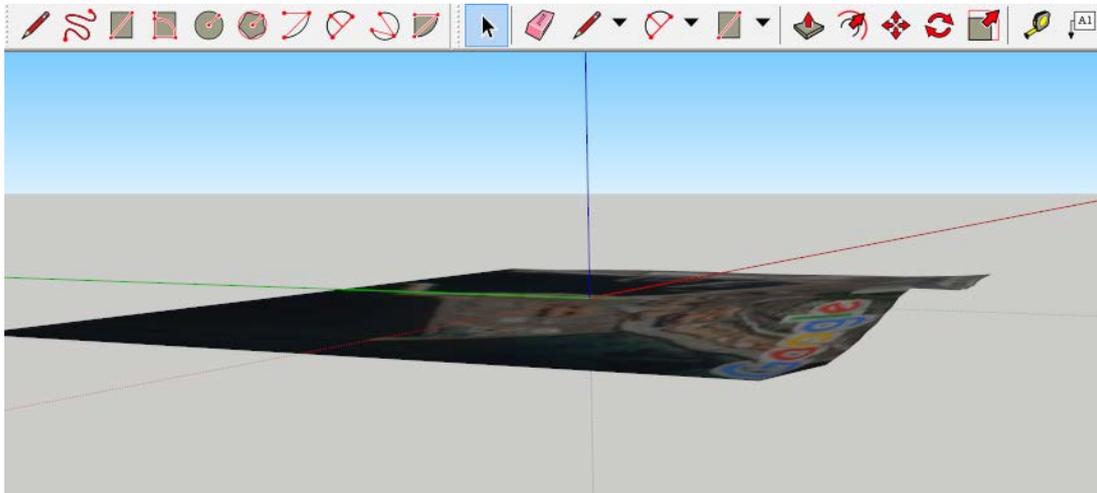


Figura 5-10. Capa de altura de terreno Elaboración propia

Una vez geolocalizada la zona y activada la capa de la altura del terreno, creamos la malla en base a la altura del terreno que nos da Google Maps, donde se asentarán los edificios. Se crea una base rectangular con las mismas medidas de la zona de estudio y mediante la herramienta de proyectar se obtiene la malla elevando el cuadrado generado previamente en función de la variación de alturas del terreno, véase la Figura 5-11.

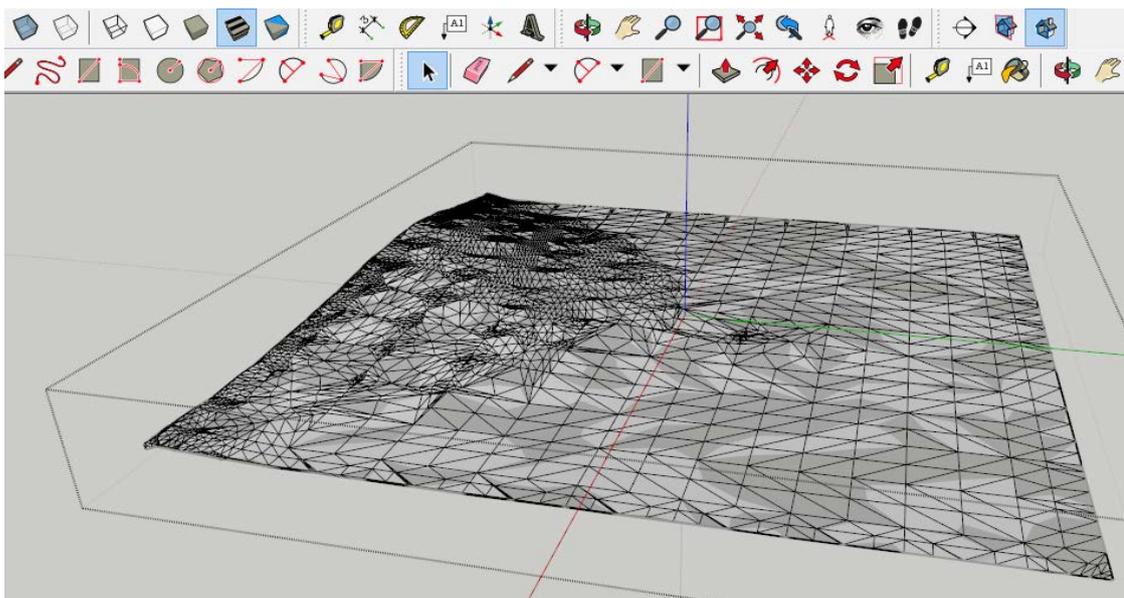


Figura 5-11. Malla 3D del terreno Elaboración propia

Una vez conseguidas las características base del terreno se asentarán los edificios en sus zonas correspondientes.

5.1.5 Integración de edificios en el terreno

Para poder tener una situación fiable de los edificios, se proyectan sus bases sobre la malla del terreno en su situación respecto a la imagen de la geolocalización y la forma de la base se extruye perpendicularmente, como se observa en la Figura 5-13, para evitar que los edificios queden introducidos dentro del terreno, otra de las causas por las que se extruye perpendicularmente es simular los cimientos de construcción que tienen las edificaciones en sus bases de manera aproximada ya que no existen datos de las medidas de los mismos.

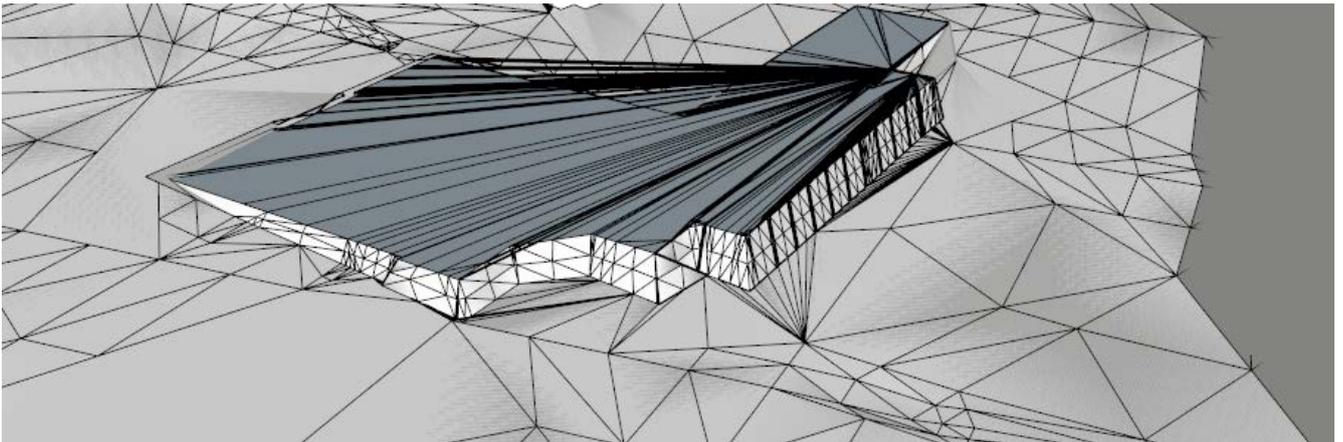


Figura 5-13. Bases de sustentación para los edificios Elaboración propia

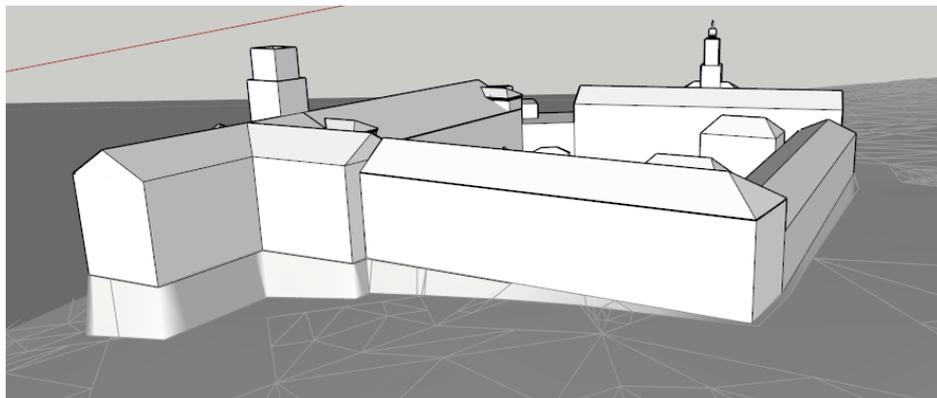


Figura 5-12. Integración de edificios en el terreno Elaboración propia

Obteniendo así una base perfecta para el apoyo de los edificios, como se muestra en la Figura 5-12, evitando intersecciones entre las caras de los mismos y el terreno.

5.2 Cálculo de irradiancia

Conocer la radiación solar en una zona de estudio determinada es determinante a la hora de poder realizar un dimensionado de la instalación solar térmica. Este dato será muy variable en función de las coordenadas geográficas donde nos encontremos, de la estación del año y de las condiciones climatológicas en cada momento y lugar. Otro de los factores relevantes es la orientación e inclinación de los edificios y zonas de los captadores solares ya que existe la posibilidad de que se generen sombras alrededor de la instalación sobre los captadores.

5.2.1 Skelion

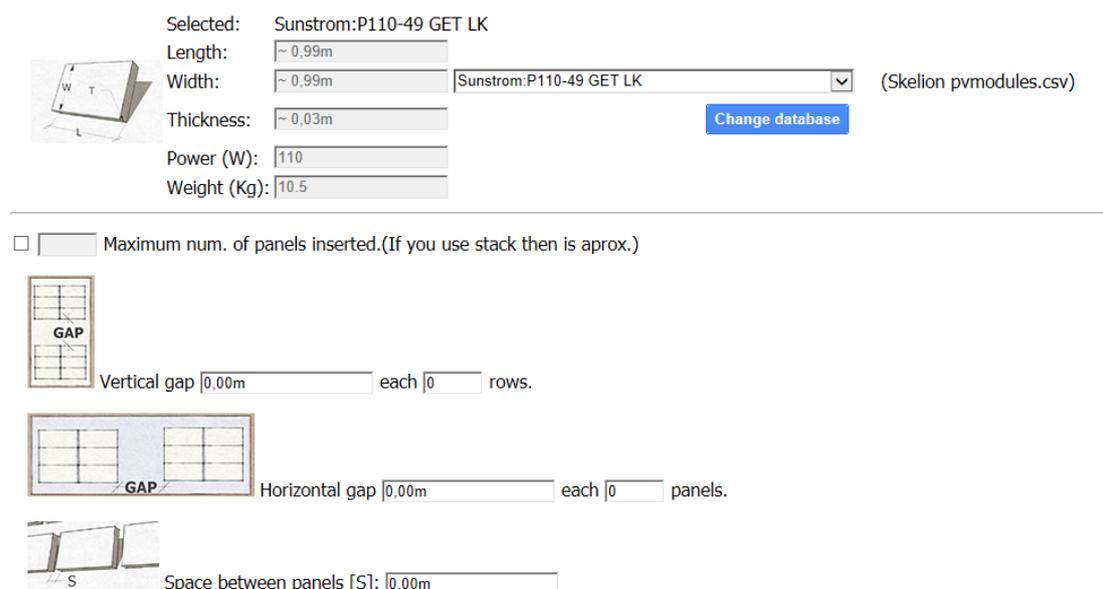
Para conseguir unos datos fiables de radiación se ha utilizado una extensión de Sketchup llamada Skelion especializada en energía solar. Inicialmente se intentó calcular la radiación solar mediante otra extensión llamada “sunhours”, más gráfica pero con un elevado coste computacional que impedía realizar el cálculo de todos los tejados. La extensión “Skelion” se descarga de la sección “3D Warehouse extensión” explicada previamente.

Skelion es un software de diseño de instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas que permite diseñar de manera relativamente sencilla una instalación. El programa tiene en cuenta todas las sombras que se puedan generar sobre los captadores debido al terreno o edificios adyacentes y los efectos de las condiciones climatológicas existentes en la zona de estudio.

5.2.2 Desarrollo de la simulación

Para calcular la radiación incidente sobre las superficies de los tejados se escoge primero el tipo de captador. Ya que la finalidad de la simulación es obtener únicamente la radiación solar incidente, el rendimiento del captador y sus características no son de importancia. Se escoge un captador de $1m^2 \times 1m^2$ tal y como muestra la Figura 5-14, con el objetivo de cubrir la mayor parte de la superficie posible, sin dejar espacios entre paneles.

Component



Selected: Sunstrom:P110-49 GET LK
 Length: ~ 0,99m
 Width: ~ 0,99m
 Thickness: ~ 0,03m
 Power (W): 110
 Weight (Kg): 10.5

Change database (Skelion pvmodules.csv)

Maximum num. of panels inserted.(If you use stack then is aprox.)

Vertical gap 0,00m each 0 rows.

Horizontal gap 0,00m each 0 panels.

Space between panels [S]: 0,00m

Figura 5-14. Características en la colocación de los captadores Elaboración propia

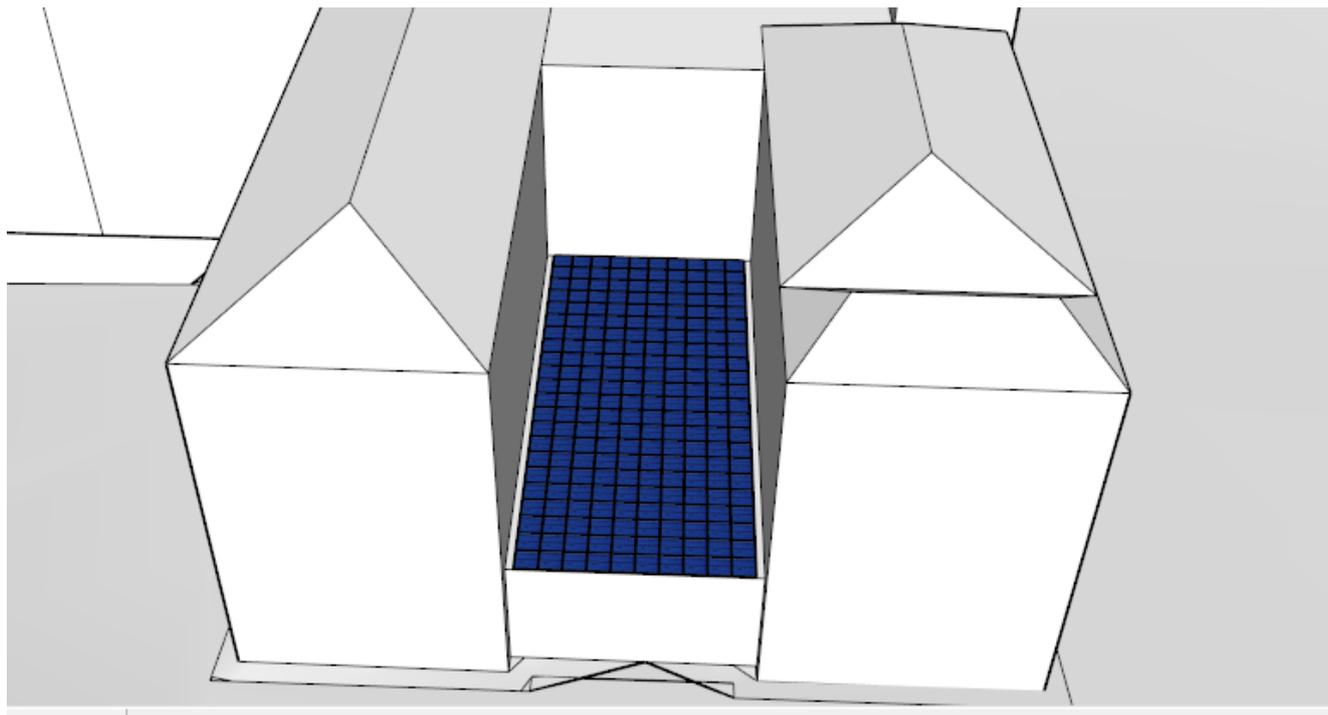


Figura 5-15. Situación de los captadores Elaboración propia

Una vez colocados los paneles sobre el tejado como se observa en la Figura 5-15. Situación de los captadores, se carga el fichero de datos meteorológicos procedentes del TFG “Estudio de las necesidades energéticas de un buque en diferentes ubicaciones” [15]. En este Trabajo de fin de grado se obtuvo un archivo de datos climatológicos mediante el software Meteornorm. Este programa posee un registro de datos de todas las balizas situadas a nivel mundial, las balizas actúan como estaciones meteorológicas proporcionando información de: azimut solar, elevación solar, radiación global, radiación directa, radiación difusa, precipitaciones, humedad, entre otros.

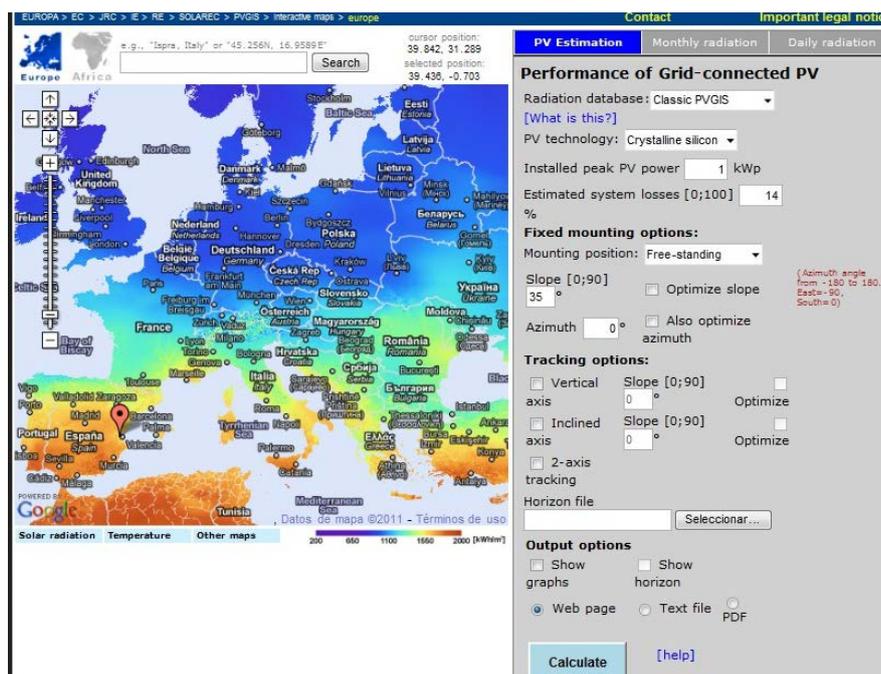


Figura 5-16. Base de datos PVGIS Elaboración propia

Tras cargar los datos meteorológicos se introduce la zona de estudio geográfica en la base de datos PVGIS.

PVGIS es un software destinado al dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas. En nuestro caso PVGIS proporciona la información de radiación que nos interesa tanto radiación horizontal como radiación con elevación y azimut óptimos teniendo en cuenta el archivo meteorológico introducido.

