



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Instalación solar térmica en el edificio gimnasio-piscina

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Antonio Morales Téllez

DIRECTORES: Guillermo Lareo Calviño
Miguel Ángel Álvarez Feijoo

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Instalación solar térmica en el edificio gimnasio-piscina

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El edificio GM Barrutia es el gimnasio polideportivo de la Escuela Naval Militar, el cual tiene como fuente de energía térmica una caldera de gasóleo C que abastece al edificio en calefacción, Agua Caliente Sanitaria y tratamiento de la piscina.

En este Trabajo de Fin de Grado se estudiará la viabilidad de implantar una instalación que produzca energía térmica a partir de la energía solar, para cubrir parte de la demanda de Agua Caliente Sanitaria del edificio del gimnasio GM Barrutia de la Escuela Naval Militar.

Para ello se verán las diferentes aplicaciones de la energía solar y los distintos sistemas solares existentes, así como los componentes de estos sistemas. Además se seguirá lo establecido en las distintas normas que regulan las instalaciones solares y sus usos.

También se llevarán a cabo estudios de demanda de A.C.S. en el edificio y que aportación hará el sistema solar térmica disminuyendo la energía aportada por la caldera actual.

Finalmente se propondrá el sistema solar a instalar y algunas mejoras, y se estudiará la inversión inicial y su amortización.

PALABRAS CLAVE

Instalación solar térmica, Agua Caliente Sanitaria, Escuela Naval Militar, Energías Renovables.

AGRADECIMIENTOS

He de agradecer a mis padres, Paco y Pepi, su apoyo para que siempre estuviera con ánimos de seguir trabajando. A mi hermano, Jesús, porque sin él no podría haber reído en los momentos más difíciles. A mi novia, Rocío, por el interés mostrado hacía todo lo relacionado con mi carrera y mi trabajo. Agradecer a toda mi familia y amigos, que directamente o no, se ha interesado por mi futuro.

Además he de agradecer a mis tutores, Guillermo y Miguel Ángel, por el interés mostrado y por el trabajo realizado por ellos para facilitarme en la medida de lo posible el mío. Y a mis compañeros, por la ayuda y colaboración.

Por último, dar las gracias a todo el personal de mantenimiento de la Escuela Naval Militar por la colaboración y aportación de datos y documentos necesarios para este Trabajo de Fin de Grado.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de figuras	3
Índice de tablas	4
1 Introducción y objetivos	5
1.1 Ámbito Institucional	5
1.2 Objetivos	6
2 Antecedentes	7
2.1 Energía renovable y no renovable	7
2.1.1 Energía no renovable	7
2.1.2 Energía renovable	7
2.2 El Protocolo de Kioto	9
2.2.1 Segundo periodo del Protocolo de Kioto	9
2.3 Situación energética en España	10
2.4 Situación en Galicia	10
2.5 Energía solar	12
2.5.1 Radiación solar.	12
2.5.2 Energía solar fotovoltaica	13
2.5.3 Energía solar térmica	13
2.6 Energía solar térmica en España	14
3 Instalación solar térmica para A.C.S. Características generales	17
3.1 Clasificación	17
3.1.1 Según su aplicación	18
3.1.2 Según el principio de circulación.	18
3.1.3 Según sistema de intercambio.	19
3.1.4 Según el sistema de expansión.	20
3.1.5 Según el sistema de apoyo.	20
3.2 Componentes	21
3.2.1 Captadores solares	21
3.2.2 Acumulador	23
3.2.3 Intercambiadores de calor	24
3.2.4 Sistema hidráulico	24
3.2.5 Sistema de regulación y control	25
3.3 Normas UNE y normativa de aplicación	26
Normas UNE asociadas al comité AEN/CTN 94	26

3.4 Métodos de cálculo	27
3.4.1 Método F-Chart	27
4 Desarrollo	33
4.1 Situación actual	33
4.1.1 Descripción de las instalaciones	35
4.1.2 Consumos	37
4.2 Diseño de la instalación solar térmica.....	37
4.2.1 Dimensionado	38
5 Propuestas de actuación.....	51
5.1 Sustitución de las alcachofas.....	51
5.2 Instalación solar térmica	52
5.2.1 Superficie de captación.....	52
5.2.2 Acumulador e intercambiador.	54
5.2.3 Circuitos hidráulicos.....	56
5.2.4 Estudio económico básico orientativo	56
5.2.5 Cálculo de consumo de gasóleo C	57
5.2.6 Presupuesto	58
5.2.7 Periodo de amortización aproximado	58
6 Conclusiones y líneas futuras	61
7 Bibliografía.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Situación de la Escuela Naval Militar. Fuente: Google maps.	5
Figura 2-1: Cobertura EERR sobre el consumo de energía final bruta 2010-2020. Fuente: IDAE. ...	9
Figura 2-2: Consumo de energía primaria total (%). Fuente: INEGA.	11
Figura 2-3: Fuentes de producción de energía eléctrica. Fuente: INEGA.	12
Figura 2-4: Energía solar fotovoltaica. Fuente: gstriatum.	13
Figura 2-5: Mapa de intensidad de radiación solar en España. Fuente: es.slideshare.net.	15
Figura 3-1: Curvas de rendimientos de distintos captadores. Fuente: Intersolarweb.	23
Figura 3-2: Curvas f para sistemas de fluidos. Fuente: eis.uva.es.	31
Figura 4-1: Situación del gimnasio GM Barrutia. Fuente: Google maps.	33
Figura 4-2: Vista aérea del gimnasio GM Barrutia. Fuente: Google maps.	34
Figura 4-3: Sala de calderas del gimnasio GM Barrutia. Vista general. Fuente: Propia.	34
Figura 4-4: Acumulador de A.C.S. Fuente: Propia.	36
Figura 4-5: Depósito de combustible. Fuente: Propia.	36
Figura 4-6: Zonas climáticas. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4. ...	41
Figura 4-7: Balance energético anual. Fuente: Tablas F-Chart.	44
Figura 4-8: Contribución solar anual. Fuente: Tablas F-Chart.	44
Figura 4-9: Orientación e inclinación de los módulos. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	46
Figura 4-10: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	47
Figura 4-11: Diagramas de trayectorias del Sol. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	48
Figura 4-12: Superficie de colocación de captadores. Fuente: Google Maps.	50
Figura 5-1: Alcachofa de 1/2" con caudal ajustable. Fuente: ecologicbarna.	51
Figura 5-2: Orientación de los captadores (1). Fuente: Propia.	53
Figura 5-3: Orientación de los captadores (2). Fuente: Propia.	53
Figura 5-4: Inclinación de los colectores. Fuente: Propia.	54
Figura 5-5: Ubicación del acumulador actual. Fuente: Google Maps.	55
Figura 5-6: Interacumulador. Fuente: Propia.	55
Figura 5-7: Circuito primario de la instalación solar térmica. Fuente: Propia.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Consumos medios de gasóleo C. Fuente: Cuaderno de control de llenado del depósito de gasóleo C de gimnasio GM Barrutia.	37
Tabla 4-2: Temperatura A.F.S. media mensual en Pontevedra. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	38
Tabla 4-3: Cálculo de consumo de A.C.S. a una temperatura de referencia de 60°C. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	39
Tabla 4-4: Contribución solar mínima en %. Caso general. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	41
Tabla 4-5: Demanda mensual de A.C.S. Primer semestre. (kW/mes). Fuente: Propia.	42
Tabla 4-6: Demanda mensual de A.C.S. Segundo semestre. (kW/mes). Fuente: Propia.	43
Tabla 4-7: Energía solar aportada. Primer semestre. Fuente: Tablas F-Chart.	43
Tabla 4-8: Energía solar aportada. Segundo semestre. Fuente: Tablas F-Chart.	43
Tabla 4-9: Pérdidas límite. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	46
Tabla 4-10: Tabla de referencia para el cálculo de sombras. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	49
Tabla 4-11: Tabla de referencia para el cálculo de sombras. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	49
Tabla 4-12: Tabla de referencia para el cálculo de sombras. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.	50
Tabla 5-1: Periodo de amortización. Fuente: Propia.	59
Tabla 5-2: Balance anual. Fuente: Propia.	59

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Ámbito Institucional

La Escuela Naval Militar es el centro de formación de los futuros oficiales de la Armada Española. Se encuentra situada al noroeste de la península Ibérica, en la cara sur de la Ría de Pontevedra, en plena Villa de Marín (Figura 1-1).

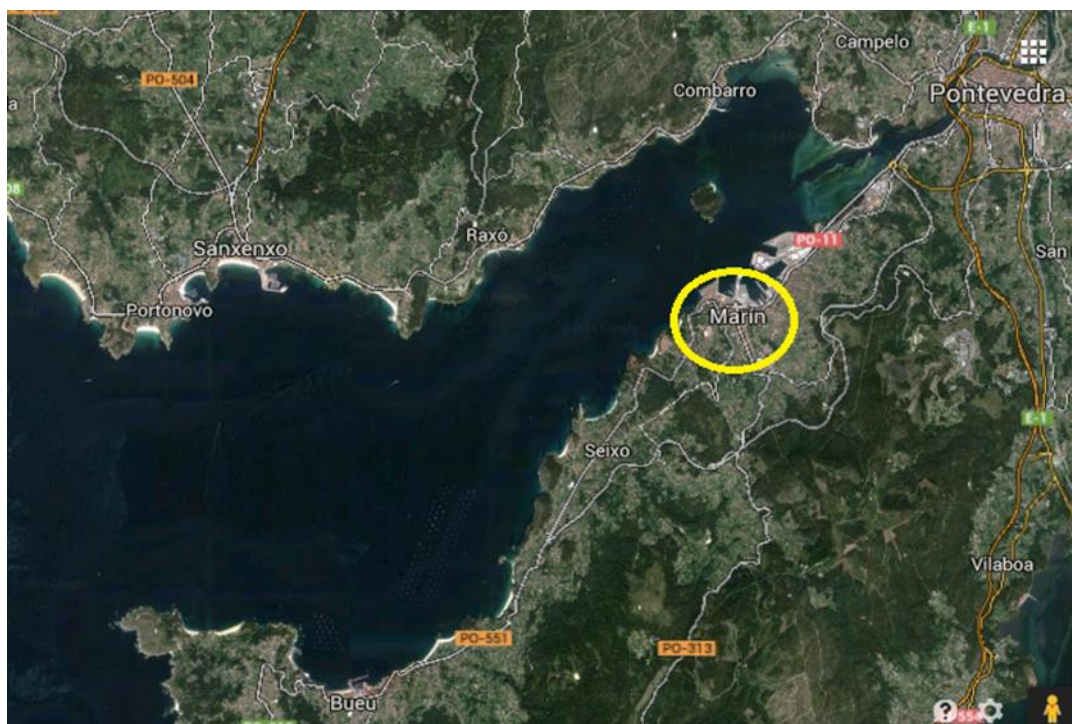


Figura 1-1: Situación de la Escuela Naval Militar. Fuente: Google maps.

En septiembre del año 2010 la Escuela Naval Militar incorporó a su plan de estudios un título universitario. Dada la similitud entre la carrera militar y el grado en ingeniería mecánica, se seleccionó este para el plan de estudios actual.

Desde este año 2010 se comienzan a impartir las asignaturas de la doble titulación, las cuales son asignaturas específicas militares, específicas del grado en ingeniería, así como asignaturas duales

debido a la similitud entre las ya existentes en el plan de estudios antiguo y el grado. No ha sido hasta el año 2014 que se ha implantado completamente el plan de estudios de doble titulación.

El centro encargado de impartir las asignaturas del grado es el Centro Universitario de la Defensa, que depende de la Universidad de Vigo y cuyo edificio se encuentra dentro del recinto militar de la Escuela Naval Militar, formando parte del patio de aulas don Álvaro de Bazán.

Los alumnos que ingresan en la Escuela Naval Militar tienen que realizar 5 años de formación tanto militar como universitaria, finalizando estos años reciben los despachos de Alférez de Navío en el caso de los alumnos de Cuerpo General, y de Teniente en el caso de los de Infantería de Marina, además del título de graduados en Ingeniería Mecánica. En la actualidad más de 300 alumnos, entre Cuerpo General e Infantería de Marina, están estudiando en esta escuela.

Dentro del plan de estudios actual los alumnos de la Escuela Naval Militar tienen que realizar un TFG (Trabajo de Fin de Grado), el cual es considerado como una asignatura desde el punto de vista de matriculación, docencia, evaluación y créditos ECTS. Además tratará temas de interés para la defensa. El TFG se realizará en la fase final del plan de estudios y evaluará competencias asociadas al título, así como pretenderá que el alumno adquiera competencias básicas y generales, como resolución de problemas o capacidad para dirigir; y competencias transversales, como habilidades de investigación [1].

1.2 Objetivos

El objeto del TFG es el estudio de viabilidad técnico-económica de una instalación solar térmica en el Gimnasio GM Barrutia de la Escuela Naval Militar, con la que se desea conseguir un ahorro energético y económico, que además satisfaga las necesidades de A.C.S. cumpliendo las especificaciones del CTE en relación con el aporte solar mínimo.

En el ámbito del uso racional de la energía, se dan aspectos tales como la reducción del consumo energético actual teniendo en cuenta el nivel de confort, además de la introducción de fuentes de energía renovable y de la implantación de medidas de ahorro y eficiencia energética.

Se tratará de utilizar la energía solar para cubrir parte de las necesidades de A.C.S. en el edificio, así como de demostrar las ventajas que lleva consigo el uso de esta energía con respecto a los sistemas convencionales, ya que supone una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y un ahorro económico a medio-largo plazo.

El alcance del trabajo incluye:

- Análisis de la situación actual.
- Estudio técnico-económico para satisfacer las necesidades de A.C.S. a partir de una instalación solar-térmica.

2 ANTECEDENTES

Uno de los factores más importantes hoy día para el desarrollo del ser humano es la disponibilidad de recursos energéticos. El aumento de consumo de estos recursos es continuo y crece a medida que aumenta la población mundial y el nivel de vida del mundo desarrollado. Este aumento continuo del consumo de recursos es el que provoca la preocupación por utilizar nuevos recursos energéticos, capaces de satisfacer esta demanda en crecimiento.

2.1 Energía renovable y no renovable

2.1.1 *Energía no renovable*

Las fuentes de energía no renovables son aquellas cuyo uso es más frecuente desde la extracción del recurso energético hasta la obtención del producto final para consumo. A esta clase de energía pertenecen los combustibles fósiles en general, tales como el petróleo o el carbón, estos recursos son cada vez más difíciles de encontrar, debido a que no se regeneran.

Estas fuentes de energía hacen que exista una preocupación por el medio ambiente, ya que producen gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero y crean un gran impacto ambiental. Esta preocupación hace que los recursos energéticos renovables se desarrollen dado que son más limpios y menos perjudiciales para el medio ambiente.

Además de los combustibles fósiles en esta clasificación también se encuadran la biomasa, y la fuerza del agua como medio para producir energía mecánica. La energía hidráulica y la energía térmica también pertenecen a las energías con usos más comunes.

2.1.2 *Energía renovable*

Se conocen como fuentes de energía renovables como aquellas capaces de regenerarse de forma natural o artificial tras ser utilizada. Frente a las no renovables son un recurso más limpio con un impacto ambiental prácticamente nulo y siempre reversible.

Debido a los costes de producción y a la difícil forma de captarlas y obtener el producto final, las fuentes de energía renovables no tienen un uso tan común en la sociedad como las energías no renovables.

Dentro de las energías renovables se encuentran:

- Energía que se obtiene del mar: dentro de ella existen además varios tipos:

- Energía mareomotriz, que es producida por el movimiento de las mareas y las corrientes marinas.
- Energía undimotriz, que es energía eléctrica producida por las olas.
- Energía mareotérmica, que es energía térmica producida por la diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas.
- Energía hidráulica: produce energía eléctrica gracias a la caída de agua desde gran altura. Este agua al caer pasa por turbinas hidráulicas, que transmiten la energía a un alternador.
- Energía eólica: aprovecha las corrientes de aire por medio de aerogeneradores o molinos de viento, y se transforma en energía eléctrica.
- Energía de biomasa: procede del aprovechamiento de la materia orgánica animal y vegetal, incluyendo los residuos de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales.
- Energía geotérmica: es una de las menos conocidas. Se encuentra bajo la superficie terrestre en forma de calor. Está ligada a volcanes, fumarolas, aguas termales y géiseres.
- Energía solar: es la energía proporcionada por el Sol. Se puede derivar en dos tipos de energía:
 - Energía térmica: para calefacción y A.C.S. (Agua Caliente Sanitaria).
 - Energía fotovoltaica: energía eléctrica a partir de la radiación solar, a través de placas de semiconductores.

2.1.2.1 Ventajas de las energías renovables

Las energías renovables:

- No producen emisiones perjudiciales para el medio ambiente, al contrario que los combustibles fósiles.
- No generan residuos de difícil tratamiento.
- Son inagotables.
- Evitan la dependencia haciendo a la región más autónoma, se obtiene beneficio donde se encuentra la fuente.

2.1.2.2 Inconvenientes de las energías renovables.

Las energías renovables:

- Suponen una inversión económica inicial.
- No siempre se dispone de ellas, teniendo que esperar a que se almacene
- Dependen de la naturaleza de la propia energía en sí, que puede llegar a convertir un tipo de energía renovable en una fuente de energía intermitente, como en el caso de la energía eólica que depende de la climatología.
- Producen impactos visuales elevados.

Este interés por usar energías renovables cobra aún más sentido en países con recursos fósiles escasos como en el caso de España, país que sí posee recursos energéticos renovables en abundancia, como por ejemplo la energía eólica, la hidráulica o la solar. La introducción de estas energías renovables en España queda clara en datos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [2] que detallan el papel de estas energías en la generación eléctrica, de forma que su contribución al consumo final bruto de energía eléctrica ha pasado del 17.5% en 2004 al 29.5% en 2010, aunque en el nuevo plan [3] se pretende incrementar el consumo final bruto de energía de un 13.2% en 2010 a un 20.8% 2020 (Figura 2-1) [3].

