

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR
POR EL MÉTODO f-CHART. APLICACIÓN A LA
PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN
INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA**

Autor: Adolfo Navarro Bonsón

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

**Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**



Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE
ENERGÍA SOLAR POR EL MÉTODO
f-CHART. APLICACIÓN A LA PRODUCCIÓN
DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN
INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

Autor:
Adolfo Navarro Bonsón

Tutor:
Francisco Javier Pino Lucena
Profesor titular

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2015

Trabajo de Fin de Grado: DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR POR EL MÉTODO f-CHART. APLICACIÓN A LA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

Autor: Adolfo Navarro Bonsón
Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal

A mi familia.

A mis compañeros y profesores, que me han acompañado durante esta experiencia.

RESUMEN

En el siguiente trabajo de fin de grado se tiene por objetivo el diseño de una instalación de un sistema de energía solar para la producción de agua caliente sanitaria en el edificio donde se encuentra el I.E.S Valdelagrana. Este se trata de un instituto de educación secundaria situado en la urbanización Valdelagrana, en la localidad de El Puerto de Santa María. Para su realización, en primer lugar, se ha hecho un estudio previo de la localización y el clima de la zona apoyándose en datos históricos de la localidad proporcionados por la normativa actual. Posteriormente, se ha realizado el diseño de la instalación aplicando el método f-Chart cumpliendo estrictamente la normativa del Código Técnico de la Edificación. A través del diseño se ha seleccionado la dimensión, la configuración y los equipos necesarios. Después de ello, se ha estudiado el emplazamiento y distribución de los componentes de la instalación, tanto en la cubierta como en resto del edificio, también se ha realizado el diseño del esquema de principio y la red de tuberías del sistema. A continuación, se ha definido el pliego de condiciones, tanto técnicas como facultativas, económicas y legales. Finalmente, todo lo anterior es completado con la realización del presupuesto del coste de la instalación.

ÍNDICE

RESUMEN	viii
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS	xiv
1. MEMORIA DESCRIPTIVA	1

1.1. Introducción	1
1.2. Objeto	2
1.3. Descripción del edificio	2
1.4. Descripción del método f-Chart	3
1.5. Descripción de la instalación	8
1.5.1. General	8
1.5.2. Diagrama de principio y elementos de la instalación	10
1.6. Descripción de la sala de máquinas	17
1.7. Características técnicas de los equipos	18
1.7.1. Captadores solares	18
1.7.2. Acumuladores solares	19
1.7.3. Intercambiadores de calor	19
1.7.4. Bombas del circuito solar	20
1.7.5. Vaso de expansión	22
1.7.6. Sistema de control y regulación	23
1.8. Cumplimiento de la normativa	24
1.8.1. Cumplimiento del CTE-HE4	24
1.8.1.1. Cumplimiento de la contribución solar mínima (Aptdo 2.2.1.5)	24
1.8.1.2. Cumplimiento del exceso de contribución solar (Aptdo 2.2.1.5)	24
1.8.1.3. Cumplimiento del límite de pérdidas (Aptdo 2.2.1.4)	24
1.8.2. Cumplimiento del RITE	25
1.8.2.1. Cumplimiento de la IT 1.1.4.3.1. “Preparación de agua caliente para usos sanitarios”	25
1.8.2.2. Cumplimiento de la IT 1.2.4.2.1. “Aislamiento térmico”	26
1.8.2.3. Cumplimiento de la IT 1.3.4.4.5. “Medición”	26
1.8.2.4. Cumplimiento de la IT 2.3.3. “Sistemas de distribución de agua”	26
1.8.2.5. Cumplimiento de la IT 2.3.4. “Control automático”	26
1.9. Referencias	27

2. MEMORIA DE CÁLCULO **28**

2.1. Introducción	28
2.2. Datos de partida	28
2.2.1. Datos geográficos	28
2.2.2. Datos climáticos	28
2.2.2.1. Temperaturas ambiente medias mensuales	28
2.2.2.3. Niveles de irradiación mensuales sup. horizontal	29
2.2.2.4. Niveles de irradiación mensuales sup. inclinada	30
2.2.3. Datos de consumo de A.C.S	33
2.2.2.1. Temperaturas medias mensuales del agua de red	33
2.2.2.2. Cálculo del consumo	34
2.2. Dimensionamiento	35
2.2.1. Sistema de captación de energía solar	35
2.2.1.1. Análisis paramétrico previo	35
2.2.1.2. Superficie de captación	40
2.2.1.3. Volumen de acumulación	41
2.2.1.4. Pérdidas por la disposición geométrica de los captadores	41

2.2.1.5. Comprobación de la instalación	46
2.2.2. Sistema hidráulico	48
2.2.2.1. Conexionado de captadores y trazado de tuberías	48
2.2.2.2. Cálculo de tuberías	48
2.2.2.4. Intercambiador de calor	50
2.2.2.3. Grupos de bombeo del circuito solar	51
2.2.2.5. Sistema de expansión	52
2.2.2.6. Accesorios	54
2.2.3. Aislamiento térmico de las instalaciones	55

3. PLIEGO DE CONDICIONES

57

3.1. Pliego de condiciones facultativas	57
3.1.1. Derechos y obligaciones de las distintas partes	57
3.1.1.1. Proyectista	57
3.1.1.2. Director facultativo	57
3.1.1.3. Constructor	58
3.1.1.4. Coordinador de seguridad y salud	58
3.1.1.5. Proveedores	59
3.1.2. Disposiciones generales	59
3.2. Pliego de condiciones económicas	61
3.2.1. Precios y revisión de precios	61
3.2.1.1. Composición de los precios unitarios	61
3.2.1.2. Revisión de precios	62
3.2.2. Modos de pago	62
3.2.2.1. Valoración y abono de los trabajos	62
3.2.2.2. Abono de trabajos especiales no contratados	62
3.2.2.3. Pago de arbitrios	62
3.2.3. Garantías, fianzas y avales	62
3.2.4. Penalizaciones	64
3.2.4.1. Penalizaciones por rendimiento de los servicios exteriores	64
3.2.4.2. Penalizaciones por baja calidad	64
3.2.4.3. Desperfectos en las propiedades colindantes	64
3.2.4.4. Replanteos	64
3.3. Pliego de condiciones legales	64
3.3.1. Responsabilidades y seguridad laboral	64
3.3.1.1. Capacidad para contratar	65
3.4. Pliego de condiciones técnicas	66
3.4.1. Condiciones generales	66
3.4.1.1. Objeto y campo de aplicación	66
3.4.1.2. Normativa	66
3.4.1.2.1. Normativa aplicable	66
3.4.1.2.2. Normativa de consulta	67
3.4.1.3. Disposiciones preliminares	68
3.4.1.4. Requisitos generales	68
3.4.2. Clasificación de la instalación	70
3.4.3. Criterios generales de diseño	70
3.4.3.1. Dimensionado y cálculo	70
3.4.3.2. Diseño del sistema de captación	71
3.4.3.3. Diseño del sistema de acumulación solar	73
3.4.3.4. Diseño del sistema de intercambio	75
3.4.3.5. Diseño del circuito hidráulico	75
3.4.3.6. Diseño del sistema de control	79
3.4.4. Suministro y almacenamiento	80
3.4.4.1. Captadores	80
3.4.4.2. Fluido caloportador	81
3.4.4.3. Acumuladores	81
3.4.4.4. Bomba de circulación	81
3.4.4.5. Válvulas	82
3.4.5. Condiciones de materiales y equipos	82

3.4.5.1. Generalidades	82
3.4.5.2. Selección de materiales	82
3.4.5.3. Procedencia	83
3.4.5.4. Reconocimiento de los materiales	83
3.4.5.5. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos	84
3.4.6. Condiciones de montaje	84
3.4.6.1. Montaje de estructura soporte y captadores	84
3.4.6.2. Montaje del acumulador	84
3.4.6.3. Montaje del intercambiador	84
3.4.6.4. Montaje de la bomba	84
3.4.6.5. Montaje de las tuberías y accesorios	85
3.4.6.6. Montaje del aislamiento	86
3.4.7. Programa de mantenimiento	86
3.4.7.1. Plan de vigilancia	86
3.4.7.2. Plan de mantenimiento preventivo	86
3.4.7.3. Plan de mantenimiento correctivo	89
3.4.8. Criterios de integración paisajística	90
3.4.9. Ejecución de los trabajos	90
3.4.9.1. Riesgos	90
3.4.9.2. Medidas de protección y prevención	91
3.4.10. Pruebas a realizar	92
3.4.10.1. Pruebas a realizar por el instalador	92
3.4.10.2. Pruebas de estanqueidad del circuito primario	92
3.4.11. Documentación necesaria	92
3.4.11.1. Fichero de clasificación	93
3.4.11.2. Documentación de los componentes	93
3.4.11.3. Documentos con referencia a la puesta en servicio	93
3.4.11.4. Documentos de montaje e instalación	93
3.4.11.5. Documentos para el funcionamiento	94

4. PRESUPUESTO 95

4.1. Sistema solar de captación	95
4.2. Sistema de acumulación	96
4.3. Sistema de intercambio	96
4.4. Sistema hidráulico	96
4.5. Sistema de control y regulación	97
4.6. Presupuesto total	98

5. PLANOS 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas ambiente a lo largo del año.	29
Tabla 2. Radiación global sup.horizontal media diaria a lo largo del año.	30
Tabla 3. Días escogidos de los meses del año.	31
Tabla 4. Radiación global sup.inclinada media diaria a lo largo del año.	33
Tabla 5. Temperatura de agua fría de red a lo largo del año.	34
Tabla 6. Demanda de consumo por número de dormitorios por vivienda.	35
Tabla 7. f en función del área de captación.	36
Tabla 8. f en función V/A	38
Tabla 9. f en función del número de captadores conectados en serie.	38
Tabla 10. f en función de la inclinación de la superficie de captación.	39
Tabla 11. Datos anuales de la instalación.	46
Tabla 12. Datos mensuales fracción cubierta.	46
Tabla 13. Datos mensuales potencias consumidas.	47
Tabla 14. Datos mensuales rendimiento de la instalación.	48
Tabla 15. Longitud equivalente para algunos accesorios en tuberías soldadas de cobre. ...	49
Tabla 16. Datos obtenidos para los diferentes tramos.	50
Tabla 17. Tramos, pérdidas de cargas y desequilibrios en los diferentes circuitos.	50
Tabla 18. Determinación del volumen de las tuberías del circuito primario.	53
Tabla 19. Espesores min. de aislamiento y en int.y ext. según RITE.	55
Tabla 20. Porcentaje máximo de pérdidas por orientación, inclinación y sombras.	72
Tabla 21. Plan de Vigilancia.	87
Tabla 22. Plan de mantenimiento para el sistema de captación.	87
Tabla 23. Plan de mantenimiento para el circuito hidráulico.	88
Tabla 24. Plan de mantenimiento para el sistema eléctrico y de control.	88
Tabla 25. Plan de mantenimiento para el sistema de acumulación.	89
Tabla 26. Plan de mantenimiento para el sistema eléctrico y de control.	89
Tabla 27. Plan de mantenimiento para el sistema de energía auxiliar.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía I.E.S Valdelagrana.	3
Figura 2. Gráfica de corrección por caudal.	5
Figura 3. Esquema general de la instalación.	8
Figura 4. Esquema básico del circuito solar o primario.	9
Figura 5. Esquema básico del circuito secundario o auxiliar.	9
Figura 6. Diagrama de principio de la instalación de A.C.S.	11
Figura 7. Conexión entre el sistema solar y el sistema auxiliar.	14
Figura 8. Gráfica Temp.congelación vs. Concentración.	16
Figura 9. Esquema acumulador solar.	19
Figura 10. Curva Potencia bomba circuito primario.	20
Figura 11. Curva característica bomba circuito primario.	20
Figura 12. Esquema y dimensiones bomba circuito primario.	21
Figura 13. Curva Potencia bomba circuito secundario.	21
Figura 14. Curva característica bomba circuito secundario.	21
Figura 15. Esquema y dimensiones bomba circuito secundario.	22
Figura 16. Fotografía y dimensiones vaso de expansión.	22
Figura 17. Fotografía y dimensiones del modelo Vitosolic 200.	23
Figura 18. Gráfico de pérdidas en función en función del ángulo de acimut.	25
Figura 19. Temperaturas ambiente a lo largo del año.	29
Figura 20. Radiación global sup.horizontal media diaria a lo largo del año.	30
Figura 21. Radiación global sup.inclinada media diaria a lo largo del año.	33
Figura 22. Temperatura de agua fría de red a lo largo del año.	34
Figura 23. f en función del área de captación.	37
Figura 24. f en función V/A.	38
Figura 25. f en función del número de captadores conectados en serie.	39
Figura 26. f en función de la inclinación de la superficie de captación.	40
Figura 27. Ángulos relacionados con la dirección de la radiación solar.	42
Figura 28. Gráfico de pérdidas en función en función del ángulo de acimut.	42
Figura 29. Cálculo definitivo de las pérdidas e inclinación.	43
Figura 30. Cálculo definitivo de las pérdidas por obstáculos remotos.	44
Figura 31. Distancia entre las hileras de captadores.	45
Figura 32. Datos mensuales potencias consumidas.	47
Figura 33. Distribución de los captadores la cubierta.	49
Figura 34. Peso de los sistemas en el presupuesto.	98



1. MEMORIA DESCRIPTIVA.

1.1. Introducción.

A pesar de la incertidumbre actual respecto de la evolución de la economía mundial y su recuperación en el futuro, la demanda energética mundial sigue creciendo a un ritmo considerable: un 5% en el año 2010. En los escenarios elaborados por la Agencia Internacional de la Energía al año 2035, la demanda energética mundial aumentaría un tercio, básicamente en países que no pertenecen a la OCDE. Según estos escenarios, los combustibles fósiles continuarán teniendo un papel preponderante aunque se prevé que su participación global disminuya ligeramente del 81% de la energía primaria mundial en 2010 al 75% en 2035.