Este software integrado en Skelion nos proporciona información directa de su base de datos actualizada regularmente y engloba prácticamente la totalidad del globo terrestre.

Obtenemos archivos en formato PDF que nos proporcionan de manera mensual la información de radiación de cada cara estudiada. Por ello, es necesario calcular la radiación existente cara por cara de cada tejado de la Escuela Naval Militar. Se ha nombrado cada cara con las siglas del edificio correspondiente a su tejado, obteniéndose así la radiación horizontal y con elevación óptima para cada una de las caras que forman los tejados de cada edificio.

La diferencia entre radiaciones es básicamente en la forma de situar los captadores sobre las cubiertas, en el caso de la radiación horizontal, la radiación calculada es aquella que incida sobre captadores que se encuentren integrados arquitectónicamente con la cubierta del tejado del edificio, es decir, con la inclinación y orientación correspondientes a la cara del tejado. Para el caso de la radiación óptima, ésta se refiere a situar los captadores con una inclinación óptima de 52° manteniendo la orientación del edificio. Es este último dato el de mayor interés para el dimensionado de una IST ya que manteniendo la orientación de la vivienda podemos elevar los captadores mediante una estructura.

5.3 Dimensionado de la instalación

A la hora de realizar el dimensionado de una IST se debe tener en cuenta la demanda energética necesaria de la vivienda, las condiciones climáticas de la zona concretamente la radiación solar y la orientación e inclinación que tengan los captadores en función de la superficie de sustentación.

La demanda energética necesaria para poder realizar un dimensionado de una instalación solar térmica viene determinada en función de: la temperatura deseable constante del ACS dentro del depósito acumulador, el valor más habitual ronda los 60°C , el caudal de ACS necesario para el consumo y la temperatura de agua fría de entrada en el circuito para calentar.

A la hora de seleccionar la zona óptima de colocación de los captadores, ésta debe ser el área donde la radiación solar sea máxima y la posibilidad de obstáculos cercanos sea mínima para evitar que éstos generen sombras. Por tanto, las zonas altas de los edificios, es decir, los tejados suelen ser los más idóneos para la colocación de captadores. Sin embargo, es necesario realizar un estudio de la resistencia del tejado para poder dar garantía de seguridad y que el tejado soporte el peso de la estructura de captadores instalada en la zona.

Otro de los aspectos más relevantes que hay que tener en cuenta es disminuir la distancia entre los captadores y el acumulador al máximo. Esto no es un problema en instalaciones que funcionen por termosifón. En cambio, en los sistemas con circulación forzada es necesario evitar pérdidas innecesarias ocasionadas por la circulación del fluido de trabajo.

5.3.1 Cálculo F-Chart

El análisis de la instalación solar en la Escuela Naval Militar busca satisfacer las necesidades térmicas en lo relativo al ACS de los edificios. Por ello, de todos los edificios modelados en 3D y analizados mediante Skelion, se han escogido los más relevantes para una instalación solar térmica.

Los edificios seleccionados son aquellos donde hay un gran porcentaje de ocupación a lo largo del año y donde los alumnos o personal militar viven habitualmente con el fin de satisfacer sus necesidades térmicas referentes al agua de consumo humano para usos sanitarios y limpieza. Para obtener la ocupación habitual de los edificios se ha consultado el documento diario rellenado por la guardia con

el parte de situación de alumnos donde se indica el número de personal de los cuarteles y se ha obtenido información de la oficina de personal de la Escuela Naval Militar. Ya que la ocupación de los edificios es preferentemente en temporada de invierno, conforme a lo expuesto en la sección de pérdidas se tomará como valor de inclinación para el cálculo en F-Chart el valor de la latitud de la región de Marín + 10°. La Escuela Naval Militar se encuentra situada en localización 42°24' N y 008° 42' W.

Inclinación de captadores: 52°

En el estudio de la instalación solar no se ha tenido en cuenta el aspecto de refrigeración ya que el mayor porcentaje de ocupación se centra en los meses de invierno.

Edificios seleccionados:

- Cuartel Marqués de la Victoria
- Cuartel Almirante Francisco Moreno
- Cuartel de Marinería Méndez Núñez
- Gimnasio-Piscina

5.3.1.1 Datos generales para el cálculo F-Chart

Respecto a los datos necesarios para realizar la simulación mediante cálculo F-Chart asistido por ordenador es indispensable acceder a datos correspondientes a información general de la provincia de Pontevedra, éstos se han obtenido de la empresa Censolar.

Datos generales de la provincia de Pontevedra:

Provincia	Pontevedra
Latitud	42° 25'
Altitud	19 m
Humedad relativa	62 %
Velocidad media del viento	12 km/h
Temperatura máxima en verano	27 °C
Temperatura mínima en invierno	0 °C

Tabla 5-1. Datos provincia de Pontevedra Fuente: Censolar

Temperatura ambiente clasificada según los meses del año:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Tª media ambiente °C	11	12	14	16	18	20	22	23	20	17	14	12	16.6
Tª media de red °C	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3

Tabla 5-2. Temperatura media de red y ambiente en Pontevedra Fuente: Censolar

5.3.1.2 Demanda de energía térmica para los Cuarteles

Para poder conocer la superficie de captadores necesarios a instalar para abastecer un inmueble es necesario obtener la cantidad de energía térmica necesaria para la producción de ACS.:

$$D_{ACS} = Q_{ACS} * \rho * C_p * (T_f - T_0)$$

- D_{ACS} : Demanda energética para calendar el ACS(KW/día)

- Q_{ACS} : Consumo de ACS (l/día)

- ρ : Densidad del agua (1 Kg/l)

- C_p : Calor específico del agua (0.00116 KW/Kg°C)

- T_f : Temperatura de uso del ACS

- T_0 : Tempreatura del agua inicial.

Los captadores seleccionados para el dimensionado de la instalación son captadores solares planos de gran rendimiento incluso en los meses de poca radiación.

Sus características principales son:

Factor de eficiencia del colector: 1

Coefficiente de pérdida $W/m^2°C$: 6

Eficiencia del intercambiador: 0.9

Las unidades de trabajo para el dimensionado de IST son *KWh* o termias, a continuación se facilita la relación entre ambas unidades.

- **Cuartel marqués de la Victoria**

Consumo de ACS: 20 l/día

Ocupación: 141 personas

1 KW = 0.86 termias

% Ocupación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	100	100	100	100	100	80
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
50	1	100	100	100	100	100

Tabla 5-3. Porcentaje de ocupación cuartel Marqués de la Victoria Fuente: ENM

% de ocupación establecida en los cuarteles en función del calendario académico vigente en el que los alumnos a mediados de Junio realizan prácticas embarcando en unidades de la Flota, volviendo a la Escuela Naval Militar a principios de Julio para comenzar los ensayos de la Jura de bandera.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31	29	31	30	31	30
$Q_{ACS}/día$	2820	2820	2820	2820	2820	2256
Q_{ACS}/mes	87420	81780	87420	84600	87420	67680
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116
T_f	60	60	60	60	60	60
T_0	8	9	11	13	14	15
$D_{ACS}/día$.(termias/d	146,6	143,8	138,2	132,5	129,7	101.5
ía)						
D_{ACS}/mes .(termias/	4.546	4.027	4.284	3.976	4.021	3.046
mes)						

Tabla 5-4. Demanda energética cuartel Marqués de la Victoria enero-junio Elaboración propia

Q = Demanda en litros de ACS para el consumo.

D = Demanda energética para la producción de ACS a 60°C

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31	31	30	31	30	31
$Q_{ACS}/día$	1410	28.2	2820	2820	2820	2820
Q_{ACS}/mes	43710	874.2	84600	87420	84600	87420
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116
T_f	60	60	60	60	60	60
T_0	16	15	14	13	11	8
$D_{ACS}/día \cdot (\text{termias}/día)$	62	1.3	129,7	132,5	138,2	146.6
$D_{ACS}/mes \cdot (\text{termias}/mes)$	1923	39	3.892	4.109	4.145	4546

Tabla 5-5. Demanda energética cuartel Marqués de la Victoria julio-diciembre Elaboración propia

En la Tabla 5-4 y la Tabla 5-5 se muestra el resultado obtenido de demanda de ACS y demanda energética teniendo en cuenta la ocupación y el tipo de vivienda.

- **Cuartel Almirante Francisco Moreno**

Consumo de ACS: 20 l/día

Ocupación: 208 personas

1 KW = 0.86 termias

% Ocupación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	100	100	100	100	100	80
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	50	1	100	100	100	100

Tabla 5-6. Porcentaje de ocupación cuartel Almirante Francisco Moreno

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31	29	31	30	31	30
$Q_{ACS}/día$	4160	4160	4160	4160	4160	3328
Q_{ACS}/mes	128960	120640	128960	124800	128960	99840
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116

ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA
USOS TÉRMICOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR

T_f	60	60	60	60	60	60
T_0	8	9	11	13	14	15
$D_{ACS}/día$.(termias/d	216,3	212,2	203,8	195,5	191,4	149,8
ía)						
D_{ACS}/mes .(termias/ mes)	6.706	5.940	6.319	5.866	5.932	4.493

Tabla 5-7. Demanda energética cuartel Almirante Francisco Moreno enero-junio Elaboración propia

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31	31	30	31	30	31
$Q_{ACS}/día$	2080	41.6	4160	4160	4160	4160
Q_{ACS}/mes	64480	1289.6	124800	128960	124800	128960
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116
T_f	60	60	60	60	60	60
T_0	16	15	14	13	11	8
$D_{ACS}/día$.(termias/día)	91,5	1,9	191,4	195,5	203,8	216,3
D_{ACS}/mes .(termias/mes)	2.837	58	5.741	6.061	6.115	6.706

Tabla 5-8. Demanda energética cuartel Almirante Francisco Moreno julio-diciembre Elaboración propia

En la Tabla 5-7 y la Tabla 5-8 se muestran las demandas energéticas y de ACS necesarias para abastecer al edificio conforme a la ocupación y a las características del mismo.

- **Cuartel Marinería Méndez Núñez**

Consumo de ACS: 20 l/día

Ocupación: 42 personas

1 KW = 0.86 termias

% Ocupación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	100	100	100	100	100	100
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	100	100	100	100	100	100

Tabla 5-9. Porcentaje de ocupación cuartel de marinería Méndez Núñez Fuente: ENM

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31	29	31	30	31	30
$Q_{ACS}/día$	840	840	840	840	840	840
Q_{ACS}/mes	26040	24360	26040	25200	26040	25200
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116
T_f	60	60	60	60	60	60
T_0	8	9	11	13	14	15
$D_{ACS}/día$.(termias/d	43,7	42,8	41,2	39,5	38,6	37,8
ía)						
D_{ACS}/mes .(termias/	1.354	1.200	1.276	1.184	1.198	1.134
mes)						

Tabla 5-10. Demanda energética cuartel marinería Méndez Núñez enero-junio Elaboración propia

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31	31	30	31	30	31
$Q_{ACS}/día$	840	840	840	840	840	840
Q_{ACS}/mes	26040	26040	25200	26040	25200	26040
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116
T_f	60	60	60	60	60	60
T_0	16	15	14	13	11	8
$D_{ACS}/día$.(termias/día)	37,0	37,8	38,6	39,5	41,2	43,7
D_{ACS}/mes .(termias/mes)	1.146	1.172	1.159	1.224	1.235	1.354

Tabla 5-11. Demanda energética cuartel marinería Méndez Núñez julio-diciembre Elaboración propia

En la Tabla 5-10 y la Tabla 5-11 se muestran la demanda de ACS y demanda energética necesarias para el abastecimiento óptimo del tipo de vivienda según su ocupación

• **Gimnasio GM Barrutia**

A la hora de realizar el estudio para el Gimnasio GM Barrutia solo se ha tenido en cuenta el consumo de ACS para vestuarios y duchas conforme al consumo establecido por el CTE. El factor de la piscina cubierta no ha sido objeto de estudio el porcentaje de ocupación de la piscina durante el periodo escolar y a lo largo de los meses de verano es mínimo y se realizan limpiezas, por lo que no es aconsejable en cuanto a la amortización del coste de una instalación solar.

Consumo de ACS.: 25 l/día

Ocupación: 100 personas

1 KW = 0.86 termias

% Ocupación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	100	100	100	100	100	80
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	50	10	100	100	100	100

Tabla 5-12. Porcentaje de ocupación Gimnasio GM Barrutia Fuente: ENM

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31	29	31	30	31	30
$Q_{ACS}/día$	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.000
Q_{ACS}/mes	77500	72500	77500	75000	77500	60000
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116
T_f	6	6	6	6	6	6
T_0	60	60	60	60	60	60
$D_{ACS}/día \cdot (termias/día)$	8	9	11	13	14	15
$D_{ACS}/día \cdot (termias/día)$	130,0	127,5	122,5	117,5	115,0	90,0
$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	4030	3697.5	3797.5	3525	3565	2700

Tabla 5-13. Demanda energética gimnasio GM Barrutia enero-junio Elaboración propia

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31	31	30	31	30	31
$Q_{ACS}/día$	1.250	250	2.500	2.500	2.500	2.500

Q_{ACS}/mes	38750	7750	75000	77500	75000	77500
ρ	1	1	1	1	1	1
C_p	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116
T_f	60	60	60	60	60	60
T_0	16	15	14	13	11	8
$D_{ACS}/día \cdot (termias/día)$	55,0	11,3	115,0	117,5	122,5	130,0
$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	1705	339	3565	3642	3675	4030

Tabla 5-14. Demanda energética gimnasio GM Barrutía julio-diciembre Elaboración propia

En la Tabla 5-13 y la Tabla 5-14 se exponen los valores obtenidos respecto a la demanda de ACS y demanda energética necesaria para abastecer al edificio cumpliendo las características y ocupación del mismo.

5.3.1.3 Contribución solar Cuartel Marqués de la Victoria

Para evaluar las zonas donde realizar la IST, analizamos los datos obtenidos mediante simulación con Skelion donde podemos encontrar aquellas caras que obtienen más radiación de media a lo largo del año.

Irradiancia con inclinación óptima mensual media del tejado

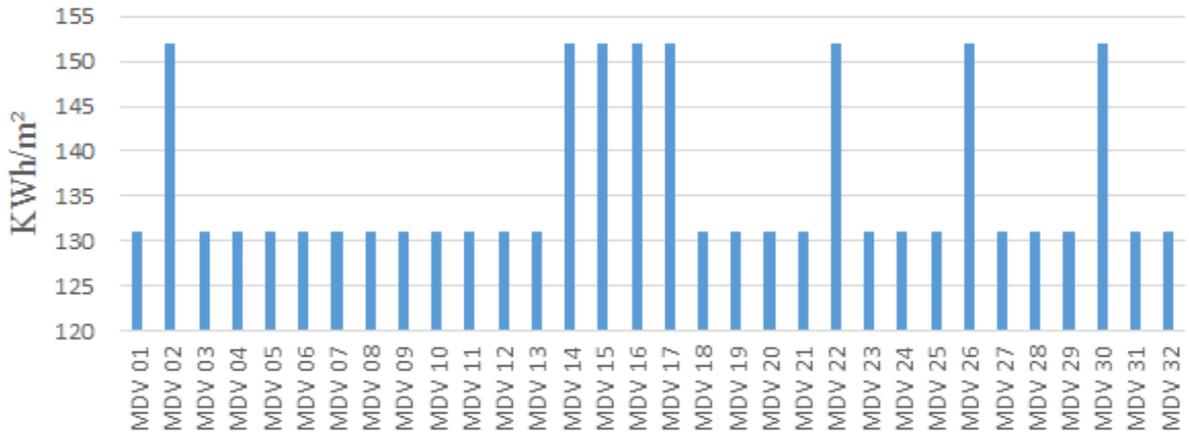


Gráfico 5-1. Irradiancia mensual con elevación óptima cuartel Marqués de la Victoria
Elaboración propia

Irradiancia con elevación óptima anual media del tejado

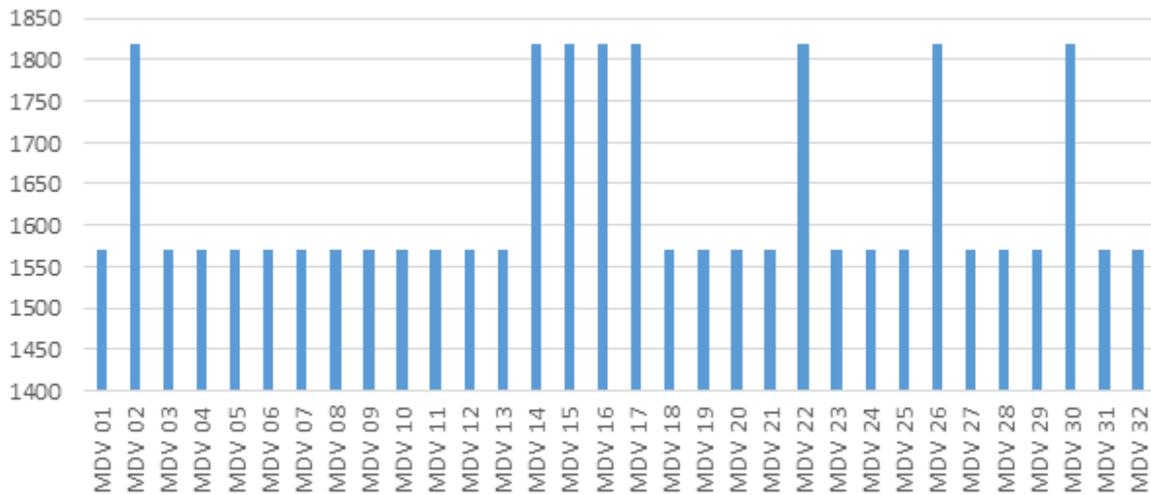


Gráfico 5-2. Irradiancia anual con elevación óptima Elaboración propia

En el Gráfico 5-1 y el Gráfico 5-2, se muestra la radiación horizontal y con elevación óptima anual y mensual media para todas las caras del tejado.

En base a los cálculos realizados mediante la simulación con Skelion a través de la plataforma 3D en Sketchup se realiza la elección de la cara del tejado más idónea para realizar el dimensionado de la instalación de captadores solares. También se ha tenido en cuenta a la hora de la elección, la superficie total de la cara suficiente para la localización de los captadores sin que se generen sombra y su cercanía a las calderas a la hora de realizar la instalación.

La elección es la cara MDV 17 marcada en la Figura 5-17.