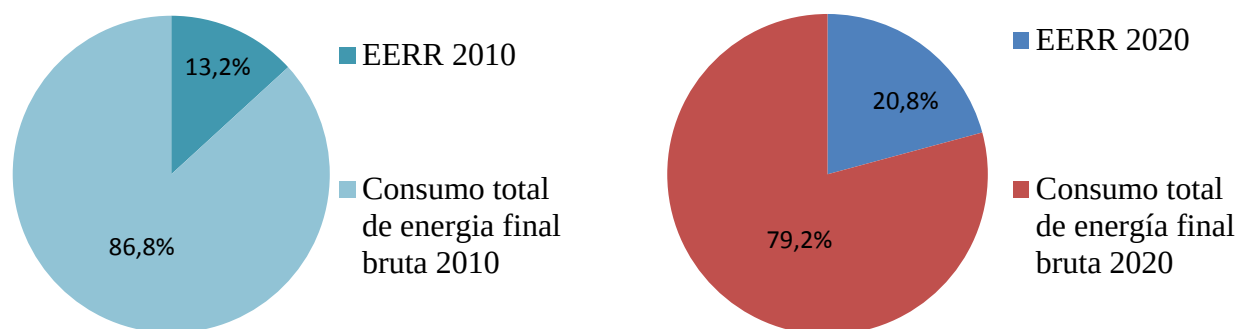


Figura 2-1: Cobertura EERR sobre el consumo de energía final bruta 2010-2020. Fuente: IDAE.

Pero no sólo en el ámbito de la generación de energía eléctrica está España en desarrollo, sino que gracias a su situación geográfica y a su clima, es un país favorecido en cuanto a la disponibilidad de energía solar en comparación con muchos países europeos situados más al norte y con menos horas de sol.

2.2 El Protocolo de Kioto

El 11 diciembre del año 1997 en la ciudad de Kioto tuvo lugar la firma por parte de los países industrializados de un conjunto de medidas para reducir los efectos que producen los gases invernadero. Los gobiernos a favor de estas medidas pactaron reducir en un 5% de media las emisiones contaminantes en el periodo de 2008 a 2012, para lo que se tomó como referencia los niveles del año 1990. Aunque se firmó en 1997 no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005, después de que fuese ratificada por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.

Debido a las emisiones de estos gases de efecto invernadero, se espera que la temperatura media de la superficie de la Tierra aumente de aquí a 2100 entre 1.4°C y 5.8°C [4], este aumento de temperatura es el que se conoce como Calentamiento Global. Es por esto que el principal objetivo de este protocolo sea disminuir el cambio climático, cuyo origen es causado por el hombre con base en el efecto invernadero.

Pero aparte del acuerdo del cumplimiento que los distintos países hicieron con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero también se promovió la generación de un desarrollo sostenible, de modo que disminuya el uso de energías no renovables dando mayor importancia y uso a las renovables, para así dañar menos al medio y no favorecer al calentamiento global.

2.2.1 Segundo periodo del Protocolo de Kioto

El segundo periodo de vigencia de este protocolo va desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020, fue ratificado en la decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18). Sin embargo, este proceso mostró un bajo nivel de compromiso por parte de países industrializados como EE.UU., China, Rusia, Japón y Canadá que no respaldaron la continuación en vigencia del Protocolo.

España es el país miembro del Protocolo con menos facilidades para poder cumplir lo firmado, ya que se comprometió a aumentar sus emisiones en un máximo de un 15% con respecto al año base. La realidad muestra que España en 2012 emitía un 18.7% más que en el año 1990. En el periodo de 2008

a 2012 emitió una media de 24.5% de incremento respecto al año base, de forma que superaba el 15% asignado por el Protocolo de Kioto [5].

Este es uno de los motivos más importantes por el que se debe dar un mayor uso a las energías renovables y limpias, dejando en un segundo plano a las no renovables y pudiendo hacer posible el cumplimiento de los objetivos marcados en este Protocolo.

2.3 Situación energética en España

Desde hace tres más de treinta años los países desarrollados se han visto condicionados por las formas de obtener energía así como por la evolución de los precios del petróleo. Además de esto están las preocupaciones ambientales, el crecimiento de países en vías de desarrollo, que conlleva la inflación de las fuentes de energía primaria, y la liberación del sector energético en Europa, que han caracterizado el nuevo marco de referencia para la instrumentación de la política energética.

La liberalización de los mercados, la garantía de suministro, el desarrollo de las infraestructuras de interconexión y la reducción de emisiones contaminantes son las acciones necesarias para conseguir un avance coordinado según ha remarcado la Unión Europea. En esta misma línea común para los países europeos camina España en cuanto a política energética y además se caracteriza por intentar dar solución a los retos que el sector español energético se ha impuesto, que pueden sintetizarse en los siguientes:

- Disminuir el consumo energético por unidad de producto interior bruto. Con esto España pretende producir una misma cantidad de producto interior bruto consumiendo menos energía que hasta la actualidad, dado que España consume más energía que la media de países europeos. Como la situación no es irreversible se han realizado grandes esfuerzos en cuanto al ahorro y eficiencia energética, lo que está permitiendo el acercamiento a los valores medios europeos en intensidad energética. Este acercamiento es necesario continuarlo próximos años.
- Conseguir autonomía energética. España a lo largo de la historia ha dependido energéticamente de otros países, esto es a causa de la falta de yacimientos de combustibles fósiles. Esta dependencia hace que existan riesgos añadidos a los procesos productivos, tales como la garantía de suministro por parte de otros países o el cambio de precios de los mercados internacionales.
- Disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. En España debido a la generación de electricidad y al transporte existe un elevado nivel de emisiones de gases de efecto invernadero. Para solucionar este problema se han propuesto tres caminos: aumentar la seguridad en el suministro, mejorar la competitividad de la economía, y conseguir un desarrollo sostenible tanto en el ámbito social, medioambiental y económico.
- Los objetivos establecidos para el año 2020 en España son que al menos un 20% del consumo de energía final al año proceda de fuentes de energías renovables, y que el 10% de la energía usada en transporte proceda también de energías renovables.

2.4 Situación en Galicia

En la Comunidad Autónoma Gallega sólo el 16.4% de la energía primaria proviene de fuentes que se encuentran en esta comunidad, y el 83.6% restante es importado. Las importaciones se centran en petróleo, gas natural y carbón.

En el año 2007 el 77.1% de la energía primaria consumida en Galicia era procedente de las importaciones, desde ese año se aumenta el porcentaje de esta energía primaria importada. Además el

2007 fue el último año en que las minas de lignito pardo servían a las centrales de Meirama y de As Pontes a causa de las nuevas normativas ambientales y a la falta de carbón autóctono.

Gracias al uso de las energías renovables en Galicia la importación se reduce a un 79,1% en 2010, pero al ser el año siguiente más seco y con menos viento, volvió a aumentar la importación.

En 2012 del consumo de energía primaria, que es aquella que se obtiene directamente de la naturaleza: solar, hidráulica, eólica, geotérmica, biomasa, petróleo, gas natural o carbón, el 47,4% procedía del petróleo, el 22,7% del carbón, el 17,7% de las energías renovables y el 12,2% del gas natural. El porcentaje de consumo de carbón como energía primaria ha disminuido del 27,6% al 22,7% en los últimos diez años, así como el del petróleo del 57% al 47,4%. Sin embargo las energías renovables y el gas natural han pasado de un 12,1% a un 17,7% la primera y de un 2,4% a un 12,2% la segunda también en los últimos diez años (Figura 2-2).

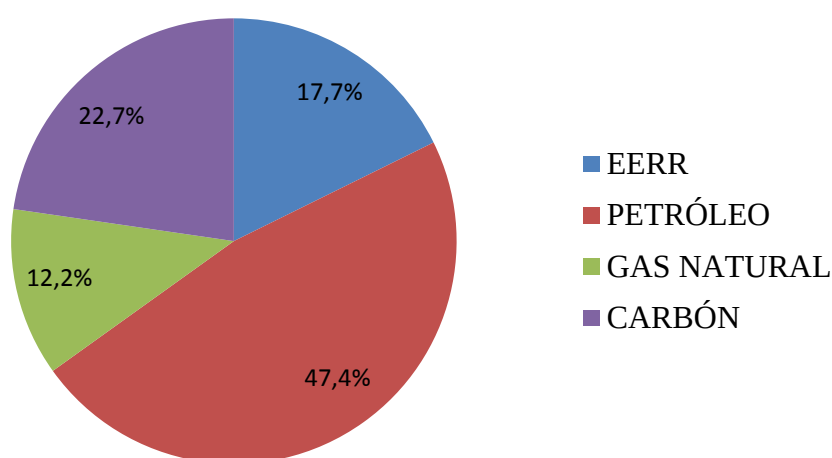


Figura 2-2: Consumo de energía primaria total (%). Fuente: INEGA.

En Galicia el consumo de energía primaria por unidad de riqueza ha disminuido en los últimos años, aunque todavía tiene niveles que están cerca del doble de la media española. En cuanto al consumo final bruto de energía, que es la cantidad total de energía producida o importada necesaria para responder a las necesidades de un país o región, en Galicia se ha mantenido prácticamente constante en los últimos años.

Las energías renovables continúan con una importante función en cuanto al ámbito energético gallego, sobre todo la energía eólica. En 2012 la generación de energía eléctrica en Galicia por fuentes renovables era de un 46%, por el carbón de un 41% y de gas natural de un 8,8% (Figura 2-3).

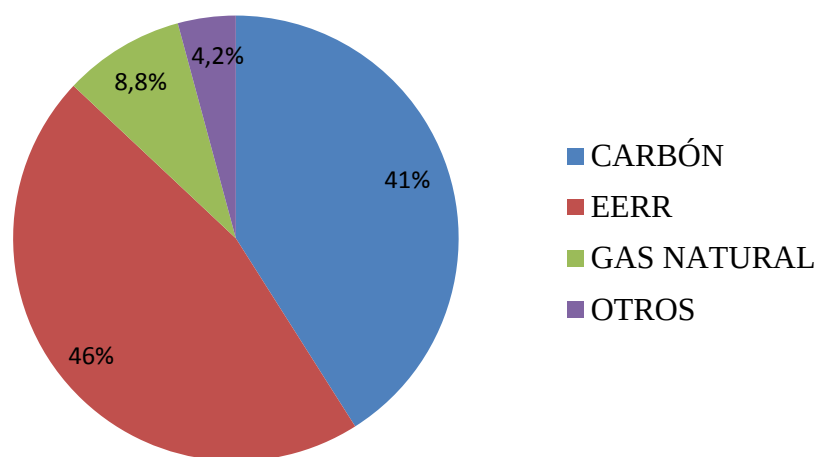


Figura 2-3: Fuentes de producción de energía eléctrica. Fuente: INEGA.

Del 46% perteneciente a generación por energías renovables, cabe destacar el peso de la energía eólica con un 27.5%, así como el de la energía hidráulica con un 16.3%. El resto de fuentes de energía renovables siguen suponiendo aportaciones muy minoritarias. Los valores para Galicia del consumo eléctrico procedente de energías renovables doblan las medias nacionales considerando la energía hidráulica como energía renovable.

Dentro del ámbito nacional Galicia produce el 9.8% de la energía primaria del Estado, de toda esta energía el 17,6% procede de energías renovables. Con estos datos se observa que casi duplica a la media nacional en cuanto a producción de energía.

2.5 Energía solar

2.5.1 Radiación solar.

El Sol se formó hace 4500 millones de años y tiene combustible para 5000 millones de años más. Se encuentra girando alrededor del centro de la Vía Láctea, con todo su sistema de planetas girando alrededor del mismo, lo cual sucede debido a la gran atracción que esta estrella ejerce sobre ellos. De todo el sistema solar, el Sol supone el 99% de toda la materia que lo compone.

El Sol es una gigantesca esfera de gases a alta temperatura, que produce e irradia una cantidad de energía del orden de $4 \cdot 10^{26}$ W a partir de las reacciones nucleares que tienen lugar en su interior de forma continua. Esta esfera se encuentra de media a 149.000.000 Km de distancia a la Tierra. Encontrándose a esta distancia de la Tierra, el Sol es la estrella más cercana a este planeta así como el mayor componente del sistema solar y la principal fuente de energía del planeta Tierra.

La intensidad de la radiación solar que llega a la Tierra es del orden de 1000 W/m^2 . Esto se debe a que la radiación solar no llega directamente a la Tierra, sino que tiene que atravesar la capa atmosférica con lo que sufre algunos efectos. Los efectos más destacados son la reflexión provocada por las nubes y la absorción parcial provocada por las moléculas de aire.

Pero la constante solar (1367 W/m^2) ya llega a la capa atmosférica con algunas variaciones, dado que la Tierra y el Sol no están a una distancia constante, debido a que la Tierra se encuentra girando en una órbita elíptica.

Se debe de destacar también el hecho de que la radiación solar no llegue a la Tierra desde un solo punto, sino que lo haga desde todas direcciones. Esto se debe a las difusiones y dispersiones que sufren los fotones en la atmosfera.

Uno de los objetivos de la sociedad actual es el máximo aprovechamiento de estos efectos de la radiación solar, incrementando el uso de captadores de esta energía con el fin de cubrir las necesidades básicas del ser humano.

2.5.2 Energía solar fotovoltaica

Una de las formas de aprovechamiento de la radiación solar es su transformación en energía eléctrica. Para poder lograr la transformación de energía se usan células solares, fabricadas con materiales semiconductores en los cuales se crea un campo eléctrico permanente. De esta transformación surgen dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica:

- Instalaciones conectadas a la red eléctrica: Se trata de sistemas conectados a la red eléctrica nacional. Cuando la irradiación solar es baja el generador fotovoltaico no produce energía necesaria por lo cual es la red eléctrica nacional la que la proporciona.
- Instalaciones aisladas: Son utilizadas por usuarios con un consumo muy bajo de energía con los cuales no es rentable pagar por estar conectado a la red nacional. Además son utilizados a partir de más de 3 Km de la red eléctrica nacional para alimentar viviendas. En estos sistemas es conveniente almacenar la energía eléctrica producida para así tener energía cuando el generador no la produzca.

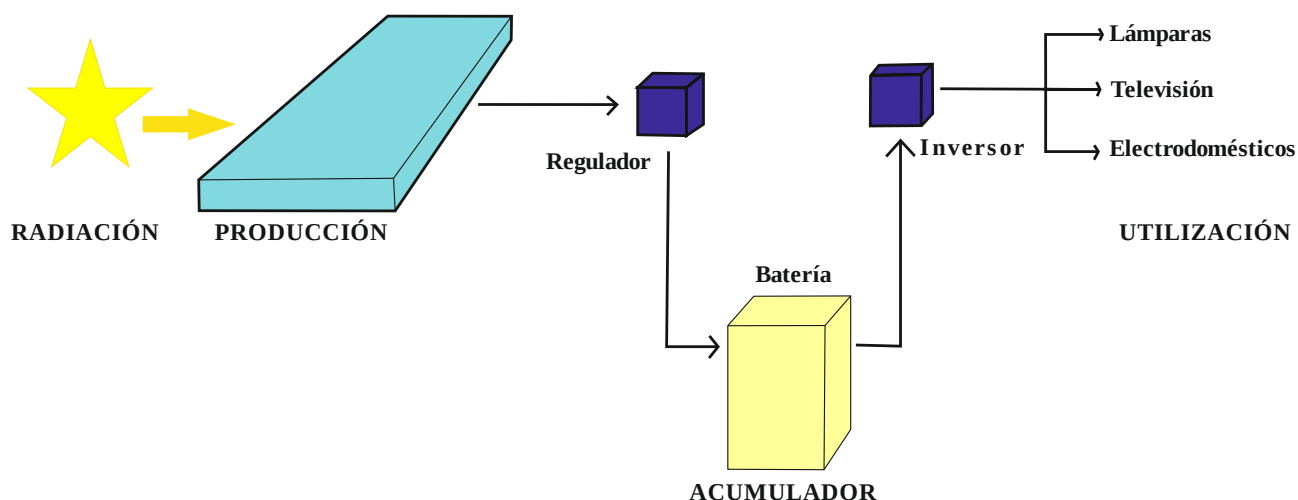


Figura 2-4: Energía solar fotovoltaica. Fuente: gstriatum.

2.5.3 Energía solar térmica

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse de diferentes formas, las más comunes son la producción de agua caliente sanitaria y la calefacción o climatización.

La energía del Sol es captada por unos colectores o paneles solares, que absorben la radiación solar. A través de estos colectores o paneles se hace pasar un fluido (normalmente agua) con lo que se transfiere parte del calor absorbido al fluido, el cual eleva su temperatura y se almacena o va directamente al punto de consumo.

Dependiendo de la temperatura que el sistema pueda alcanzar se tratará de un sistema de energía solar térmica de baja, media o alta temperatura:

- Captadores de baja temperatura. Son paneles solares que proporcionan calor por debajo de los 80°C. Los más comunes de este tipo de colectores son los planos, los cuales cuentan con una superficie absorbente de la energía solar y otra por donde circula el fluido que se desea calentar. Además se subdividen en colectores solares planos con cubierta o sin cubierta:
 - Colectores solares planos con cubierta. La cubierta de este tipo de colectores se trata de una capa protectora de vidrio, la cual disminuye las pérdidas de calor. Se usan habitualmente en la producción de A.C.S. y calefacción.
 - Colectores solares planos sin cubierta. Aunque cuenten con un menor rendimiento son más económicos. Son utilizados para la climatización de piscinas.

En España la obtención de A.C.S., constituye el uso más extendido de la energía solar térmica. Además desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) su instalación es obligatoria en los edificios de nueva construcción o rehabilitaciones, causa por la cual actualmente son más habituales las instalaciones para la obtención de A.C.S. mediante energía solar.