En España, el abastecimiento energético actualmente también depende muy fuertemente del uso de combustibles fósiles, la mayoría de los cuales importados del exterior. Aunque esta situación ha ido cambiando durante la última década, aún es necesario un cambio del actual modelo energético. Es necesaria una adecuada sustitución de las energías convencionales por energías renovables prácticamente inagotables y con menos impacto medioambiental. Aunque la evaluación del potencial total de cada fuente de energía renovable es una labor compleja dada la diversa naturaleza de estos recursos. El potencial de las energías renovables en España es amplísimo y muy superior a la demanda energética nacional y a los recursos energéticos de origen fósil existentes. Las energías renovables son el principal activo energético de nuestro país. Dentro de ellas se podría decir que el potencial de la energía solar es el más elevado.

Respecto a la energía solar, nuestro país, y más concretamente Andalucía por su situación y climatología, se caracteriza por un alto número de horas de sol anuales y unos niveles de irradiación solar privilegiados. Esta energía renovable es aún más interesante si tenemos en cuenta los siguientes beneficios que proporciona su uso:

- Impacto ambiental mínimo comparado con las energías convencionales, reflejado principalmente en un ahorro en el consumo de energía primaria, una reducción de emisiones de CO₂ y una reducción de ruidos y vibraciones en comparación con las clásicas tecnologías.
- La energía solar es, a día de hoy, inagotable.
- La investigación y el desarrollo de aplicaciones solares revierten directamente en el desarrollo económico y en la creación de nuevos puestos de trabajo cualificados en nuestro país.
- El uso de la energía solar en lugar de las energías tradicionales supone un aumento de la independencia energética del país ante posibles crisis de los mercados internacionales energéticos, proporcionando una mayor seguridad energética.

Por lo tanto, el interés en la energía solar ha aumentado considerablemente y en particular en la energía solar térmica. En la actualidad, esta última ofrece una solución idónea para la producción de agua caliente sanitaria, al ser una alternativa completamente madura y rentable. Entre las razones que hacen que esta tecnología sea muy apropiada para este tipo de usos, cabe destacar los niveles de temperaturas que se precisan alcanzar que coinciden con los más adecuados para el buen funcionamiento de los sistemas solares estándar que se comercializan en el mercado. Además, hacemos referencia a una aplicación que debe satisfacer a lo largo de todo el año, por lo que la inversión en el sistema solar se rentabilizará más rápidamente que en el caso de otros usos solares, como la calefacción, que sólo tienen utilidad durante los meses fríos.

Con los sistemas de energía solar térmica hoy en día podemos cubrir el 100% de la demanda de agua caliente durante el verano y del 50 al 80% del total a lo largo del año; un porcentaje que puede ser superior en zonas con muchas horas de sol al año, como por ejemplo el sur de España.



El grado de desarrollo y comercialización de estos sistemas de producción de agua caliente es tal que ha llevado a esta aplicación a convertirse en la más popular de cuantas ofrece la tecnología solar en nuestros días. Y es que su uso no sólo se limita a las viviendas unifamiliares, sino también a edificios vecinales, bloques de apartamentos, hoteles, superficies comerciales y oficinas.

Esta evolución de este tipo de tecnología ha dado lugar a que a día de hoy, la normativa vigente exija que, en edificios nuevos y en rehabilitaciones en las que se prevea una demanda de agua caliente sanitaria, un porcentaje del aporte energético necesario sea cubierto mediante energía solar. Dicho porcentaje varía en función de la demanda del edificio, la zona climática en que se ubique y el tipo de fuente energética convencional a sustituir.

1.2. Objeto.

A la vista de lo comentado anteriormente, podría resultar interesante la aplicación de sistemas de producción de agua caliente sanitaria, con el objetivo de mejorar la eficiencia a edificios ya existentes, ya que aparte del ahorro energético, podría reportar un ahorro económico para los usuarios.

Es por ello, que el objeto de este proyecto, es el diseño y cálculo de un sistema de producción de agua caliente sanitaria, A.C.S. en adelante, para un instituto de educación secundaria situado en el Puerto de Santa María (Cádiz) mediante una instalación solar térmica a baja temperatura.

En el dimensionado del presente proyecto, la evaluación energética de las posibles instalaciones será realizada mediante el empleo del método de cálculo f-Chart. Para ello se ha comprobado las distintas opciones posibles que cumplan la normativa actual, dando como resultado la que se ha pensado como la más adecuada para el edificio en cuestión.

Por último, señalar que la realización de este proyecto es con fines académicos: la de servir como Trabajo Fin de Grado de la titulación Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.

1.3. Descripción del edificio.

El edificio afectado por el presente proyecto es una edificación ya existente. Se trata de un instituto de educación secundaria situado en la urbanización Valdelagrana, en la localidad de El Puerto de Santa María, una ciudad que se ubica a la ribera y desembocadura del río Guadalete, en la provincia de Cádiz. Esta ciudad se encuentra a 39 km. de la capital, a una altitud de 15 metros sobre el nivel del mar y con una latitud de 36,36° Norte y una longitud de 6,13° Oeste. La temperatura media exterior de la localidad es de 18,19 °C.

El solar donde se encuentra el edificio es de forma rectangular adoptando su mayor dimensión en la dirección norte-sur. La fachada Norte linda con una zona de jardín. La fachada Este linda con las zonas de Ciudad Jardín de Baja densidad. La fachada Oeste se articula mediante una glorieta con la norte y linda con una zona residencial ya consolidada, paralela a esta vía discurre el Paseo Marítimo de Valdelagrana. La fachada Sur linda con un equipamiento deportivo, que da fachada al Parque Natural de los Toruños.

El I.E.S. Valdelagrana se crea por el Decreto 512/2004 de 19 de Octubre de la Consejería de Educación (BOJA del 28) con efectos académicos y administrativos desde el curso académico 2004/05. Durante los cursos académicos 2002/03 y 2003/04 funciona como sección delegada del I.E.S. Pedro Muñoz Seca y desde el curso escolar 2004/05 como centro independiente.

El instituto en cuestión, consta de las aulas propias de un instituto de dos vías y de un gimnasio con vestuarios con duchas, según el BOE nº62 del 12 de Marzo de 2010 establece que



debe haber 25 alumnos por aula, lo que da un total de 250 alumnos y 30 miembros de personal del centro (profesores, secretariado, etc.) repartidas entre las dos plantas que ocupan el centro. A parte de lo relacionado con el ámbito escolar, también cuenta con una vivienda para el conserje en el interior del edificio con tres habitaciones, que según el código técnico de la edificación equivale a 4 personas que habitan en ella. Estos números de personas en el instituto y en la vivienda, junto con los datos geográficos de la situación del edificio, serán los datos a considerar en el diseño de la instalación.

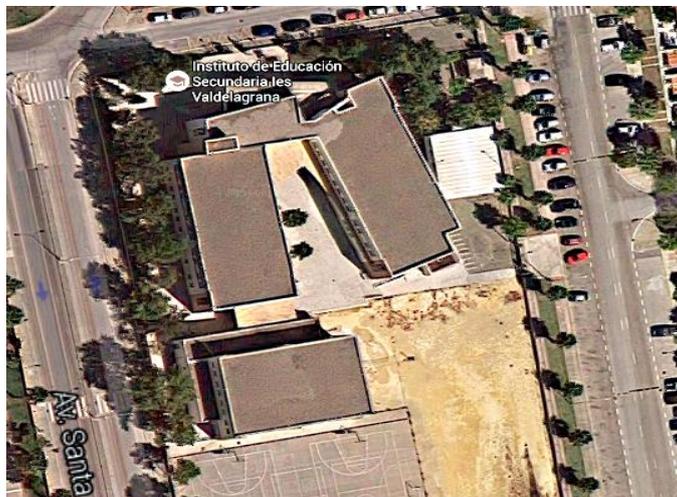


Figura 1. Fotografía I.E.S Valdelagrana

Este edificio cuenta con una instalación previa para la producción de agua caliente sanitaria, que no cumple la normativa actual ya que el edificio fue diseñado y construido anteriormente a la implantación de CTE actual. El edificio cuenta con un sistema convencional con el objetivo de suministrar A.C.S tanto al instituto como a la vivienda del conserje. Esta instalación está formada por:

- Para los aseos del personal no docente y de minusválidos se utiliza como medio de producción de A.C.S., calentadores acumuladores eléctricos individuales de 100 y 25 litros respectivamente, suficiente para abastecer 6 y 2 duchas respectivamente.
- Para las duchas de los vestuarios del gimnasio se alimentarán con A.C.S. procedente de una caldera y acumulador ubicados en el cuarto de calderas e independiente de la caldera destinada a calefacción. Siendo estos un acumulador de 450 litros y una caldera de 11.250 kcal/h.
- Y por último para la producción de ACS de la vivienda del portero se realizará por acumulador de agua de gas butano.

Por otro lado, el edificio cuenta también con una instalación de calefacción, formada por una caldera de calefacción de gasóleo con una potencia de 125.000 kcal/h, pero esto no será objeto de este proyecto, por lo solo se verá en aquellas cuestiones que afecten al diseño de la instalación solar.

1.4. Método de cálculo f-Chart.

El método f-Chart, también conocido como el método de las curvas f, es una herramienta que permite estimar el desempeño promedio a largo plazo de un sistema solar térmico. Gracias a la exactitud de los resultados que ofrece su correcto desarrollo, el método f-Chart es uno de los más utilizados para calcular las prestaciones de los sistemas solares de baja temperatura.

El método fue desarrollado por Sandford Klein de la universidad de Wisconsin en 1976. Es un método en base diaria que permite calcular el rendimiento de un sistema solar para producción



de ACS y/o calefacción a partir de valores medios diarios en base mensual. El método contempla tanto captadores de agua como de aire y está basado en principios físicos a través de números adimensionales que se obtienen de la ecuación de la energía solar captada por un captador solar.

Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método simplificado de las curvas f (f-Chart) que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, siendo ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no debiendo aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

La precisión del método f-Chart, fue estudiada en la Universidad de Colorado mediante la comparación del desempeño real de un sistema solar térmico con el desempeño estimado por el método, obteniendo un error máximo del 5%. El resultado fue la clasificación del método f-Chart como uno de los métodos de más alto grado de fiabilidad.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, siendo válido para determinar la fracción de demanda aportada por la energía solar (f) en instalaciones térmicas de todo tipo de edificios.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de captación solar y utilizar la simulación para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado periodo de tiempo.

Este método proporciona una estimación del porcentaje de energía que es suministrado por la instalación solar del total de las necesidades energéticas. La variable principal de la que dependerá la fracción de demanda cubierta por la energía solar es el área colectora. Las variables secundarias serán el tipo de colector, la capacidad de almacenamiento, los caudales de fluido, el tamaño de los intercambiadores...

El Método f-Chart obtiene el grado de cobertura mediante los parámetros adimensionales X e Y sin tener que recurrir a determinar el rendimiento del captador en cada instante. La fracción de demanda aportada por la energía solar se puede obtener a través de la función siguiente que ha sido obtenida a partir de simulaciones horarias en función de sus localizaciones con TRNSYS:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

Siendo:

$$X: \text{Factor de pérdidas.} \quad X = \frac{F_R U_L \cdot (T_{ref} - T_{am}) \cdot \Delta t \cdot A}{L}$$

$$Y: \text{Factor de ganancia.} \quad Y = \frac{F_R (\tau \alpha)_m \cdot \bar{H}_I \cdot A \cdot N}{L}$$

Siendo:

- A: Área de captación [m²].
- \bar{H}_I : radiación global diaria media mensual sobre la superficie inclinada. [J/(m²·día)]
- N: Número de días del mes [días/mes]
- L: Demanda térmica [J/mes]
- Δt : Periodo de tiempo considerado en segundos [s].
- T_{ref} : Temperatura de referencia, igual a 100 °C.
- T_{am} : Temperatura ambiente media exterior [°C]. Depende de la localidad y del mes.
- $F_R U_L$: Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador).



- $F_R(\tau\alpha)_m$: Producto $(\tau\alpha)$ medio mensual del captador $\cong 0,96 \cdot F_R(\tau\alpha)_n$. El factor de eficiencia del captador es multiplicado por el modificador del ángulo de incidencia. Este en general se puede tomar como constante y con un valor de 0,96 para captadores de superficie transparente sencilla.

Alcance del método

El método f-Chart no puede abarcar todas y cada una de las condiciones presentes en un sistema de este tipo. Presenta las siguientes limitaciones, aunque como se verá más adelante algunas podrán resolverse con una serie de correcciones:

- Método basado en datos diarios medios mensuales.
- Considera sistemas de calefacción y producción de ACS, donde la carga de ACS es inferior al 20% de la carga de calefacción.
- El método se desarrolla para un sistema base de energía solar, sin intercambiador de calor en el circuito de captación y con una capacidad de acumulación de 75 l/m^2 de superficie de captación.
- Considera despreciables las pérdidas en transporte y acumulación en base mensual.
- No incorpora el coeficiente de pérdidas de segundo orden del captador.
- No contempla que se alcance la temperatura máxima en el captador o en el acumulador.
- Es válido únicamente para una configuración de sistema solar térmico.

Para conocer las diferentes variables que intervienen en la función anterior hay que realizar un procedimiento de cálculo que se podría dividir en tres bloques:

1.- Datos de partida y metodología

Aquí habría que fijar las variables iniciales como la localidad, datos de consumo y la inclinación y el azimut del captador. Luego habría que elegir los captadores solares de la instalación, definir como irán agrupados y el volumen de acumulación.

Una vez realizado esto, debido a las limitaciones de alcance del método comentadas anteriormente, habría que realizar correcciones por caudal, por agrupación de captadores y por el intercambiador de calor que habrá en la instalación. Todas estas correcciones habría que hacerla en el orden en el que se explican y modificarán a distintos parámetros. Para cada corrección se utilizarán los parámetros obtenidos de la corrección anterior.

- Corrección por caudal

Esta corrección habría que hacerla siempre y cuando el caudal másico o el fluido caloportador que circula por los captadores sean distintos que con los que se ensayaron los captadores. Esta corrección afectaría al factor de evacuación del calor.

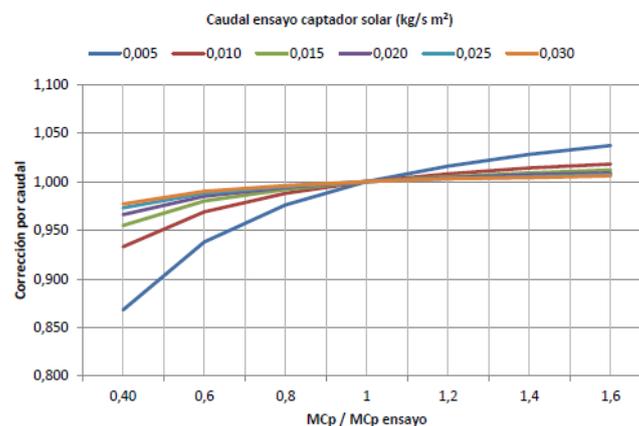


Figura 2. Gráfica de corrección por caudal.



$$C_M = \frac{F_R}{F_{R_{\text{ENSAYO}}}}$$

- Corrección por agrupación de captadores.