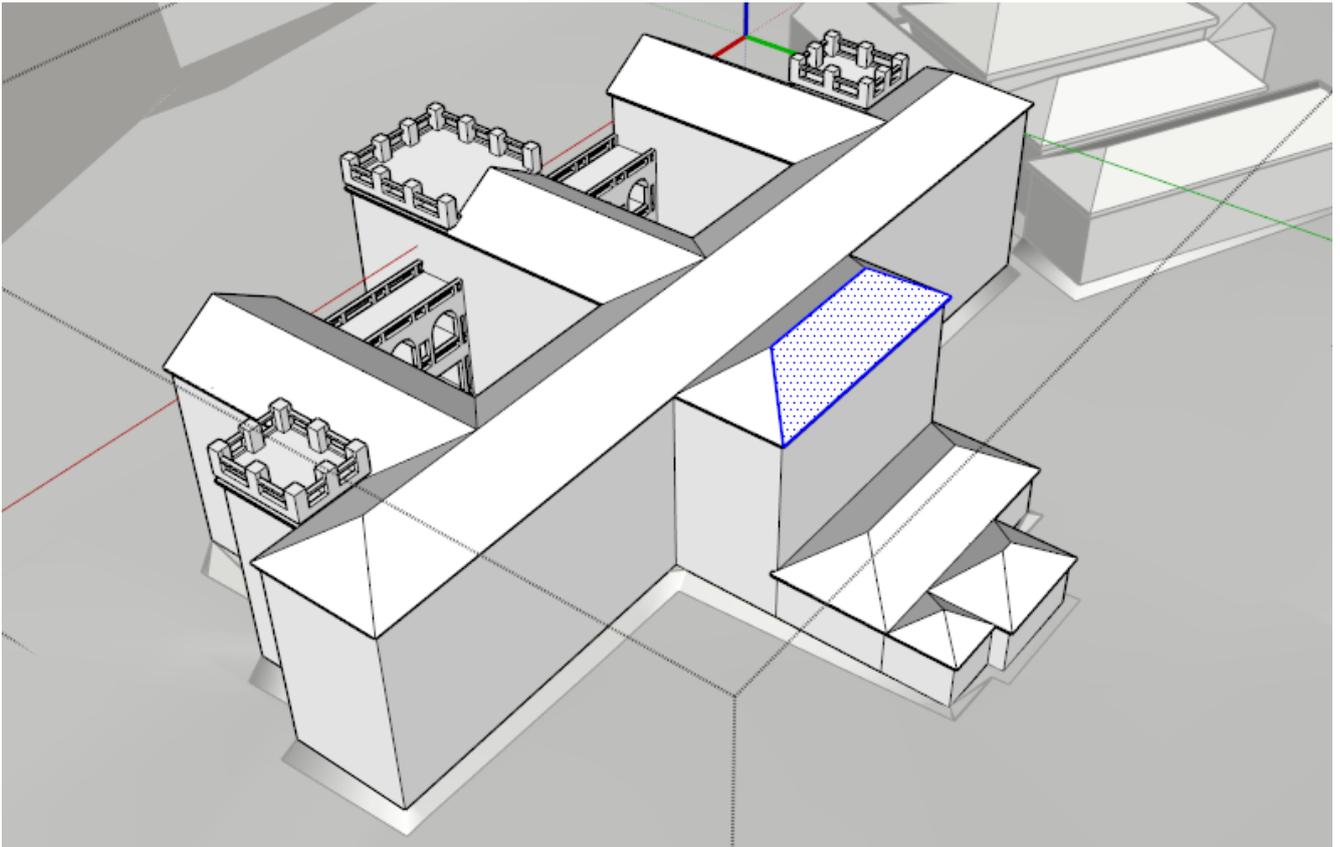


Figura 5-17. Superficie de colocación de captadores seleccionada cuartel Marqués de la Victoria Elaboración propia

Características del tejado:

Superficie: 102.37 m²

Orientación: 174.4°

Elevación: 36.38°

Superficie de captadores: 12 m²

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación Horizontal	85	113	165	171	185	190
Radiación Opt. Elev.	84,1	112	165	171	186	192
% Solar	34,3	38,4	40,3	31,7	27,8	33,8
$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	4.546	4.027	4.284	3.976	4.021	3.046
Contribución solar (termias)	1559.27	1546.36	1726.45	1260.39	1117.83	1029.54
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación Horizontal	203	205	185	141	94,8	82,5
Radiación Opt. Elev.	204	206	184	140	93,9	81,5
% Solar	54,2	100,0	44,0	33,6	39,4	38,2
$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	1923	39	3.892	4.109	4.145	4546.46
Contribución solar (termias)	1042	39	1712	1380	1633	1736

Tabla 5-15. Dimensionado de la IST cuartel Marqués de la Victoria Elaboración propia

En la Tabla 5-15 se muestra la contribución solar obtenida en caso de realizar una instalación solar térmica con una superficie de 12 m² de captadores para cumplir el mínimo establecido según el CTE de demanda energética proporcionada por EST para edificios en rehabilitación o de nueva construcción.

5.3.1.4 Contribución solar Cuartel Almirante Francisco Moreno

Irradiancia con inclinación óptima mensual media del tejado

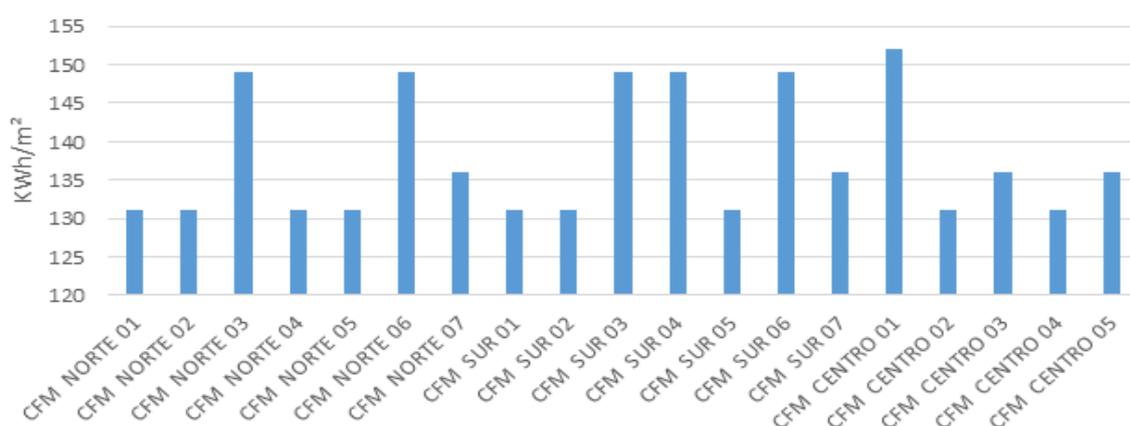


Gráfico 5-3. Irradiancia mensual con inclinación óptima cuartel Almirante Francisco Moreno Elaboración propia

Irradiancia con elevación óptima anual media del tejado

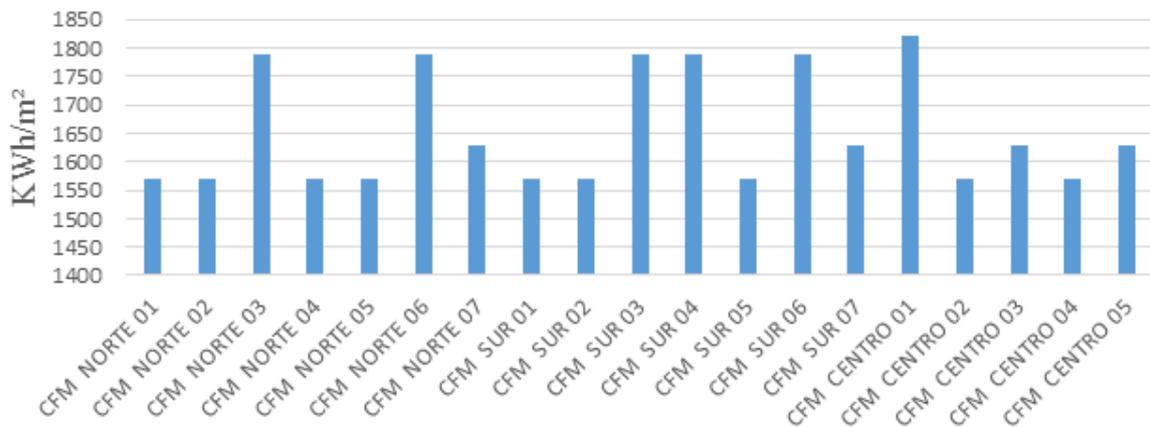


Gráfico 5-4. Irradiancia anual con inclinación óptima cuartel Almirante Francisco Moreno
Elaboración propia

En el Gráfico 5-3 y el Gráfico 5-4 se muestra la radiación con elevación óptima anual y mensual media para todas las caras del tejado.

En base a los cálculos realizados mediante la simulación con Skelion a través de la plataforma 3D en Sketchup se realiza la elección de la cara del tejado más idónea para realizar el dimensionado de la instalación de captadores solares. También se ha tenido en cuenta a la hora de la elección la superficie total de la cara suficiente para la localización de los captadores sin que se generen sombra y su cercanía a las calderas a la hora de realizar la instalación.

La elección es la cara sur 06 marcada en la Figura 5-18.

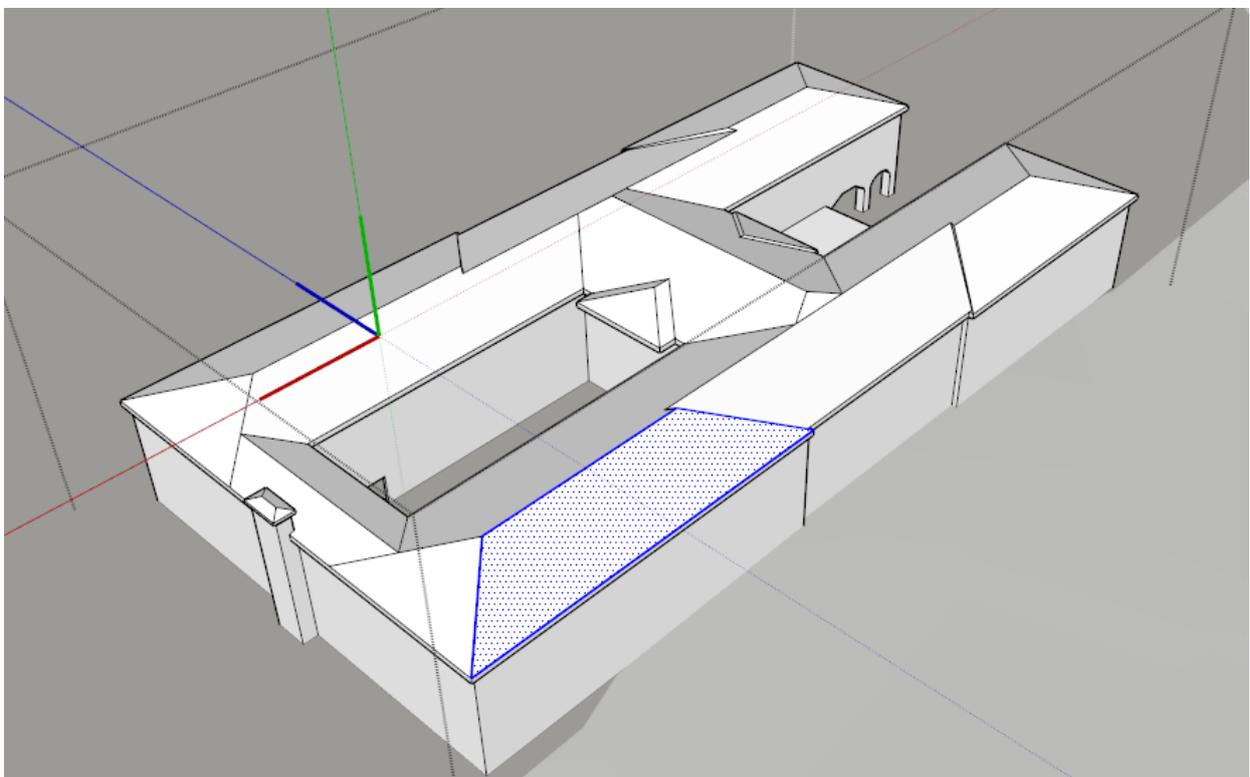


Figura 5-18. Superficie de colocación de captadores cuartel Almirante Francisco Moreno
Elaboración propia

Características del tejado:

Superficie: 212.27

Orientación: 156.71°

Elevación: 17.6°

Superficie de captadores: 20 m²

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación Horizontal	68.4	94,6	150	168	194	205
Radiación Opt. Elev.	80,5	108	161	170	187	194
% Solar	27,0	32,8	39,3	34,5	32,6	40,6
$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	6.706	5.940	6.319	5.866	5.932	4.493
Contribución solar (termias)	1810.62	1948.32	2483.36	2023.77	1933.83	1824.15
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación Horizontal	216	207	171	121	76,9	64,3
Radiación Opt. Elev.	206	206	180	135	89,7	77,5
% Solar	62,8	100,0	44,0	30,4	31,5	28,2
$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	2.837	58	5.741	6.061	6.115	6.706
Contribución solar (termias)	1781	58	2526	1842	1926	1891

Tabla 5-16. Dimensionado de la IST cuartel Almirante Francisco Moreno Elaboración propia

En la tabla Figura 5-16 se muestra la contribución solar obtenida en caso de realizar una instalación solar térmica con una superficie de 20 m² de captadores para cumplir el mínimo establecido según el CTE de demanda energética proporcionada por EST para edificios en rehabilitación o de nueva construcción.

5.3.1.5 Contribución solar Gimnasio GM Barrutia

Para evaluar las zonas donde realizar la instalación analizamos los datos obtenidos mediante simulación con Skelion donde podemos encontrar en las caras que forman el tejado las que sufren más radiación de media a lo largo del año.

Irradiancia con inclinación óptima mensual media del tejado

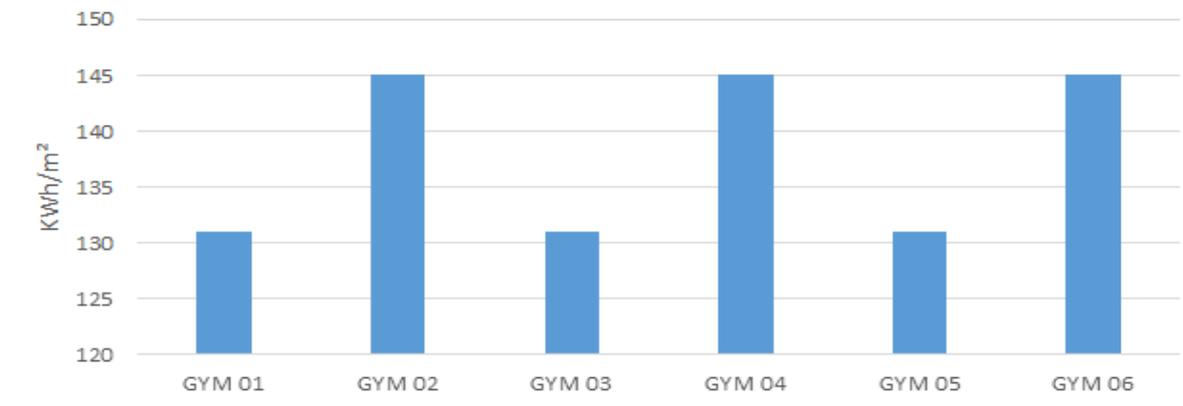


Gráfico 5-5. Irradiancia mensual con óptima elevación gimnasio GM Barrutia Elaboración propia

Irradiancia con elevación óptima anual media del tejado

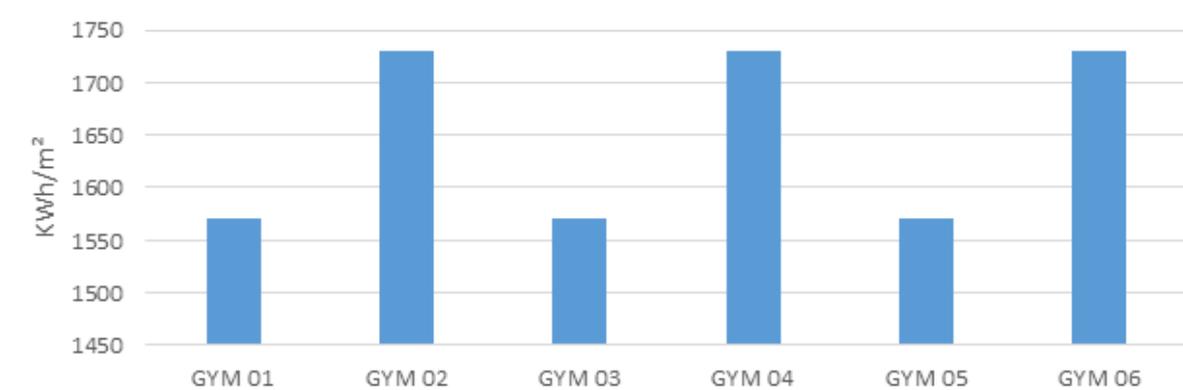


Gráfico 5-6. Irradiancia anual con óptima elevación gimnasio GM Barrutia Elaboración propia

En los Gráficos se muestra la radiación con elevación óptima anual y mensual media para todas las caras del tejado.

En base a los cálculos realizados mediante la simulación con Skelion a través de la plataforma 3D en Sketchup se realiza la elección de la cara del tejado más idónea para realizar el dimensionado de la instalación de captadores solares. También se ha tenido en cuenta a la hora de la elección la superficie total de la cara suficiente para la localización de los captadores sin que se generen sombra y su cercanía a las calderas a la hora de realizar la instalación.

La elección es la cara GYM 02 marcada en la Figura 5-19.