- Captadores de media temperatura. Antes de hablar de los colectores de media, se debe dar a conocer también el colector de vacío, el cual cuenta con una doble cubierta cerrada herméticamente en la que se ha realizado el vacío, con ello se minimizan las pérdidas por convección. Con este tipo de colector se puede llegar a conseguir temperaturas de hasta 120°C y están orientados a la producción de A.C.S. y a la climatización de piscinas. El inconveniente de ellos es que son menos económicos.
Los captadores de media temperatura, que alcanzan temperaturas de entre 100°C y 250°C, permiten la producción de vapor. Las técnicas para llegar a obtener estas temperaturas se basan en la concentración de la radiación solar, normalmente a través de la reflexión mediante espejos. Estos captadores se utilizan en la producción de vapor para procesos industriales.
- Captadores de alta temperatura. Son sistemas caros pero con un mayor rendimiento. Su aplicación principal es la producción de energía eléctrica. Dentro de estos captadores, que son capaces de alcanzar temperaturas de hasta 2000°C, se encuadran varios sistemas de concentración:
 - Sistema de espejos parabólicos, que también pueden ser lineales situados de forma cilíndrica, donde el fluido se calienta mientras recorre la línea que está en el foco de la parábola o el cilindro.
 - Sistemas puntuales de disposición esférica, que obtienen altas temperaturas en lugares con espacios limitados. Tienen forma de paraboloide de revolución con lo que concentra más la radiación obteniendo así estas altas temperaturas.
 - Centrales térmicas solares, la radiación solar es reflejada por medio de un campo de espejos (heliostatos), orientados de tal forma que hacen llegar a una caldera que se sitúa en la torre central la radiación reflejada..

2.6 Energía solar térmica en España

La energía solar en España es una fuente en desarrollo y aprovechamiento. España es uno de los países europeos con mayor número de horas de sol al año, a esto y a los compromisos existentes en

Europa respectivos al uso de energías renovables, se le une el hecho de intentar conseguir una mayor independencia energética.

Estos motivos fueron los que movieron a España a investigar, desarrollar y aprovechar la energía solar convirtiéndose en uno de los países pioneros a nivel mundial en este aspecto. Además en 2005 fue el primer país del mundo en solicitar la instalación de placas solares en edificios de nueva construcción y el segundo en solicitar la instalación de sistemas solares de A.C.S. (esta es la aplicación de la energía solar térmica más extendida en este país según el plan [2] con un 98% del total). Y en 2008 su potencia fotovoltaica instalada hizo que fuera uno de los países con más potencia de este tipo instalada, lo cual se consiguió gracias a una legislación a favor de estas instalaciones.

En cuanto a la energía solar térmica, España ha sufrido un crecimiento constante desde el año 2000. Tanto es así que en los años 2008 y 2009 se colocó como el segundo mercado más importante de energía solar térmica de Europa. Sin embargo, hay que aclarar que, debido al descenso de actividad del año 2007 en el sector de la construcción, se produjo una disminución del 25% en el año 2009 respecto al 2008. Este descenso no mejoró demasiado en 2010, produciéndose otro descenso del 21% en 2011 y una nueva caída en 2012 del 17%. Aunque han pasado cuatro años de descenso, en 2013 se detuvo la caída y en 2014 se inició una nueva y modesta etapa de crecimiento.

Las aplicaciones de la energía solar térmica son numerosas en lo que se refiere a media y alta temperatura, pero tienen un uso más industrial. En España, el uso de la energía solar térmica se basa principalmente en la generación de A.C.S., seguida de la calefacción y la climatización de piscinas.

Este importante uso de las instalaciones solares térmicas para el abastecimiento de A.C.S. se debe a que es la aplicación que mejor se adapta al uso de la energía solar, ya que las temperaturas que son necesarias alcanzar están entre los 40°C y los 50°C, que coincide con la mayor eficacia de los colectores de energía solar. Además España, y particularmente Galicia dado que es la ubicación de la instalación de este trabajo, cuenta con una radiación solar media de 1370 kWh/m² al año.



Zona solar climática	Horas de sol h/año	Insolación global kWh/m ² año
II	1500-1700	Aprox. 1030
III	1700-1900	Aprox. 1150
IV	1900-2100	Aprox. 1230
V	2100-2300	Aprox. 1370
VI	2300-2500	Aprox. 1490
VII	>2500	Aprox. 1610

Figura 2-5: Mapa de intensidad de radiación solar en España. Fuente: es.slideshare.net.

3 INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA A.C.S. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Como todo centro de formación, la Escuela Naval Militar también tiene una demanda energética importante. Debido a la gran demanda de energía térmica que la Escuela Naval Militar tiene, la energía solar es la fuente de energía renovable más acertada para cubrir esta demanda. Esta demanda se refiere tanto a la climatización, como a la calefacción y al A.C.S.

Teniendo en cuenta esta demanda, la Escuela Naval Militar ha propuesto diversos Trabajos de Fin de Grado centrados en el estudio de recursos para cubrir las necesidades de energía térmica de los distintos edificios que se encuentran dentro del recinto militar.

Uno de estos Trabajos de Fin de Grado es el de una instalación solar térmica en el edificio del gimnasio y la piscina de la Escuela Naval Militar.

Dado que este TFG se basa, como se ha visto en el apartado 1.2, en un estudio básico técnico-económico de una instalación solar térmica que cubra parte de la demanda térmica que tiene el edificio del gimnasio-piscina de la Escuela Naval Militar, se han tomado como referencias a seguir otros sistemas ya instalados cuya función sea similar a la que se pretende para la instalación del sistema de estudio.

Debido a que la instalación de este TFG solamente estará destinada al abastecimiento de A.C.S., y dado que no suelen existir instalaciones solares térmicas cuya función sólo sea el abastecimiento de A.C.S., en edificios que contengan piscinas en su interior, se tomarán como referencias instalaciones para abastecimiento de A.C.S. con un acumulador común.

Se destinará sólo a A.C.S. debido a que la piscina tiene un uso principal en invierno, usándose la temporada de verano para el vaciado y llenado de la misma, por lo que la piscina tiene mayor uso cuando menos radiación solar existe haciendo menos rentable una instalación destinada a su tratamiento.

3.1 Clasificación

Para seleccionar el tipo de instalación de abastecimiento de A.C.S. es conveniente conocer primero donde se encuadran este tipo de instalaciones. Dentro del uso de la energía solar, estas instalaciones están encuadradas en la energía solar activa, porque no se utiliza la energía del Sol como tal sino que se transforma en energía térmica, dentro de la cual pertenece al grupo que proporciona calor de baja temperatura.

Teniendo en cuenta las características de estos sistemas, tratadas en el apartado 2.5.3, las aplicaciones más comunes de los sistemas solares activos térmicos de baja temperatura son:

- Agua para procesos industriales: esta aplicación consiste en precalentar el agua a la entrada de las calderas. Se utiliza en muchos procesos industriales, como secado, lavado, destilación, generación de vapor, etc. Las industrias que más uso le da a esta aplicación son la textil, la química, la alimenticia y la papelera.
- Calefacción: la calefacción basa su uso tanto en ceder calor a una piscina como en cualquier sistema de calefacción común por el cual circule agua caliente. Las instalaciones de este tipo por norma general tienen doble función, una producir A.C.S. y otra calefacción. Sirve para distintos tipos de calefacción, por ejemplo fan-coil, radiadores o suelo radiante.
- Climatización: es una de las aplicaciones más interesantes dado que las mayores demandas de refrigeración y calefacción se dan al contrario que los niveles de insolación, es decir, a mayor demanda de calefacción menor insolación y a mayor demanda de refrigeración mayor insolación.
- Agua caliente sanitaria (A.C.S.): su aplicación se basa en el calentamiento de agua para uso sanitario o doméstico.

Tradicionalmente la energía para proporcionar A.C.S. proviene de calderas de combustibles fósiles como el carbón, el gas, el petróleo, etc. Este sistema de calentamiento de agua pasa a un segundo plano funcionando como un sistema de auxilio para los sistemas que utilizan la energía solar térmica para el mismo fin.

Las instalaciones que usan la energía solar térmica se pueden clasificar:

- Según su aplicación.
- Según el principio de circulación.
- Según el sistema de intercambio.
- Según el sistema de expansión.
- Según el sistema de apoyo.

3.1.1 Según su aplicación

Dependiendo del destino que tenga el agua caliente producida por la instalación solar térmica, se clasificarán los sistemas en:

1. Sistemas solares térmicos para A.C.S.
2. Sistemas solares térmicos para el calentamiento de piscinas.
3. Sistemas solares térmicos para el apoyo a calefacción.
4. Sistemas solares térmicos para refrigeración.
5. Sistemas solares térmicos para usos industriales.

De esta clasificación se tomará el sistema solar térmico para A.C.S. dado que es la aplicación que tendrá la instalación que es estudio de este trabajo.

3.1.2 Según el principio de circulación.

Dentro de esta clasificación se encuentran los sistemas termosifón o circulación natural y los forzados. Como su propio nombre indica, en los sistemas termosifón o circulación natural el fluido circula de forma natural ya que no se necesita un dispositivo que provoque su movimiento. La forma

natural por la que circula es por convección. En el sistema forzado se necesita de un dispositivo que haga que el fluido se mueva y circule.

3.1.2.1 Sistemas termosifón o circulación natural.

Las variaciones de temperatura del fluido de trabajo trae como consecuencia la variación de densidad, con lo que se produce el movimiento del mismo. Al calentarse su densidad disminuye por lo que asciende hacia la parte alta del circuito. El agua fría existente en el acumulador, al ser más densa desciende a la parte baja de forma que pasa a la tubería de entrada de los captadores. Esto hace que exista una circulación constante mientras haya una diferencia de temperatura entre el fluido del acumulador y el de los captadores.

En estas instalaciones es importante el diseño y montaje de la misma para hacer más sencillo el desplazamiento del fluido por el circuito, ya que en estas instalaciones la fuerza para desplazar el fluido es pequeña.

Se debe tener en cuenta que para estas instalaciones no hay forma de poner un límite a la temperatura máxima que puede alcanzar el acumulador, con lo que podría ser un riesgo para la instalación así como para las personas sobre todo en verano y temporadas de poco consumo.

3.1.2.2 Sistemas forzados.

Este sistema usa para dar movimiento al fluido de trabajo una bomba de circulación, la cual crea un caudal y disminuye las pérdidas de carga del circuito. La bomba debe de estar regulada de manera que si hay posibilidad de ganancia térmica en el acumulador se active a través de un control de gradiente de temperaturas. El control de gradiente está formado por dos sondas que comparan la temperatura, una colocada a la salida del captador y la otra en la parte más baja del acumulador solar.

3.1.3 Según sistema de intercambio.

La clasificación según el sistema de intercambio se basa en la forma de transmitir el calor al fluido del acumulador. La manera puede ser una de las siguientes:

3.1.3.1 Sistemas directos.

En estos sistemas el agua de consumo es el fluido de trabajo en sí. Hay que tener en cuenta que la renovación del agua es constante, con lo que se debe de observar la corrosión que el oxígeno que contiene la red puede provocar, ya que al ser continua la renovación de agua lo es también la renovación de oxígeno.

La utilización del agua directamente de la red puede ocasionar problemas debido a su composición, ya que puede ser agua difícil de tratar, con deficiencias, puede llevar suciedades, etc.

El control de las heladas en estos sistemas es otro punto importante debido que al agua no se le puede agregar sustancias anticongelantes. Para evitar esto el agua se recircula al captador de nuevo elevando así la temperatura del circuito.

Estas instalaciones se permitieron durante años, pero cada vez su uso es menos frecuente debido a los problemas que puede ocasionar. El Código Técnico de la Edificación, teniendo en cuenta estos problemas no contempla estas instalaciones entre los sistemas admitidos.

3.1.3.2 Sistemas indirectos.

El intercambio térmico en estos sistemas se realiza entre el fluido del circuito de trabajo y el de consumo. Aunque contienen el inconveniente de ser susceptibles a pérdidas de calor tiene la gran ventaja de poder tratar el fluido de forma de la forma que este sea más eficiente y que aun así no se contamine el agua de consumo.

En estos sistemas el fluido de trabajo es distinto del de consumo, es por esto que se evita algunos inconvenientes que el sistema directo si tiene como por ejemplo disminuir la corrosión, suciedades, prevenir las heladas, etc. Esto es gracias a que el fluido de trabajo puede ser tanto agua, como agua con alcoholes anticongelantes, o con los aditivos necesarios para que trabaje correctamente.

Además en estos sistemas la oxidación casi no tiene efecto dado que el oxígeno no se renueva en el circuito y por tanto se consume en poco tiempo, con lo que la oxidación se paraliza.

Dentro de las instalaciones indirectas se encuentran dos tipos de intercambiador:

- Intercambiador solar: Intercambiador que realiza la transferencia de calor entre el fluido que circula por el circuito primario y el fluido que circula por el circuito secundario o el contenido en el acumulador. Puede ubicarse en el mismo acumulador solar como los de serpentín o funcionar externamente al mismo como los de placas.
- Intercambiador de consumo: Intercambiador que realiza la transferencia de calor entre el fluido que circula por el circuito terciario y el agua de consumo.

3.1.4 Según el sistema de expansión.

Debido a las variaciones de temperatura a las que el fluido de trabajo se ve sometido hacen que el volumen de dicho fluido aumente o disminuya. Estas variaciones deben ser absorbidas por el sistema de expansión. Si este sistema no formara parte de las instalaciones se podrían producir la rotura de algunos componentes.

Entre los tipos de sistemas de expansión se distinguen:

3.1.4.1 Sistemas de expansión abierta

Son aquellos en los que el fluido del circuito primario está en comunicación permanente con la atmósfera. Los elementos de estos sistemas de expansión se sitúan a una altura superior al circuito primario. Aunque están permitidos por el CTE, han caído en desuso a causa de las pérdidas de calor que supone al encontrarse en contacto con la atmósfera.

3.1.4.2 Sistemas de expansión cerrada

Son aquellos en los que el fluido del circuito primario está separado de la atmósfera. El vaso de expansión existente en este circuito contiene una membrana impermeable elástica la cual contiene al fluido por un lado, y un gas a una determinada presión por el otro lado. Este gas es el encargado de absorber las variaciones de volumen que se producirán en el fluido al cambiar la temperatura. El gas se comprimirá o se expandirá en función del volumen que ocupe el fluido.

3.1.5 Según el sistema de apoyo.

Estos sistemas se clasifican según el modo de aportar la energía de apoyo. De esta manera se distinguen:

3.1.5.1 Sistemas instantáneos o de línea

Estos son los que se usan en pequeñas instalaciones, debido a que las potencias que se necesitan para calentamiento instantánea son muy altas sobre todo cuando la instalación tiene un cierto tamaño. El calentador instantáneo modulante, que adecúa la energía de apoyo en función de la temperatura con que le llega el agua, es con el que se obtiene un mayor aprovechamiento de la energía solar y por ello un mayor ahorro de energía primaria.

3.1.5.2 Sistemas de acumulador auxiliar

Estos tienen la ventaja de que realizan un mejor ajuste en la temperatura de utilización, así como la inmediata disponibilidad de la capacidad acumulada.

3.2 Componentes

En una instalación solar térmica existe un conjunto de elementos cuya función va desde captar la energía solar hasta el almacenamiento del fluido de consumo. Además esta instalación normalmente es auxiliada por un sistema convencional productor de energía térmica, que puede estar integrado o no en la misma instalación.

Los componentes que forman parte de la instalación solar térmica para agua caliente son los siguientes:

3.2.1 Captadores solares

El captador es el órgano principal de la instalación solar dado que sin él la radiación solar no se podría aprovechar para convertirla en calor. La calidad, el rendimiento, el coste y la construcción de los captadores hacen que cada diseño sea diferente del resto. Es recomendable que todos los captadores que formen parte de la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como constructivos.

Un captador solar debe ser resistente a las condiciones exteriores ya que ésta será su ubicación, así como a las temperaturas altas y bajas. Su montaje debe ser sencillo, y tiene que ser un elemento estable y duradero.

Los elementos que conforman los captadores solares son los siguientes:

- Placa absorbidora: En ella se convierte en calor la radiación solar. Por lo general son de metal pintado de negro para obtener una mayor radiación solar.
- Cubierta transparente: Dentro tiene lugar el efecto invernadero. Parte de la radiación solar sale pero se impide la salida de la radiación infrarroja.
- Aislamiento térmico: Disminuye las pérdidas del captador.
- Junta de estanqueidad: Su función principal es hacer al captador lo más estanco posible para que no entre el agua de lluvia.

Aunque los más utilizados para la producción de A.C.S. son los captadores solares planos con cubierta, existen otros tipos de captadores que también están dedicados a este fin. Los captadores solares existentes son los siguientes:

- Captadores solares planos con cubierta: El panel solar clásico absorbe la energía del sol a través de:
 - Un absorbedor, formado por una lámina parecida a un radiador, en su interior hay unos de tubos por donde circula el fluido del circuito primario que será calentado por el sol.
 - Una placa de cristal: colocada sobre el absorbedor, protege el aparato y deja pasar los rayos del sol. El absorbedor, se calienta, irradia energía en forma de radiación infrarroja, y esta gracias al cristal crea una especie de efecto invernadero.
 - Un aislante térmico: colocado en la parte debajo del panel, para reducir las dispersiones de calor.
 - Una caja de chapa laminada: da solidez y estabilidad al colector.

Dentro de este tipo de colectores se encuentran los de placa selectiva que han sido fabricados para obtener un mejor rendimiento incluso en invierno, es por ello que tienen una superficie negra, con alto coeficiente de absorción y bajo coeficiente de reflexión.

La instalación de paneles con superficie selectiva, por su alto rendimiento, se aconseja cuando se prevé utilizarlos todo el año.