Esta corrección habría que hacerla cuando haya conectados captadores en serie, ya que la temperatura de salida del fluido del captador afectará al siguiente captador conectado en serie (siendo N el número de captadores conectados en serie). Esta corrección afectaría al factor de evacuación del calor.

$$K = \frac{F_R U_L}{G \cdot c_p}$$

$$C_A = \frac{1 - (1 - K)^N}{N \cdot A}$$

Siendo:

- G: Caudal específico [kg/(s · m²)].
- Corrección por intercambiador de calor en el circuito de captación.

Esta corrección habría que hacerla cuando haya en la instalación un intercambiador. Incorporar un intercambiador obliga a que la temperatura de salida del fluido del captador sea mayor y penaliza su rendimiento.

$$C_A = \left[1 + \frac{F_R U_L \cdot A}{M_p \cdot c_{pp}} \cdot \left(\frac{M_p \cdot c_{pp}}{\varepsilon \cdot M_{\min} \cdot c_{p,\min}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

Siendo:

- $M_p \cdot c_{pp}$: Capacidad calorífica del fluido del circuito primario [W/K]
- $M_{\min} \cdot c_{p,\min}$: Capacidad calorífica mínima de los fluidos en el intercambiador [W/K]
- ε : Rendimiento del intercambiador

Por último también habría que realizar una corrección por ángulo de incidencia pero esta se incorporará en el factor de ganancias Y al multiplicar por 0,96 al factor de eficiencia del captador como se comentó anteriormente.

2.- Para cada mes.

En este bloque habría que partir de lo calculado anteriormente y de los datos diarios mensuales. Esta parte solo es aplicable para sistemas de calefacción y producción de ACS, con la demanda de ACS inferior al 20% de la demanda de calefacción. También se considera un sistema base de energía solar sin intercambiador de calor en el circuito de captación y con una acumulación de 75 l/m² de superficie de captación. Por último, se considerará la hipótesis de que las pérdidas y la variación de energía acumuladas son despreciables en base mensual. La secuencia de cálculo se podría dividir también en tres partes:

La primera parte de la secuencia que se puede seguir en el cálculo es la siguiente:

- Determinación de la carga energética para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS o calefacción.



- Cálculo de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
- Cálculo del parámetro X/A.
- Cálculo del parámetro Y/A.

La segunda parte consistiría en realizar una serie de correcciones para adaptar el método f-Chart a la instalación a estudiar. Estas correcciones serían:

- Corrección por la capacidad de almacenamiento si $V \neq 75 \text{ l/m}^2$

Esta corrección es debida a que el método se desarrolló para una capacidad de acumulación de 75 l/m^2 . Si la u es diferente, se corrige el factor de pérdidas adimensional X mediante la ecuación:

$$X_c/X = (V/75)^{-0,25} \quad \text{Si} \quad 37,5 < V < 300$$

- Corrección por consumo de A.C.S. si $L_{acs} > 0,2 \cdot L_{caleg}$

El método se desarrolló para instalaciones donde la demanda de A.C.S. es inferior al 20% de la demanda de calefacción. Si este porcentaje es superior, se corrige el factor de pérdidas adimensional X mediante la ecuación:

$$X_c/X = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{ac} + 3,86 \cdot T_{af} - 2,32 \cdot T_{am}}{(100 - T_{am})}$$

Siendo:

- T_{ac} : Temperatura de preparación del agua caliente [°C].
- T_{af} : Temperatura del agua fría [°C]. Depende de la localidad y del mes.
- T_{am} : Temperatura ambiente media exterior [°C]. Depende de la localidad y del mes.

La tercera parte de la secuencia de cálculo consiste:

- Selección de una superficie de captación: A
- Cálculo del parámetro X
- Cálculo del parámetro Y
- Obtención de la fracción de demanda aportada por la energía solar mensual (f_{mes}).

3.- Para el año completo.

Aquí se calcularía la fracción de demanda aportada por la energía solar en base anual (f_{anual}). Una vez calculadas todas las fracciones de demanda para los diferentes meses del año, se hará una media ponderada con estas para calcular la fracción de demanda anual. Esto se hará para diferentes superficies, repitiendo todo el proceso comentado anteriormente para cada una de ellas y así optimizar el tamaño final de la instalación.

Rango de variación de los parámetros de diseño

- Orientación captadores solares: Sur $\pm 15^\circ$
- Inclinación de captadores solares: Latitud $\pm 15^\circ$
- Caudal de circulación en captadores: 0,01 a 0,02 l/(s · m²)
- Efectividad intercambiador circuito primario: $\geq 0,7$
- Capacidad de almacenamiento (75 l/m²): 50 a 100 l/m²



1.5. Descripción de la instalación.

1.5.1. General

Todas las instalaciones para la producción de agua caliente sanitaria tienen una serie de elementos comunes y tienen el mismo principio de funcionamiento independientemente de la distribución y su tamaño dentro del edificio en el que se quiera instalar. A continuación, se describe el funcionamiento y los sistemas principales que conforman la instalación. Para ello en la siguiente figura se muestra un esquema general de la instalación. (Véase Plano 5.3.1: Diagrama de principio).

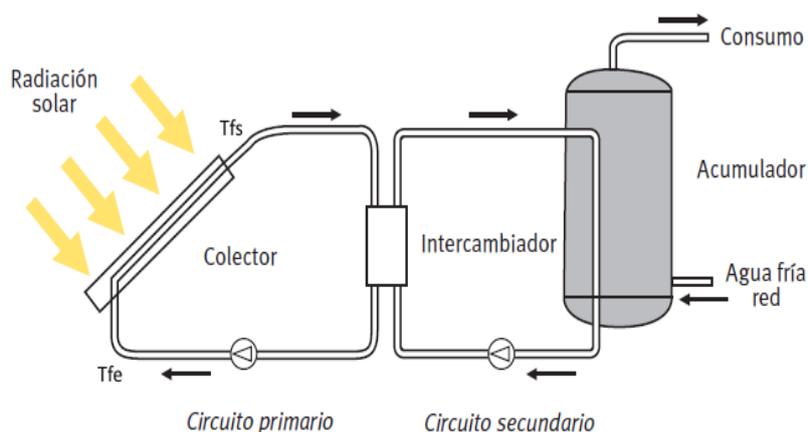


Figura 3. Esquema general de la instalación.

Analizando la instalación en funcionamiento, es decir, en régimen permanente y no en el momento del comienzo o del final de uso, la explicación simplificada de la instalación es la siguiente:

- El sistema consta de dos circuitos principales, circuito primario (solar) y circuito secundario (auxiliar), por los que circulan dos fluidos que en ningún momento se mezclan, y un tercer circuito de distribución para consumo (circuito de apoyo).
- La radiación solar llega a los captadores solares. Una parte de esta radiación será utilizada para calentar el fluido que va por el interior de los captadores y la parte restante serán pérdidas. El líquido que circula por los captadores se calienta desde T_{fe} hasta T_{fs} mediante el calor útil.
- El fluido que circula por los captadores calienta, mediante un intercambiador de calor, el agua que viene del depósito de acumulación. En el depósito se produce una mezcla del agua fría que viene de la red y el agua caliente procedente del intercambiador de calor. El balance de energía en el depósito de acumulación define su temperatura media. Mediante la estratificación se puede calcular la temperatura de consumo.
- El caudal de consumo estará definido por la demanda requerida y por el número de horas de sol de la región donde esté situada la instalación.
- Una vez que se tiene una temperatura de consumo, es necesario utilizar elementos auxiliares, como una caldera, para llegar a la temperatura de suministro del edificio.

Las características de la instalación solar son las siguientes:

- Principio de circulación: instalación con circulación forzada, el fluido circula impulsado por una bomba.
- Sistema de transferencia de calor entre los captadores y el acumulador solar: instalación con el intercambiador de calor independiente.
- Sistema de energía auxiliar: instalación con sistema de energía auxiliar en línea distribuido.



- Aplicación: instalación de producción de agua caliente para uso sanitario.

Circuito primario o solar

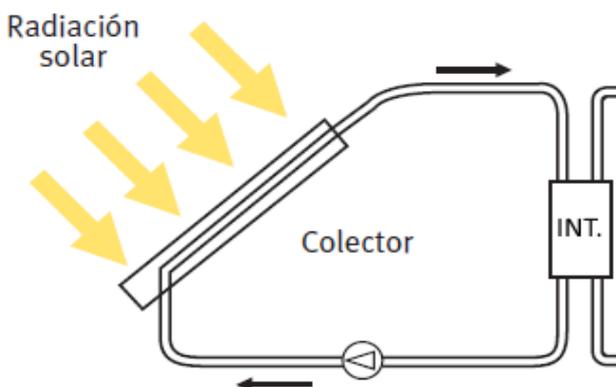


Figura 4. Esquema básico del circuito solar o primario.

El circuito solar o primario es el que engloba el sistema de captación y parte del intercambiador de calor.

El fluido caloportador circula por dicho circuito y es el encargado de transferir la energía térmica obtenida en los captadores por medio de la radiación solar al circuito secundario a través del intercambiador de calor. Por ello el diseño seleccionado para el circuito primario se basa en la idea de forzar la circulación del fluido mediante una bomba eléctrica, que si bien encarece la instalación, permite obtener una protección contra heladas al utilizar como fluido caloportador líquidos de bajo punto de congelación y controlar la transferencia térmica entre captación y acumulación.

Además de la bomba eléctrica en el circuito primario se coloca un vaso de expansión que absorbe la dilatación de volumen sufrida por el fluido debido a los cambios de temperatura.

Circuito secundario o auxiliar

El circuito auxiliar es el encargado de calentar en el intercambiador de calor el agua de red, para suministrarlo al sistema de preparación de A.C.S. del edificio (sistema de apoyo).

El fluido que circula por el circuito auxiliar es el agua proveniente de la red que entra en el acumulador solar. El fluido de la parte baja de dicho acumulador es impulsado por la bomba hacia el intercambiador de calor, donde capta la energía del circuito solar y vuelve a entrar en el depósito. En la parte superior del depósito existe una salida de agua que se dirige hacia el sistema de apoyo.

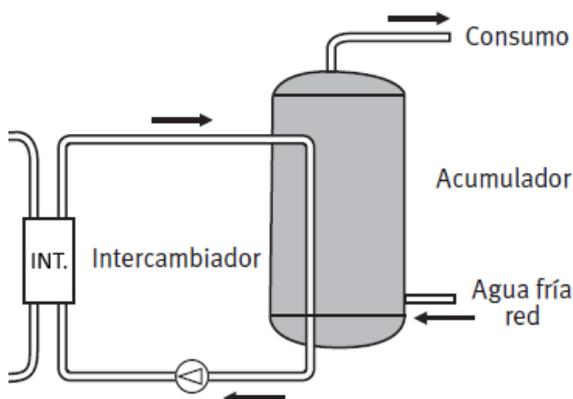


Figura 5. Esquema básico del circuito secundario o auxiliar.



Cuando el fluido caloportador que circula por los captadores ha visto incrementada su temperatura, pasa por el intercambiador de calor, calentando el agua que viene del depósito de acumulación. El agua calentada circulará hacia el depósito de acumulación donde se mezclará con el agua fría de la red quedando almacenada en el interior del mismo.

La acumulación del agua calentada por los captadores solares permite almacenar energía durante los periodos en los que la captación solar es elevada (por ejemplo, durante las horas centrales del día) para su consumo cuando se producen picos de demanda (por ejemplo, al final de la tarde o a primera hora de la mañana).

Además, la acumulación de agua permite reducir la temperatura media de funcionamiento de los captadores solares. El rendimiento energético de un captador solar disminuye cuando aumenta su temperatura de funcionamiento. En consecuencia, un volumen de acumulación suficiente permitirá aumentar la producción energética anual de la instalación solar.

1.5.2. Diagrama de principio y elementos de la instalación.

A continuación se muestra un esquema de la instalación para el edificio de este proyecto. En ese diagrama se verán reflejados los elementos comentados anteriormente con el complemento de algunos elementos no descritos (Véase en la figura 6 o en el plano 5.3.1: Diagrama de principio).

Los componentes más importantes de los que consta la instalación son y que están incluidos en el esquema de principio son:

- Sistema de captación solar.
- Sistema de acumulación
- Sistema de intercambio de calor.
- Sistema auxiliar.
- Sistema de transporte.
- Sistema de control.
- Sistema de expansión

A continuación se van a describir los diferentes elementos que conforman la instalación diseñada que está representada mediante el esquema de principio.

Sistema de captación solar.

Los llamados captadores solares son los encargados de la captación de la energía solar, por el interior de ellos circula un fluido (normalmente agua o aire) que absorbe la energía irradiada por el sol. Es el elemento básico de los sistemas solares térmicos. En una primera clasificación, los captadores solares se pueden dividir según el tipo de aprovechamiento que se realice de la energía, en el caso de este proyecto se clasificaría dentro de los sistemas a baja temperatura, es decir, en aquellos sistemas que normalmente proporcionan calor a temperatura inferior a 100°C.

El principio de funcionamiento del captador solar se basa en una “trampa de calor” que conjuga el “efecto de cuerpo negro” con el “efecto invernadero”. Gracias a este sistema de captación se consigue absorber la mayor parte de la radiación solar que llega hasta la superficie y devolver la menos posible. En ese proceso, la radiación solar, de longitud de onda corta, atraviesa la cubierta transparente e incide sobre el absorbedor aumentando su temperatura. De esta forma el absorbedor al calentarse emite radiación de onda larga (IR) la cual queda retenida por la cubierta que es opaca a este tipo de radiación. De esta forma se produce una acumulación de calor que se transfiere al fluido caloportador.