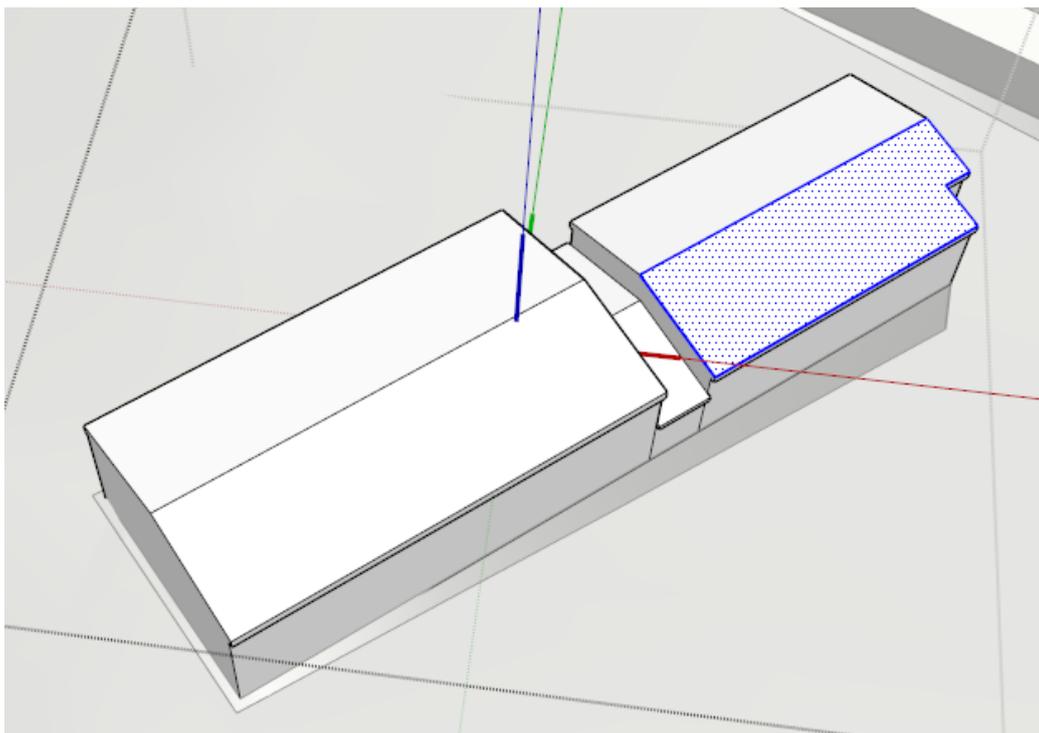


Figura 5-19. Superficie de colocación de captadores gimnasio GM Barrutia
Elaboración propia

Características del tejado:

Superficie: 481.39

Orientación: 138.27°

Elevación: 13.34°

Superficie de captadores: 12 m²

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación Horizontal	61,8	86,9	143	164	193	206
Radiación Opt. Elev.	72,6	98,5	152	167	188	197
% Solar	22,8	28,9	36,8	33,4	32,4	40,8
$D_{ACS}/mes.(termias/mes)$	4030	3697.5	3797.5	3525	3565	2700
Contribución solar (termias)	918.84	1068.57	1397.48	1177.35	1155.06	1101.6
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación Horizontal	216	203	163	113	69,6	57,2
Radiación Opt. Elev.	209	203	172	125	80,9	68,8
% Solar	62,7	100,0	41,4	27,5	26,8	23,2
$D_{ACS}/mes.(termias/mes)$	1705	339	3565	3642	3675	4030

Contribución solar (termias)	1069	339	1475	1001	984	934
-------------------------------------	------	-----	------	------	-----	-----

Tabla 5-17. Dimensionado de la IST gimnasio GM Barrutia Elaboración propia

En la Tabla 5-17 se muestra la contribución solar obtenida en caso de realizar una instalación solar térmica con una superficie de 12 m^2 de captadores para cumplir el mínimo establecido según el CTE de demanda energética proporcionada por EST para edificios en rehabilitación o de nueva construcción.

5.3.1.6 Contribución solar Cuartel Méndez Núñez

Para evaluar las zonas donde realizar la instalación analizamos los datos obtenidos mediante simulación con Skelion donde podemos encontrar en las caras que forman el tejado, las que sufren más radiación de media a lo largo del año.

Irradiancia con inclinación óptima mensual media del tejado

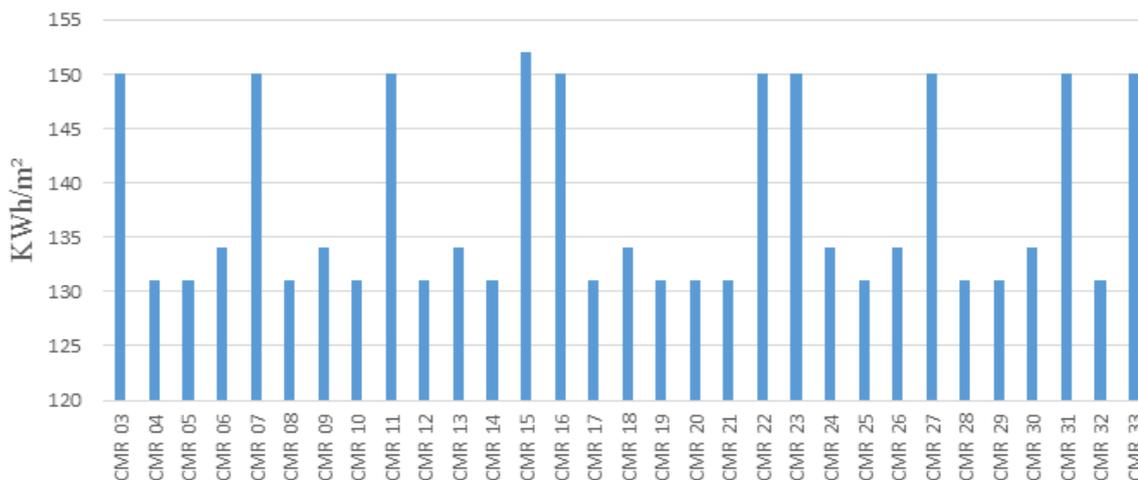


Gráfico 5-7. Irradiancia con inclinación óptima mensual cuartel Méndez Núñez Elaboración propia

Irradiancia con elevación optima anual media del tejado

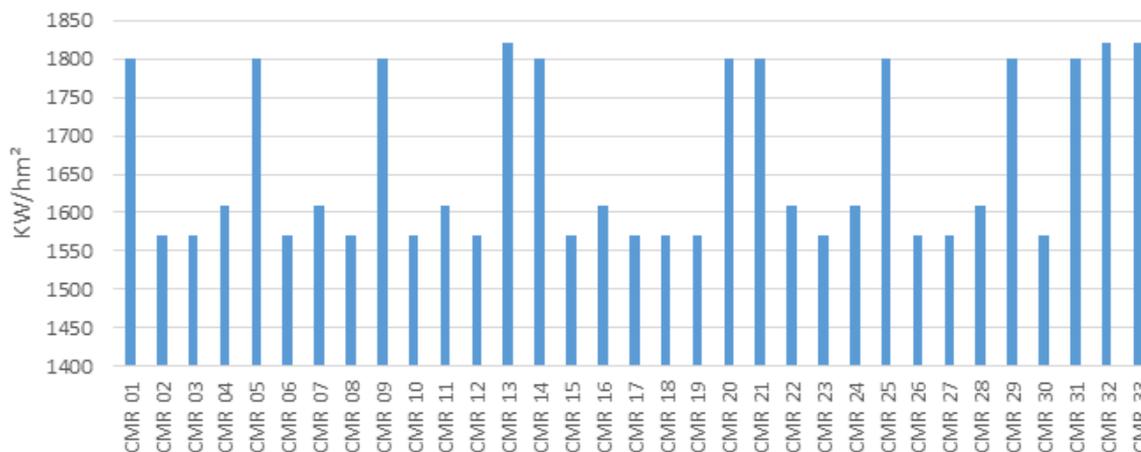


Gráfico 5-8. Irradiancia anual con elevación óptima cuartel Méndez Núñez Elaboración propia

En el Gráfico 5-7 y el Gráfico 5-8 se muestra la radiación horizontal y con elevación óptima anual y mensual media para todas las caras del tejado.

En base a los cálculos realizados mediante la simulación con Skelion a través de la plataforma 3D en Sketchup se realiza la elección de la cara del tejado más idónea para realizar el dimensionado de la instalación de captadores solares. También se ha tenido en cuenta a la hora de la elección la superficie total de la cara suficiente para la localización de los captadores sin que se generen sombra, su cercanía a las calderas a la hora de realizar la instalación y la protección de los captadores de factores meteorológicos como el viento.

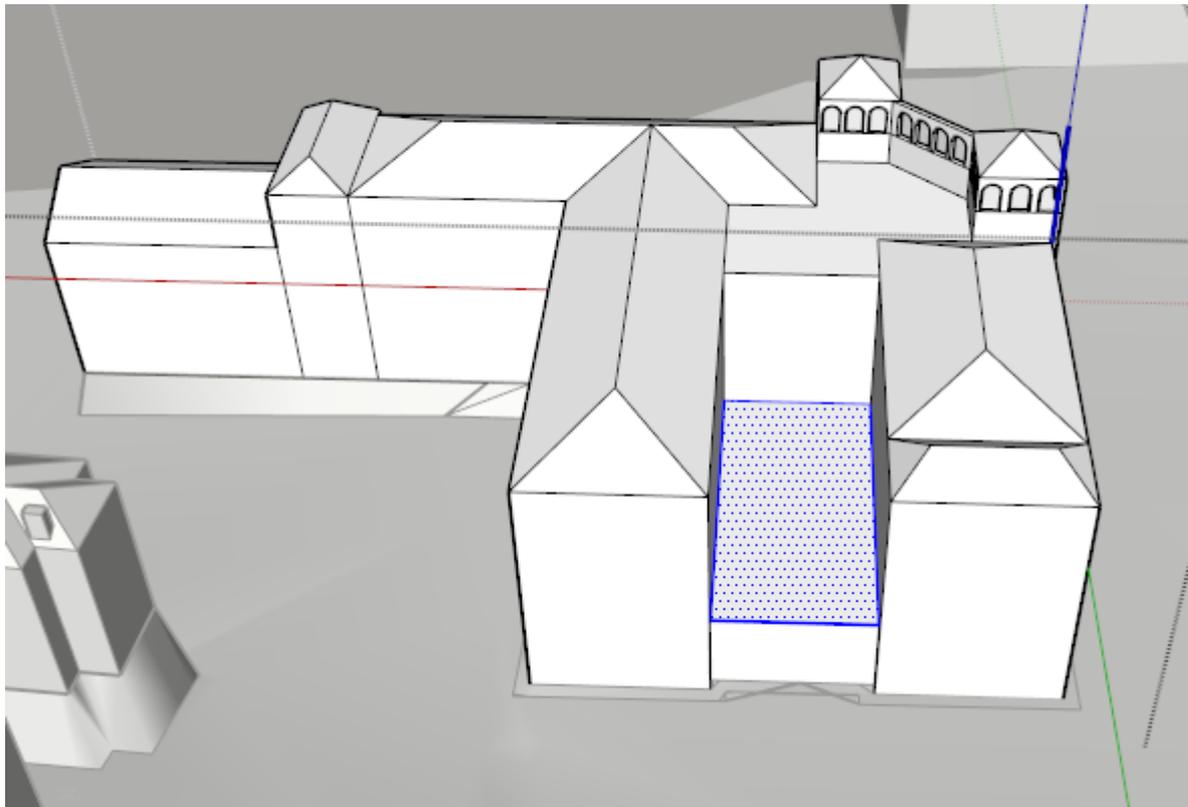


Figura 5-20. Superficie de colocación de captadores cuartel Méndez Núñez Elaboración propia

La elección es la cara CMR 33 marcada en la Figura 5-20.

Características del tejado:

Superficie: 229.46

Orientación: 180°

Elevación: 0°

Superficie de captadores: 6 m²

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación Horizontal	50,8	74,2	130	156	190	206
Radiación Opt. Elev.	84,3	112	165	171	186	191
% Solar	18,7	27,2	40,0	40,0	40,8	42,9
$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	1.354	1.200	1.276	1.184	1.198	1.134
Contribución solar (termias)	253.19	326.4	510.4	473.6	488.78	486.48
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación Horizontal	214	195	148	98,5	57,9	45,9
Radiación Opt. Elev.	204	206	184	140	94,2	81,8
% Solar	45,3	47,6	45,2	27,0	22,5	17,8

$D_{ACS}/mes \cdot (termias/mes)$	1,146	1,172	1,159	1,224	1,235	1,354
Contribución solar (termias)	519	557	522	330	277	241

Tabla 5-18. Dimensionado de la IST cuartel Méndez Núñez Elaboración propia

En la Tabla 5-18 se muestra la contribución solar obtenida en caso de realizar una instalación solar térmica con una superficie de $6 m^2$ de captadores para cumplir el mínimo establecido según el CTE de demanda energética proporcionada por EST para edificios en rehabilitación o de nueva construcción.

5.3.1.7 Pérdidas por orientación, inclinación y sombras

Conforme a lo expuesto anteriormente, la instalación dimensionada se encuadra dentro del caso general, el porcentaje máximo de energía perdida a causa de la inclinación y orientación será de 10 % y del 10 % debido a las sombras. Conforme a la totalidad de pérdidas según el Código Técnico de Edificación el porcentaje máximo incluyendo ambos casos será del 15 %.

Con el objetivo de evitar un gran cambio en el diseño arquitectónico de los cuarteles, el dimensionado que se propone mantiene la orientación base de la superficie del tejado de los edificios, pero los captadores se colocarán con la elevación óptima mediante una estructura soporte.

Para poder analizar la viabilidad de la posición de los captadores ha de compararse la radiación con los captadores situados en orientación y elevación óptimas y en situación libre de sombras junto con los cálculos con la orientación base de los edificios e inclinación del captador óptima.

Se calcula mediante Skelion la radiación solar incidente con el edificio sin posibilidad de sombras cercanas y distribuyendo los captadores e forma óptima en orientación e inclinación.

Radiación total anual excluyendo pérdidas por sombras e inclinación:

$$\text{Cuartel Almirante Francisco Moreno} = 1940 \text{ KWh}/m^2$$

$$\text{Gimnasio GM Barrutia} = 1820 \text{ KWh}/m^2$$

$$\text{Cuartel Marinería Méndez Núñez} = 1950 \text{ KWh}/m^2$$

$$\text{Cuartel Marqués de la Victoria} = 1930 \text{ KWh}/m^2$$

Radiación total anual teniendo en cuenta orientación, inclinación y pérdidas:

$$\text{Cuartel Almirante Francisco Moreno} = 1790 \text{ KWh}/m^2$$

$$\text{Gimnasio GM Barrutia} = 1730 \text{ KWh}/m^2$$

$$\text{Cuartel Marinería Méndez Núñez} = 1820 \text{ KWh}/m^2$$

$$\text{Cuartel Marqués de la Victoria} = 1820 \text{ KWh}/m^2$$

En todos los casos se cumple el 15 % de pérdidas establecido por el Código Técnico de Edificación. En él existen unos métodos de estimación para conocer el cumplimiento de pérdidas por orientación y sombras como se muestra en la Figura 5-21.

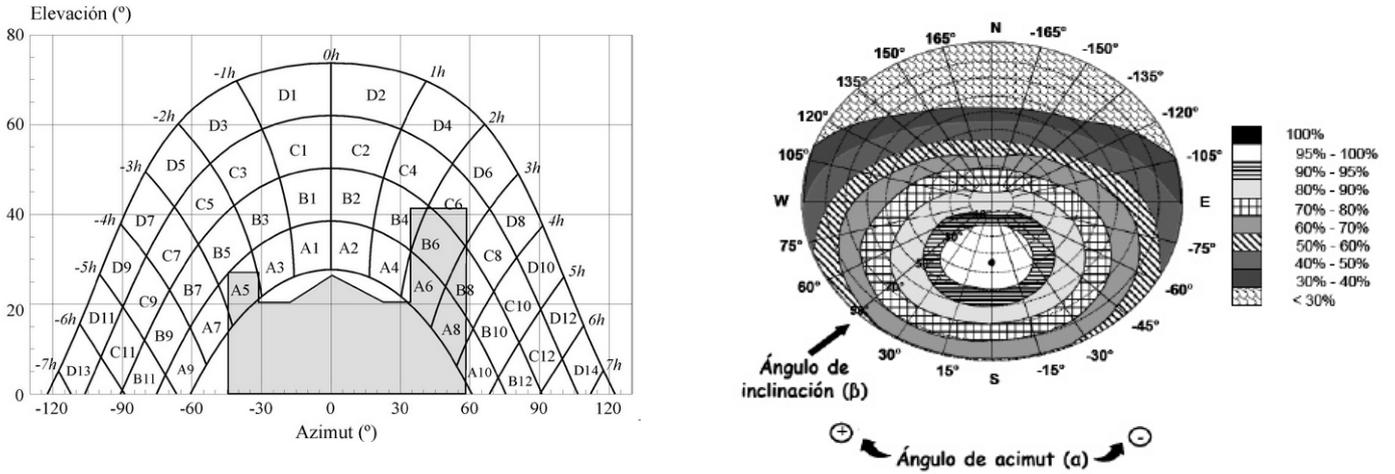


Figura 5-21. Pérdidas por orientación, inclinación y sombras [10]

No ha sido necesario su uso ya que mediante la simulación Skelion se ha podido calcular de manera más fiable y precisa el cumplimiento del porcentaje de pérdidas requerido [10].

5.4 Cálculo de la demanda de combustible

Para poder realizar una estimación de gastos en producir ACS a la temperatura deseada, calculamos teniendo en cuenta la demanda energética necesaria, la cantidad de cada tipo de combustible mínima necesaria para producir la energía calorífica suficiente para elevar la temperatura desde la temperatura de red hasta la deseada para el consumo.

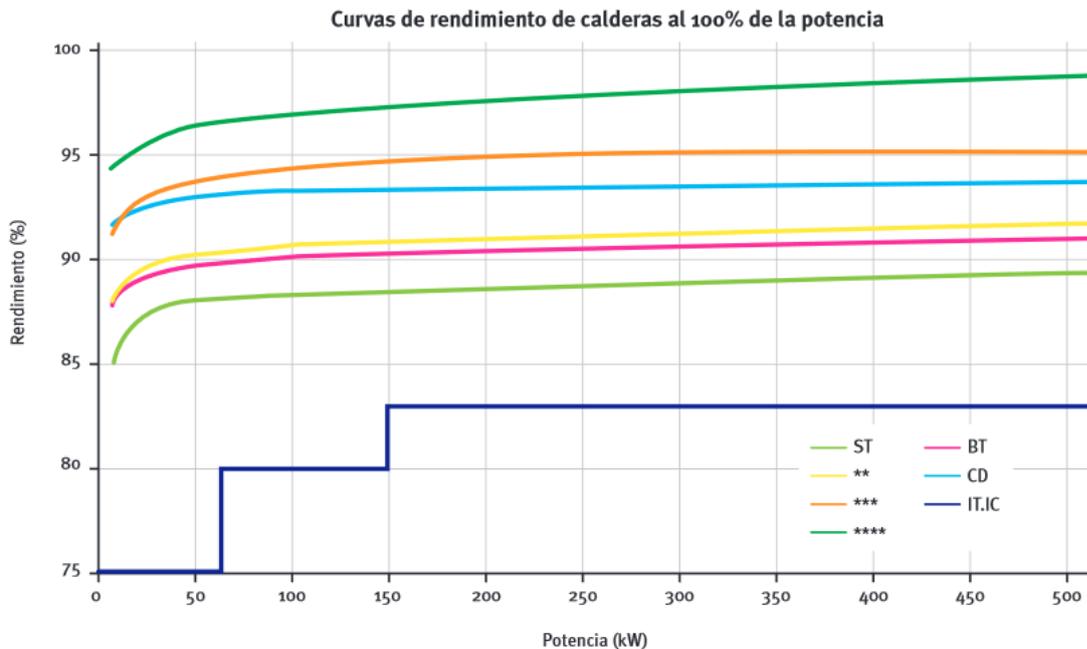


Gráfico 5-9. Rendimiento de los diferentes tipos de calderas [16]

Inicialmente conocemos la demanda energética anual necesaria para producir ACS. Teniendo en cuenta el uso de una caldera de baja temperatura obtenemos su rendimiento a partir del Gráfico 5-9 y la demanda energética real.