- Captadores solares de vacío: Están diseñados para reducir las dispersiones de calor hacia el exterior. De hecho, el calor captado por cada tubo de vacío es transferido a la placa que está dentro del tubo. Así el líquido del circuito primario se calienta y, gracias al vacío, se reduce al mínimo la dispersión de calor hacia el exterior.
Se trata de una especie de tubos de vidrio, que contienen un elemento absorbedor del calor, en estos la presión de aire existente es mínima, lo que impide la pérdida de calor.
Los paneles solares de vacío tienen un rendimiento óptimo durante todos los meses del año y son especialmente adecuados para ser instalados en zonas de insolación medio-baja.
- Captadores solares con depósito integrado: En los paneles con depósito integrado el absorbedor de calor y el depósito de acumulación forman una misma pieza, y la energía solar llega directamente a calentar el agua acumulada.
Debido a la diferencia de densidad el agua caliente asciende y la fría baja, por esto se crea un movimiento convectivo dentro del depósito gracias al cual se calienta toda el agua.
Estos colectores solares compactos, son fáciles de transportar y de fácil instalación, y su coste es relativamente bajo.
Algunos de estos paneles no son adecuados para lugares en los que el invierno es largo y duro porque su rendimiento en ese periodo es escaso y porque el agua contenida en el depósito podría congelarse y estropear el panel.
- Captadores solares sin cubierta: En estos paneles sin cubierta de vidrio el agua pasa por dentro de los tubos del panel, en los que la radiación solar calienta el agua. Útiles en verano para calentar piscinas descubiertas, para proporcionar agua caliente a las duchas de balnearios, en camping, etc. Su coste es bajo y la instalación es tan sencilla que la puede realizar el usuario.

El rendimiento de un captador es la relación entre la radiación solar y la energía que se transmite al fluido. Es por esto por lo que el rendimiento varía según la insolación, la temperatura del agua que entra al captador, la temperatura ambiente y la de la placa y los materiales de los que está compuesto el captador. Debido a esto se utilizan las curvas de rendimiento las cuales sirven para realizar la evaluación de la variación de la eficiencia de cada captador dependiendo de las condiciones anteriores.

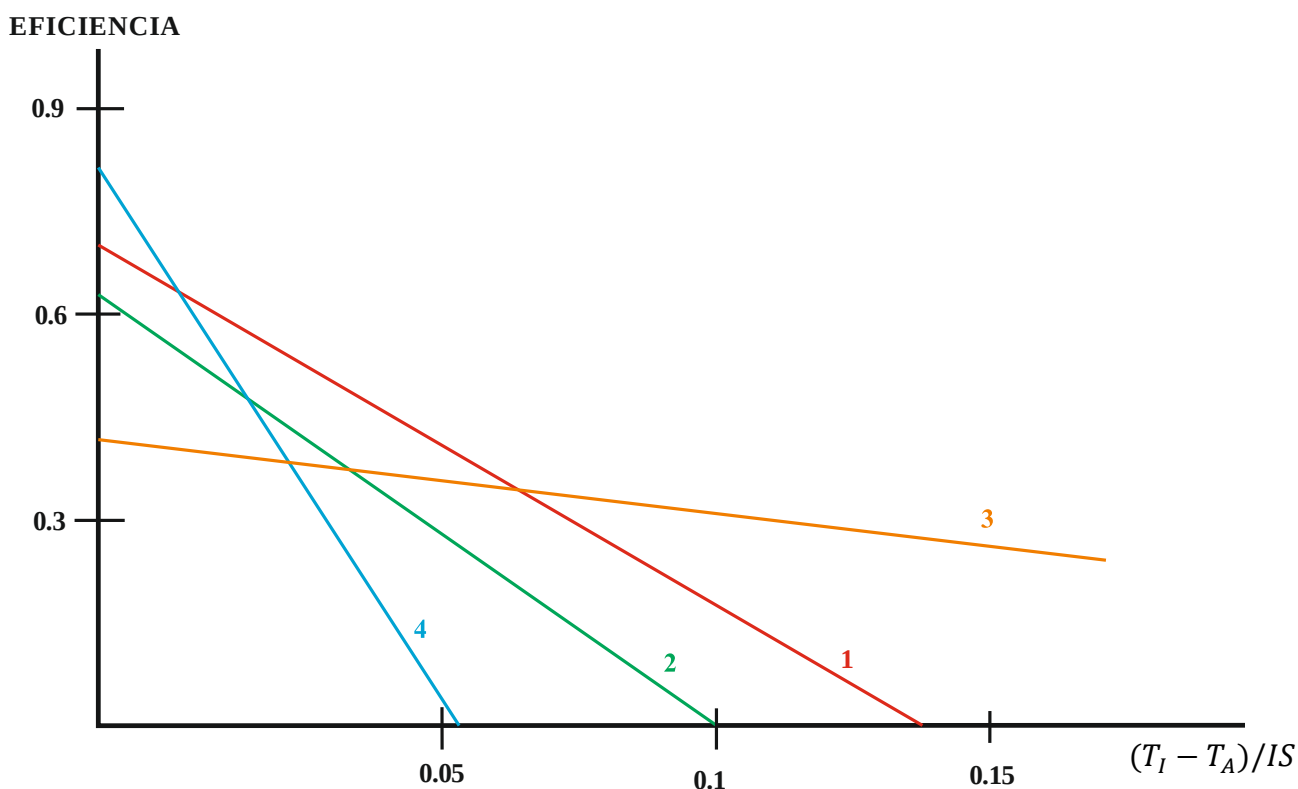


Figura 3-1: Curvas de rendimientos de distintos captadores. Fuente: Intersolarweb.

T_I = Temperatura de entrada del líquido al panel ($^{\circ}\text{C}$).

T_A = Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

IS = Radiación solar (W/m^2).

Curva 1: Curva de rendimiento de un colector con cubierta y placa selectiva.

Curva 2: Similar a curva 1 solo que la selectividad es menor.

Curva 3: Colector solar de tubos de vacío.

Curva 4: Colector solar sin cubierta.

3.2.2 Acumulador

La necesaria independencia del consumo de A.C.S. con respecto de la radiación solar hace que los acumuladores se conviertan en una parte importante de las instalaciones solares, funcionando como una batería. El tiempo de almacenamiento puede ser desde unas pocas horas hasta meses dependiendo de la demanda de A.C.S. y de la fracción solar que se necesite.

Un acumulador debe tener un poder específico alto, no tener pérdidas térmicas o que estas sean mínimas. La estratificación de las temperaturas es una función importante así como la resistencia a la presión. Además de esto su vida útil tendrá que ser al menos de 20 años y sus costes no deben de ser altos.

Según la aplicación para que estén destinados los acumuladores se pueden distinguir:

- Acumuladores de inercia: Su aplicación se centra en el calentamiento de agua sanitaria y calefacción. Son grandes almacenes, que no necesitan revestimientos sanitarios y por lo cual tienen un coste reducido.
- Acumuladores de A.C.S.: Su aplicación se basa en el almacenamiento de A.C.S. cumpliendo las normas vigentes. Estos deben ser resistentes a la corrosión, ya que en el agua potable hay oxígeno.

3.2.3 Intercambiadores de calor

Para el funcionamiento de una instalación solar térmica es necesario el sistema de intercambio térmico, el cual hará que el fluido de trabajo se enfríe al entrar en contacto con el de consumo.

En una instalación solar térmica la temperatura del fluido de entrada al intercambiador varía constantemente, al contrario que en las instalaciones convencionales donde la temperatura del fluido que va al intercambiador es constante. Debido a que la radiación solar no es la misma en verano que en invierno, la variación que se obtiene es grande.

Para el dimensionado de los intercambiadores solares térmicos se debe tener en cuenta tanto la potencia térmica que los captadores pueden transmitir, así como las temperaturas medias de funcionamiento de la instalación solar. El intercambiador de calor deberá tener una eficiencia tal que la temperatura de los captadores fuera la misma del sistema de suministro.

El material del que esté formado el intercambiador debe de soportar la máxima temperatura de trabajo del circuito primario además debe de ser compatible con el fluido de trabajo. Normalmente para A.C.S. se utiliza acero inoxidable o cobre.

Los intercambiadores podrán ser interiores o exteriores según estén dentro o fuera del depósito de almacenamiento.

El dimensionado del sistema de intercambio dependerá de si el intercambiador es independiente o está incorporado al acumulador. La condición que debe cumplir el intercambiador si es independiente es:

$$P \geq 500 * A \quad (1)$$

Se supone para ello esta potencia mínima una radiación solar de 1000 W/m^2 en las horas centrales de trabajo, y un rendimiento de conversión de energía solar a calor del 50%,

Y si el intercambiador está incorporado al acumulador deberá cumplir:

$$\frac{S}{A} \geq 0,15 \quad (2)$$

De donde:

P: Potencia mínima del intercambiador (W).

A: Área de los captadores (m^2).

3.2.4 Sistema hidráulico

Los elementos encargados de conectar los principales componentes de la instalación solar entre sí son los que constituyen el circuito hidráulico. Dentro de este sistema se encuentran el circuito

principal, el cual lleva el fluido de trabajo desde los captadores al acumulador, y el circuito secundario, que se encarga de suministrar agua a los distintos servicios.

3.2.4.1 Tuberías

Las tuberías que componen los distintos circuitos del sistema deberán ser de cobre, de acero inoxidable o de algún material cuya calidad no dañe el agua caliente para consumo humano que transportará. Si el fluido que transporta es otro se suelen utilizar de cobre, acero inoxidable o acero negro.

3.2.4.2 Aislamiento

La reducción de las pérdidas térmicas es un tema muy importante, por ello es necesario que el aislante que lleven las tuberías tenga una baja conductividad térmica. Los aislantes térmico comúnmente usados son las espumas elastoméricas.

3.2.4.3 Bomba

Dispositivo encargado del movimiento del fluido de trabajo en el circuito hidráulico. En las instalaciones forzadas es uno de los elementos principales.

Para elegir la bomba adecuada se observará el caudal de circulación y la diferencia de presiones que necesitará sobrepasar.

3.2.4.4 Vaso de expansión

Su aplicación se basa en disminuir el efecto de la dilatación del fluido al variar la temperatura, esto se consigue a través de membranas elásticas impermeables introducidas dentro de depósitos que están conectados al circuito.

Cuando el fluido de trabajo se dilata entra en los depósitos, esto hace que la membrana comprima los gases que se encuentran al otro lado de esta, absorbiendo así las dilataciones, y evitando la pérdida de fluido que se produciría si la válvula de seguridad se abriera por alcanzar presiones altas en el circuito.

3.2.4.5 Purga, llenado y vaciado

La purga es el proceso mediante el cual se elimina el aire existente en el circuito que entra durante el llenado y durante el funcionamiento normal de la instalación. Se puede facilitar la salida de aire si se realiza el llenado del circuito por la parte inferior.

El sistema de llenado debe ser capaz de mantener la presión del circuito aunque existan fugas. Este sistema puede ser manual o automático.

El vaciado se lleva a cabo a través de una válvula la cual se encontrará en los puntos más bajos de las tuberías de drenaje.

3.2.5 Sistema de regulación y control

La regulación y el control de una instalación pueden realizarse a través de varios elementos:

- Sensores: Se tratan de sondas que miden la temperatura del fluido.
- Controladores: Mantienen la temperatura dentro de los límites establecidos. La información la recibe de los sensores. Tras esto se activa o desactiva el dispositivo que pondrá en funcionamiento la válvula, bomba, etc.
- Actuadores: Se encargan de la activación de los dispositivos de potencia elevada. Los más comunes son los relés y los contactores.

Los sistemas de control más habituales son:

- Distribuido: El control en cada circuito se lleva a cabo por un sistema diferente.
- Centralizado: Una centralita controla todos los sensores.

3.3 Normas UNE y normativa de aplicación

El comité que regula el aprovechamiento de la energía solar térmica es el AEN/CTN 94 – ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, cuyo campo de actividad es la normalización de componentes, equipos, instalaciones y servicios que afecten al aprovechamiento térmico de la energía solar térmica.

Normas UNE asociadas al comité AEN/CTN 94

- UNE-EN-ISO 9488:2001. Energía solar. Vocabulario.
- UNE-EN 12975-1:2006+A1:2011. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12976-1:2006. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12976-2:2006. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12977-1:2012. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a media. Parte 1: Requisitos generales para los calentadores de agua solares y las instalaciones combinadas.
- UNE-EN 12977-2:2012. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas.
- UNE-EN 12977-3:2012. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 3: Métodos de ensayo del rendimiento de los acumuladores de agua de calentamiento solar.
- UNE-EN 12977-4:2012. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 4: Métodos de ensayo del rendimiento para las instalaciones solares combinadas.
- UNE-EN 12977-5:2012. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 5: Métodos de ensayo del rendimiento para los sistemas de regulación.
- UNE-EN 94002:2005. Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de agua caliente.
- UNE-EN 94003:200. Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.
- UNE-EN ISO 9806:2014. Energía solar. Captadores solares térmicos. Métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 9459-2:2008. Calentamiento solar. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria. Parte 2: Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares.

Además de las normas asociadas al comité AEN/CTN 94, existen otra serie de normas de aplicación sobre sistemas solares, su instalación y el ahorro de energía:

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Código Técnico de la Edificación (CTE). Sección HE.
- Guía ASIT de la energía solar térmica.
- DBHE-Documento Básico de Ahorro de Energía. Septiembre 2013.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.

3.4 Métodos de cálculo

La obligatoriedad de la implantación de las instalaciones solares en edificios de nueva construcción ha provocado un gran crecimiento y diversidad en los métodos de cálculos de las instalaciones solares.

Dado que no existe un método oficial o reconocido los diseñadores se orientan hacia un método de cálculo que cumpla con las normativas y que tenga el menor coste posible. Esto hace que la elección sea el que más ofertas competitivas permita que normalmente coincide con el método menos exigente.

Existen dos grandes grupos de métodos de cálculo:

- El método basado en simulación dinámica, aunque muestra más información al proyectista y existen más sistemas disponibles, el motor de cálculo utilizado es desconocido, necesita tiempos de cálculo elevados y su uso es más complejo.
- El método basado en correlaciones aunque se trata de un método de uso sencillo y de rapidez en los cálculos, sólo es aplicable a dos configuraciones de sistemas, ofrece al proyectista menos información que el de simulación dinámica y no es válido para fracciones solares altas. En este tipo de métodos se encuadra el método F-Chart.

3.4.1 Método F-Chart

El método f-Chart es también conocido como el método de las curvas f, fue desarrollado por Sandfor Klein de la Universidad de Wisconsin en 1976. Está considerado como uno de los métodos de más alto grado de fiabilidad, gracias a un estudio de su precisión donde se comparó el funcionamiento real de un sistema solar térmico con el estimado por este método. Tras el estudio se comprobó que se obtenía un error máximo del 5%.

Se trata de una herramienta que permite calcular la contribución necesaria que se debe aportar de calor para cubrir las cargas térmicas que se establezcan, así como su rendimiento medio a medio-largo plazo para la producción de A.C.S. y calefacción. Es uno de los métodos más usados para realizar el cálculo de los servicios que ofrecen los sistemas solares de baja temperatura, de esta forma se estima el dimensionado de las instalaciones solares.

Este método no se recomienda para realizar estimaciones semanales o diarias, sino que tiene una mejor aceptación en el cálculo de estimaciones medias y largas con datos mensuales.

Su aplicación se basa en averiguar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar, así como ver el funcionamiento realizando una simulación con ordenador. De esta forma se podrá estimar la aportación energética de la instalación mensualmente y el rendimiento medio a medio-largo plazo.

3.4.1.1 Desarrollo del método

Se conoce como fracción solar a la demanda de A.C.S. que la energía solar es capaz de cubrir, esta se representa con la letra f. El factor f es función de dos parámetros adimensionales (D_A y D_B). D_A es fruto de la relación entre la energía absorbida con respecto a la carga calorífica mensual necesaria y D_B es igual a la relación de las pérdidas del captador entre la carga calorífica mensual necesaria.

Las pérdidas en transporte y acumulación mensuales son despreciables para el método en comparación con la energía solar útil:

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

(3)

De donde:

Q_U = Energía solar útil captada (J/mes).

E_{AUX} = Energía auxiliar consumida (J/mes).

Q_A = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes).

P = Pérdidas en transporte y acumulación (J/mes).

El rendimiento de la instalación está definido como la fracción solar (f):

$$f = Q_U / Q_A \quad (4)$$

La ecuación usada para calcular la fracción solar en este método es la siguiente:

$$f = 1.029 * D_A - 0.065 * D_B - 0.245 * D_A^2 + 0.0018 * D_B^2 + 0.0215 * D_A^3 \quad (5)$$

La secuencia que normalmente se establece para el cálculo es la que sigue:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. 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 y formación de tablas.

La cantidad de carga térmica es la cantidad de energía que será necesaria para obtener la temperatura de referencia en los puntos de consumo a partir de la temperatura del agua fría de entrada. Esta cantidad de energía se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Q_A = C_p * Q_{ACS} * \rho * N * (T_{REF} - T_{AF}) \quad (6)$$

Donde:

Q_A = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes).

C_p = Calor específico. Para agua: 4187 J/ (Kg•°C).

Q_{ACS} = 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 del agua de red (°C).

La cantidad del A.C.S. consumida es una estimación que hay que realizar de la forma más cercana a la realidad posible, ya que una mala estimación puede ocasionar un sobredimensionamiento de la instalación y los costes derivados de éste. Para el estudio de esta instalación se han tomado los datos del Código Técnico de Edificación en su Documento Básico HE 4 sobre ahorro de energía, además de los reales obtenidos directamente de la instalación.

El rendimiento del sistema depende de las variables adimensionales D_A y D_B . D_A viene determinada como la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica mensual:

$$D_A = \frac{\text{ENERGÍA ABSORBIDA POR EL CAPTADOR}}{\text{CARGA CALORÍFICA MENSUAL}} \quad (7)$$

De donde la energía absorbida por el captador es:

$$E_A = A_C * F'_R (\tau\alpha) * R * N \quad (8)$$

Ecuación de la que:

A_C = Superficie del captador (m^2).

R = Radiación diaria media mensual que incide en la superficie de captación por unidad de área (kJ/m^2).

N = Número de días del mes.

$F'_R (\tau\alpha)$ = Factor adimensional, el cual viene dado por la expresión:

$$F'_R (\tau\alpha) = F_R (\tau\alpha)_n * \left[\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n} \right] * (F'_R / F_R) \quad (9)$$

$F_R (\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$[(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n]$ = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).