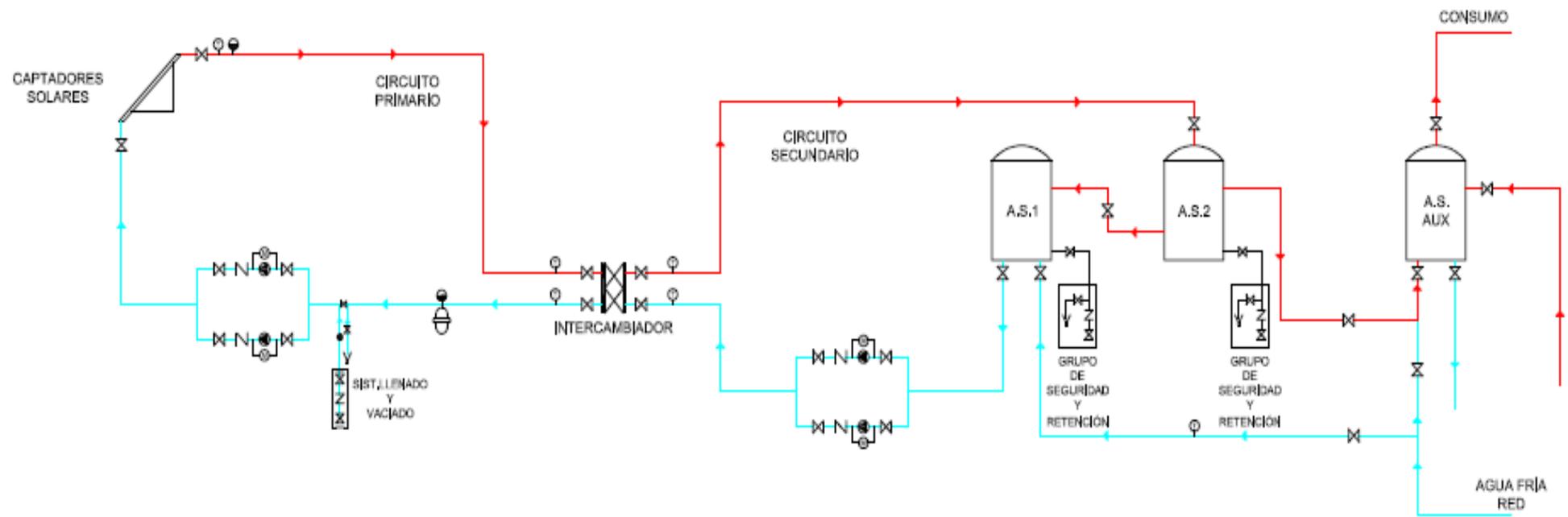


Figura 6. Diagrama de principio de la instalación de A.C.S



El sistema de captación solar escogido para la instalación de A.C.S está formado por 48 captadores solares planos lo que supone un área de captación de 91,20 m². Dichos captadores, conectados en agrupación serie-paralelo con 2 captadores en serie, absorberán la radiación solar que incide sobre su superficie transformándola en energía térmica y transfiriéndola al fluido que circula por el interior de estos, elevando progresivamente su temperatura.

Los captadores están situados en la cubierta del módulo central del instituto ya que constituye el lugar donde se tiene una mayor radiación solar, debido a que no hay sombras producidas por edificios circundantes, y se encuentran en zonas no accesibles por el público. También se ha escogida dicha localización para el sistema de captación debido al hecho de que se puede llegar a la cubierta a través de un ascensor, lo que facilita su acceso a ella y el mantenimiento y vigilancia de la instalación. Están orientados hacia el sur geográfico con una desorientación de 11° hacia el este debido a la propia orientación del edificio e inclinados 36° sobre la horizontal.

Sistema de acumulación

Sin duda, la energía que se recibe del Sol no siempre coincide con las épocas de mayor consumo. Por ese motivo, si se quiere aprovechar al máximo la energía concedida por el Sol, será necesario acumular la energía en aquellos momentos del día que más radiación existe, para utilizarla posteriormente cuando se produzca la demanda.

Lo habitual es almacenar la energía en forma de calor en depósitos especialmente diseñados para este fin. Según las características específicas del tanque de almacenamiento y los materiales con los que haya sido fabricado, podremos conseguir guardar las calorías ganadas durante más o menos tiempo; desde unas horas (ciclo de la noche al día), hasta dos días como máximo.

Por norma general, darán mejores resultados aquellos depósitos que tienen forma cilíndrica. Esto se debe al fenómeno de estratificación por el que el agua caliente disminuye su densidad y tiende a ascender por encima del agua fría, que pesa más. Cuanto mayor sea la altura del depósito, mayor será también la diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior del tanque de almacenamiento. La eficiencia de una instalación solar aumenta al hacerlo la estratificación de temperaturas en los acumuladores debido a que el agua de la parte superior es la que va primero hacia el consumo consiguiéndose por tanto transvasar el agua a mayor temperatura y retardar, en su caso, la activación del sistema auxiliar. Además, el agua almacenada en la parte inferior, que está a menor temperatura, es la que va desde el acumulador hasta el intercambiador, por lo que el fluido caloportador del subsistema primario solar que va hacia los captadores también está a menor temperatura. Por lo tanto la temperatura de entrada a los captadores es más baja y el rendimiento de estos aumenta.

Del mismo modo, también será importante tener en cuenta la capacidad de acumulación del depósito a utilizar, que deberá mantener un equilibrio conforme a la superficie de captación solar. Si el depósito fuera demasiado pequeño se desperdiciaría parte de la energía obtenida, mientras que si fuera demasiado grande no conseguiríamos alcanzar las temperaturas adecuadas de funcionamiento. Por eso existe una proporción adecuada entre los metros cuadrados de la superficie de captación y las dimensiones del tanque de almacenamiento. El depósito de acumulación más apropiado para los niveles de radiación que se dan en España y para agua caliente sanitaria, es el de 75 litros por metro cuadrado tal y como se ha indicado anteriormente en la descripción del método f-Chart.

La corrosión puede prevenirse también mediante sistemas electrónicos especificados en las características de diseño, o insertando el denominado “ánodo de sacrificio” que debe ser cambiado periódicamente.

Los depósitos acumuladores, con el fin de disminuir las pérdidas, están recubiertos de un material aislante, pudiendo además recubrirse con una funda para incrementar su durabilidad.



Por todo lo anterior el sistema de acumulación solar estará formado por dos depósitos de 3500 l cada uno, conectados en serie entre sí con lo que la instalación cuenta con 7000 l de acumulación. Los depósitos se pensaron situar, en posición vertical, en la sala de máquinas del instituto, ubicada en el módulo en el que se encuentra el gimnasio Pero cuando se iba a hacer la distribución de los equipos se observó que no era posible ya que eran demasiado grandes y no se disponía de espacio suficiente. Entonces finalmente los acumuladores se han colocado, también en posición en el almacén muy próximo a la sala de máquinas del instituto, también en el módulo del edificio donde se encuentra el gimnasio. (Véase en Planos 5.5.2: Sección edificio con instalación solar y 5.6.1: Interior sala máquinas).

Sistema de intercambio de calor.

Atendiendo al diagrama de principio de la instalación mostrado anteriormente, se puede observar que la instalación es indirecta, es decir, que el fluido que circula por los captadores no es el agua destinada a consumo. Para ello, se hace circular el fluido, una vez que ha circulado por el campo de captadores y ha incrementado su temperatura, por un intercambiador de calor de (pueden ser varios), dando lugar al circuito solar primario. Este fluido transfiere su energía al agua del circuito secundario

Independizar el primario y el secundario nos puede proporcionar una serie de ventajas:

- Se evita el contacto directo del agua sanitaria de consumo con los captadores, disminuyendo el riesgo de corrosión en el circuito primario lo que alargaría la vida útil de los captadores. Uno de los causantes de la esa corrosión puede ser la cal contenida en el agua.
- Permite utilizar como fluido de trabajo en el primario agua con anticongelante que protege a la instalación frente a heladas.

También tiene como desventaja, como se comentó anteriormente, que penaliza el rendimiento del captador ya que obliga a que la temperatura de salida del fluido del captador sea mayor.

Para esta instalación se ha escogido incorporar un intercambiador de calor de placa.

Sistema auxiliar.

La instalación de A.C.S contará con un sistema auxiliar que servirá de apoyo y cuyo funcionamiento está previsto para situaciones en las que la radiación solar sea baja o nula, y también en el caso de que la demanda sea superior a la de diseño o en caso de mantenimiento o reparación de la instalación solar.

La finalidad de este sistema de apoyo es aportar la energía necesaria para elevar la temperatura del agua procedente de la acumulación solar hasta el valor de confort. En este sentido, debe tenerse en cuenta que la temperatura de salida del agua de la instalación solar puede variar entre la temperatura del agua de la red (en el caso de períodos prolongados con condiciones meteorológicas adversas que no permitan la aportación de energía solar) y la temperatura máxima de consigna.

Dicho sistema auxiliar consiste en aprovechar el sistema convencional ya existente en el instituto y en la vivienda del conserje, esta instalación ya fue comentada en la descripción del edificio y está formado por distintos equipos situados en diferentes localizaciones del edificio:

- Para los aseos del personal no docente y de minusválidos se utiliza como medio de producción de A.C.S., calentadores acumuladores eléctricos individuales de 100 y 25 litros respectivamente, suficiente para abastecer 6 y 2 duchas respectivamente.



- Para las duchas de los vestuarios del gimnasio se alimentarán con A.C.S. procedente de una caldera y acumulador ubicados en el cuarto de calderas e independiente de la caldera destinada a calefacción. Siendo estos un acumulador de 450 litros y una caldera de 11.250 kcal/h.
- Y por último para la producción de ACS de la vivienda del portero se realizará por acumulador de agua de gas butano.

La conexión entre el sistema solar y el sistema auxiliar se hace mediante una serie de válvulas como se muestra en la siguiente figura. Cuando funciona el campo solar las válvulas A y C se mantienen abiertas mientras B permanece cerrada. Cuando hay averías en el sistema solar o la radiación es nula, se abre la válvula B y se cierran A y C para que funcione el sistema auxiliar y el sistema funcionaría como una instalación convencional.

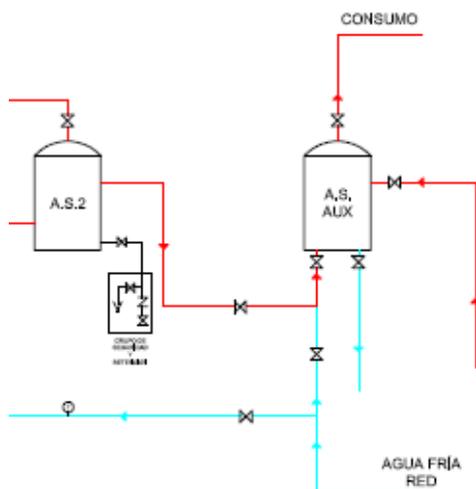


Figura 7. Conexión entre el sistema solar y el sistema auxiliar.

Sistema de transporte.

Cuando se proyecta o efectúa una instalación de conducción de agua, se debe realizar una correcta selección del material de las tuberías y, en general, de los circuitos, puesto que hay aguas cuya composición puede ser corrosiva para diferentes materiales.

Para determinar el mejor material de las tuberías, se deben tomar en consideración las Normas UNE-EN 12499 sobre protección catódica interna y UNE 112076 acerca de la prevención de la corrosión en circuitos de agua, así como las siguientes premisas:

- a) Características del agua y determinación de su grado de agresividad frente a los diversos materiales existentes.
- b) Experiencia de las instalaciones ya realizadas en la misma zona y con el mismo tipo de agua.
- c) Temperatura del agua como factor de aceleración de la velocidad de corrosión.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores para las tuberías pueden emplearse materiales como el cobre o algunos plásticos (polietileno (PEX), polibutileno (PB), polipropileno (PP), etc.).

Si se utiliza acero galvanizado se debe tener presente que, en función de la composición química del agua, se pueden presentar procesos de corrosión a partir de 50 °C y más aceleradamente hasta los 70 °C (ver Norma UNE 112076 sobre corrosión en circuitos de agua).



En el diseño de instalaciones de agua, no se deben instalar tuberías de cobre que precedan a las tuberías de acero galvanizado, a fin de evitar que el cobre soluble se deposite aguas abajo sobre el acero galvanizado y cause ataques galvánicos.

Por lo comentado anteriormente, se ha decidido que las conducciones de los diferentes fluidos a través de toda la instalación estén formadas por tuberías de cobre con aislamiento de fibra de vidrio (conductividad 0,040 W/m·K) de 40 mm de espesor para las situadas en el exterior y de 30 mm de espesor para las situadas en el interior. Se emplea el cobre como material para las distintas tuberías, ya que es un material ampliamente utilizado en instalaciones de todo tipo, y el más aconsejable para instalaciones de energía solar, por ser técnicamente idóneo y económicamente competitivo. En total se empleará para el circuito primario un total de 159,06 m más los diferentes accesorios necesarios (codos, derivaciones,...), y para el circuito secundario un total de 36,88 m más también los accesorios necesarios.

Para el sistema solar primario el caudal de diseño será de 118,95 l/h por captador, o lo que es lo mismo, 62,61 l/h·m². Así, el caudal de entrada en el campo de colectores será de 2854,90 l/h (al estar conexiados en agrupación serie-paralelo con 2 captadores en serie), que será suministrado por un grupo de bombeo, formado por dos bombas en paralelo funcionando alternativamente, venciendo un total de 6,55 m.c.a.

Para el sistema solar secundario el caudal de diseño es de 1466,57 l/h, este caudal se ha escogido para que el intercambiador de placas tenga un rendimiento del 80% y por tanto una $R= 0,94$, impulsado por otro grupo de bombeo, formado por dos bombas, que vence una altura manométrica de 3,32 m.c.a.

Las bombas se colocarán en las zonas más frías del circuito, tubería de retorno a captadores en circuito primario y en la entrada al intercambiador en el circuito secundario, teniendo en cuenta que no se produzca cavitación.

Los grupos de bombeo constan de dos bombas, dispuestas en paralelo, dejando una de reserva. Esta disposición garantiza la continuidad de funcionamiento aun cuando se dieran averías en una de las dos bombas.

Los grupos de bombas se aíslan hidráulicamente mediante válvulas de corte, a fin de poder efectuar operaciones de mantenimiento o reparación. También se instalarán válvulas de retención para evitar la circulación en sentido inverso.