-ST: Estándar

-BT: Baja Temperatura

-CD: Condensación

Escogemos para la producción de ACS el rendimiento de la caldera de baja temperatura.

Calculamos la demanda total anual:

$$D_{total} = D_{anual} / \eta$$

- D_{total} : Demanda energética anual teniendo en cuenta la caldera

- D_{anual} : Demanda energética anual

- η : Rendimiento de caldera de baja temperatura

Para calcular la cantidad de combustible utilizamos la siguiente ecuación.

$$Q_{comb} = CE / PCI$$

- Q_{comb} : Cantidad de combustible necesario anual

- CE : Consumo energético anual

- PCI : Poder calorífico inferior del combustible

El poder calorífico depende del tipo de combustible utilizado. Obtenemos los datos para cada combustible según el tipo de caldera [16].

Combustible	Poder calorífico		PCI/PCS %
	Inferior (PCI)	Superior(PCS)	
Gasóleo c	10.28 KWh/Kg	10.89 KWh/Kg	94.4
Gas natural	10.83 KWh/Kg	11.98 KWh/Kg	90.4

Tabla 5-19. Poder calorífico de combustibles [16]

Obtenemos el volumen de combustible necesario a partir de las diferentes densidades:

Combustible	Densidad $Kg/litro$
Gas natural	0.451
Gasóleo c	0.845

Tabla 5-20. Densidades de combustibles [16]

Calculamos el coste anual necesario para la producción de ACS con las calderas a partir de los precios existentes en cada uno de los combustibles utilizados por las diferentes calderas

Combustible	Precio
Gas natural	66 €/MWh
Gasóleo c	0.488 €/litro

Tabla 5-21. Precio por unidad de medida de cada tipo de combustible [17]

En el caso del gas natural tiene un poder calorífico variable, éste se vende en función de los *MWh* que produzca.

5.4.1 Coste de producción de ACS

Mediante los cálculos previamente expuestos obtenemos el coste total necesario para poder abastecer a las diferentes calderas en los distintos edificios y producir la demanda de ACS prevista.

Demanda energética	Cuartel Almirante Francisco Moreno	Cuartel Marqués de la Victoria	Cuartel de la Marinería Méndez Núñez	Gimnasio
$D_{ACS}/año$ (KWh)	72993	49481	17017	44231
CE (KWh)	81103	54978	18907	49145
Q_{comb} (Kg)	7889	5348	1839	4780
Q_{comb} (litros)	17492	6328	2176	5656
Coste	5352	3088	1061	2760

Tabla 5-22. Coste de combustibles para el abastecimiento de las calderas Elaboración propia

6 RESULTADOS

A continuación se muestran: los resultados obtenidos en el proceso de modelado de los edificios de la Escuela Naval Militar mediante Sketchup, los resultados de la simulación de radiación mediante la extensión Skelion, el dimensionado de las propuestas de instalaciones solares térmicas para los edificios seleccionados y el estudio económico calculado junto con la amortización de cada una de las IST propuestas.

6.1 Modelado 3D. Sketchup

Para el modelado de la Escuela Naval Militar en 3D se ha prestado especial atención en los detalles de las cubiertas de los edificios, es decir, todos los objetos o salientes como chimeneas o voladizos que pudieran afectar de manera directa o indirecta a la radiación solar incidente sobre las superficies de estudio. Además de realizarse los detalles de todo lo relativo a los tejados, se han modelado otros aspectos menos relevantes para la finalidad del trabajo que resultan muy significativos a nivel estético o estructural de los edificios.

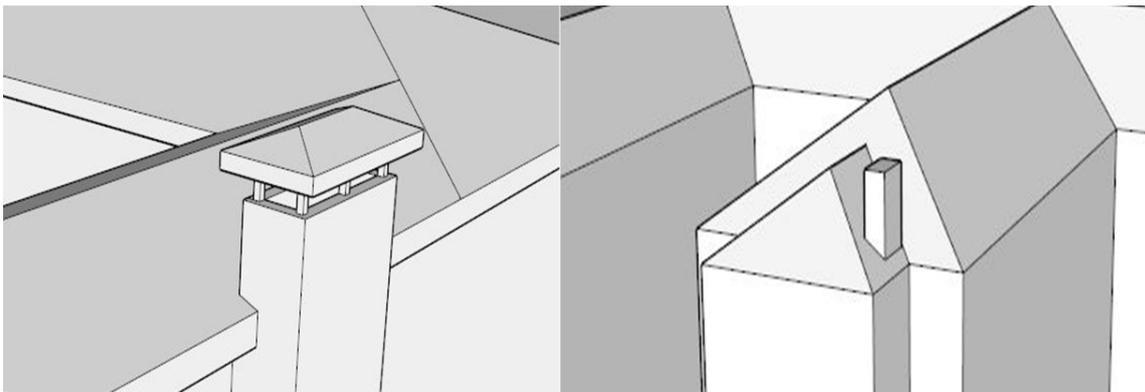


Figura 6-1. Detalles del modelado 3D Elaboración propia

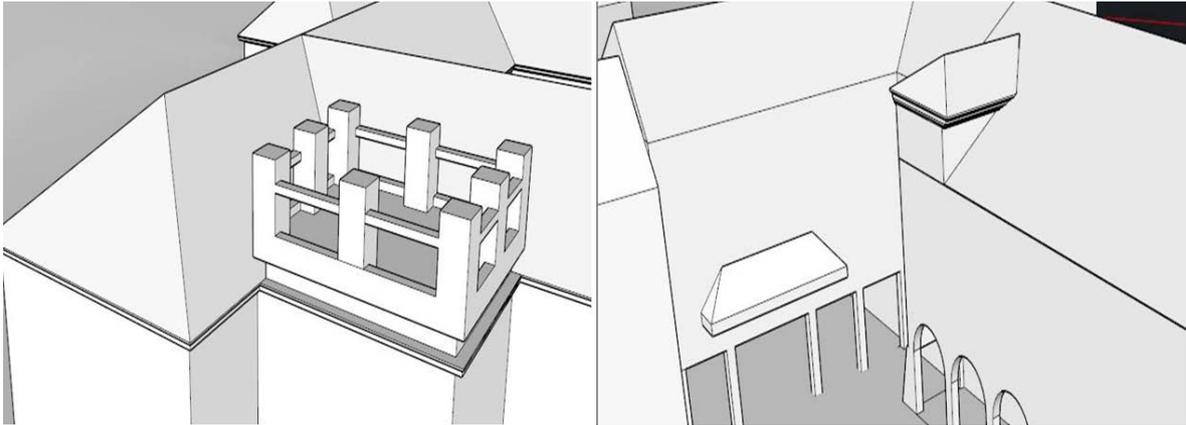


Figura 6-2. Detalles del modelado 3D Elaboración propia

El resultado del trabajo realizado con Sketchup representa la Escuela Naval Militar con orientación y colocación precisas de todos sus edificios, para la obtención posterior de la radiación solar disponible en cada una de las cubiertas estudiadas (véase Anexo I: Resultados modelado 3D)

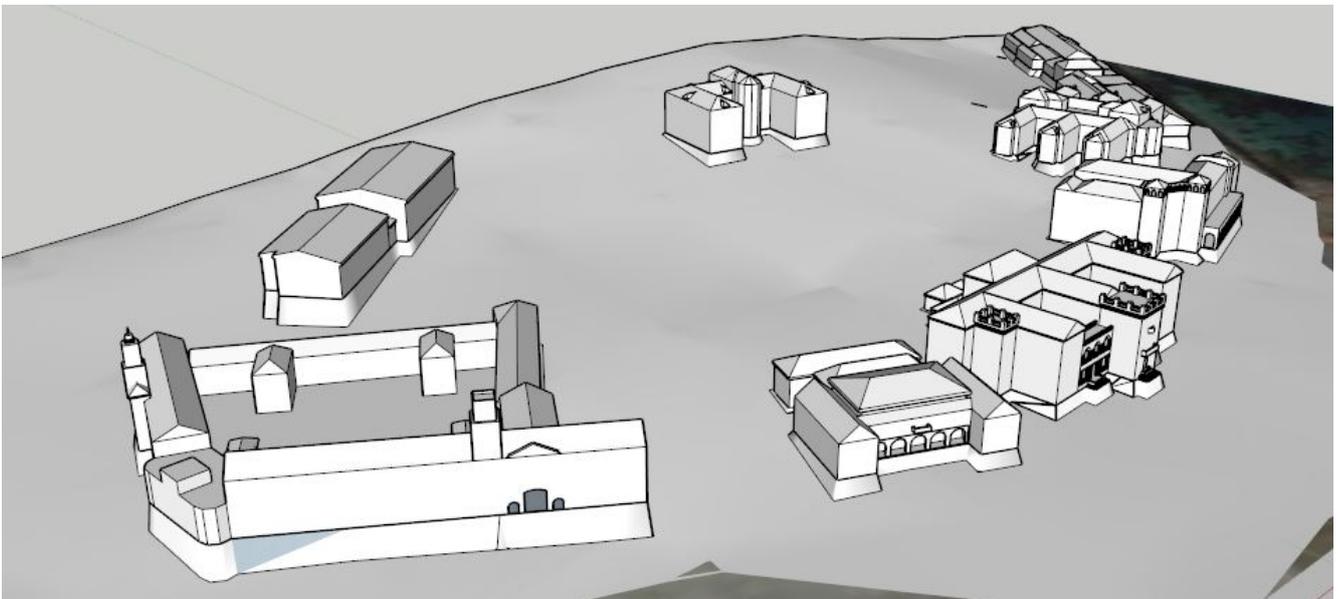


Figura 6-3. Escuela Naval Militar modelada en 3D Elaboración propia

6.2 Irradiancia: extensión Skelion

Mediante la simulación con el software Skelion (realizada bajo Sketchup) se han obtenido la radiación horizontal y con elevación óptima mes a mes de todas las caras de los tejados de los edificios de la Escuela Naval Militar y mediante Excel se ha calculado los edificios con mayor radiación horizontal media anual y con mayor radiación con elevación óptima media anual. Para obtener la radiación media anual de cada edificio se ha obtenido el porcentaje que representa cada cara de cada tejado y conforme a ese dato se ha multiplicado por la radiación media anual de la cara, sumando la radiación de cada cara según su porcentaje obtenemos la radiación total anual de cada edificio.

El valor de la radiación horizontal de los edificios es interesante para aquellas IST donde se quiera realizar una integración arquitectónica de los captadores manteniendo la elevación y orientación de los captadores.

El dato de la radiación con óptima elevación nos proporciona la información de aquellos edificios idóneos para el dimensionado de una IST ya que lo más habitual es situar los captadores manteniendo

las líneas del edificio, es decir, manteniendo su orientación y se asientan sobre una estructura que les permite tener la elevación óptima para recibir mayor radiación.

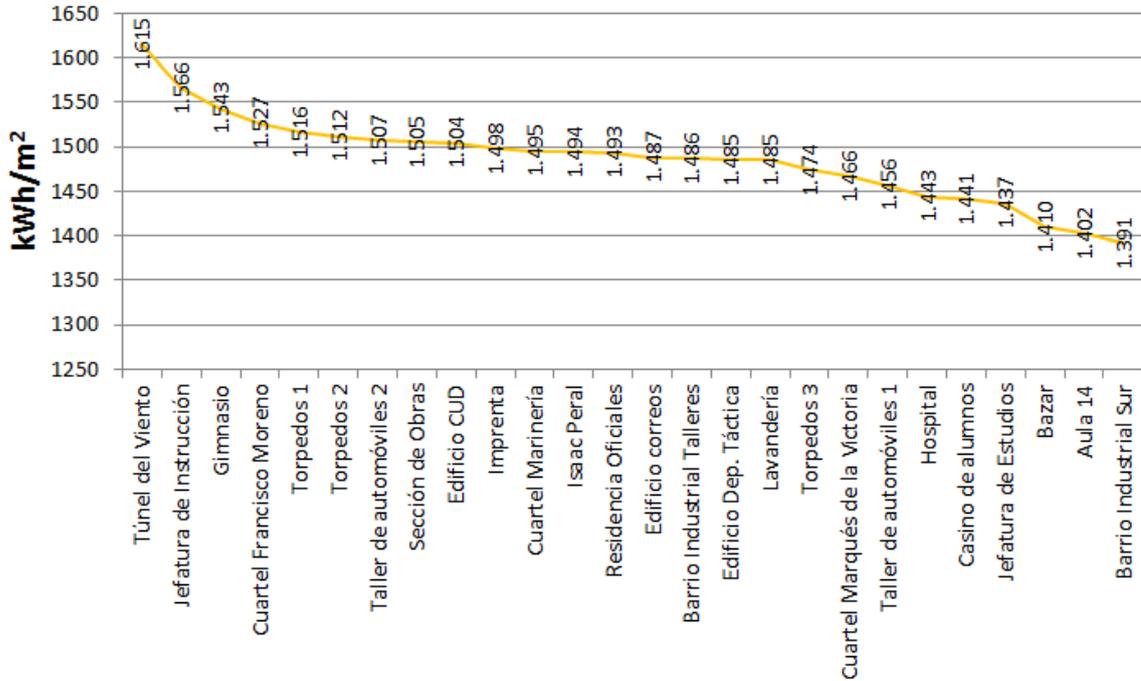


Gráfico 6-1. Evaluación descendente de la radiación horizontal de los edificios Elaboración propia

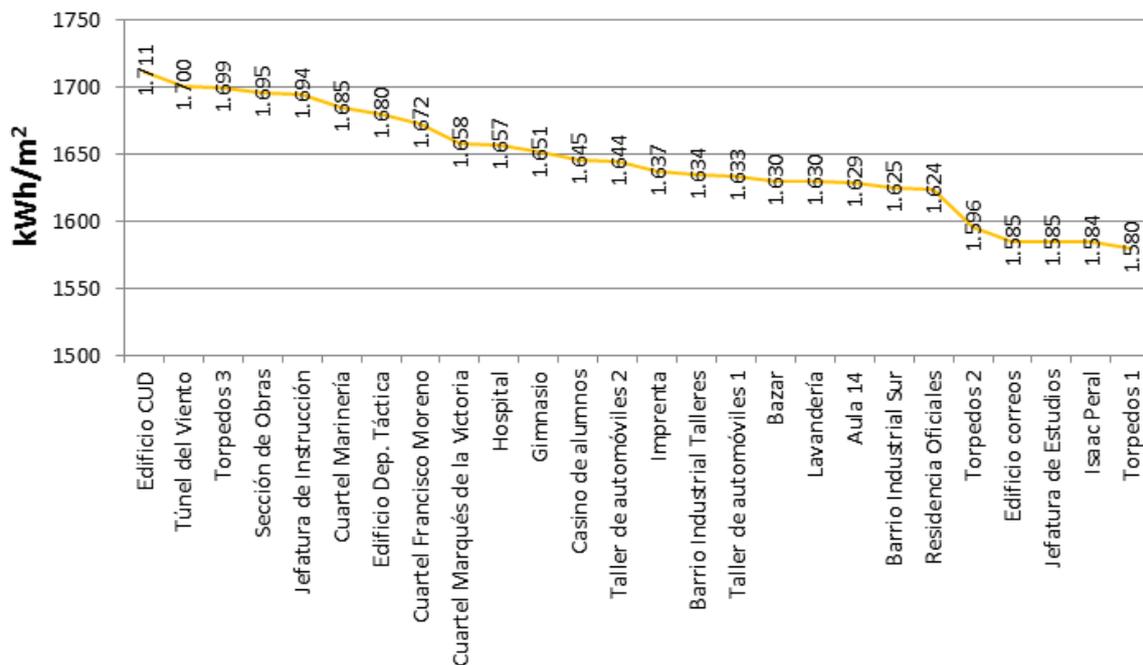


Gráfico 6-2. Evaluación descendente de la radiación con elevación óptima de los edificios Elaboración propia

En el Gráfico 6-2 y Gráfico 6-1 se muestran los edificios con mayor radiación media anual teniendo en cuenta los factores de sombras generadas por edificios u objetos cercanos y condiciones meteorológicas adversas.

6.3 Selección de edificios con mayor potencial de aprovechamiento

A la hora de evaluar la viabilidad de todos edificios para la posible instalación de una IST en ellos se ha tenido en cuenta una serie de factores:

- Aquellos que reciben mayor radiación teniendo una elevación óptima de los captadores según el Gráfico 6-2.
- Aquellos con demandas térmicas considerables
- Aquellos cuyo porcentaje de ocupación al año sea alto
- Aquellos que tengan una gran demanda de ACS

De acuerdo con lo anterior, a continuación se muestran los edificios que serán estudiados en profundidad.

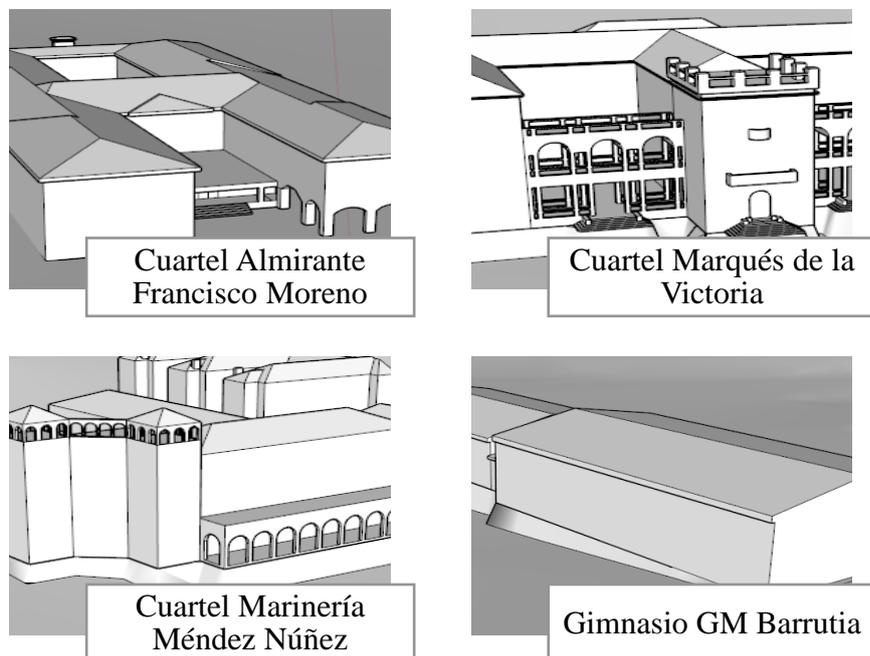


Figura 6-4. Edificios seleccionados para su estudio en profundidad Elaboración propia

6.4 Dimensionado de captadores solares

A continuación se muestran los resultados del dimensionado de las instalaciones solares térmicas propuestas. En la Tabla 6-1 se ha descrito la superficie de captadores necesaria para cumplir la contribución solar mínima, con más detalle mostrado en el Anexo II: Contribución solar de la propuesta de IST y Anexo III: Propuesta de la IST modelada en 3D, en cumplimiento de la legislación actual así como la capacidad de los acumuladores teniendo en cuenta lo expuesto en la sección 4.3.3.