(F'_R / F_R) = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

D_B por su parte está definida como la relación de las pérdidas de energía del captador para una temperatura con respecto a la carga calorífica mensual:

$$D_B = \frac{\text{ENERGÍA PERDIDA POR EL CAPTADOR}}{\text{CARGA CALORÍFICA MENSUAL}} \quad (10)$$

De donde la energía perdida por el captador es:

$$E_P = A_C * F_R'UL * (100 - T_A) * \Delta t * K_1 * K_2 \quad (11)$$

Ecuación de la que:

A_C = Superficie del captador (m^2).

$F_R'UL = F_RUL (F_R' / F_R)$; donde:

F_RUL = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador).

T_A = Temperatura ambiente media mensual.

Δt = Intervalo de tiempo determinado en segundos (s).

K_1 = Factor de corrección por almacenamiento, se obtiene a partir de:

$$K_1 = [(MASA DE ACUMULACIÓN EN Kg) / (75 A_C)]^{-0.25} \quad (12)$$

$$37.5 < \frac{(MASA DE ACUMULACIÓN EN Kg)}{(m^2 CAPTADOR)} < 300 \quad (13)$$

K_2 = Factor de corrección para A.C.S., en el que se relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la temperatura del agua de la red y la temperatura media mensual del ambiente. Viene determinado por:

$$K_2 = 11.6 + 1.18T_{ACS} + 3.86T_R - \frac{2.32T_A}{100 - T_A} \quad (14)$$

T_{ACS} = Temperatura mínima del A.C.S.

T_R = Temperatura de la red.

T_A = Temperatura media mensual del ambiente.

Cuando se han obtenido D_A y D_B , se calcula la fracción solar (f) a partir de la ecuación (5), los valores que se obtendrán serán entorno a:

$$0 < D_A < 3$$

$$0 < D_B < 18$$

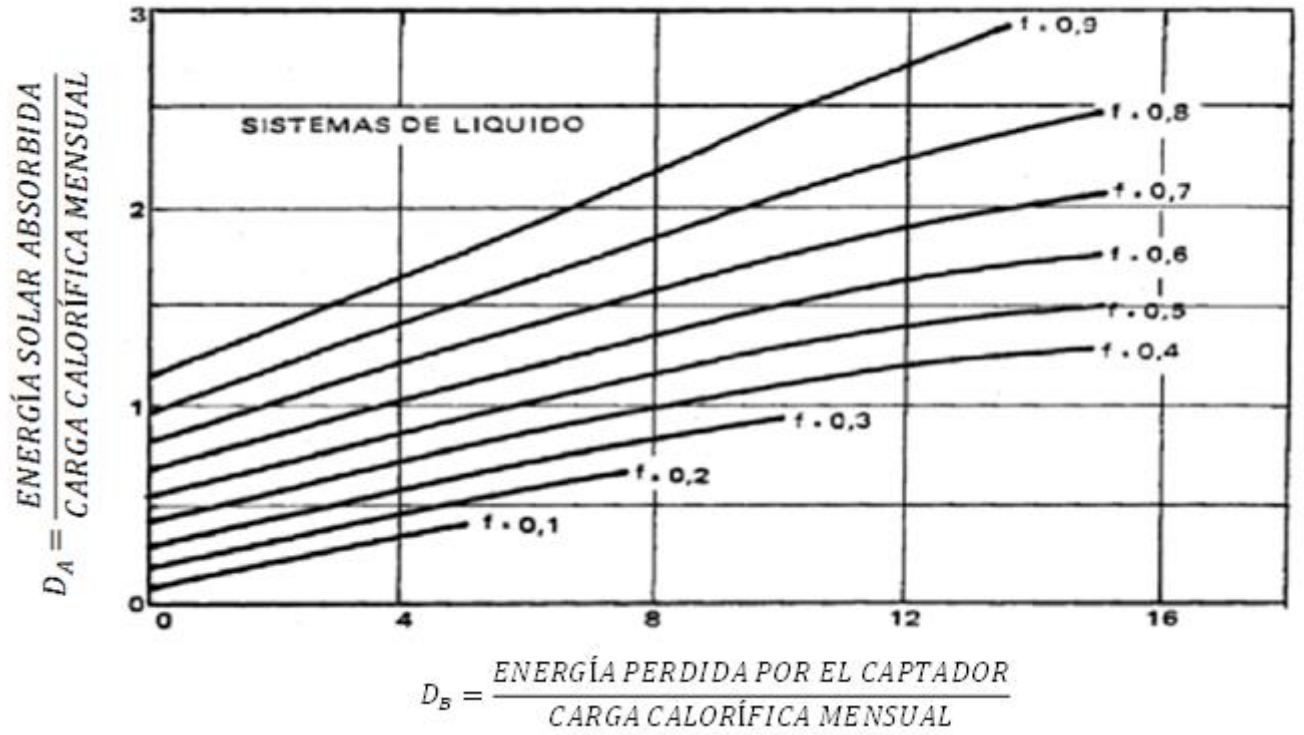


Figura 3-2: Curvas f para sistemas de fluidos. Fuente: eis.uva.es

De esta manera, se tiene que la energía útil captada cada mes será, Q_U , que equivale a:

$$Q_U = F * Q_A \quad (15)$$

Se operará todos los meses con el mismo proceso que para un mes. La cobertura de sol anual será la relación:

$$COBERTURA SOLAR ANUAL = \sum_{i=1}^{i=12} Q_U / \sum_{j=1}^{j=12} Q_A \quad (16)$$

4 DESARROLLO

4.1 Situación actual

El Gimnasio GM Barrutia es un edificio destinado a la práctica actividades lúdico-deportivas. Se sitúa en la parte sur de la Escuela Naval Militar (Figura 4-1), orientado de forma que la piscina cubierta queda ubicada en la parte más al norte del edificio y el pabellón polideportivo en la parte sur. El edificio fue construido en el año 1958 por la empresa Construcciones Navales Militares (actual Navantia) y fue acondicionado en la década de los noventa, con motivo del encuentro interacademias. El abastecimiento de A.C.S. de este edificio depende de una caldera de gasóleo C, que también se encarga de climatizar la piscina cubierta. La cubierta de este edificio (Figura 4-2) es a dos aguas con algunas superficies con cubierta plana.



Figura 4-1: Situación del gimnasio GM Barrutia. Fuente: Google maps.



Figura 4-2: Vista aérea del gimnasio GM Barrutia. Fuente: Google maps.

La sala de calderas (Figura 4-3) se encuentra situada en la planta baja del edificio gimnasio GM Barrutia de la Escuela Naval Militar de Marín. En la actualidad la instalación se encuentra dedicada a producir agua caliente para usos sanitarios y climatización del vaso de la piscina. De la misma forma, en esta sala se lleva a cabo también el sistema de filtración, desinfección y regulación del nivel de pH del agua como parte del proceso de climatización.



Figura 4-3: Sala de calderas del gimnasio GM Barrutia. Vista general. Fuente: Propia.

Saber cuál es la situación de la que se parte en cuanto a las condiciones en que se encuentran las instalaciones sometidas a estudio, es esencial para conseguir un análisis lo más correcto posible, y así poder adoptar las mejores medidas.

4.1.1 Descripción de las instalaciones

En este apartado se describirá la instalación actual encargada de cubrir las necesidades del edificio GM Barrutia.

4.1.1.1 Subconjunto generador. Calderas.

La instalación cuenta con dos calderas que producen agua caliente empleando gasóleo tipo C como combustible. Una de ellas se encuentra en funcionamiento constante mientras la segunda, muy antigua, está fuera de servicio a causa de las deficiencias que presenta, (y se conserva únicamente como reserva en caso de avería en la unidad principal, a la espera de su sustitución).

Las características técnicas de la caldera principal son las siguientes, según los datos facilitados por el fabricante:

- Modelo de grupo térmico: Tipo CPA-500 de ROCA.
- Potencia útil: 581.4 kW.
- Rendimiento: 92.2 %.
- Quemador de gasóleo: Tipo Tecno-70 L de ROCA.
- Capacidad de agua: 503 Litros.
- Presión de servicio: 3 bar.
- Temperatura máxima de operación: 100°C.
- Homologada con ** según Directiva de Rendimientos 92/42/CEE.

Dada su antigüedad, no se dispone de datos acerca de la segunda caldera, aunque según la información facilitada por el personal dedicado al mantenimiento de la sala de calderas, existe la intención de sustituirla ya que su funcionamiento a medio-largo plazo no está garantizado y además requiere de trabajos de mantenimiento complejos. Se debe añadir que su antigüedad hace que no se pueda garantizar la adecuación a la normativa vigente al respecto de emisión de humos, eficiencia térmica, etc.

4.1.1.2 Subconjunto acumulador. Acumulador de A.C.S.

En las proximidades de la sala de calderas, se encuentra un acumulador de A.C.S. con una capacidad de 3150 litros según el personal destinado al mantenimiento del mismo (Figura 4-4). Además se conocen las siguientes características:

- Presión máxima de servicio: 7 bar.
- Presión en interior del serpentín: 2.5 bar.
- Temperatura máxima de servicio: 80°C.

El estado en que se encuentra parece ser óptimo, sin tener en cuenta su ubicación, ya que se encuentra a la intemperie expuesto al ambiente exterior (aunque está protegido por un techo metálico que lo cubre parcialmente).



Figura 4-4: Acumulador de A.C.S. Fuente: Propia.

4.1.1.3 Depósitos de combustible

El depósito que en la actualidad da servicio a la caldera está ubicado en las proximidades de la sala de calderas (Figura 4-5). Este se encuentra a la intemperie y según el personal dedicado al mantenimiento del mismo tiene una capacidad de 5000 litros, lo cual hace que dado el alto consumo de la caldera, dedicada al A.C.S. y al mantenimiento de la piscina, haya que rellenar el tanque de combustible una vez a la semana.



Figura 4-5: Depósito de combustible. Fuente: Propia

4.1.2 Consumos

4.1.2.1 Consumo de gasóleo tipo C

Para el estudio de los consumos actuales de las calderas, se ha recopilado la información relativa a las recargas de gasóleo C que en la Escuela Naval Militar se efectúan semanalmente, y en particular las que tienen lugar en el depósito que corresponde al sistema de calderas del edificio del gimnasio GM Barrutia. Los valores del coste del gasóleo C tomados son la media anual en €/L de este carburante.

AÑO	CONSUMO MEDIO SEMANAL (L)	IMPORTE SEMANAL (€)	PRECIO (€/L)	IMPORTE ANUAL (€)
2013	3563	3321	0.932	172692
2014	3116	2405	0.772	125086

Tabla 4-1: Consumos medios de gasóleo C. Fuente: Cuaderno de control de llenado del depósito de gasóleo C de gimnasio GM Barrutia.

Este consumo de gasóleo C está destinado a la producción de A.C.S. y a la climatización de la piscina.

4.1.2.2 Consumo de Agua

Realmente no se conoce con exactitud el consumo de agua potable que se utiliza. El origen de esta agua es la red de abastecimiento de agua potable de la dependencia militar. Pero haciendo una estimación, al año se consumen aproximadamente unos 3600 m³ de agua potable entre el agua de la piscina, cuya capacidad del vaso se estima 1600 m³ y se vacía y se llena cada año; y el A.C.S., de la cual existe un consumo diario aproximado de unos 6,48 m³ de agua potable, dado que en este edificio usan las duchas entre 100 y 120 usuarios los cuales hacen un consumo medio de 54 litros de agua en 3 minutos cada uno. Esto hace que al año se hayan consumido aproximadamente unos 2000 m³.

Este valor, debido al consumo de A.C.S., sobrepasa lo recomendado en la normativa, por este motivo se recomendará el cambio de puntos de consumo adaptando el caudal máximo de estos a la normativa (apartado 5.1).

4.2 Diseño de la instalación solar térmica

El diseño de la instalación solar térmica que se propone en este TFG se centrará en el abastecimiento de ACS del gimnasio GM Barrutia, dejando que la caldera existente se encargue del tratamiento de la piscina.

Esto se debido a que la piscina tiene un uso principal en invierno, usándose la temporada de verano para el vaciado y llenado de la misma, por lo que la piscina tiene mayor uso cuando menos radiación solar existe haciendo menos rentable una instalación destinada a su tratamiento.

Aunque la función de la instalación solar sea el abastecimiento de ACS, todo el exceso de ACS producida se destinará al tratamiento de la piscina, disminuyendo en la medida de lo posible el consumo de gasóleo C.

4.2.1 Dimensionado

4.2.1.1 Datos de partida

Los datos con los que se inicia son:

- Gimnasio polideportivo con 43 duchas (1 de ellas para discapacitados físicos).
- Ubicado en Marín (Pontevedra).
- Latitud 42° N
- El combustible auxiliar será Gasóleo C.
- Temperatura de A.F.S. de la localidad dependiendo del mes (Tabla 4-2).

MES	TEMPERATURA
ENERO	10°C
FEBRERO	11°C
MARZO	11°C
ABRIL	13°C
MAYO	14°C
JUNIO	16°C
JULIO	17°C
AGOSTO	17°C
SEPTIEMBRE	16°C
OCTUBRE	14°C
NOVIEMBRE	12°C
DICIEMBRE	10°C

Tabla 4-2: Temperatura A.F.S. media mensual en Pontevedra. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

4.2.1.2 Cálculo de la demanda de A.C.S.

El cálculo de la demanda de A.C.S. se realizará con los datos estadísticos establecidos por el DB-HE4, ya que aunque en el gimnasio GM Barrutia las duchas tienen un caudal de 18 l/min se recomendará disminuir este caudal para cumplir con la norma (apartado 5.1). Dado que el consumo actual es necesario para obtener el ahorro se realizará el cálculo de consumo actual de A.C.S.

Teniendo en cuenta el caudal actual y estimando 3 minutos por servicio se tendrán:

$$18 \text{ L/min} \times 3 \text{ min} = 54 \text{ L/día de ACS a } 60^{\circ}\text{C por servicio.}$$

Para todos los servicios se obtendría una demanda de:

$$43 \text{ servicios} \times 54 \text{ L/día} = 2322 \text{ L de ACS a } 60^{\circ}\text{C.}$$

Como el número de usuarios son entre 100 y 120 personas por día, se tiene que el valor de los servicios/ usos diarios por ducha aumentará a 120, con lo que se tiene una demanda de:

6480 L/día de ACS a 60°C.

Por lo que al año sin tener en cuenta el mes de Agosto y la mitad del mes de Julio se tiene una demanda de:

6480 L/día X (365-45) días = 2073600 L/año.

Lo que hacen unos 2000 m³/año.

El cálculo del consumo de A.C.S. según la norma se obtiene a partir de los datos estadísticos reflejados en la Tabla 4-3, donde queda asignada la cantidad de agua media que gasta cada elemento dependiendo del tipo de edificio en que se encuentre.

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
Hostal / Pensión*	35 por cama
Residencia (ancianos, estudiantes,...)	55 por cama
Vestuarios / Duchas colectivas	15 por servicio
Escuelas	3 por alumno
Cuarteles	20 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Administrativos	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 4-3: Cálculo de consumo de A.C.S. a una temperatura de referencia de 60°C. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

Aquí se puede ver cuál es el consumo de A.C.S. de unos “Vestuarios/Duchas colectivas” por servicio, que se tendrá en cuenta para hacer una estimación del consumo que se tendrá en las duchas del edificio.

Posteriormente para el cálculo de la contribución solar anual, simulando una ocupación plena de los servicios se realizará una estimación de demandas mensuales.

Para el edificio Gimnasio GM Barrutia, en el cual hay un total de 43 duchas, siguiendo la norma se obtendría una demanda:

$$43\text{servicios} \times 15\text{L/día} = 645 \text{ L de ACS a } 60^{\circ}\text{C}.$$

Teniendo en cuenta el número de usuarios que dan uso a las duchas, entre 100 y 120 personas por día, se observa que este volumen de ACS no es acorde con las necesidades, por lo cual se aumentará el valor de servicios diarios por ducha a 120, con lo que se tendría una demanda de:

$$1800\text{L/día de ACS a } 60^{\circ}\text{C}.$$

Lo que al año, sin tener en cuenta el mes de Agosto y medio mes de Julio, supondría una demanda de:

$$1800\text{L/día} \times (365-45) = 576000 \text{ L/año}.$$

Lo que hacen $576 \text{ m}^3/\text{año}$.

4.2.1.3 Contribución solar mínima

Se define la contribución solar mínima como la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para A.C.S. obtenidos a partir de los valores mensuales.

En la Tabla 4-4 se encuentra la contribución solar mínima anual exigida para cubrir las necesidades de A.C.S. dependiendo de la zona climática en que se vaya a colocar la instalación así como de los niveles de demanda a una temperatura de referencia de 60°C .

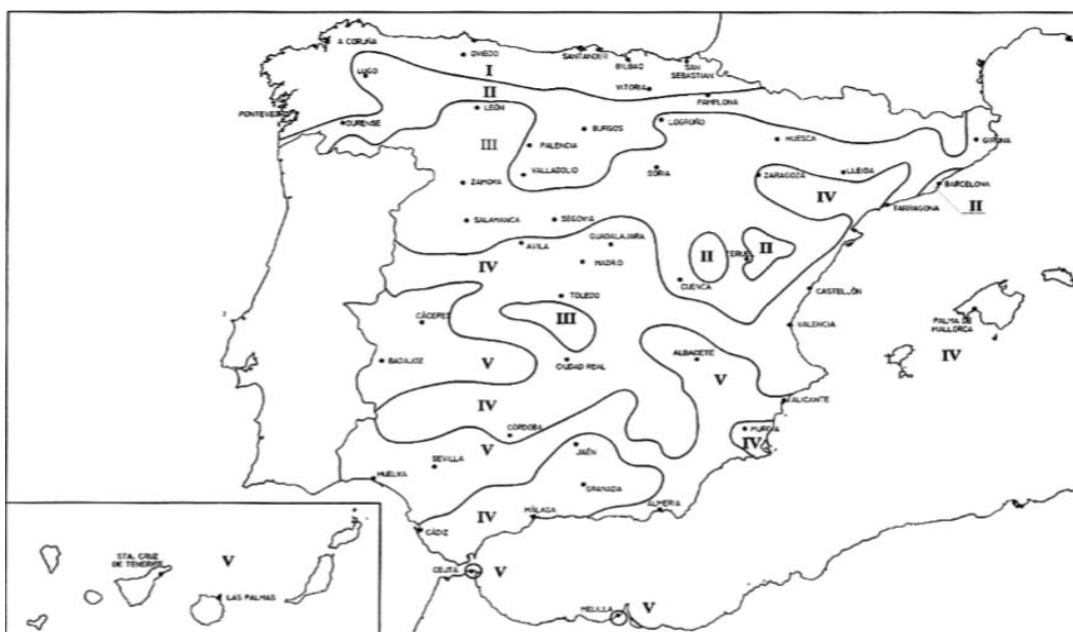


Figura 4-6: Zonas climáticas. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona Climática				
	I	II	III	IV	V
50-5000	30	30	50	60	70
5000-6000	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 4-4: Contribución solar mínima en %. Caso general. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

En la Figura 4-6 se observa que Marín se encuentra en la zona I y dado que el consumo (1800 L/día) está comprendido entre 500 y 5000 l/día, la contribución solar mínima será del 30%.