El fluido que circula por el subsistema solar primario es un termoconductor con base de propilenglicol al 30 %. Este fluido tiene gran durabilidad, evita la formación de depósitos, aumenta la capacidad de transferencia térmica en el circuito y confiere protección frente a heladas de hasta -13 °C, más que suficiente en la localidad donde se va a instalar el sistema solar según el historial de datos climatológicos del municipio.

El fluido que circula por el circuito solar secundario es agua potable procedente de la red de agua.

Si en el interior de los circuitos cerrados existe aire, se pueden reducir las características termoconductoras de los fluidos caloportadores. Si no se elimina el aire se puede ir acumulando en los puntos altos de los circuitos y reducir o incluso anular el caudal de circulación. Por lo tanto en los puntos altos de la instalación en los que se pueda almacenar el aire habrá que instalar un sistema de purga de aire.

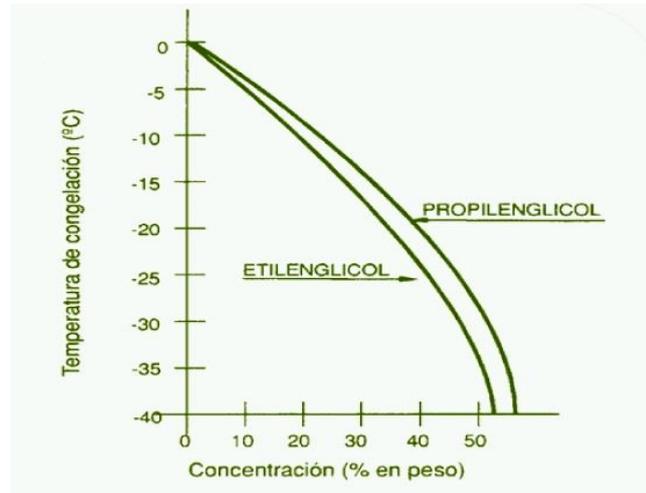


Figura 8. Gráfica Temp.congelación vs. Concentración.

Sistema de control.

La instalación solar proyectada para el edificio en cuestión, está controlada automáticamente por equipos de control que controlan los diferentes elementos de la instalación, siendo los de mayor importancia los ligados al funcionamiento de las bombas de circulación.

El control que existe sobre el conjunto de captadores solares es efectuado a través de un termostato diferencial. Este se encarga de gobernar las bombas del circuito solar primario en función de la diferencia de temperatura que existe a la salida de agua caliente del campo de captadores y la parte inferior del primer acumulador solar. Los valores de arrancada y parada de este diferencial serán constantes e iguales a los siguientes valores:

- Valor mínimo de diferencia de temperatura para arrancar la bomba: 7°C.
- Valor máximo de diferencia de temperatura para parar la bomba: 3°C.

El control del sistema solar tiene los siguientes objetivos:

- Evitar que el fluido caloportador circule por los captadores en horas sin radiación, ya que esto llevaría a una disminución de la energía acumulada en los depósitos.
- Evitar un excesivo número de arranques y paradas de las bombas, lo que llevaría a un aumento de consumo eléctrico y a una disminución de la vida útil de dichas bombas.

El control del grupo de bombeo del circuito secundario se ha diseñado para arrancar al mismo tiempo que el grupo de bombeo del circuito primario.

Sistema de expansión.

Los sistemas cerrados de agua o soluciones acuosas deben estar equipados con un dispositivo de expansión de tipo cerrado. Este es el caso del circuito primario del sistema de captación solar.

La función del vaso de expansión es la de absorber las variaciones de volumen de fluido caloportador que se puedan producir en un circuito cerrado, en este caso se trata del circuito campo solar-intercambiador. Esta variación de volumen del fluido se produce al variar su temperatura. El vaso mantiene la presión entre los límites preestablecidos e impide pérdidas y reposiciones de masa de fluido.

El valor mínimo de la presión del vaso de expansión se fija teniendo en cuenta lo siguiente:



- Mantener en el punto más elevado del sistema una presión superior a la atmosférica, para evitar entradas de aire y favorecer su salida en los puntos de purga de aire.
- Evitar la posible formación de vapor de agua en los puntos más calientes de la red.
- Eliminar la posibilidad de fenómenos de cavitación en la aspiración de la bomba.

Se ha elegido una presión mínima de trabajo de 2,5 bar.

El valor máximo de la presión, producido por la expansión del fluido cuando alcanza la temperatura más elevada estará limitado a un valor inferior a la presión máxima de trabajo del circuito, 5 bar.

El exceso de volumen de fluido en el circuito, resultado del aumento de temperatura del valor mínimo al máximo, debe ser almacenado en su totalidad en el depósito de expansión. Cuando la temperatura disminuya, el fluido almacenado será restituido, total o parcialmente, al circuito. Si no se almacenara el exceso de volumen en su totalidad durante la expansión, la renovación periódica del circuito conduciría a un aumento de la concentración de oxígeno y sales.

1.6. Descripción de la sala de máquinas.

La sala de máquinas o central térmica es el local donde se produce la energía térmica necesaria para abastecer de agua caliente a todo el edificio, tanto para consumo como para calefacción. La sala de calderas estará situada en el local anexo al recinto deportivo, en planta baja con una superficie de 20,30 m². Tiene un doble acceso desde el espacio exterior a través de puertas metálicas con rejillas de ventilación y abrirán hacia fuera. No tiene ninguna abertura o forma de ventilación que comunique con otro local.

Para ello cuenta con dos calderas de agua caliente una para A.C.S. y otra para calefacción, con sus respectivos acumuladores. La primera caldera es de una caldera de 11.250 kcal/h. y con un acumulador de 450 litros. Por otro lado la caldera de calefacción es una caldera presurizada de chapa de acero para gasóleo, con una potencia de 125.000 kcal/h. El combustible empleado es almacenado en tanque enterrado junto al cerramiento de la parcela de la fachada oeste, por lo que no afectará a la distribución de la sala de máquinas.

También se considerará como sala de máquinas el almacén, con una superficie de 22,98 m², donde irán situados los dos depósitos de acumulación de A.C.S. de 3500 litros de capacidad que reciben el agua caliente del intercambiador de calor que la instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un instituto su vez lo reciben de las calderas, y que sirven para mantener el volumen de 7000 litros de agua caliente a unos 60 °C, cumpliendo con la normativa antilegionela existente. El reparto de agua caliente a los diferentes puntos de consumo se produce por medio del sistema de distribución, compuesto por bombas de distribución y la red de tuberías de distribución.

El sistema de producción y acumulación de A.C.S. actual se verá complementado por el sistema de generación de agua caliente por medio del campo solar que se instalará en el instituto. Se deberán realizar pequeñas modificaciones en las interconexiones de los subsistemas para adaptar la instalación existente al nuevo esquema de principio que regirá la producción de A.C.S. Por otro lado, el sistema de distribución se mantiene sin sufrir modificaciones debidas a la instalación de los nuevos equipos.

Los nuevos equipos a instalar en la sala de máquinas y en el almacén son los correspondientes al circuito solar: los dos acumuladores solares, el intercambiador de placas para transferir el calor desde el campo de captadores solares hasta el circuito de acumulación, el vaso de expansión y dos grupos de bombeo, uno para el circuito primario y otro para el circuito secundario.



La situación y distribución de los distintos equipos en la sala de calderas se refleja en los planos correspondientes. Las distancias entre calderas y demás equipos serán suficientes como para permitir la realización adecuada de todas las operaciones, mantenimiento y la accesibilidad de la maquinaria en todas sus partes.

1.7. Características técnicas de los equipos.

1.7.1. Captadores solares.

Para esta instalación de A.C.S. se han escogido un total de 48 captadores. Los captadores de placa plana escogidos para la instalación son de la marca Termicol, modelo T20US y sus características son las siguientes:

Componentes del captador

- Absorbedor: formado por un emparillado de tubos de cobre con aletas de aluminio soldadas por ultrasonidos y soldados a dos tubos colectores superior e inferior. La unión entre tubos está realizada por soldadura fuerte por capilaridad con aportación de material de alto punto de fusión. La unión de las aletas y los tubos está realizada mediante soldadura por ultrasonidos. El tratamiento superficial que se aplica en los modelos T20US, T25US, T20USH y T25USH es del tipo ultraselectivo.
- Cubierta transparente: vidrio templado extraclaro de 3,2 mm. de espesor, con bajo contenido en hierro y transmisividad superior al 90%.
- Carcasa: formada por perfiles de aluminio, con pliegues en los bordes y esquineras de cierre que aseguran la estanqueidad del conjunto.
- Aislamiento térmico: lana de roca semirígida de 40 mm. de espesor.
- Cerramiento: Junta de EPDM.
- Conexiones: la unión entre captadores se realiza mediante un enlace cónico de 3 piezas, incorporado al panel y preparado para unirse sin juntas ni teflón.
- Caja contenedora: Carcasa de aluminio anodizado natural fuertemente aislada.

Datos técnicos

- Dimensiones totales: 2130 x 970 x 83 mm.
- Superficie útil de captación: 1,9 m².
- Volumen del fluido contenido: 1,02 litros
- Peso del captador en vacío: 37 kg.
- Presión máxima de trabajo: 6,08 bar.
- Rendimiento óptico (η_0): 78,10%.
- Factor lineal de pérdidas (a_{01}): 3,83 W/(m²·K).
- Curva de rendimiento:

$$\eta = 0,801 - 3,93 \cdot T$$

$$T = \frac{T_e - T_a}{G}$$

- T_e Temperatura entrada al captador [°C]
- T_a = Temperatura ambiente [°C]
- G = Radiación solar [1000 W/m²]

- Curva de pérdida de carga:

$$\Delta p \text{ [mbar]} = 0,0295 \cdot x^2 + 1,1567 \cdot x - 0,1994$$



- $x =$ caudal [kg/min]

1.7.2. Acumuladores solares.

Los acumuladores solares escogidos para la instalación, como se había comentado anteriormente, son dos depósitos de 3500 l de capacidad cada uno, marca Saunier Duval y modelo BDLN-3500, conectados en serie, con una capacidad total de 7000 l. La gama BDLN son depósitos sin serpentín, para acumulación de agua caliente o fría en circuito cerrado en instalación vertical sobre suelo. Están fabricados en acero al carbono, todos ellos cuentan con aislamiento térmico en poliuretano inyectado en molde. Dispone de las conexiones necesarias para la producción de A.C.S. a través de un intercambiador de placas y/o resistencias eléctricas de calentamiento. En la siguiente figura se muestra un esquema del acumulador:

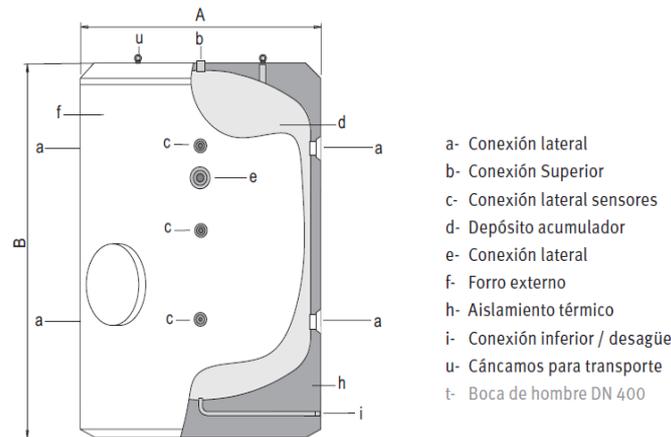


Figura 9. Esquema acumulador solar

Datos técnicos

- Cota A: Diámetro exterior: 1660 mm.
- Cota B: Longitud total: 2580 mm.
- T^a max. depósito A.C.S.: 100 °C.
- Presión máx. depósito A.C.S.: 6 bar.
- Peso en vacío: 576 kg.

1.7.3. Intercambiador de calor.

El intercambiador elegido para la transmisión de energía entre el circuito primario y el secundario será un intercambiador de placa de la marca Fagor, modelo IP-75, cuyas principales características técnicas son las siguientes:

- Número de placas: 30.
- Área de intercambio: 1,4 m².
- Potencia de intercambio: 66,47 kW.
- Dirección relativa de los fluidos: A contracorriente.
- Dimensiones: 127 x 111 x 526 mm.
- Peso en vacío: 8,8 kg.

Circuito primario

- Fluido: 30 % Prop.glycol.
- Caudal máximo: 3810 l/h.
- Salto térmico: 75-59 °C.
- Pérdida de carga: 17,4 kPa.



Circuito secundario

- Fluido: Agua.
- Caudal máximo: 3631 l/h.
- Salto térmico: 50 - 66 °C.
- Pérdida de carga: 18,3 kPa.

1.7.4. Bombas del circuito solar.

Para el circuito solar primario se han elegido dos bombas marca Grundfos modelo MAGNA1 25-80 con las siguientes características técnicas:

- Caudal de diseño: 2,85 m³/h.
- Altura de diseño: 6,55 m.c.a.
- Material: Fundición.
- Tensión nominal: 1 x 230 V ± 10 % 50/60 Hz, PE.
- Temperatura del líquido: De -10° C a +110° C.
- Temperatura ambiente: De 0° C a +40° C.
- Presión máxima: 16 bar.
- Peso neto: 4,4 kg.
- Peso bruto: 5,4 kg.
- Volumen de transporte: 0,012 m³.
- Valores IEE específicos: 0,20.
- Potencia absorbida: 125 W.

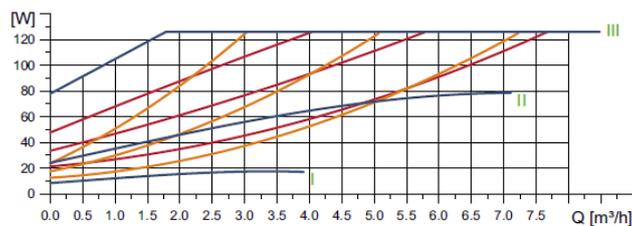


Figura 10. Curva Potencia bomba circuito primario.

En la figura 11 se muestran las curvas altura-caudal y en la figura 12 un esquema de la bomba con las dimensiones.