Instalación Captadores	Cuartel Almirante Francisco Moreno	Cuartel Marqués de la Victoria	Cuartel Marinería Méndez Núñez	Gimnasio
Contribución solar (termias)	22033	15787	4990	12552
% Solar	35.1	37.1	34.1	33
Superficie (m²)	20	12	6	12
Capacidad acumulador (litros)	1000	600	300	600

Tabla 6-1. Resultado del dimensionado de la IST Elaboración propia

Se ha obtenido de forma gráfica la posición aproximada de los captadores solares planos para un futuro desarrollo en detalle de su instalación en los edificios, véase el Anexo III: Propuesta de la IST modelada en 3D. El sistema necesario es una instalación de circulación forzada ya que el objetivo de los captadores es abastecer a un gran número de personas. Las instalaciones deberán configurarse con las capacidades de los acumuladores ya determinadas previamente y los intercambiadores de calor de placas situarse fuera al depósito. Por tanto, será necesario un sistema de control y regulación por cada instalación. La disposición de los captadores se ha escogido en la mayoría de los casos en dos filas para poder realizar un conexionado con retorno invertido y así aprovechar al máximo el rendimiento de todos los captadores.

6.5 Estudio económico básico

Para realizar el presupuesto se estudia el coste general aproximado de una instalación solar térmica en función de los m^2 de captadores solares instalados y a partir de la demanda energética de cada edificio para producir ACS se calcula el dinero invertido en función de la cantidad y tipo de combustible utilizado

Coste instalación solar térmica	$S < 5 m^2$ €/m ²	$5 < S < 20 m^2$ €/m ²	$20 < S < 100 m^2$ €/m ²	$S > 100 m^2$ €/m ²
Captadores planos	800-1200	600-900	550-750	450-650
Captadores de tubo de vacío	1100-1400	1000-1200	850-1100	800-1000

Tabla 6-2. Coste medio de una IST Elaboración propia

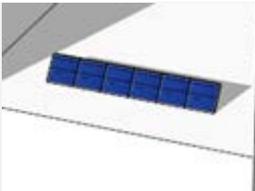
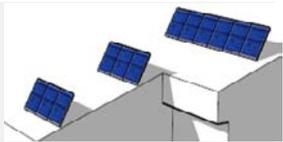
	Cuartel Almirante Francisco Moreno	Cuartel Marqués de la Victoria	Cuartel Méndez Núñez	Gimnasio Barrutia	GM
Superficie de captadores m^2	20	12	6	12	
Coste de la IST €	18000	10800	5400	10800	
Situación de la IST					
Amortización	9 años y 10 meses	9 años y 5 meses	13 años y 11 meses	11 años y 10 meses	

Tabla 6-3. Resultados del estudio económico de las instalaciones solares térmicas Elaboración propia

Teniendo en cuenta la Tabla 6-2, se estima una inversión por cada edificio de:

Cuartel Almirante Francisco Moreno: 18000 €

Cuartel Marinería Méndez Núñez: 5400 €

Cuartel Marqués de la Victoria: 10800 €

Gimnasio GM Barrutia: 10800 €

Total: 45000 €

Coste producción ACS = 12261 €

Coste IST = 45000 €

Contribución solar = 34.8 %

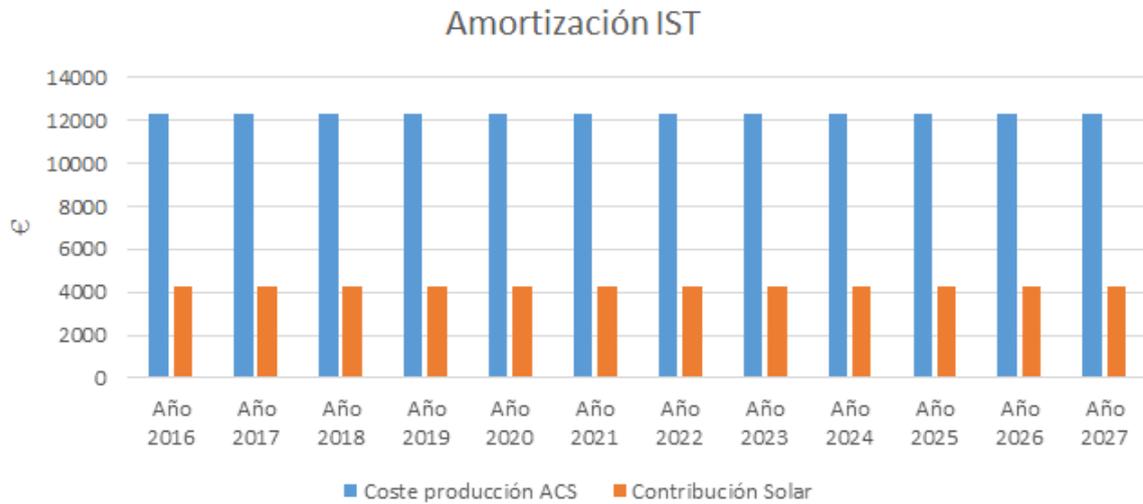


Gráfico 6-3. Amortización IST propuesta Elaboración propia

En el Gráfico 6-3 se muestra el ahorro económico que suponen las propuestas de las IST en todos los edificios seleccionados y el periodo de amortización total, a partir del cual las IST empezarán a aportar beneficios económicos.

Amortización total: 10 años y 6 meses

7 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

7.1 Conclusiones

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado se ha conseguido con éxito al obtener el dimensionado básico de las propuestas de instalaciones solares térmicas para aquellos edificios relevantes de la Escuela Naval Militar desde el punto de vista de aprovechamiento solar térmico, mediante el uso del programa informático Sketchup con una extensión especializada en energía solar (Skelion) y a través del método de cálculo F-Chart.

El proceso de obtención de radiación solar ha permitido observar la viabilidad de una IST situada en el norte de España. Se han podido estudiar los edificios más relevantes teniendo en cuenta la radiación solar incidente y la inversión de futuro que resulta de aplicar energías renovables sobre sistemas de obtención de energía mediante combustibles fósiles tradicionales. Se ha estudiado la viabilidad económica de instalaciones solares térmicas teniendo en cuenta los requisitos establecidos por normativa de aplicación.

Por otra parte, se han conseguido:

- Estimación más precisa que mediante F-chart de la radiación solar incidente sobre los edificios de la Escuela Naval Militar.
- Se ha observado la contribución tanto energética como económica de una IST sobre la demanda de una vivienda.
- Se demuestra en el estudio de amortización la rentabilidad económica de las IST a medio-largo plazo.

7.2 Líneas futuras

Los resultados obtenidos a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado, han servido para definir algunas líneas futuras de energía solar térmica que podrían ser de aplicación a la escuela Naval Militar para lograr un ahorro significativo de energía, dinero y también contribución medioambiental.

Las líneas futuras que se definen son:

- Comparativa de los resultados obtenidos mediante el método clásico y el planteado en este TFG.
- Estudio en detalle de la IST propuestas en los edificios seleccionados.

Para la realización de las líneas futuras uno de los posibles medios de trabajo sería con la utilización del programa denominado CHEQ4, creado recientemente por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) que permite el dimensionado de una IST al completo con todos los componentes cumpliendo la normativa vigente en lugar de utilizar el tradicional método de cálculo F-Chart.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «www.idae.es,» Octubre 2006. [En línea]. Available: dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_solar_termica_A2006.pdf.
- [2] Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía, «Energía solar térmica y fotovoltaica en el marco del Código Técnico de Edificación,» Ayuntamiento de Pamplona, 2007, p. 72.
- [3] EurObserver, «www.eurobserv-er.org,» 2016. [En línea]. Available: www.eurobserv-er.org/download-press-releases/.
- [4] ASIT, Guía ASIT de la energía solar térmica, 2010.
- [5] Ministerio de fomento, «www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia,» Septiembre2013.[Enlínea]. Available: www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf.
- [6] Carlos Montoya Rasero, «Requisitos mínimos de energía solar térmica en el código técnico de edificación,» IDAE.
- [7] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura,» IDAE, Madrid, 2013.
- [8] Insituto tecnológico de Canarias, «Guía didáctica de energía solar,» Las palmas de gran canaria, 2007.
- [9] Jerónimo Lorente, Departamento de Astronomía y meteorología, Universidad de Barcelona,«[portalfarma](http://portalfarma.com),»2010.[Enlínea]. Available: www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Documents/MAQUETACION_MATERIAL_FORMATIVO_fotoproteccion2010.pdf.
- [10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «www.idae.es,» 2015. [En línea]. Available: www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.
- [11] Luis Platón Arias,«Universidad de Valladolid,» [En línea].Available: www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos_06/PLatonArias.pdf.

- [12] Antonio Morales Tellez, *Instalación solar térmica en el edificio gimnasio-piscina*, Pontevedra: Centro Universitario de la Defensa, 2015.
- [13] Autodesk, [En línea]. Available: www.autodesk.es/products/autocad/overview.
- [14] Sketchup, «Sketchup,» [En línea]. Available: www.sketchup.com.
- [15] Francisco Manuel Carrascal Villar, *Estudio de las necesidades energéticas de un buque en diferentes ubicaciones*, Pontevedra, 2015.
- [16] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «IDAE,» [En línea]. Available: www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11_Guia_tecnica_de_diseño_de_calor_eficientes_e53f312e.pdf.
- [17] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «IDAE,» [En línea]. Available: www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_Precios_combustibles_carburantes_num_86_26_agosto_2013_4ff43e59.pdf.
- [18] Bosch, «Bosch,» [En línea]. Available: www.bosch-professional.com/es/es/medidor-laser-de-distancias-101300-ocs-c/.
- [19] M. S. Maneiro, *Diseño de los sistemas de mantenimiento y consumos auxiliares mediante energías renovables del Buque Juan Sebastián Elcano*, Pontevedra: Centro Universitario de la Defensa, 2015.