Es necesario observar, además de lo anterior, que:

- La contribución solar mínima no podrá superar ningún mes el 110% de la demanda de A.C.S.
- La contribución solar mínima no podrá superar el 100% de la demanda de A.C.S. en tres meses consecutivos.

4.2.1.4 Demanda de energía térmica.

El diseño de la instalación solar térmica requiere el conocimiento de la cantidad de energía térmica necesaria para el abastecimiento de A.C.S.:

$$D_{ACS} = Q_{ACS} * \rho * C_P * (T_{USO} - T_{AF}) \quad (17)$$

Donde:

D_{ACS} = Demanda de energía térmica para A.C.S. (kW/día).

Q_{ACS} = Consumo de A.C.S. (litros/ día). Se vio en el apartado 4.2.1.2 y es de 1.8 m³/día de A.C.S. a 60°C.

ρ = Densidad de agua (1 kg/litro).

C_P = Calor específico del agua (0.00116 kW/kg°C).

T_{USO} = Temperatura de agua de consumo (°C).

T_{AF} = Temperatura de agua fría (°C).

Conociendo el consumo diario de A.C.S. se puede calcular el cantidad de energía térmica mensual a partir de la ecuación (17) y teniendo en cuenta el total de días de cada mes que se consume A.C.S.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
DÍAS	25	28	31	30	31	30
Q_{ACS} (l/día)	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Q_{ACS} (l/mes)	43200	50400	55800	54000	55800	54000
P (kg/l)	1	1	1	1	1	1
C_P (kW/kg°C)	0,00116	0,00116	0,00116	0,00116	0,00116	0,00116
T_{USO} (°C)	60	60	60	60	60	60
T_{AF} (°C)	10	11	11	13	14	16
D_{ACS} (kW/día)	104,400	102,312	102,312	98,136	96,048	91,872
D_{ACS} (kW/mes)	2610	2864,74	3171,67	2944,08	2977,49	2756,16

Tabla 4-5: Demanda mensual de A.C.S. Primer semestre. (kW/mes). Fuente: Propia.

	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
DÍAS	15	0	30	31	30	25
Q_{ACS} (l/día)	1800	0	1800	1800	1800	1800
Q_{ACS} (l/mes)	27000	0	54000	55800	54000	43200
P (kg/l)	1	1	1	1	1	1
C_p (kW/kg°C)	0,00116	0,00116	0,00116	0,00116	0,00116	0,00116
T_{USO} (°C)	60	60	60	60	60	60
T_{AF} (°C)	17	17	16	14	12	10
D_{ACS} (kW/día)	89,784	0	91,872	96,048	100,224	104,4
D_{ACS} (kW/mes)	1346,76	0	2756,16	2977,488	3006,72	2610

Tabla 4-6: Demanda mensual de A.C.S. Segundo semestre. (kW/mes). Fuente: Propia.

4.2.1.5 Energía solar aportada

Para obtener la energía solar aportada se utilizará el método F-Chart tratado en el apartado □. Los datos se obtendrán a partir de las tablas F-Chart, los cuales resultan a partir de los datos obtenidos en los apartados anteriores. De esta manera la energía solar aportada será:

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
USO DE A.C.S. (%)	80	100	100	100	100	100
CONTRIBUCIÓN SOLAR (kWh/mes)	463	655	1019	926	1020	1033
CONTRIBUCIÓN SOLAR (%)	17	21	31	31	33	36

Tabla 4-7: Energía solar aportada. Primer semestre. Fuente: Tablas F-Chart.

	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
USO DE A.C.S. (%)	50	0	100	100	100	80
CONTRIBUCIÓN SOLAR (kWh/mes)	998	0	1278	1160	669	467
CONTRIBUCIÓN SOLAR (%)	68	0	43	37	21	17

Tabla 4-8: Energía solar aportada. Segundo semestre. Fuente: Tablas F-Chart.

Con estos datos se obtiene una energía solar aportada de 9688 kWh/año, lo cual supone un 31% de contribución solar anual superando el 30% mínimo que es necesario.

4.2.1.6 Balance energético anual

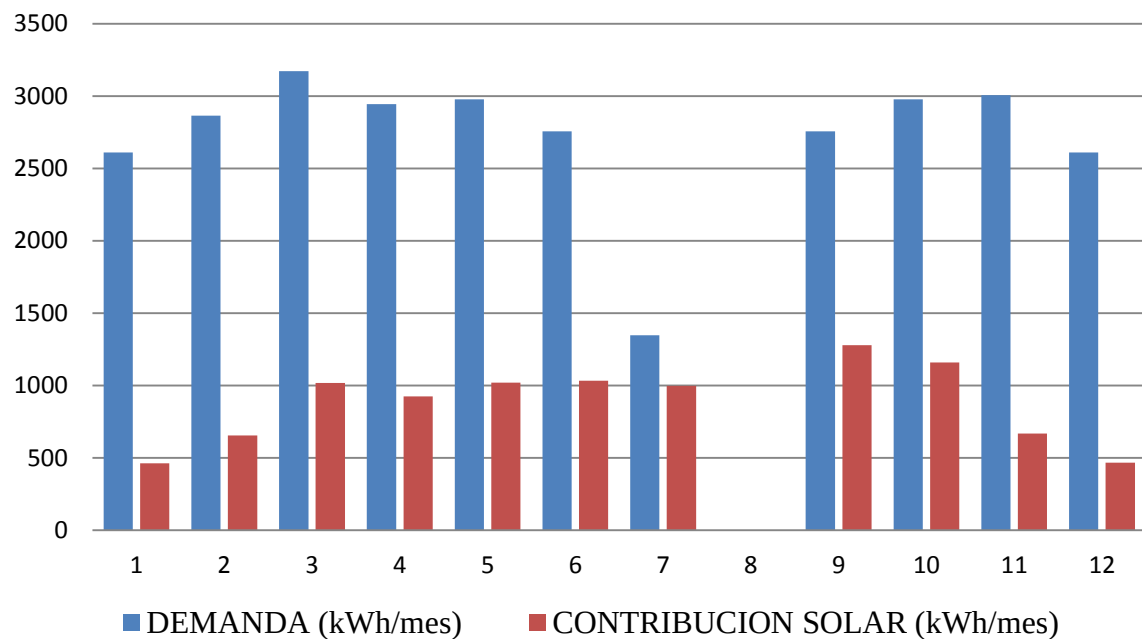


Figura 4-7: Balance energético anual. Fuente: Tablas F-Chart.

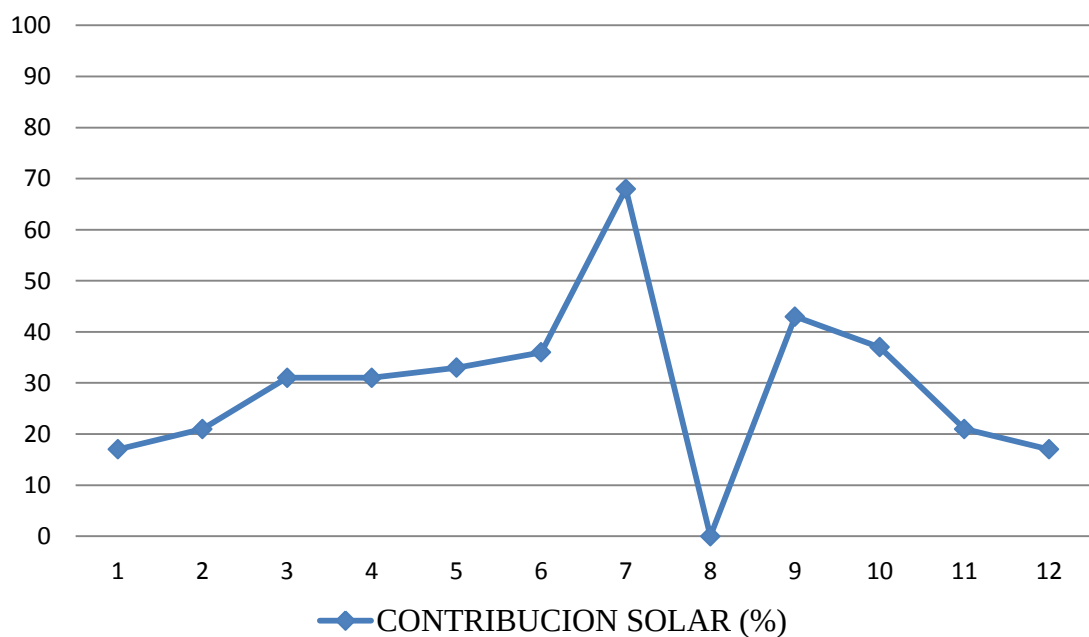


Figura 4-8: Contribución solar anual. Fuente: Tablas F-Chart.

En las gráficas se ve como en el mes de Agosto la contribución solar y la demanda son iguales a 0. Esto se debe a que en ese mes no existe consumo de A.C.S. en el edificio, debido a que es el periodo de tratamiento de la piscina.

4.2.1.7 Superficie de los captadores y volumen de acumulación

La superficie necesaria de captadores y el volumen de acumulación han de tener una relación tal que se cumpla la condición:

$$50 \leq \frac{V}{A} < 180 \quad (18)$$

Siendo:

V: Volumen de acumulación (litros).

A: Área de captación (m^2).

50: Relación de consumo en horas de captación.

180: Relación de consumo en horario nocturno.

Para que la contribución solar supere el mínimo de 30% requerido y teniendo en cuenta la demanda de A.C.S. en el momento de mayor consumo, la cual es de 500L, en las tablas F-Chart se simula una instalación de 20 m^2 de colectores y una unidad de almacenamiento de 1000 L. Con estas dimensiones además se cumple la condición de la ecuación (18), de forma que:

$$\frac{1000}{20} = 50l/m^2$$

$$50 \leq 50 < 180$$

Aparte de esta recomendación existen otras no contempladas en el DB-HE4, como son:

$$60 \leq \frac{D}{A} \leq 100 \quad (19)$$

$$0,8 \leq \frac{V}{D} \leq 1,2 \quad (20)$$

$$1,25 \leq \frac{100A}{D} \leq 2 \quad (21)$$

Siendo:

D: Demanda diaria (litros/día).

4.2.1.8 Sistema de Intercambio

Con los datos obtenidos en las tablas F-Chart y teniendo en cuenta las condiciones del apartado 3.2.3 para un intercambiador incorporado se necesita una superficie de intercambiador de al menos 3 m^2 .

$$\frac{S}{A} \geq 0,15$$

$$S \geq 0,15 * 20$$

$$S \geq 3m^2$$

4.2.1.9 Pérdidas por orientación e inclinación

En este apartado tiene como objetivo determinar los límites en cuanto a orientación e inclinación de los módulos teniendo en cuenta las pérdidas máximas admisibles. Estas pérdidas estarán en función de:

- El ángulo de inclinación (β), que es el formado entre la superficie de los módulos con el plano. β será 0° cuando los módulos se encuentren en posición horizontal, y 90° cuando la posición sea vertical.
- El ángulo de acimut (α), que es el formado entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano de lugar. α será 0° cuando los módulos estén orientados al sur, -90° cuando estén orientados al este y $+90^\circ$ cuando lo estén al oeste.

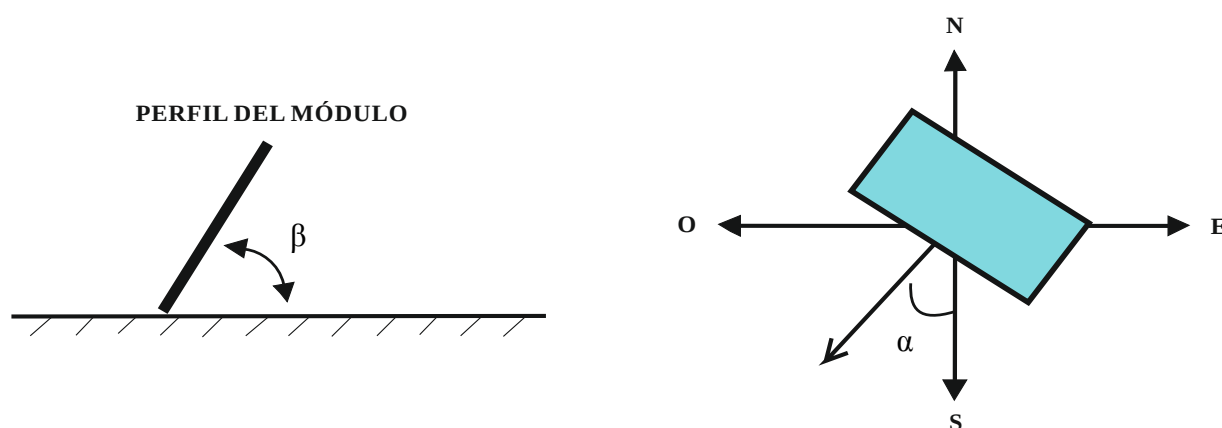


Figura 4-9: Orientación e inclinación de los módulos. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

La orientación e inclinación de los módulos así como las posibles sombras sobre los mismos deberán ser inferiores a los límites de la Tabla 4-9.

CASO	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	SOMBRAS	TOTAL
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Tabla 4-9: Pérdidas límite. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

Como se ve en la Tabla 4-9 existen tres casos. El caso de superposición arquitectónica es aquel en el que la colocación de los captadores es paralela a la envolvente del edificio. En la integración arquitectónica los módulos tienen tanto una función energética como estructural, es decir son elementos constructivos del edificio. Una de las reglas fundamentales para obtener la integración o superposición arquitectónica es la de mantener la alineación de los ejes principales del edificio en la medida de lo posible.

Siempre se tiene que cumplir que las pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombras y pérdidas totales estén por debajo de los límites estipulados con respecto a los valores que se obtienen con orientación e inclinación óptimas y sin sombra alguna.

La orientación sur es la orientación óptima. La inclinación óptima depende del periodo de utilización:

- Si la demanda es constante anual, la inclinación será la latitud geográfica en que se encuentre.
- Si la demanda es principalmente en invierno, la inclinación será la latitud geográfica +10°.
- Si la demanda es principalmente en verano, la inclinación será la latitud geográfica -10°.

Los límites de inclinación aceptable se determinan a partir de los límites de pérdidas establecidos en la Tabla 4-9 y de la orientación establecida, usando la Figura 4-10.

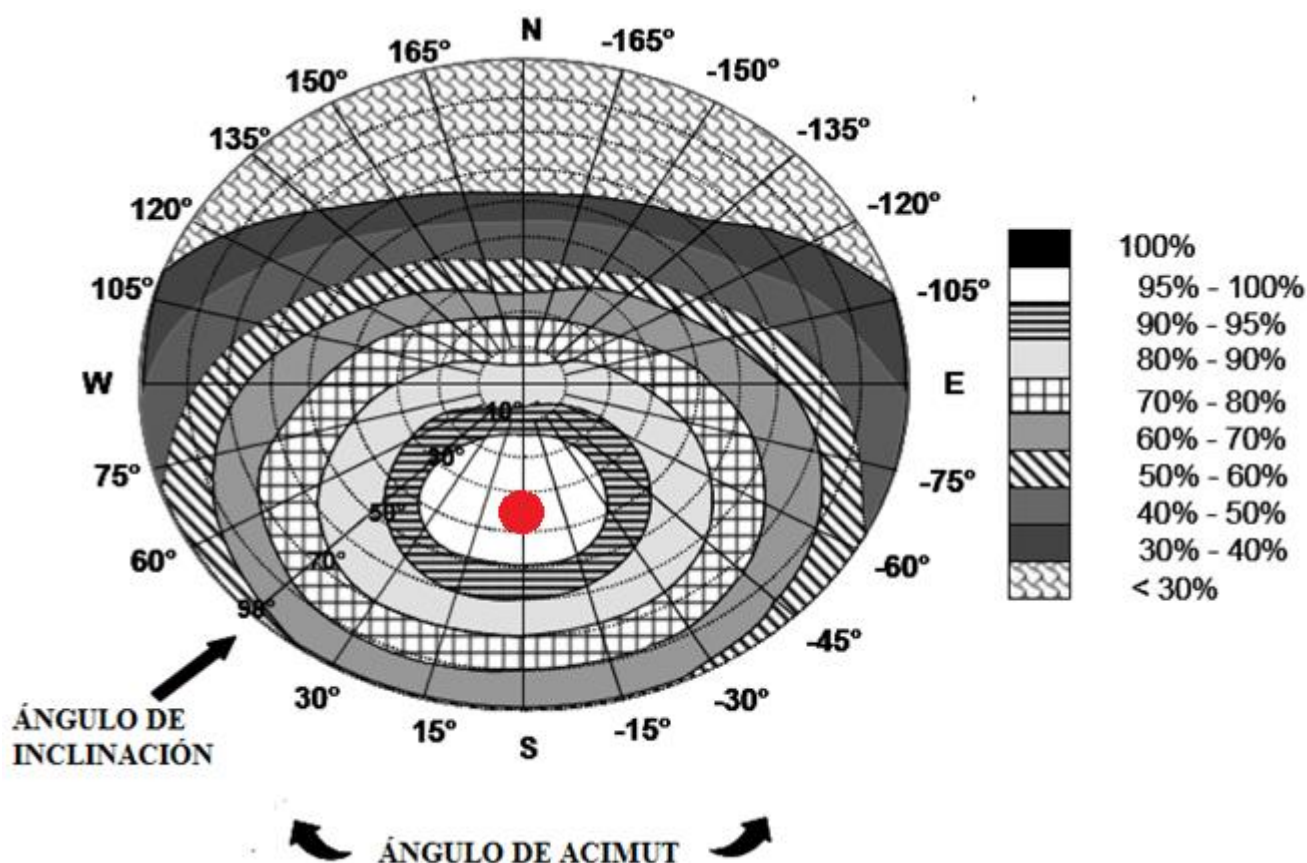


Figura 4-10: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

Los valores de inclinación máxima y mínima vienen determinados por los puntos de intersección de la recta de acimut con el límite de pérdidas. Si esta intersección no existiera las pérdidas serían superiores a las permitidas.