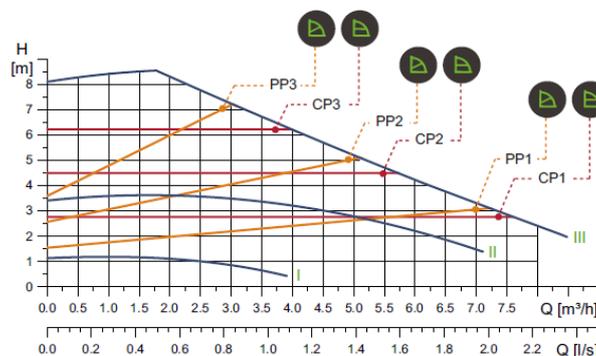


Figura 11. Curva característica bomba circuito primario

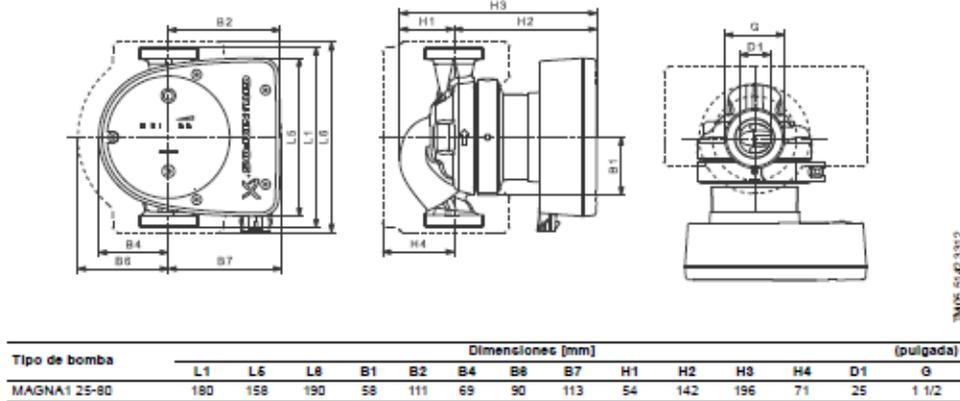


Figura 12. Esquema y dimensiones bomba circuito primario.

Para el grupo de bombeo del secundario se han elegido dos bombas marca Grundfos modelo MAGNA1 25-40 con las siguientes características técnicas:

- Caudal de diseño: 1,47 m³/h.
- Altura de diseño: 3,32 m.c.a.
- Material: Fundición.
- Tensión nominal: 1 x 230 V ± 10 % 50/60 Hz, PE.
- Temperatura del líquido: +2°C a +110°C.
- Temperatura ambiente: De 0° C a +40° C.
- Presión máxima: 10 bar.
- Peso neto: 4,4 kg.
- Peso bruto: 5,4 kg.
- Volumen de transporte: 0,012 m³.
- Valores IEE específicos: 0,22.
- Potencia absorbida: 55 W.

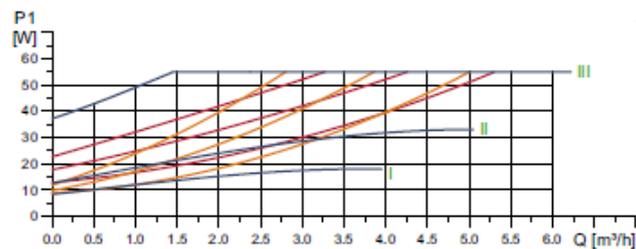


Figura 13. Curva Potencia bomba circuito secundario.

En la figura 14 se muestran las curvas altura-caudal y en la figura 15 un esquema de las bombas:

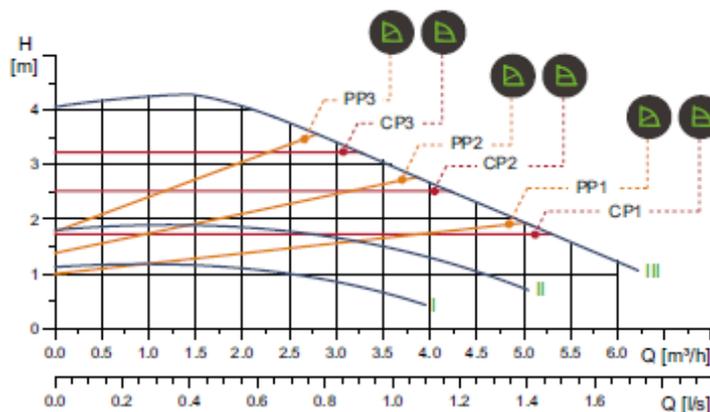


Figura 14. Curva característica bomba circuito secundario.

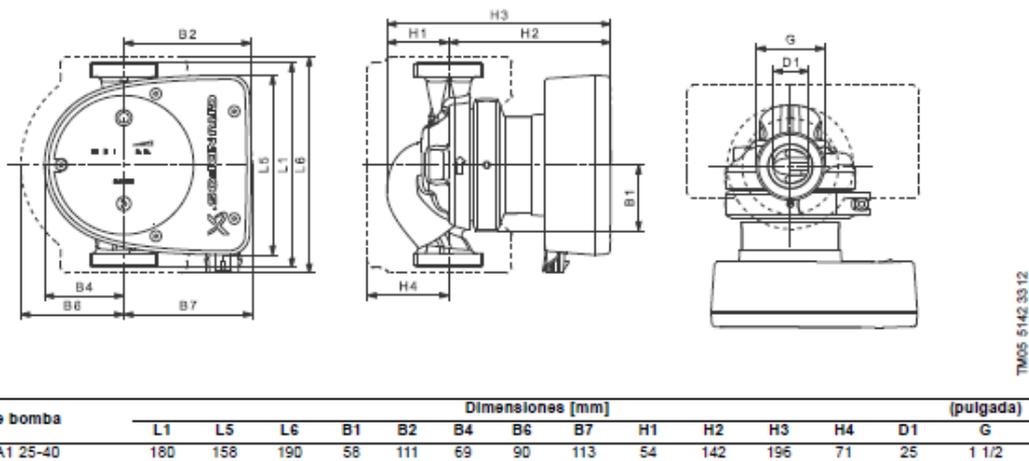


Figura 15. Esquema y dimensiones bomba circuito secundario.

1.7.5. Vaso de expansión.

Se proyecta instalar un vaso de expansión en el circuito solar primario para absorber las variaciones de volumen de fluido caloportador que se puedan producir en el circuito cerrado, marca Direnova Solar 18 para A.C.S. de 18 litros. Sus características son las siguientes:

- Vaso de expansión para sistemas solares con membrana intercambiable.
- Se suministran con brida en acero cincado con protección interior de PP. Se suministran precargados.
- Brida con protección interna de polipropileno.
- P_{max} : 10 bar.
- Temperatura sistema: -10°C a $+100^{\circ}\text{C}$ (punta 130°C).
- Capacidad: 18 litros.
- Precarga: 2,5 bar.
- Color: Rojo.
- Directiva: PED 97/23/CE.

En la siguiente figura aparece el vaso de expansión y un esquema del equipo:

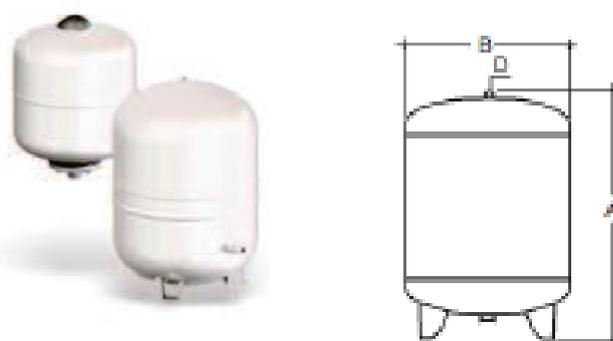


Figura 16. Fotografía y dimensiones vaso de expansión.

Dimensiones:

- A: 380 mm.
- B: \varnothing 260 mm.
- D (orificio de conexión): \varnothing 3/4".



1.7.6. Sistema de control y regulación.

El sistema de regulación elegido es del fabricante VIESSMAN modelo Vitosolic 200.
(Figura 17)

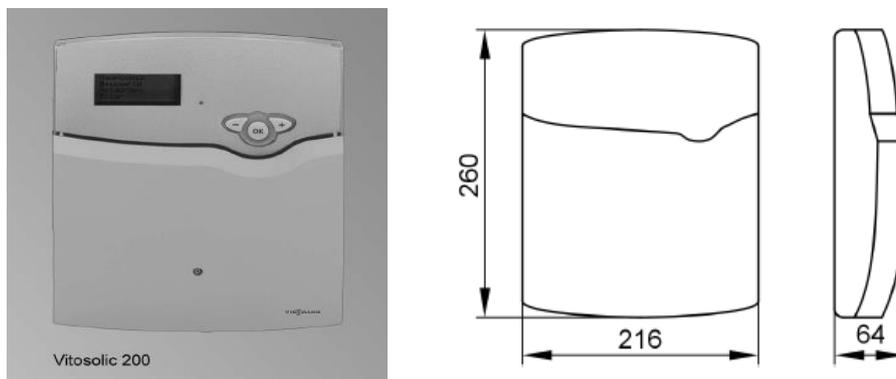


Figura 17 .Fotografía y dimensiones del modelo Vitosolic 200.

Estructura

La regulación incluye:

- Sistema electrónico.
- Indicación digital.
- Teclas de ajuste.
- Bornas de conexión:
 - Sondas.
 - Célula solar.
 - Bombas.
 - Entradas del contador de impulsos para la conexión de medidores de volumen.
 - BUS KM.
 - Dispositivo de aviso colectivo de averías.
 - BUS V para registrador de datos y/o instrumento para lectura a gran distancia.
 - Conexión a la red eléctrica (interruptor de alimentación que ha de proporcionar el instalador/la empresa instaladora).
- Relé para activar las bombas.

Funciones:

- Conexión de la bomba del circuito de energía solar para producción de A.C.S y calentamiento del agua de piscinas y de otros consumidores.
- Limitación electrónica de la temperatura en el acumulador de A.C.S. (desconexión de seguridad a 90°C).
- Desconexión de seguridad de los captadores.
- Balance térmico:
 - Medición de la temperatura diferencial e introducción del caudal volumétrico.
 - Set de ampliación del calorímetro con medidor de volumen y dos sondas de temperatura.
- Indicación de las horas de servicio de la bomba del circuito de energía solar.
- Conmutación by-pass con sonda de temperatura del captador y sonda by-pass o con sonda de temperatura del captador y célula solar para mejorar el comportamiento de arranque de la instalación.

A continuación se muestran los datos técnicos:



- Tensión nominal 230 V
- Frecuencia nominal 50 Hz
- Intensidad nominal 6 A
- Potencia consumida 6 W
- Clase de protección II
- Tipo de protección IP 20
- Modo de operación 1B según EN60730-1
- Temp. Amb admisible 0 a + 40 °C
- Capacidad de carga nominal de las salidas de relé
 - Relé semiconductor 1 a 4 0.5 A
 - Relé 5 a 7 4(2) A. 230V
 - Total max 6 A.
- Sonda de temp. Captador
 - Modelo de sonda Pt500
 - Tipo de protección IP 32
 - Temp. Amb admisible de -20 a 180 °C
- Sonda de temp. Interacumulador
 - Modelo de sonda Pt500
 - Tipo de protección IP 32
 - Temp. Amb admisible 0 a + 90 °C

1.8. Cumplimiento de la normativa.

1.8.1. Cumplimiento del código técnico de la edificación-HE4.

1.8.1.1. Cumplimiento de la contribución solar mínima (Apartado 2.2.1.5).

La ciudad de El Puerto de Santa María está englobada, según el código técnico de la edificación-HE4, a partir de ahora CTE-HE4, en la zona climática V. Por lo tanto, la instalación debido a la demanda de A.C.S tiene que cumplir una fracción solar mínima del 70%. Según el diseño de la instalación objeto del presente proyecto, la fracción de demanda aportada por la energía solar es del 72,30% por lo que cumple la exigencia de la contribución solar mínima.

1.8.1.2. Cumplimiento del exceso de contribución solar (Apartado 2.2.1.5).

Según el diseño de la instalación, ningún mes del año se supera una fracción solar del 110%. Además, no se supera el 100% de la contribución solar en ninguno de los meses del año. Por lo tanto no es necesario tomar medidas para evitar sobrecalentamientos ni la instalación de equipos para evacuar el excedente de energía.

1.8.1.3. Cumplimiento del límite de pérdidas (Apartado 2.2.1.4).

El campo solar de la presente instalación tiene una disposición de los captadores de tipo general, por lo que no debe exceder el 10% de pérdidas por orientación e inclinación, un 10% de pérdidas por sombras, y un 15% de pérdidas totales.

En la figura 18 se muestra un gráfico del porcentaje de aprovechamiento solar de una instalación debido a la orientación e inclinación de los captadores solares. El campo solar de la instalación objeto de este proyecto se ha diseñado con una orientación de 11° Este y una inclinación de 36° con respecto a la horizontal. Situando ese punto en el gráfico de la figura 18 (punto verde) se puede observar que se tiene un aprovechamiento solar mínimo del 95% con



respecto a orientación sur e inclinación óptima, o lo que es lo mismo, un máximo de un 5% de pérdidas por orientación e inclinación, al ser de tipo general ya cumpliría con las especificaciones del CTE.

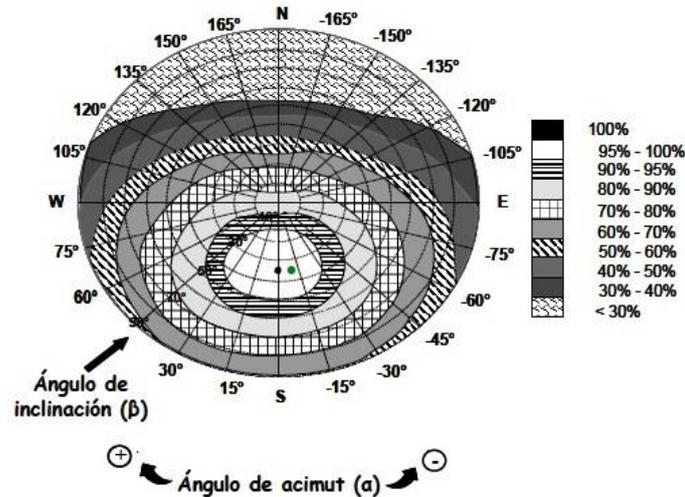


Figura 18. Gráfico de pérdidas en función en función del ángulo de acimut.