ANEXO I: RESULTADOS MODELADO 3D

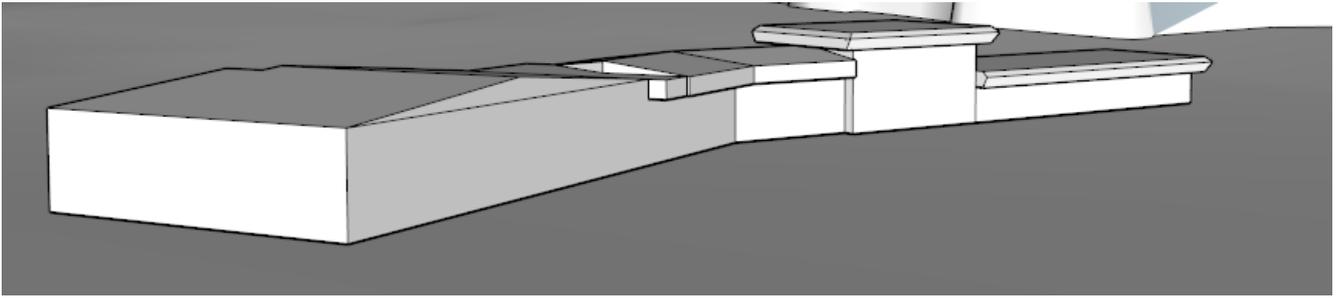


Figura 0-1. Jefatura de instrucción en 3D Elaboración propia

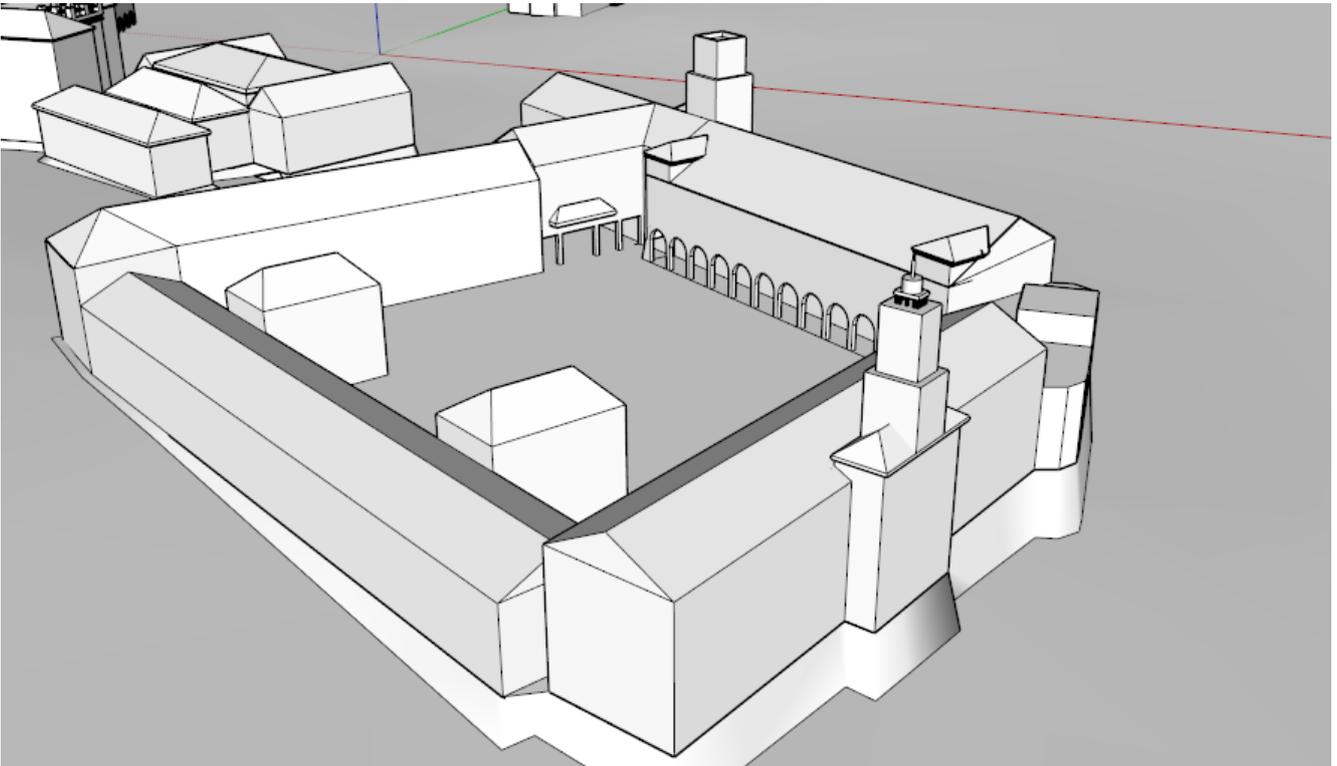


Figura 0-2. Patio de aulas en 3D Elaboración propia

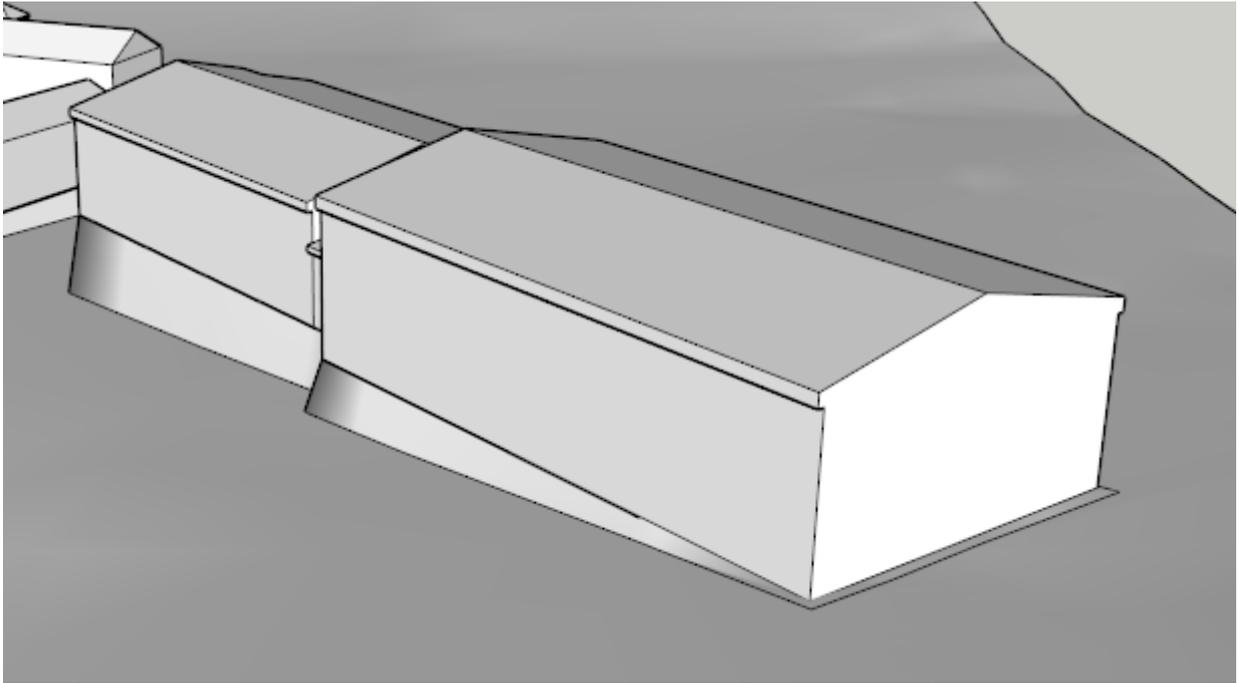


Figura 0-3. Gimnasio GM Barrutía en 3D Elaboración propia

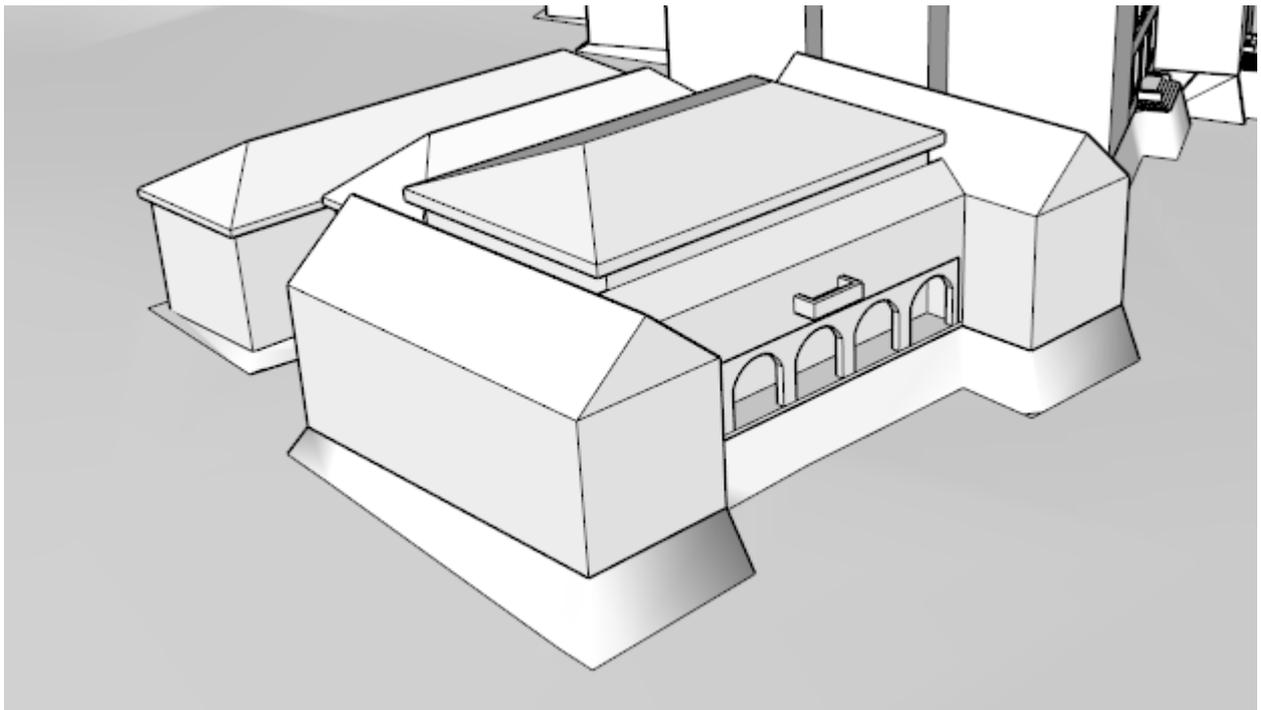


Figura 0-4. Casino de alumnos en 3D Elaboración propia

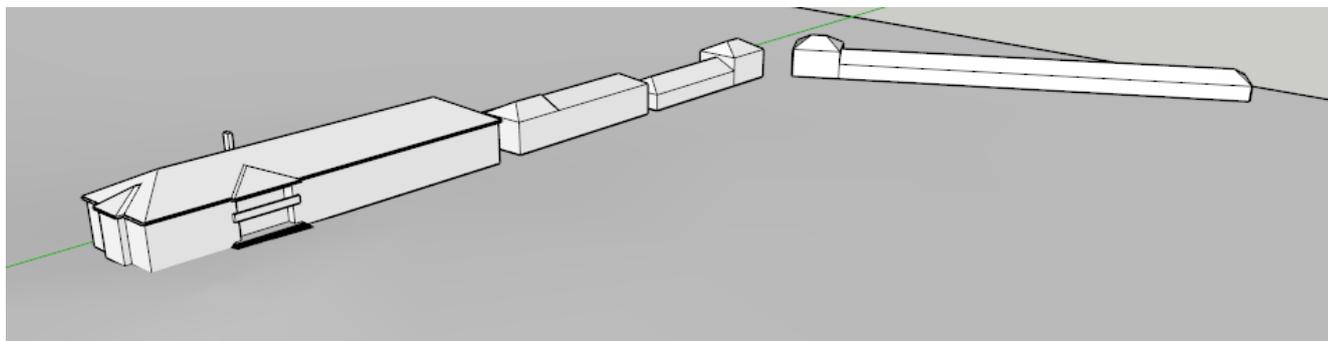


Figura 0-6. Edificios muelle de torpedos Elaboración propia

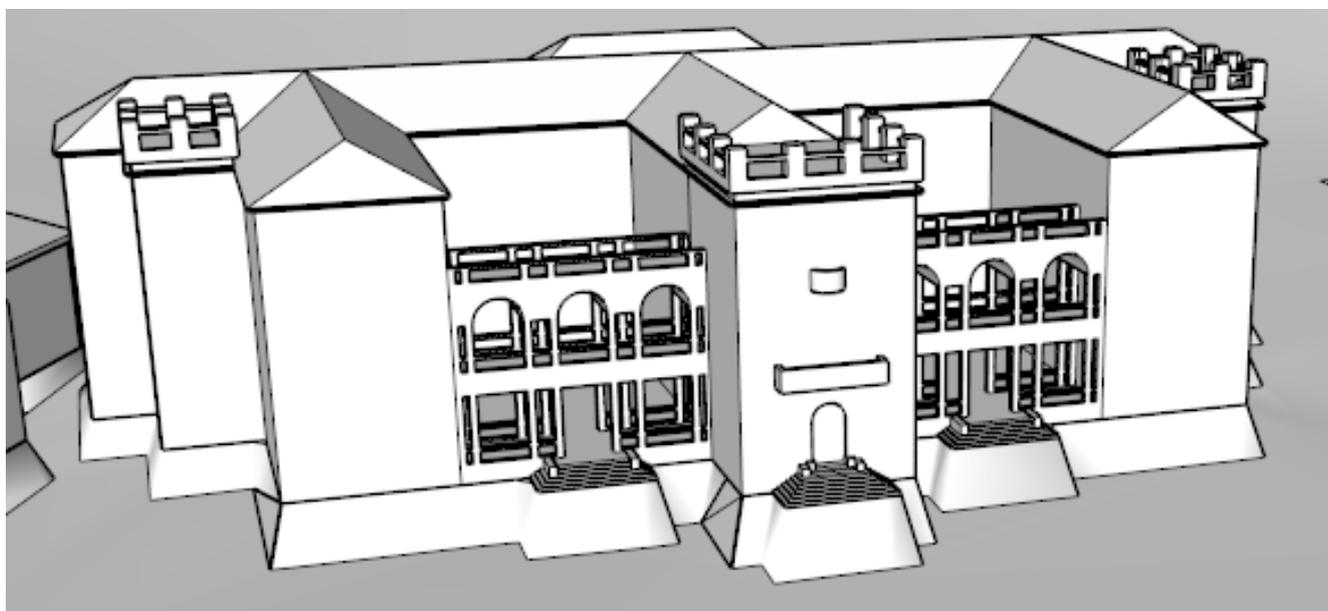


Figura 0-5. Cuartel Marqués de la Victoria en 3D Elaboración propia

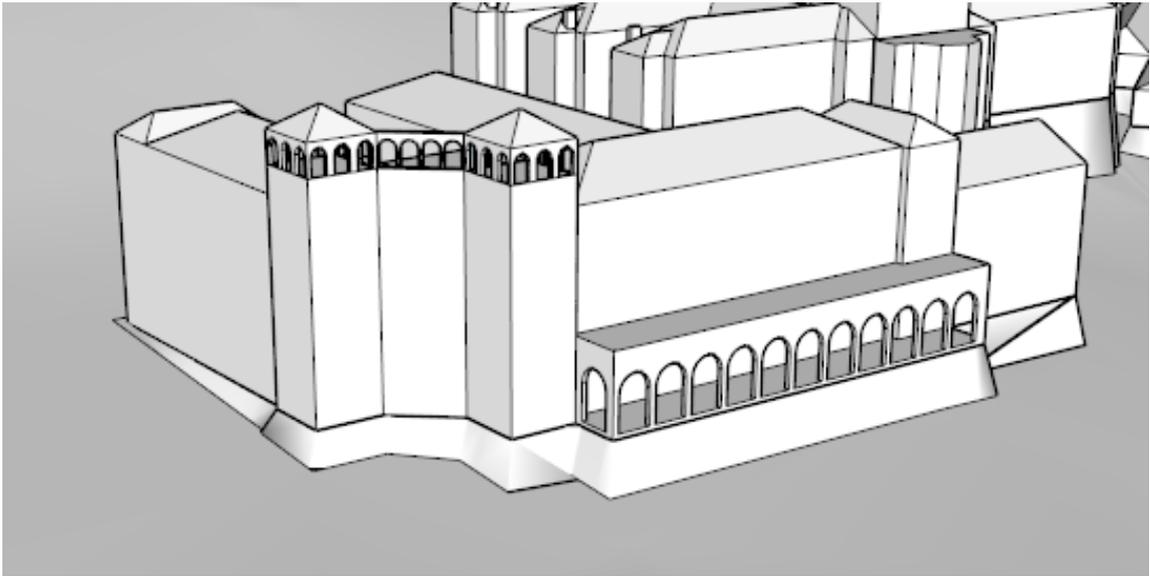


Figura 0-8. Cuartel Méndez Núñez en 3D Elaboración propia

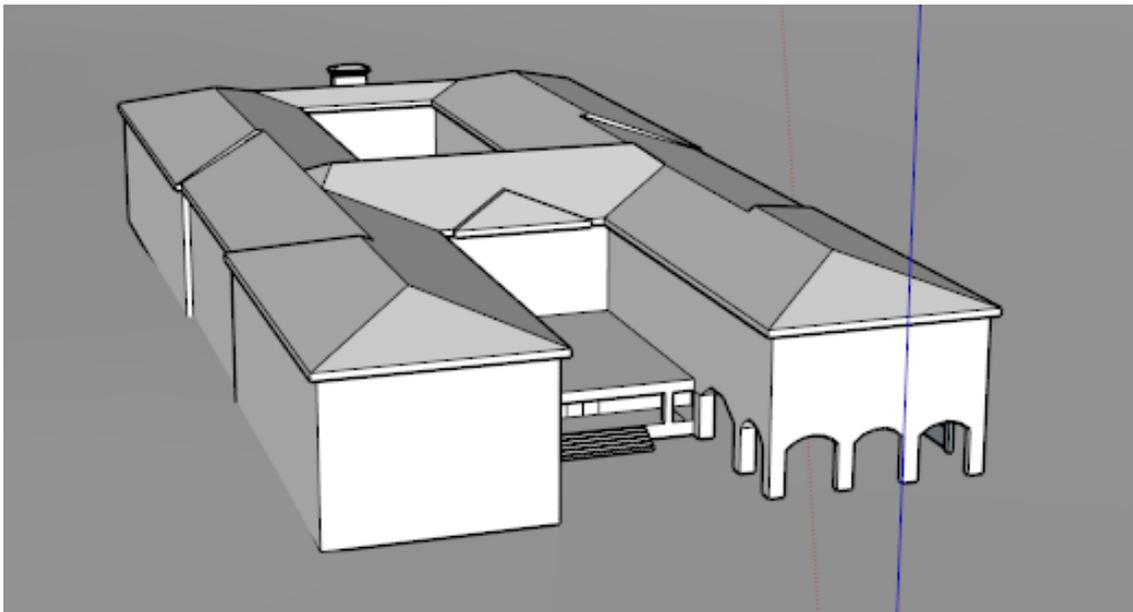


Figura 0-7. Cuartel Almirante Francisco Moreno en 3D Elaboración propia

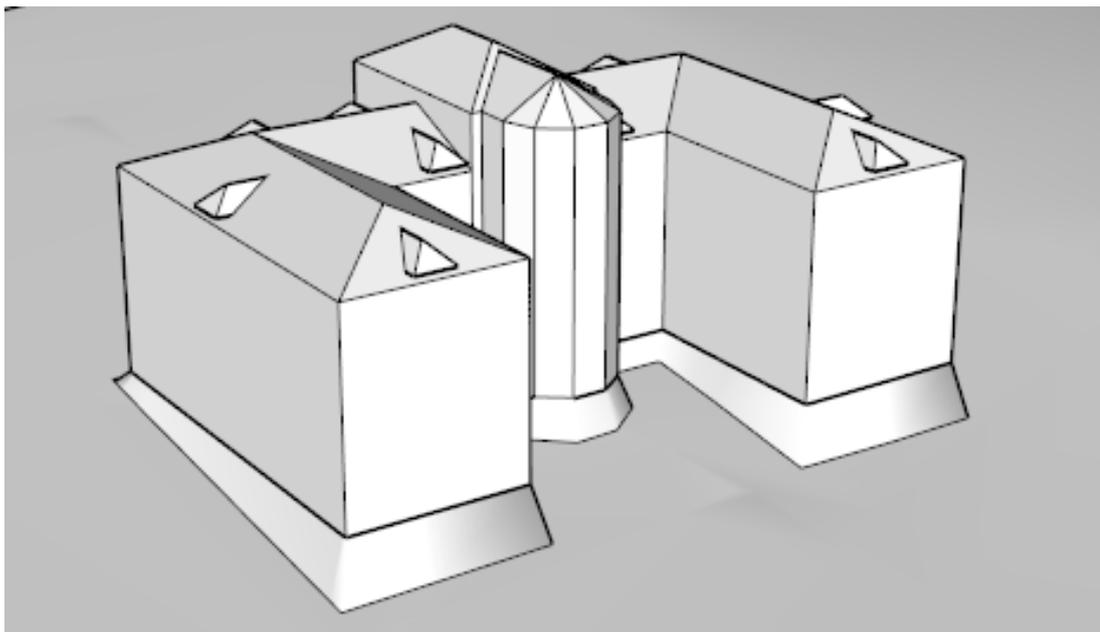


Figura 0-11. Hospital en 3D Elaboración propia

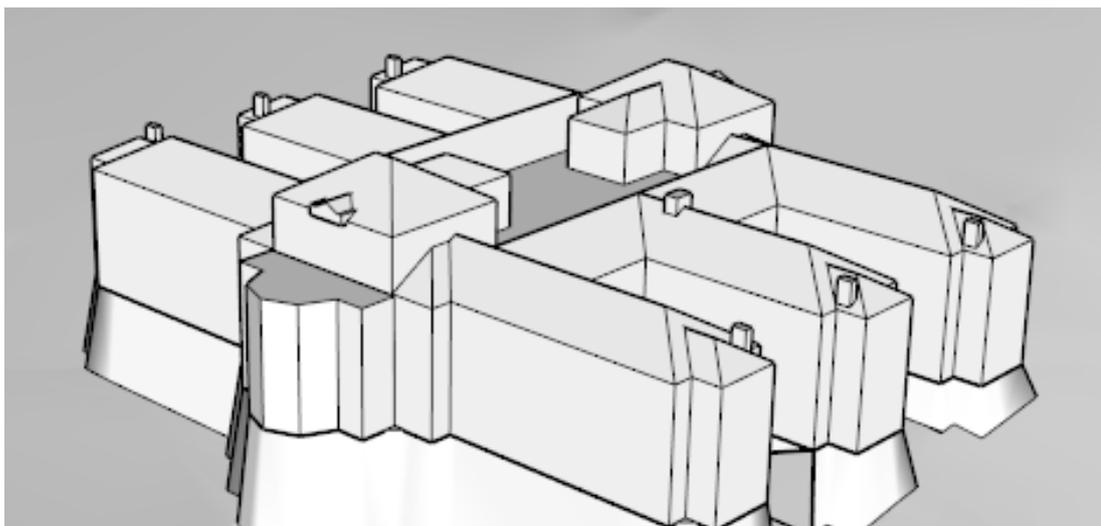


Figura 0-9. Residencia de oficiales en 3D Elaboración propia

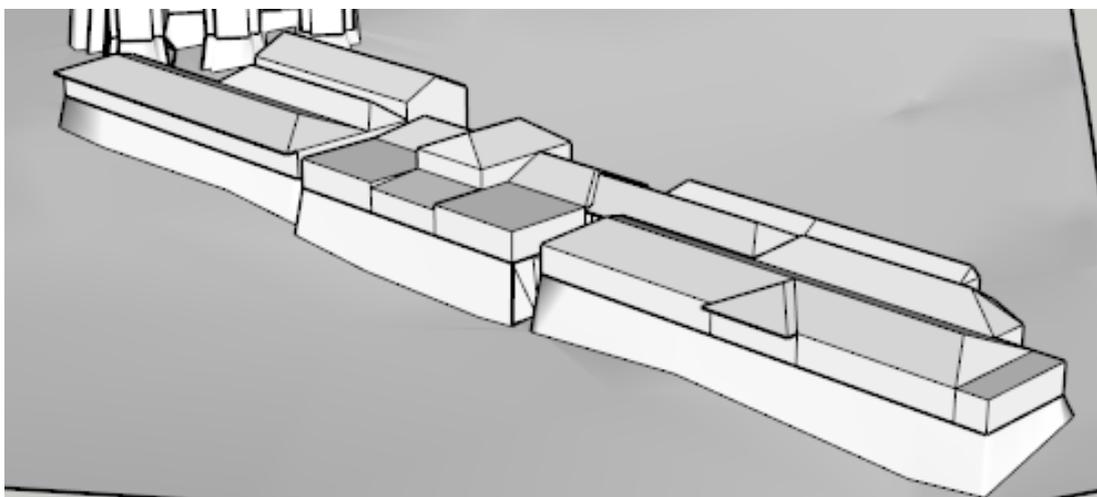


Figura 0-10. Barrio industrial en 3D Elaboración propia

ANEXO II: CONTRIBUCIÓN SOLAR DE LA PROPUESTA DE IST

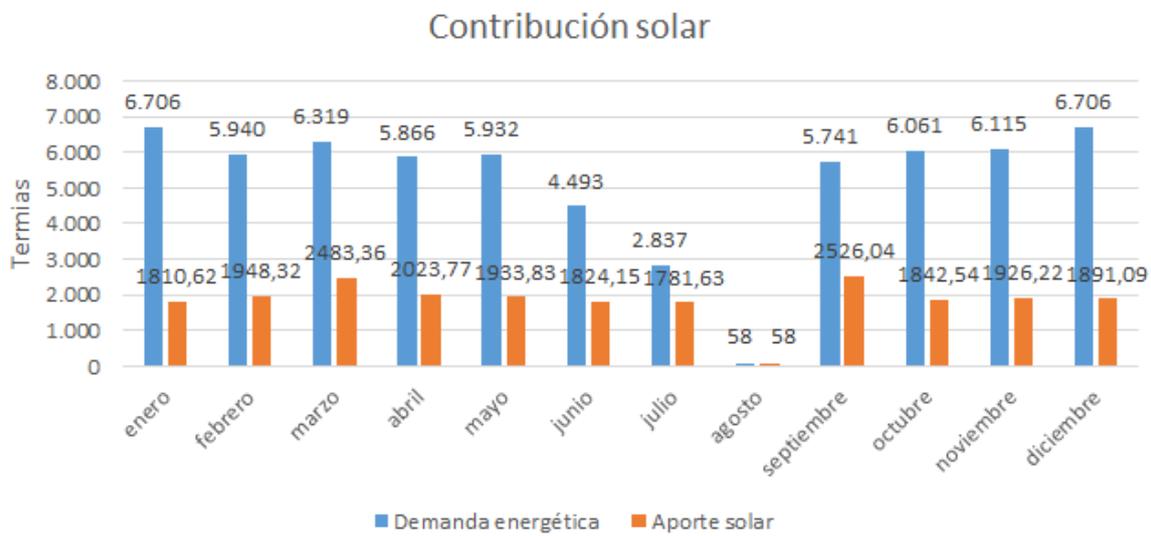


Gráfico 0-1. Contribución solar cuartel Almirante Francisco Moreno Elaboración propia