Dado que la demanda de A.C.S. del gimnasio GM Barrutia es principalmente en invierno y que el edificio se encuentra en latitud 43°N , la inclinación óptima de la instalación será 53° . La orientación óptima será Sur.

4.2.1.10 Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras

Este cálculo se basa en comparar el perfil de obstáculos que pueden afectar a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol. Los datos obtenidos serán las pérdidas de radiación solar que experimenta la superficie de estudio a causa de las sombras que le afecten. Estas pérdidas se tomarán como el porcentaje de radiación solar que incidiría en la superficie donde se colocarán los módulos si no existieran sombras.

Para la obtención de las pérdidas se deben localizar los principales obstáculos que afecten a los futuros módulos, mediante las coordenadas de posición de acimut (ángulo respecto a la orientación de los módulos) y de elevación (ángulo de inclinación respecto a la horizontal). El perfil de obstáculos se representará en el diagrama de la Figura 4-11, donde se muestra la banda de trayectorias del Sol a lo largo del año. Esta banda está dividida en partes delimitadas por las horas solares (antes mediodía solar negativas y después de este positivas) y nombradas por números y letras.

Las porciones de la Figura 4-11 muestran lo que el Sol recorre en un periodo de tiempo por lo que tiene una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de donde se encontrarían los módulos. De esta forma, cuando un obstáculo cubre una de las partes crea una pérdida de irradiación. Para este cálculo se utiliza la tabla de referencia que más se adecue de entre la Tabla 4-10, Tabla 4-11, Tabla 4-12. Las pérdidas por sombreado se calculan comparando el perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del Sol. Para este cálculo se suman las partes ocultas por el perfil representado de los obstáculos. Si una parte está parcialmente oculta se utilizara el factor de llenado, el cual dependiendo de la fracción oculta será: 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

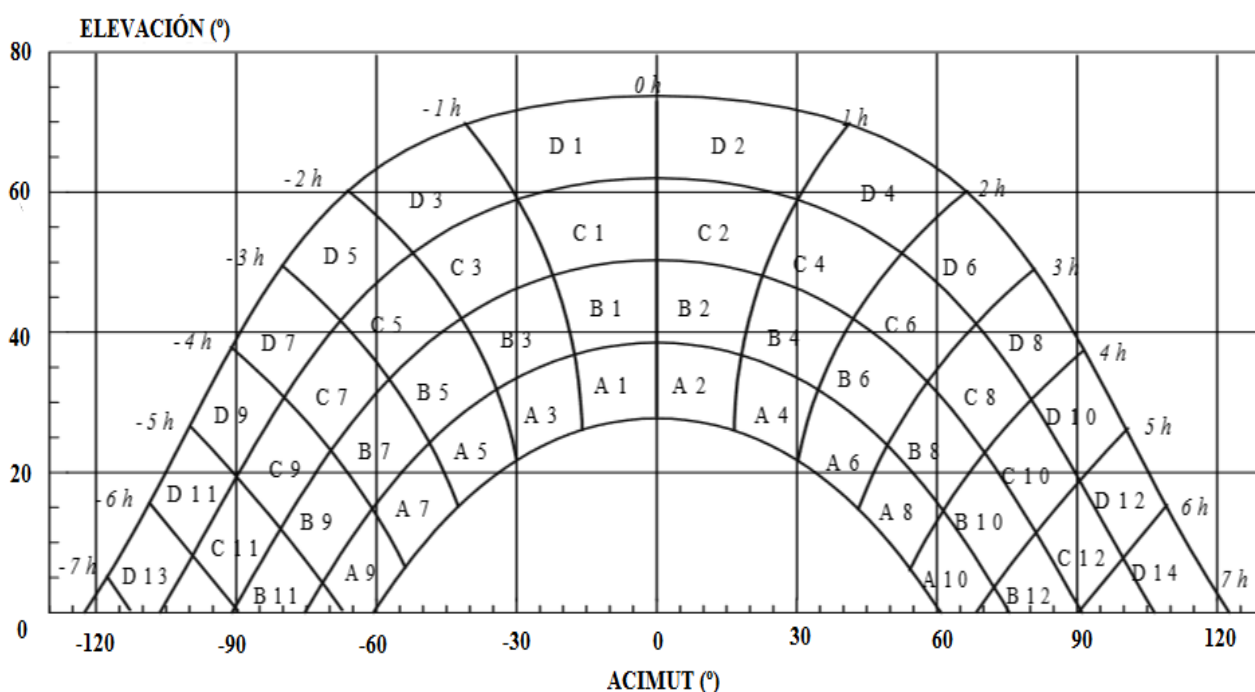


Figura 4-11: Diagramas de trayectorias del Sol. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

	$\beta=35^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=0^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,12	0,44	0,00	0,01	0,18	1,05	0,00	0,01	0,02	0,15	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,13	0,41	0,62	1,49	0,05	0,32	0,70	2,23	0,23	0,50	0,37	0,10	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,00	0,95	1,27	2,76	0,52	0,77	1,32	3,56	1,66	1,06	0,93	0,78	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,84	1,50	1,83	3,87	1,11	1,26	1,85	4,66	2,76	1,62	1,43	1,68	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,70	1,88	2,21	4,67	1,75	1,60	2,20	5,44	3,83	2,00	1,77	2,36	2,24	1,60	1,92	4,14
1	3,17	2,12	2,43	5,04	2,10	1,81	2,40	5,78	4,36	2,23	1,98	2,69	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2,11	1,80	2,30	5,73	4,40	2,23	1,91	2,66	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,70	1,89	2,01	4,46	1,75	1,61	2,00	5,19	3,82	2,01	1,62	2,26	2,93	2,08	2,23	5,02
6	1,79	1,51	1,65	3,63	1,09	1,26	1,65	4,37	2,68	1,62	1,30	1,58	2,14	1,82	2,00	4,46
8	0,98	0,99	1,08	2,55	0,51	0,82	1,11	3,28	1,62	1,09	0,79	0,74	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,11	0,42	0,52	1,33	0,05	0,33	0,57	1,98	0,19	0,49	0,32	0,10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,10	0,40	0,00	0,02	0,15	0,96	0,00	0,02	0,02	0,13	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla 4-10: Tabla de referencia para el cálculo de sombras. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

	$\beta=90^\circ ; \alpha=-30^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=-60^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=-60^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,05	0,60	1,28	0,00	0,04	0,60	2,09	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,43	1,17	1,38	2,30	0,27	0,91	1,42	3,49	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,42	1,82	1,98	3,15	1,51	1,51	2,10	4,76	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,43	2,24	2,24	3,51	2,25	1,95	2,48	5,48	3,36	2,37	2,56	4,61
3	4,12	2,29	2,18	3,38	2,80	2,08	2,56	5,68	3,49	2,06	2,10	3,67
1	4,05	2,11	1,93	2,77	2,78	2,01	2,43	5,34	2,81	1,52	1,44	2,22
2	3,45	1,71	1,41	1,81	2,32	1,70	2,00	4,59	1,69	0,78	0,58	0,53
4	2,43	1,14	0,79	0,64	1,52	1,22	1,42	3,46	0,44	0,03	0,05	0,24
6	1,24	0,54	0,20	0,11	0,62	0,67	0,85	2,20	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,40	0,03	0,06	0,31	0,02	0,14	0,26	0,92	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,01	0,06	0,12	0,39	0,02	0,04	0,03	0,02	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,01	0,13	0,45	0,00	0,01	0,07	0,14	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,36

Tabla 4-11: Tabla de referencia para el cálculo de sombras. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

	$\beta=90^\circ ; \alpha=30^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=-30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,06	0,01	0,15	0,51	0,00	0,00	0,08	0,16	0,00	0,01	0,27	0,78	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,56	0,06	0,14	0,43	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,21	0,33	0,76	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,80	0,04	0,07	0,31	0,02	0,13	0,31	1,02	0,21	0,18	0,27	0,70	1,34	1,28	1,73	3,79
5	3,06	0,55	0,22	0,11	0,64	0,68	0,97	2,39	0,10	0,11	0,21	0,52	2,17	1,79	2,21	4,70
3	4,14	1,16	0,87	0,67	1,55	1,24	1,59	3,70	0,45	0,03	0,05	0,25	2,90	2,05	2,43	5,20
1	4,87	1,73	1,49	1,86	2,35	1,74	2,12	4,73	1,73	0,80	0,62	0,55	3,12	2,13	2,47	5,20
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2,85	2,05	2,38	5,40	2,91	1,56	1,42	2,26	2,88	1,96	2,19	4,77
4	5,02	2,34	2,02	3,29	2,86	2,14	2,37	5,53	3,59	2,13	1,97	3,60	2,22	1,60	1,73	3,91
6	4,46	2,28	2,05	3,36	2,24	2,00	2,27	5,25	3,35	2,43	2,37	4,45	1,27	1,11	1,25	2,84
8	3,54	1,92	1,71	2,98	1,51	1,61	1,81	4,49	2,67	2,35	2,28	4,65	0,52	0,57	0,65	1,64
10	2,26	1,19	1,19	2,12	0,23	0,94	1,20	3,18	0,47	1,64	1,82	3,95	0,02	0,10	0,15	0,50
12	1,17	0,12	0,53	1,22	0,00	0,09	0,52	1,96	0,00	0,19	0,97	2,93	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,22	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,08

Tabla 4-12: Tabla de referencia para el cálculo de sombras. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección HE4.

Dado que la superficie donde irán colocados los captadores no recibe sombra alguna no se producen pérdidas por esta causa.



Figura 4-12: Superficie de colocación de captadores. Fuente: Google Maps.

5 PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

5.1 Sustitución de las alcachofas

Esta propuesta se debe a que el caudal actual de las alcachofas (18 L/min) supera en gran medida al establecido en la norma, se propone la disminución del caudal de salida de agua haciéndolo acorde a la norma. De esta forma se disminuiría el consumo de agua y con él, el consumo de energía.

Como posible sustitución a la actual grifería se propone una alcachofa de 1/2", con caudal de 5L/min. Aunque la propuesta tiene un caudal ajustable entre 5 L/min y 28 L/min, se fijaría en 5 L/min, haciéndolo lo más acorde posible a la norma.



Figura 5-1: Alcachofa de 1/2" con caudal ajustable. Fuente: ecologicbarna.

5.2 Instalación solar térmica

Todos los datos sobre superficie de captación, consumo, acumulador, contribución solar... están calculados teniendo en cuenta el consumo por servicio establecido en la norma (Tabla 4-3). Para conseguir este caudal en primeramente es necesario ello sustituir las alcachofas actuales por las establecidas en el apartado 5.1.

En este apartado se llevará a cabo la propuesta tanto del sistema de captación, como del acumulador y de los circuitos hidráulicos. Además se realizará un estudio económico aproximado teniendo en cuenta ahorros, consumos y costes de la instalación.

5.2.1 Superficie de captación

Los colectores solares estarán ubicados en la parte Norte del edificio (Figura 4-12), donde no existe sombra que provoque pérdidas al sistema. Los paneles estarán orientados al Sur (Figura 5-2), formando así un ángulo de 60° con las líneas de construcción del edificio (Figura 5-3). Además, debido a la latitud en la que se encuentra el edificio (43° N) y a la época del año en la que se dará un mayor uso a la instalación, la inclinación de los paneles será de 53° con la horizontal. Para conseguir un mínimo del 30% de la contribución solar la superficie de captación será de 20m^2 , divididos en 5 grupos de 2 paneles cada uno, con lo que cada grupo contará con 4m^2 de superficie.

Aunque la orientación propuesta es la que menos pérdidas provoca, la tendencia al colocar los módulos de captación es siguiendo las líneas de construcción del edificio. De esta manera la orientación sería de 60° al Suroeste.

El motivo de seleccionar la orientación Sur es, además del menor valor de pérdidas, que al seguir las líneas de construcción del edificio no se obtendría la contribución solar mínima (30%), obteniéndose una contribución solar del 26%.

Debido a que desde la mitad del mes de Julio hasta Septiembre, según el personal de mantenimiento de la Escuela Naval Militar, se inhabilitan los puntos de consumo mientras se lleva a cabo el mantenimiento de la piscina, se propone el cubrimiento de los paneles solares durante este periodo de tiempo.

Si no se desea cubrir los paneles, se propone otra alternativa consistente en el vaciado del líquido portador de calor del circuito primario (Figura 5-7) durante la temporada de mantenimiento, pero hace necesario el relleno de la instalación cuando vuelva a estar operativa.

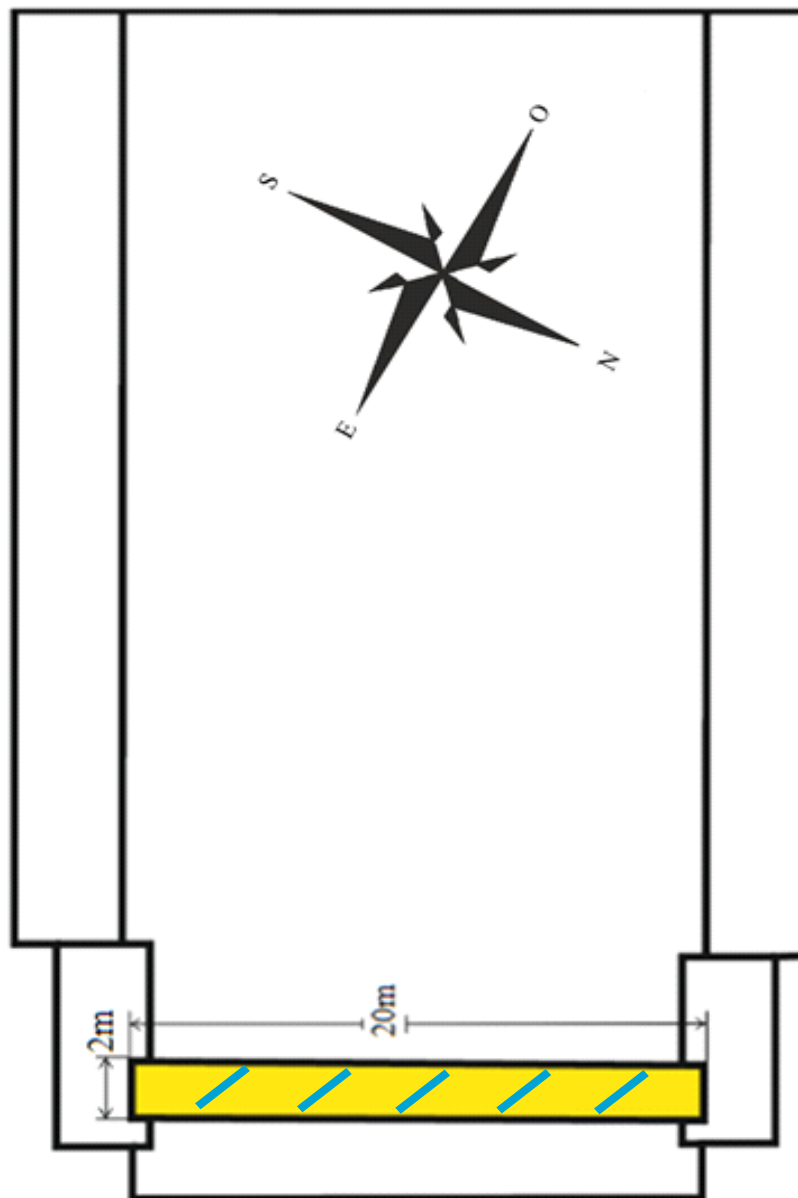


Figura 5-2: Orientación de los captadores (1). Fuente: Propia.



Figura 5-3: Orientación de los captadores (2). Fuente: Propia.

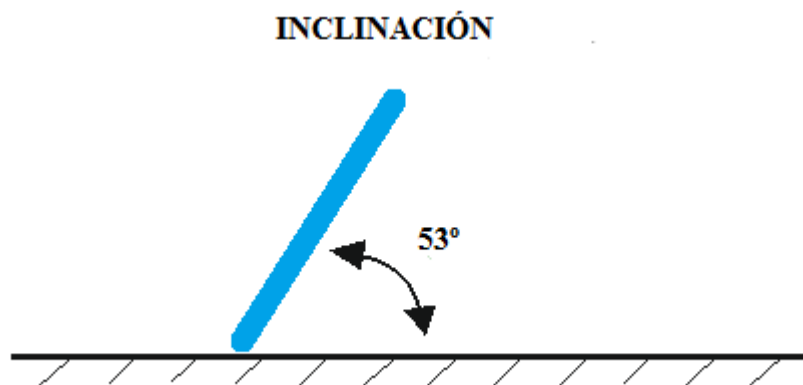


Figura 5-4: Inclinación de los colectores. Fuente: Propia.

En la Figura 5-2 se observan 5 grupos de paneles de 4 m² cada grupo, es decir, cada grupo consta de 2 paneles de 2 m² cada uno. La orientación y la separación entre paneles se observa en la Figura 5-3, de forma que entre cada grupo existe una distancia de 4 m. Todos los paneles quedan orientados al Sur, formando un ángulo de 60° con las líneas de construcción del edificio. En la Figura 5-4 se indica el ángulo de inclinación de los paneles, siendo este de 53° con la horizontal.