Debido a que todos los edificios que rodean al instituto tienen menor altura que la cubierta donde está situado el campo de captación, no se producen sombras en los captadores y por consecuencia no se producen pérdidas por sombras.

Todo lo comentado anteriormente se comprueba de manera numérica en el apartado x, donde se realiza el cálculo del porcentaje de pérdidas. Dando como resultado unas pérdidas de 0,43%, este valor queda muy por debajo del máximo permitido para el caso general, por lo que las pérdidas por orientación e inclinación son correctas y la instalación cumple los requisitos.

Por lo tanto el total de pérdidas es inferior a los límites establecidos por el CTE.

1.8.2. Cumplimiento del RITE.

1.8.2.1. Cumplimiento de la IT 1.1.4.3.1. “Preparación de agua caliente para usos sanitarios”.

El agua caliente para usos sanitarios se preparará a la temperatura mínima que resulte compatible con su uso considerando las pérdidas en la red de distribución.

Al tratarse de un edificio sanitario público, se ha tenido en cuenta los criterios de la “Guía para la prevención y control de la legionelosis en instalaciones térmicas” del Ministerio de Sanidad.

De esta forma la temperatura de almacenamiento final del agua caliente no se situará nunca por debajo de los 60°C para evitar la proliferación de la bacteria.

Además, el sistema de calentamiento de la instalación, ya sea únicamente el sistema solar o ayudándose con el auxiliar, será capaz de llevar la temperatura del agua hasta los 70°C de forma periódica para su desinfección.



1.8.2.2. Cumplimiento de la IT 1.2.4.2.1. “Aislamiento térmico”.

Todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación estarán aislados térmicamente. Así se evitan consumos energéticos superfluos y los fluidos caloportadores llegan a las unidades terminales con una temperatura próxima a la de salida de producción.

Los espesores de los aislamientos, que aparecen calculados en el apartado 2.2.3. del presente proyecto, cumplen las especificaciones establecidas en el RITE.

Para evitar la congelación del agua en tuberías expuestas a temperaturas menores que la de su punto de fusión se recurre al empleo de una mezcla de agua con anticongelante.

1.8.2.3. Cumplimiento de la IT 1.3.4.4.5. “Medición”.

La instalación dispone de la instrumentación de medida suficiente para la supervisión de las magnitudes que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de la misma: presión y temperatura. Esta instrumentación se basa en termómetros, termostatos y manómetros.

Los instrumentos de medida se sitúan en lugares visibles y fácilmente medibles para su lectura.

Los sensores de temperatura en el circuito de agua penetran en el interior de la tubería a través de una vaina de una sustancia conductora del calor.

Los instrumentos de medición de los que consta la instalación son los siguientes:

- Un manómetro en el vaso de expansión cerrado, situado en el circuito primario del sistema solar.
- Un manómetro en la aspiración y otro en la descarga de las bombas, para una lectura diferencial de la presión.
- Termómetros y manómetros a la entrada y la salida del intercambiador de calor.
- Termómetros en la salida de acumulación solar y en la entrada de los depósitos de agua caliente sanitaria.

1.8.2.4. Cumplimiento de la IT 2.3.3. “Sistemas de distribución de agua”.

Los diferentes ramales del subsistema solar primario están conectados de forma que el circuito queda equilibrado hidráulicamente con retorno invertido.

Las tuberías estarán situadas en lugares donde sean accesibles a lo largo de su recorrido facilitando su inspección, sobre todo en los tramos principales y de sus accesorios.

1.8.2.5. Cumplimiento de la IT 2.3.4. “Control automático”.

Los sistemas de control del sistema solar aparecen descritos en el apartado 1.5.2. del presente documento, los cuales cumplen con los requisitos exigibles por la norma: control y limitación de la temperatura.



1.9. Referencias.

Referencias bibliográficas:

- 1.- Memoria y Planos del Proyecto Básico y de Ejecución de Instituto de Enseñanza Secundaria de 8 unidades D-2 “Valdelagrana” en el Puerto de Santa María (Cádiz).
- 2.- Código Técnico de la Edificación: HE4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- 3.- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)
- 4.- Apuntes de la asignatura: ENERGÍA SOLAR: Energía Solar a Baja Temperatura de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.
- 5.- Apuntes de la asignatura: INSTALACIONES TÉRMICAS EN LA EDIFICACIÓN de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.
- 6.- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), “Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de condiciones Técnicas de instalaciones de baja temperatura”. (2009)
- 7.- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), “Energía Solar Térmica. Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables”. (2012)
- 8.- IDAE - Plan Energías Renovables 2011-2020. (2011)
- 9.- AAE (Agencia Andaluza de la Energía). Energía Solar Térmica a baja temperatura. Generalidades. (2011)
- 10.- AVEN (Generalitat Valenciana).Guías prácticas de energías renovables. Energía Solar Térmica. (2009)
- 11.- Otros proyectos de contenido relacionado.
- 12.- Aenor: “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica” (UNE 94002:2005)
- 13.- Aenor: “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas” (UNE 94003:2007)
- 14.- Documentación técnica y comercial de TERMICOL
- 15.- Documentación técnica y comercial de SAUNIER DUVAL
- 16.- Documentación técnica y comercial de FAGOR
- 17.- Documentación técnica y comercial de GRUNDFONDS
- 18.- Documentación técnica y comercial de DIRENOVA
- 19.- Documentación técnica y comercial de VIESMANN

Referencias Webs:

- 1.- www.idae.es
- 2.- www.agenciaandaluzadelaenergía.es
- 3.- www.codigotécnico.org/web/
- 4.- www.cleanergysolar.com
- 5.- www.solarkimex.com
- 6.- www.bibing.us.es



2. MEMORIA DE CÁLCULO.

2.1. Introducción.

Después de haber observado las distintas partes que conforman el edificio en cuestión y la instalación de A.C.S., hay que dimensionar los elementos que componen a esta última para que tenga un rendimiento óptimo y se cumplan las distintas exigencias de la normativa actual. Para ello hay que conocer unos datos iniciales (datos geográficos, climático, etc.) a partir de los cuales se calcularán diferentes parámetros como el área de captadores, el volumen de acumulación, diámetro y longitud de las tuberías, etc. Una vez obtenidos estos, se valorarán las distintas opciones posibles y se escogerán aquellas que hagan la instalación lo más óptima posible, teniendo en cuenta las distintas restricciones por normativa, espacio y otros factores.

2.2. Datos de partida.

2.2.1. Datos geográficos.

Las instalaciones objeto del presente proyecto se sitúan en la urbanización Valdelagrana, en la localidad de El Puerto de Santa María, en la provincia de Cádiz. Esta ciudad se encuentra a una altitud de 15 metros sobre el nivel del mar y con una latitud de 36,36° Norte y una longitud 6,13° Oeste.

2.2.2. Datos climáticos.

Los datos climáticos que se usarán para el cálculo y dimensionado de las instalaciones corresponderán a la ciudad de El Puerto de Santa María, donde se encuentra el edificio objeto de estudio. Todos estos datos, han sido cogidos de las correspondientes normas para la capital de provincia, y modificados según exigía el código técnico de la edificación.

2.2.2.1. Temperaturas ambiente medias mensuales.

En la tabla 1 y la figura 19 que se muestran a continuación aparecen las temperaturas ambiente medias mensuales a lo largo de un año. Estos datos, se han obtenido de la norma UNE 94003:2007 y han sido corregido, según dice dicha norma, respecto a la altitud de la localidad donde se encuentra el edificio, ya que esta no es capital de provincia.

Para cualquier localidad Y que no sea capital de provincia la temperatura ambiente diaria media mensual (T_{ambY}) se debe obtener a partir de la temperatura ambiente diaria media mensual de su capital de provincia (T_{ambCP}) aplicando la expresión:

$$T_{ambY} = T_{ambCP} - B \cdot \Delta z$$

Donde:

- Δz : la diferencia de altura, expresada en metros, entre la localidad Y y la altura de referencia de la capital de provincia de dicha localidad.

NOTA: El criterio de signos es tal que si Y está a mayor altura que su capital de provincia, Δz es positiva.

- B es una constante que toma los siguientes valores:



- B = 0,010 para los meses de Octubre a Marzo.
- B = 0,005 para los meses de Abril a Septiembre.

Por lo tanto, los datos de temperatura media mensuales del agua fría también han sido corregidos, según dice dicha norma, respecto a la altitud de la localidad donde se encuentra el edificio, ya que esta no es capital de provincia. Estando Cádiz, la capital de provincia, a una altura de 4 m sobre el nivel del mar y El Puerto de Santa María a 15 m.

MES	T.AMB.CADIZ [°C]	T.AMB.PTO STA. MARÍA [°C]
ENERO	12,8	12,69
FEBRERO	13,5	13,39
MARZO	14,7	14,59
ABRIL	16,2	16,145
MAYO	18,7	18,645
JUNIO	21,5	21,445
JULIO	24	23,945
AGOSTO	24,5	24,445
SEPTIEMBRE	23,5	23,445
OCTUBRE	20,1	19,99
NOVIEMBRE	16,1	15,99
DICIEMBRE	13,3	13,19
PROMEDIO	18,27	18,19

Tabla 1. Temperaturas ambiente a lo largo del año

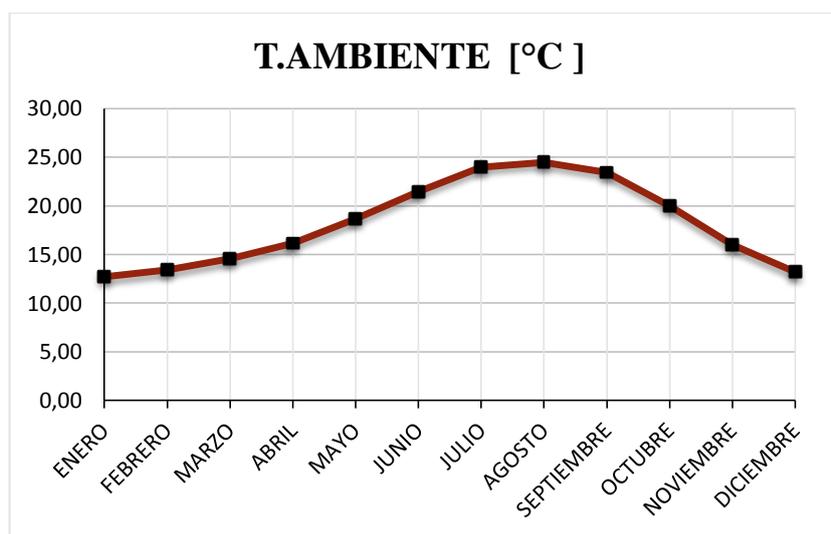


Figura 19. Temperaturas ambiente a lo largo del año

2.2.2.2. Niveles de irradiación mensuales sobre sup. horizontal.

Análogamente, se representan gráficamente los valores horarios de radiación global horizontal media diaria considerados, a lo largo de un año (Tabla 2 y Figura 20). Estos datos se han obtenidos de la norma correspondiente. Al igual que ocurre con las temperaturas medias mensuales, estos datos se han obtenido también de la norma UNE 94003:2007.



MES	\bar{H}_g [MJ/(m ² · día)]
ENERO	9,30
FEBRERO	12,30
MARZO	16,40
ABRIL	20,40
MAYO	24,60
JUNIO	26,30
JULIO	27,20
AGOSTO	25,20
SEPTIEMBRE	19,40
OCTUBRE	14,80
NOVIEMBRE	10,40
DICIEMBRE	8,50

Tabla 2. Radiación global sup.horizontal media diaria a lo largo del año.

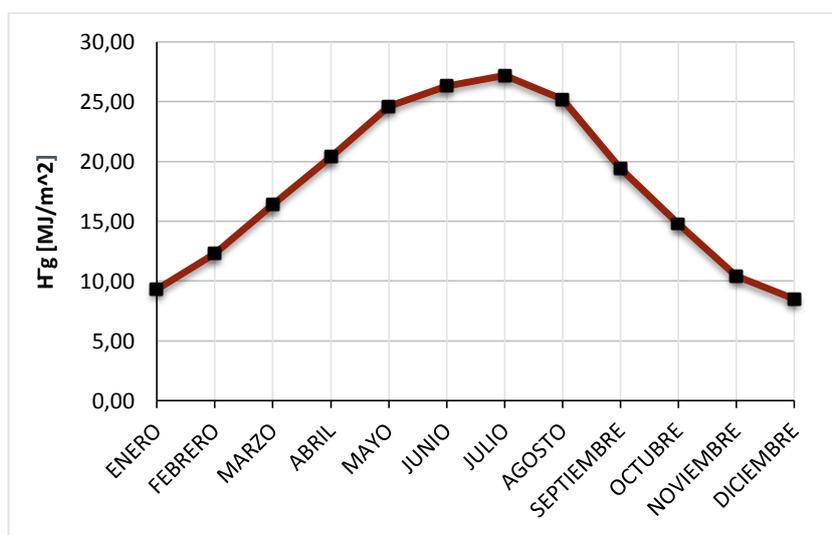


Figura 20. Radiación global sup.horizontal media diaria a lo largo del año.

2.2.2.3. Niveles de irradiación mensuales sobre sup. inclinada.

Una vez obtenidos los datos de los niveles de radiación para los diferentes meses para superficies horizontales, a través de la norma, habría que calcular para superficies inclinadas. En concreto para superficies inclinadas igual a la latitud para instalaciones que funcionan todo el año como nos indica el CTE-HE4, para este caso tendrían una inclinación aproximadamente de 36 °.

En métodos de cálculo basados en valores medios mensuales, como el f-Chart, es necesario trabajar con valores de radiación diarios medios mensuales. Para ello se han escogido un día de cada mes expresado en la tabla 3, para el cálculo de los diferentes parámetros que se expondrán a más adelante en este apartado.

El proceso para la obtención de la radiación para superficies inclinadas se puede descomponer en dos pasos principales, estos habría que aplicarlo para cada uno de los meses.



MES	DÍA DEL MES	DÍA DEL AÑO
ENERO	17	17
FEBRERO	16	47
MARZO	16	75
ABRIL	15	105
MAYO	15	135
JUNIO	11	162
JULIO	17	198
AGOSTO	16	228
SEPTIEMBRE	15	258
OCTUBRE	15	288
NOVIEMBRE	14	318
DICIEMBRE	10	344

Tabla 3. Días escogidos de los meses del año.