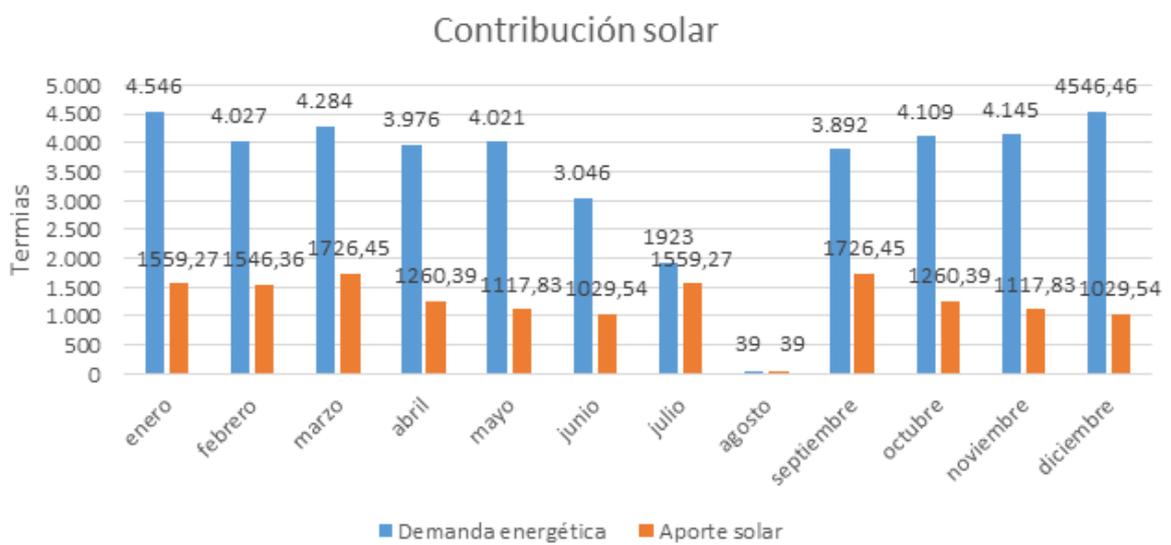


Gráfico 0-2. Contribución solar cuartel Marqués de la Victoria Elaboración propia

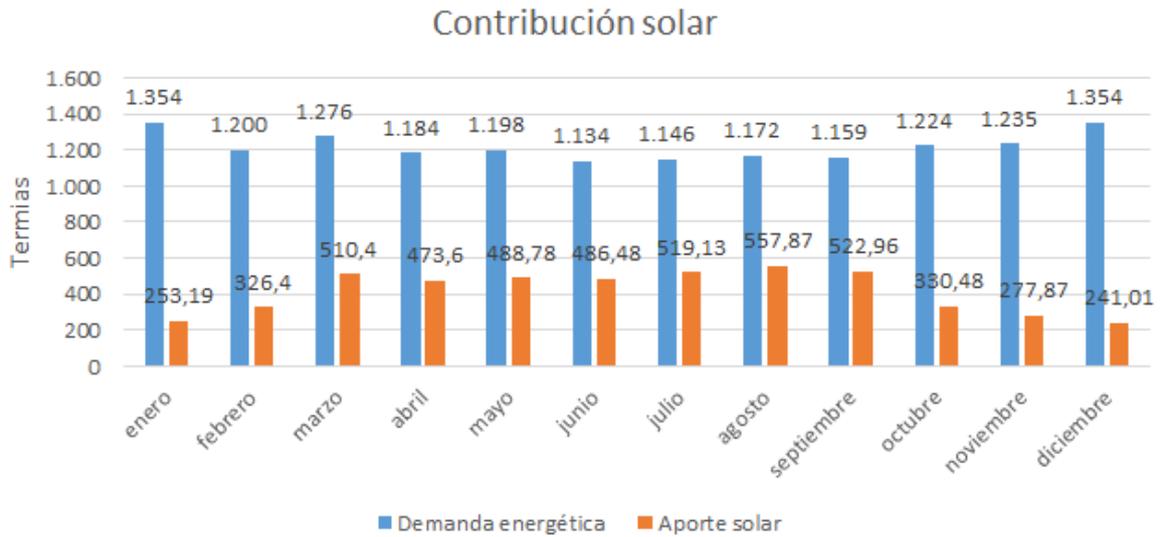


Gráfico 0-3. Contribución solar gimnasio GM Barrutia Elaboración propia

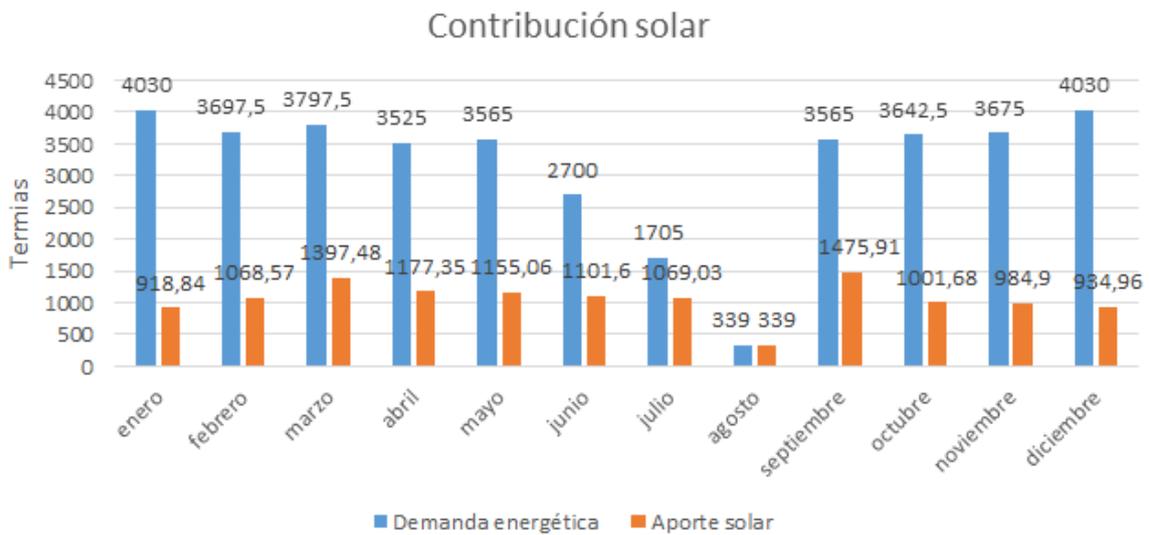


Gráfico 0-4. Contribución solar cuartel Méndez Núñez Elaboración propia

ANEXO III: PROPUESTA DE LA IST MODELADA EN 3D

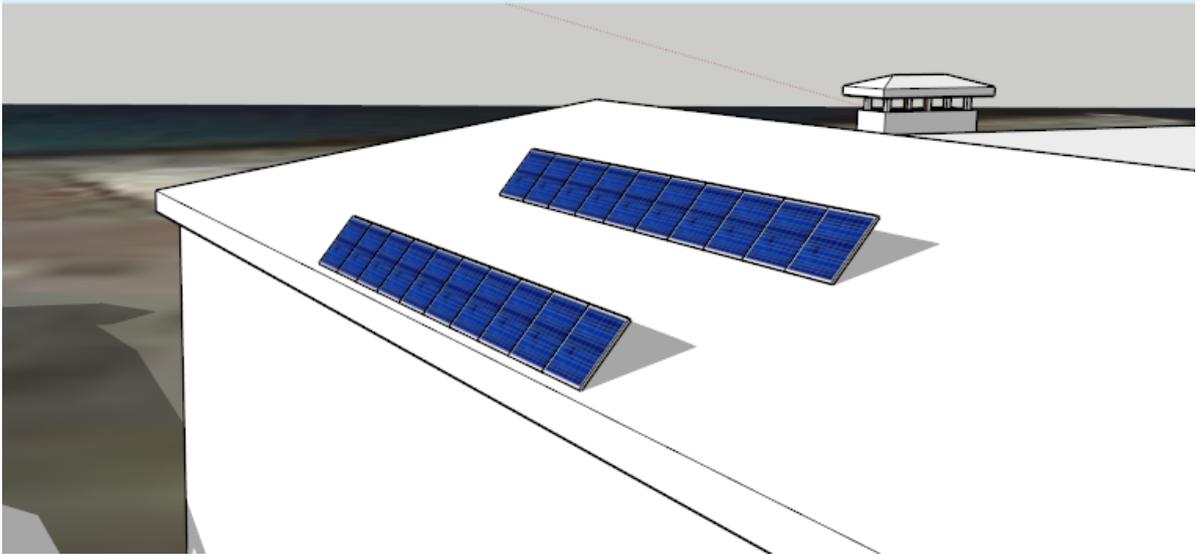


Figura 0-1. Propuesta IST cuartel Almirante Francisco Moreno Elaboración propia

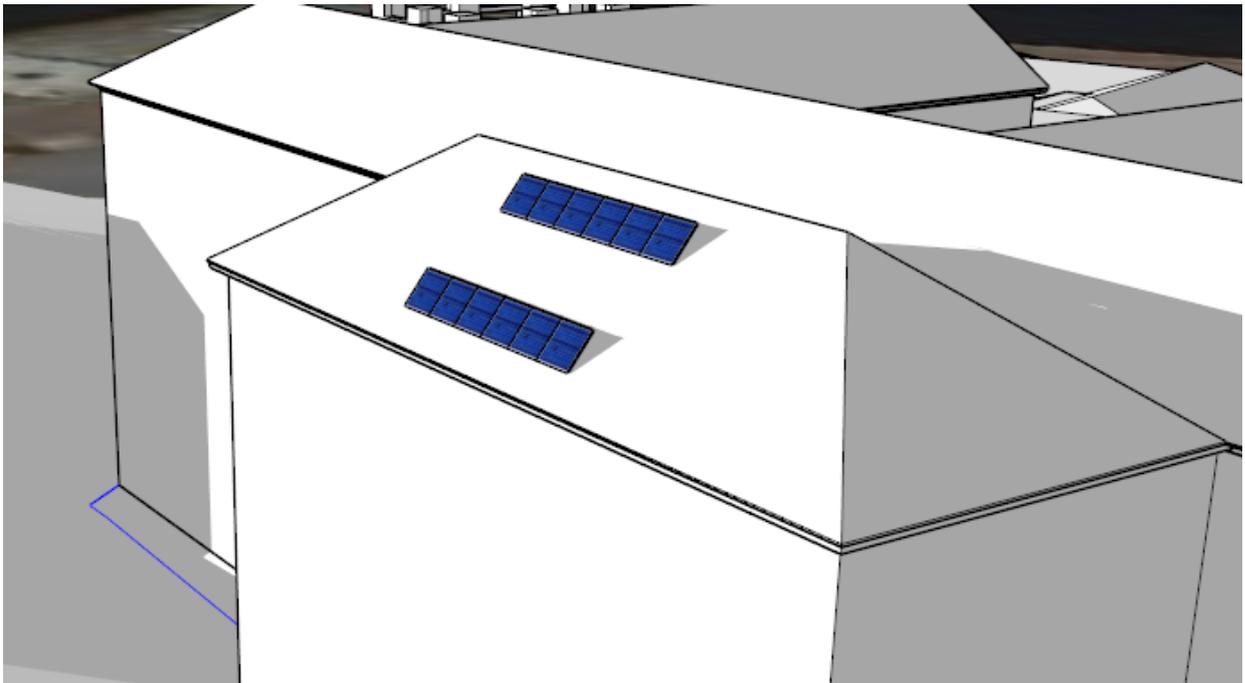


Figura 0-2. Propuesta IST cuartel Marqués de la Victoria Elaboración propia

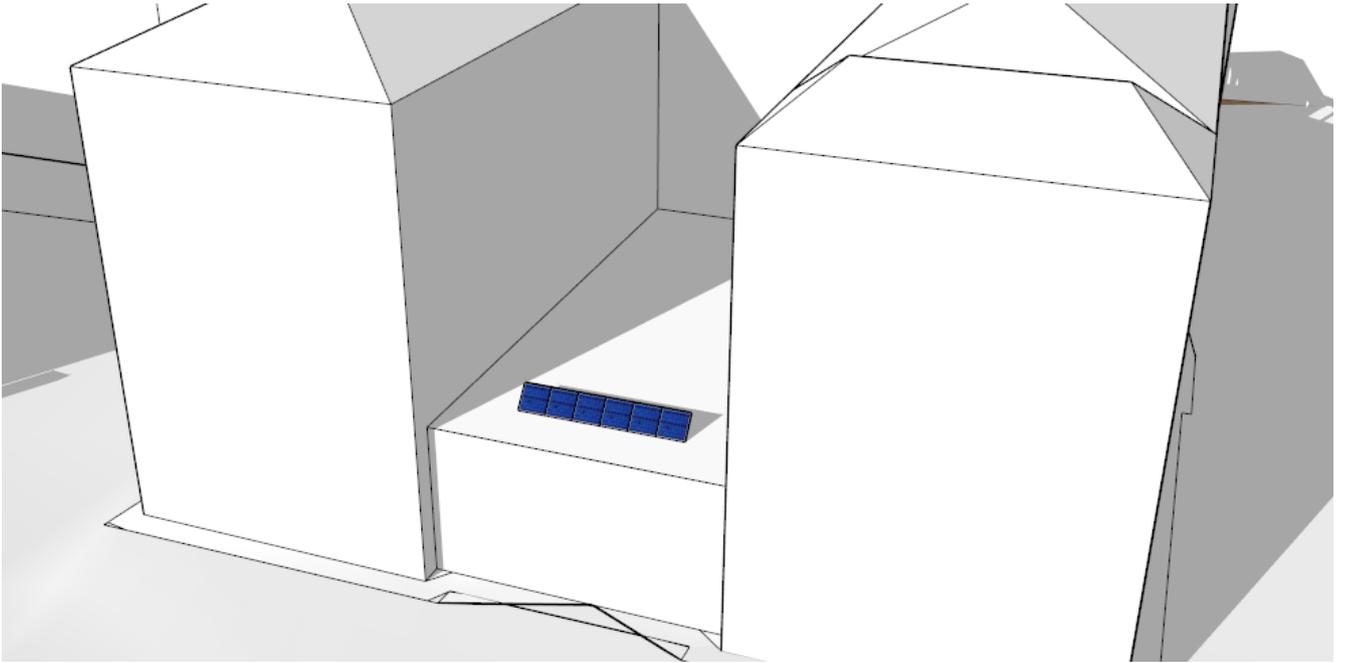


Figura 0-3. Propuesta IST cuartel Méndez Núñez Elaboración propia

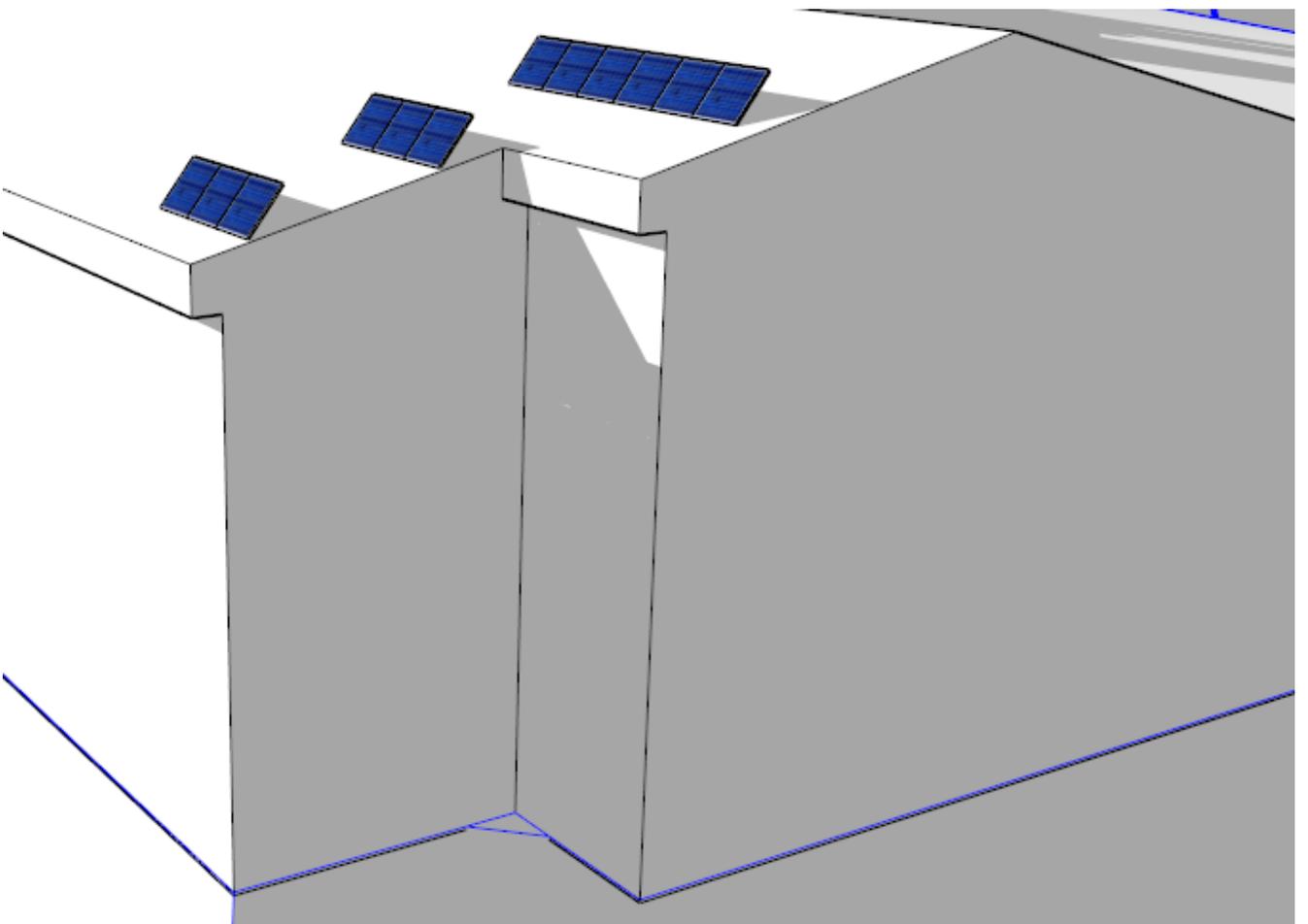


Figura 0-4. Propuesta IST gimnasio GM Barrutia Elaboración propia