5.2.2 Acumulador e intercambiador.

Se propone la sustitución del acumulador de A.C.S. actual por un acumulador de 1000 L, ya que dado el consumo por servicio según la normativa (Tabla 4-3), con una capacidad de almacenamiento de 1000 L se cubriría la demanda del momento de máximo consumo diario (500 L).

Debido a que será un acumulador centralizado para todos los puntos de consumo se opta por un acumulador, en cuyo interior se encontrará un serpentín por el cual circulará el líquido portador del calor que se transferirá al agua de la red (Figura 5-7). Este serpentín es el intercambiador de calor, y deberá tener una superficie de 3 m².



Figura 5-5: Ubicación del acumulador actual. Fuente: Google Maps.

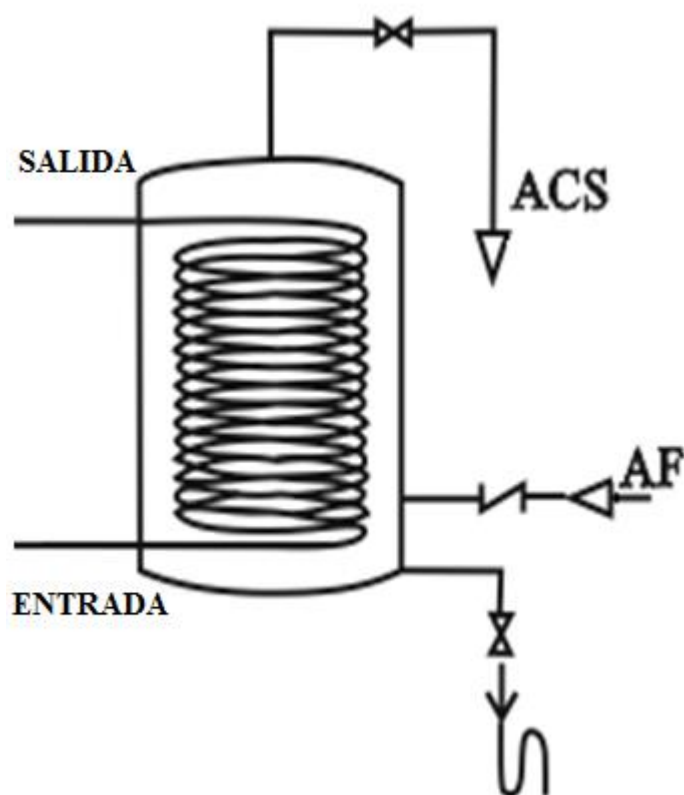


Figura 5-6: Interacumulador. Fuente: Propia.

5.2.3 Circuitos hidráulicos

El circuito primario será el que porte el líquido desde los captadores hasta el interacumulador. La colocación del interacumulador en el lugar del acumulador actual permitiría el uso del actual circuito secundario, que transporta el A.C.S. desde el acumulador a los puntos de consumo.

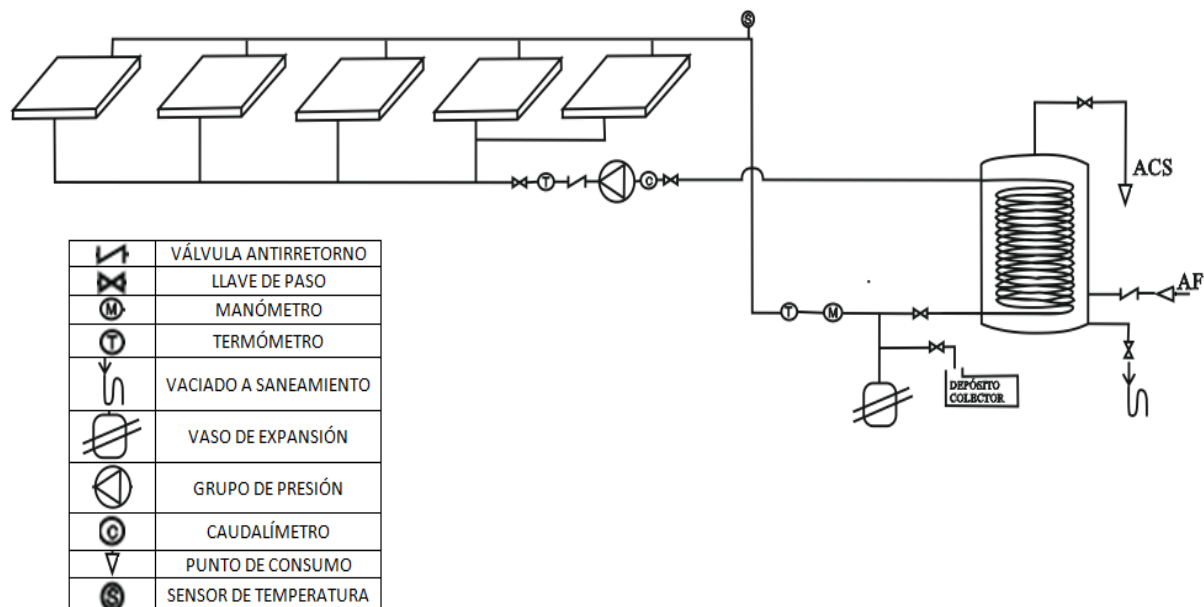


Figura 5-7: Circuito primario de la instalación solar térmica. Fuente: Propia.

5.2.4 Estudio económico básico orientativo

Se realizará un estudio sobre ahorro de agua y de combustible, se estudiará el presupuesto de las mejoras y el periodo de amortización.

5.2.4.1 Consumos

5.2.4.1.1 Agua

Con la propuesta de la disminución del caudal de los puntos de consumo para adaptarlo a la normativa, se disminuirá el consumo de A.C.S. de 6,48 m³/día a 1,8 m³/día (apartado 4.2.1.2). Aunque el agua proviene de la red de abastecimiento de agua potable de la dependencia militar y su consumo no tenga un coste directo, si tiene un coste indirecto, ya que la cantidad de agua a tratar para hacerla apta para el consumo humano es 3,5 veces menor. Por lo que gracias al cambio de grifería se ahorrarían aproximadamente 4,68 m³/día de A.C.S., lo que al año supone un ahorro de 1498 m³.

5.2.4.1.2 Gasóleo C

Para realizar el cálculo del consumo de gasóleo C se necesita hacer primeramente un cálculo sobre cuanta energía es necesaria para calentar los 2000 m³/año de agua que la caldera calienta actualmente (apartado 4.2.1.2).

$$Q = m * C_e * \Delta T$$

(22)

De donde:

m: Masa de agua a calentar ($2 \cdot 10^6$ kg).

C_e : Calor específico del agua líquida ($4180 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$).

ΔT : Incremento de temperatura ($60^\circ C - 13,4^\circ C = 46,6^\circ C$). $13,4^\circ C$ es la temperatura media anual del agua de la red. $60^\circ C$ es la temperatura de referencia.

Una vez realizados los cálculos se obtiene que la energía necesaria para calentar los $2000 \text{ m}^3/\text{año}$ son:

$$Q_{\text{sin mejoras}} = 389576 \text{ MJ}$$

Tras la propuesta de sustitución de las alcachofas se disminuye el consumo hasta $576 \text{ m}^3/\text{año}$ (apartado 4.2.1.2), con lo que se produce un ahorro de $1424 \text{ m}^3/\text{año}$ de A.C.S. La energía necesaria para calentar los 576 m^3 de agua se calcula siguiendo la ecuación (22) resultando:

$$Q_{\text{CON ALCACHOFAS}} = 112198 \text{ MJ}$$

Gracias a la instalación del sistema solar térmico la energía necesaria para calentar los $576 \text{ m}^3/\text{año}$ de agua por parte de la caldera se ve reducida en un 31%. Reduciéndose el volumen de agua a calentar por la caldera a $398 \text{ m}^3/\text{año}$, con lo que la instalación solar se encarga de calentar los $178 \text{ m}^3/\text{año}$ restantes que en términos energéticos, aplicando la ecuación (22) son:

$$Q_{\text{CON MEJORAS}} = 77526 \text{ MJ}$$

Consiguiendo una reducción de energía de:

$$Q_{\text{SIN MEJORAS}} - Q_{\text{CON MEJORAS}} = 312050 \text{ MJ/año.}$$

5.2.5 Cálculo de consumo de gasóleo C

Para el cálculo del consumo de gasóleo C utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Q = V * PCI * \eta_{\text{CALDERA}} \quad (23)$$

De donde:

Q: Energía necesaria para calentar el volumen de agua (MJ).

V: Volumen de combustible necesario para producir la energía necesaria para calentar el volumen de agua (m^3).

PCI: Poder calorífico inferior del combustible que se emplea en la instalación. (35928 MJ/m^3).

η_{CALDERA} : Rendimiento de la caldera. (92,2%).

El volumen necesario para calentar 2000 m³/año de agua sería:

$$V_{\text{SIN MEJORAS}} = 11.76 \text{ m}^3/\text{año de gasóleo C.}$$

El volumen necesario para calentar 398 m³/año de ACS sería:

$$V_{\text{CON MEJORAS}} = 2.34 \text{ m}^3/\text{año de gasóleo C.}$$

Se observa una reducción de:

$V_{\text{SIN MEJORAS}} - V_{\text{CON MEJORAS}} = 9,42 \text{ m}^3/\text{año de gasóleo C}$ necesarios para abastecer de A.C.S. el gimnasio durante un año.

Teniendo en cuenta el precio del gasóleo C actualmente de 0,90 €/L [6]. Se tiene un ahorro de 8478 €/año. Dado que el coste del $V_{\text{SIN MEJORAS}}$ es de 105584 €/año se continuará gastando 2106 €/año.

5.2.6 Presupuesto

Para el presupuesto se tiene en cuenta sobre todo el coste de los captadores y del interacumulador, ya que son los elementos principales.

Para calcular el presupuesto de la instalación se tiene en cuenta sobre todo la superficie de captación. Estadísticamente, se estima que cada m² de captación tiene un coste aproximado de 1000 €, por lo que si se propone una superficie de captación de 20m² la instalación tendrá un coste aproximado de 20000 €.

Además de los paneles se debe tener en cuenta la sustitución de las alcachofas. La propuesta en el apartado 5.1 tiene un coste aproximado de 25 € por servicio. De esta forma el coste sería de 1075€, ya que existen 43 servicios.

El coste total de la instalación y la sustitución de las alcachofas sería de unos 21075 €.

5.2.7 Periodo de amortización aproximado

Como se observa en la Tabla 5-1 y en la Tabla 5-2 el periodo de amortización sería de 4 años.

En la Tabla 5-1 se puede ver el consumo de gasóleo C tanto anual como el acumulado a lo largo de 5 años, antes de la sustitución de las alcachofas y de la instalación del sistema solar térmico (sin mejoras). Además también se ve el consumo de gasóleo C después de la sustitución de las alcachofas y de la instalación del sistema solar térmico (con mejoras). En la columna “CON MEJORAS” se observa un consumo acumulado en el año 1 de 21075€ correspondiente al coste de la instalación solar y de la sustitución de las alcachofas. En las columnas “Anual” se observa el coste anual de la caldera antes y después de las mejoras.

SIN MEJORAS (CONSUMO DE 2000 m3)			CON MEJORAS	
Consumo gasóleo €			Consumo gasóleo €	
Años	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual
1	- €		21.075,00 €	2.106,00 €
2	10.584,00 €	10.584,00 €	23.181,00 €	2.106,00 €
3	21.168,00 €	10.584,00 €	25.287,00 €	2.106,00 €
4	31.752,00 €	10.584,00 €	27.393,00 €	2.106,00 €
5	42.336,00 €	10.584,00 €	29.499,00 €	2.106,00 €

Tabla 5-1: Periodo de amortización. Fuente: Propia.

En la Tabla 5-2 se muestra el balance durante 5 años, teniendo en cuenta el consumo sin mejoras y con mejoras. De esta tabla se observa que las mejoras serían amortizadas en 4 años.

Años	Balance
1	- 21.075,00 €
2	- 12.597,00 €
3	- 4.119,00 €
4	4.359,00 €
5	12.837,00 €

Tabla 5-2: Balance anual. Fuente: Propia.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este Trabajo de Fin de Grado se ha tratado la posibilidad de abastecer parte de la demanda de A.C.S. mediante energía solar térmica al edificio del gimnasio GM Barrutia de la Escuela Naval Militar. Tras el desarrollo del mismo, se obtienen varias conclusiones:

La propuesta de cambiar el sistema de grifería podrá hacer que el consumo de A.C.S. se adapte a la normativa vigente, reduciendo así el elevado consumo de A.C.S.

Relacionado con el consumo de A.C.S. también se ha observado la falta de control del mismo, por lo cual ha sido necesario tomar valores lo más aproximado posible a la realidad.

Se ha intentado orientar las superficies de captación de forma que no rompiera con las líneas de construcción del edificio, pero supone no llegar a la contribución solar mínima. Es por ello que se opta por la orientación Sur.

El sistema de captación solar propuesto sería capaz de suministrar por si solo el 31% de las necesidades de A.C.S. De este modo se cumple con la normativa, ya que el mínimo de contribución solar es del 30% en la zona geográfica en la que se ubican las instalaciones.

Debido al mantenimiento de la piscina, no existe consumo de A.C.S. en la época del año que más radiación solar existe, por lo que será necesario tapar los colectores o vaciar el circuito primario. Esto hace que la contribución solar no sea muy alta, quedando ajustada al mínimo requerido.

Aunque la demanda diaria sea aproximadamente de $1,8 \text{ m}^3$ según la norma (apartado 4.2.1.2), se propone un acumulador de 1000 L debido a que en el momento del día de máxima demanda, la cantidad de agua necesaria es de aproximadamente 500 L.

Además, se propone en lugar de un acumulador un interacumulador, cuyo intercambiador sea un serpentín interno.

El uso de las energías renovables además de ser más rentables a medio-largo plazo, son fuentes más limpias y respetuosas con el medio ambiente. De esta forma no sólo se disminuirán los costes y consumos sino también las emisiones de gases perjudiciales para el ambiente.

El coste de las instalaciones solares es uno de los problemas más importantes, ya que provoca una gran inversión inicial. Pero esta puede ser subsanada a medio plazo gracias al ahorro en combustible que se produciría al tener la caldera una menor demanda de A.C.S. De esta forma, en un periodo de unos 4 años podría llegar a amortizarse.

En definitiva, esta instalación solar térmica se hace necesaria y posible:

- Es necesaria debido al compromiso existente por disminuir la contaminación usando energías renovables, combatiendo de esta forma el cambio climático. En este caso se disminuyen las emisiones de CO₂.
- Es posible debido a que puede ser cubierta la inversión inicial a medio plazo gracias al ahorro de combustible.

Una de las líneas futuras a seguir debe ser el estudio de una instalación solar térmica, que se complemente con la propuesta en este Trabajo de Fin de Grado, para poder tratar también la piscina con un sistema que use energía renovable. De esta forma se ahorraría en combustible y se disminuirían las emisiones de CO₂.

Además, debido a la demanda energética de la Escuela Naval Militar, otra línea de estudio debe ser la sustitución de los sistemas que usen energías no renovables por sistemas de energías renovables.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] CUD, *Normativa para la realización del TFG*.
- [2] IDAE, *Plan de Energías Renovables 2001-2010*.
- [3] IDAE, *Plan de Energías Renovables 2011-2020..*
- [4] M. y. M. A. Energía, «Economía Petrolera,» [En línea]. Available: <http://cbedonrocha.blogspot.com.es/2008/09/use-glp-y-enfrente-el-cambio-climtico.html>. [Último acceso: ENERO 2015].
- [5] W. España, *Informe de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España 1990-2012*.
- [6] «DieselGasolina.com,» [En línea]. Available: <http://www.dieselogasolina.com/precio-del-gasoleo-o-gasoleo-de-calefaccion.html>.
- [7] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), [En línea]. Available: <http://www.idae.es/index.php/idpag.16/relnu.301/mod.pags/mem.detalle>. [Último acceso: ENERO 2015].
- [8] E. y. T. Ministerio de Industria, *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*.
- [9] U. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, «Cambio Climático,» [En línea]. Available: <http://www.cambio-climatico.com/protocolo-de-kyoto>.
- [10] Z. Salamanca Felix, *PFC: INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN SALAMANCA*, Madrid, 2009.
- [11] G. Campoamor Camacho, *PFC: Proyecto de Climatización de una piscina Semiolímpica*, Madrid.
- [12] I. Instituto Energético de Galicia, *Balance Energético de Galicia 2012, 2014*.
- [13] *Documento Básico de Ahorro de Energía, Sección 4*.
- [14] *Código Técnico de la Edificación*.

- [15] I. y. C. Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Economía, *ENERGIA SOLAR TÉRMICA A BAJA TEMPERATURA*, 2011.
- [16] ASIT, *GUÍA ASIT DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA*.
- [17] IDAE, *Pliego de Condiciones Técnicas*, 2009.
- [18] J. Pérez-Hickman, *Parámetros de cálculo de instalaciones solares térmicas*.
- [19] erenovable, «erenovable,» [En línea]. Available: <http://erenovable.com/energias-renovables-ventajas-y-desventajas/>.
- [20] «Rincón Educativo,» [En línea]. Available: www.rinconeducativo.org/ahorraEnergia/fuentes_de_energia_no_renovables.html.
- [21] IDAE, *Manuales de Energías Renovables. Energía Solar Térmica*.
- [22] Solarweb, «Solarweb. Energía Solar Fotovoltaica,» [En línea]. Available: <http://www.solarweb.net/solar-fotovoltaica.php>.
- [23] J. Serrano Vázquez, *PFC: Proyecto de instalación energía solar para climatización y obtención de agua caliente sanitaria en albergue rural*, 2006.
- [24] L. Platón Arias, *Optimización del dimensionado de instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria*.
- [25] E. N. M. Personal de Mantenimiento, *Recargas de Gasóleo C en la Escuela Naval Militar*.