PASO 1

En primer lugar hay que descomponer la radiación global diaria media mensual horizontal en sus componentes directa y difusa.

$$\bar{H} = \bar{H}_D + \bar{H}_d$$

Siendo:

- \bar{H} : Radiación solar media mensual en una superficie horizontal [MJ/(m²·día)].
- \bar{H}_D : Radiación solar directa media mensual en una superficie horizontal. Radiación solar recibida sin modificar su dirección al atravesar la atmósfera terrestre. Su dirección depende de la localidad geográfica y del tiempo [MJ/(m²·día)].
- \bar{H}_d : Radiación solar difusa media mensual en una superficie horizontal. Radiación solar recibida después de modificar su dirección al atravesar la atmósfera como consecuencia de la dispersión atmosférica. En modelos isotrópicos se considera que se distribuye igual en todas las direcciones (difusa) [MJ/(m²·día)].

Índice de claridad media mensual (\bar{K}_T):

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o}$$

Siendo:

- \bar{H}_o : Radiación solar extraterrestre media mensual en una superficie horizontal [MJ/(m²·día)].

$$\bar{H}_o = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{cs} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \omega_s \right)$$

- G_{cs} : Constante solar. Esta es la radiación solar extraterrestre incidente en una superficie normal a la dirección de la radiación a la distancia media Tierra-Sol. [$G_{cs}=1367 \text{ W/m}^2$]
- n : Día del año.
- δ : Declinación. Posición angular del sol en el mediodía solar con respecto al plano del ecuador. Norte positivo. [$-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$]. Se puede hallar a través de la ecuación de Cooper:



$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right)$$

- ϕ : Latitud.
- ω_s : Ángulo horario. Desplazamiento angular del sol al este o al oeste en relación al meridiano local, debido a la rotación de la Tierra en torno a su eje a una velocidad de 15°/hora; mañana negativo, tarde positivo.

$$\cos \omega_s = -\text{tg } \delta \cdot \text{tg } \phi$$

Para $\omega_s \leq 81.4^\circ$ (invierno) y $0.3 \leq \overline{K_T} \leq 0.8$.

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1,311 - 3,022 \cdot \overline{K_T} + 3,427 \cdot \overline{K_T}^2 - 1,821 \cdot \overline{K_T}^3$$

Para $\omega_s > 81.4^\circ$ (primavera, verano y otoño) y $0.3 \leq \overline{K_T} \leq 0.8$.

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1,391 - 3,560 \cdot \overline{K_T} + 34,189 \cdot \overline{K_T}^2 - 2,137 \cdot \overline{K_T}^3$$

Una vez hallada la radiación difusa se podría calcular la directa.

PASO 2

Ahora ya se pasaría a calcular la radiación global diaria media mensual sobre la superficie inclinada.

$$\overline{H_I} = R_D \cdot \overline{H_D} + \left(\frac{1 + \cos s}{2} \right) \cdot \overline{H_d} + \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos s}{2} \right) \cdot \overline{H}$$

- s : Inclinación de la superficie receptora. Como se dijo anteriormente es de 36° .
- ρ : Reflectividad de las superficies de alrededor. Suele tomar un valor de 0,2.

La ecuación se puede dividir en tres bloques:

- Primer bloque corresponde a la radiación directa.

$$R_D = \frac{\cos(\phi - s) \cdot \cos \delta \cdot \text{sen } \omega_s' + \frac{\pi \cdot \omega_s'}{180} \cdot \text{sen}(\phi - s) \cdot \text{sen } \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen } \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \text{sen } \phi \cdot \text{sen } \delta}$$

$$\omega_s' = \min \begin{cases} \omega_s = \cos^{-1}(\text{tg } \phi \cdot \text{tg } \delta) \\ \cos^{-1}(\text{tg}(\phi - s) \cdot \text{tg } \delta) \end{cases}$$

- Segundo bloque corresponde a la radiación difusa.
- El tercer y último bloque corresponde a la radiación reflejada, que es, como su nombre indica, la radiación solar recibida después de reflejarse en una superficie. También se suele denominar Radiación de Albedo.

Una vez realizado todos los cálculos se obtienen los siguientes resultados:



MES	$\bar{H}_{g,INC}$ [MJ/(m ² · día)]
ENERO	14,28
FEBRERO	16,93
MARZO	19,51
ABRIL	20,58
MAYO	21,86
JUNIO	21,97
JULIO	23,27
AGOSTO	24,18
SEPTIEMBRE	21,85
OCTUBRE	19,87
NOVIEMBRE	15,73
DICIEMBRE	13,43
PROMEDIO	19,47

Tabla 4. Radiación global sup.inclinada media diaria a lo largo del año.

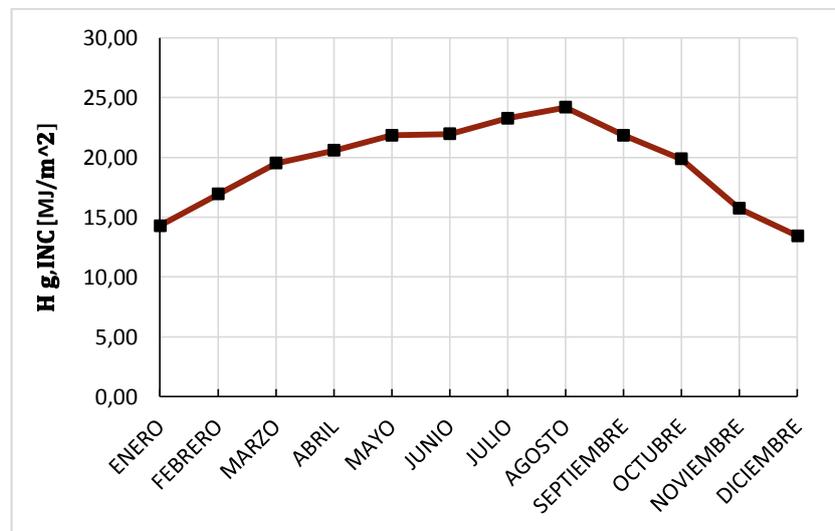


Figura 21. Radiación global sup.inclinada media diaria a lo largo del año.

A la vista de los resultados y del promedio, se puede decir que la localización del edificio es una zona V según la clasificación hecha por el CTE-HE 4.

2.2.3. Datos de consumo de A.C.S.

2.2.3.1. Temperaturas medias mensuales del agua de red.

Se representan, por último, los datos de temperatura media mensual del agua fría procedente de la red de abastecimiento de la localidad (Tabla 5 y Figura 22). Estos datos se han obtenido del CTE-HE4 y de la norma UNE 94002:2005 y en ellos se dice que en los casos en los que la localidad no coincida con la capital de provincia se corregirá la temperatura ambiente diaria media mensual ($T_{af,Y}$) según la temperatura de la capital de provincia ($T_{af,CP}$) y la diferencia de altura con respecto a esta ($\Delta z = \text{Altura de la localidad} - \text{Altura de la Capital de provincia}$) mediante la siguiente expresión:

$$T_{af,Y} = T_{af,CP} - B \cdot \Delta z$$



Donde:

- $B = 0,0066$ para los meses de Octubre a Marzo;
- $B = 0,0033$ para los meses de Abril a Septiembre.

Por lo tanto, los datos de temperatura media mensual del agua fría también han sido corregidos, según dice dicha norma, respecto a la altitud de la localidad donde se encuentra el edificio, ya que esta no es capital de provincia. Estando Cádiz, la capital de provincia, a una altura de 4 m sobre el nivel del mar y El Puerto de Santa María a 15 m.

MES	T.REF AGUA FRÍA CADIZ [°C]	T.REF AGUA FRÍA VALDELAGRANA [°C]
ENERO	12,00	11,93
FEBRERO	12,00	11,93
MARZO	13,00	12,93
ABRIL	14,00	13,96
MAYO	16,00	15,96
JUNIO	18,00	17,96
JULIO	19,00	18,96
AGOSTO	20,00	19,96
SEPTIEMBRE	19,00	18,96
OCTUBRE	17,00	16,93
NOVIEMBRE	14,00	13,93
DICIEMBRE	12,00	11,93
PROMEDIO	15,52	15,47

Tabla 5. Temperatura de agua fría de red a lo largo del año.

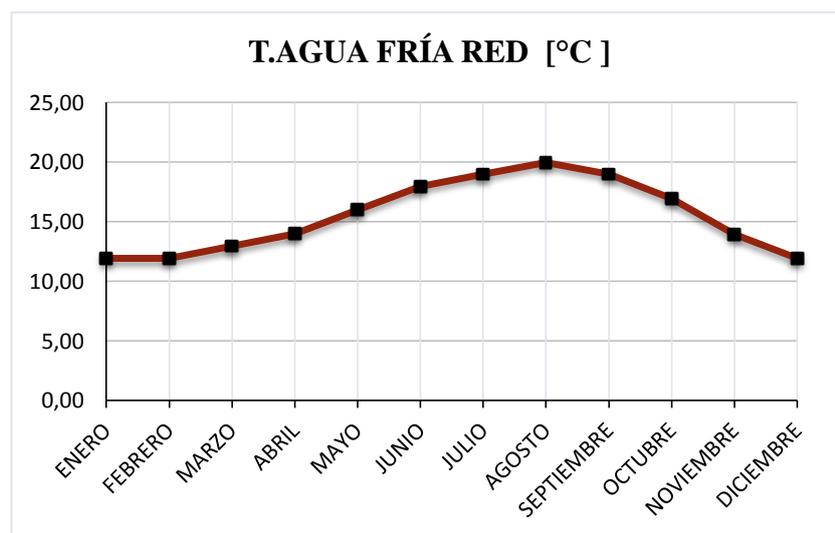


Figura 22. Temperatura de agua fría de red a lo largo de un año.

2.2.3.2. Cálculo del consumo.

Para la estimación del consumo de agua de agua caliente sanitaria del edificio objeto de estudio de este trabajo, habría que dividirlo en dos partes. Una primera formada por el instituto y otra parte que sería la vivienda, en ambas se ha seguido los criterios tomados del CTE-HE 4 y que el porcentaje de ocupación en las dos partes será del 100% durante todo el año.



Para un instituto con duchas, según el CTE el consumo sería de 21 l/persona·día. En esta parte del edificio se estima por el número de personas, que serían 280 personas. Por lo que el consumo diario máximo de A.C.S. será de:

$$D_{\text{inst}} = 21 \left[\frac{\text{l}}{\text{persona} \cdot \text{día}} \right] \cdot 280 \left[\text{personas} \right] = 5880 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

La temperatura de referencia también se tomará del CTE-HE 4, siendo de 60 °C.

Para la vivienda, primero habría que mirar el número de dormitorios para saber el número de personas, en este caso habría un total de 3 dormitorios. Siguiendo el procedimiento especificado por el CTE, el número de personas por vivienda se determina de la siguiente tabla:

Número de Dormitorios	1	2	3	4	5	6	7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9

Tabla 6. Demanda de consumo por número de dormitorios por vivienda.

Por tanto, la vivienda del edificio tiene una ocupación equivalente a 4 personas. Según las especificaciones del CTE, el ratio a aplicar para el cálculo de la demanda es de 28 litros/persona·día (a una T^a de referencia de 60 °C) para una vivienda. Por lo que el consumo diario máximo de A.C.S. será de:

$$D_{\text{viv}} = 28 \left[\frac{\text{l}}{\text{persona} \cdot \text{día}} \right] \cdot 4 \left[\text{personas} \right] = 112 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Una vez calculado las demandas de las diferentes partes se podría calcular la total del edificio. Por lo que el consumo diario máximo total de A.C.S. será de:

$$D_{\text{TOTAL}} = D_{\text{inst}} + D_{\text{viv}} = 5992 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

2.2. Dimensionamiento.

2.2.1. Sistema de captación de energía solar.

2.2.1.1. Análisis paramétrico previo.

Antes del cálculo y dimensionado de los diferentes componentes que conforman instalación de producción de A.C.S. se ha realizado un estudio de la influencia de los principales parámetros que caracterizan el sistema de energía térmica de baja temperatura en el comportamiento de este. El estudio paramétrico será realizado mediante la herramienta informática EES en el cual se han incluido las distintas ecuaciones y variables que intervienen en el funcionamiento de este y se han ido variando los dichos los parámetros comentados anteriormente. Los parámetros evaluados son los siguientes:

- Número de captadores.
- Superficie de captación.
- Volumen de acumulación en el circuito solar.
- Conexión serie/paralelo de los captadores.
- Inclinación de los captadores.
- Orientación del campo de captadores.

Para el estudio paramétrico se han escogido unos valores iniciales para los parámetros anteriores. Los valores de partida de dichos parámetros son los siguientes:

- Datos del captador:



- $F_R(\tau\alpha)_n : 0,781$
- $F_R U_L : 3,83 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Número de captadores: 42
- Superficie de captación: $78,8 \text{ m}^2$
- Fluidos que circulan por la instalación:
 - Circuito Primario: Agua con 30% Propilenglicol
 - Circuito Secundario: Agua
- Caudal de circulación en captadores: $0,018 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
- Relación volumen de acumulación – superficie de captación: $75 \text{ l}/\text{m}^2$
- Rendimiento del intercambiador: 80%
- Orientación del campo de captadores: 11° sur-este
- Inclinación de los captadores: 36°
- Conexión de los captadores en serie 2.

El parámetro principal usado para caracterizar el comportamiento de la instalación de producción de A.C.S. será la fracción de demanda aportada por la energía solar (f), definida como:

$$f = \frac{Q_T}{L}$$

Siendo:

- Q_T : Energía solar útil captada.
- L: Demanda térmica.

En los diferentes estudios paramétricos se han aplicado las correspondientes correcciones comentadas en la explicación del método empleada (f-Chart).

2.2.1.1.1 Superficie de captación.

El primer parámetro a estudiar es la superficie de captación solar. Para ello se ha variado dicho parámetro desde un valor de 50 m^2 hasta un valor de 150 m^2 . Los demás parámetros se mantienen en su valor de partida. Esto nos permitirá ver como varía la fracción de demanda aportada por la energía solar en función del área de captación. Se ha calculado también el número de captadores que corresponden a esa área. Simulando se obtienen los siguientes valores:

A [m^2]	f_{TOTAL} [%]
50	46,27
60	53,48
70	60,09
80	66,12
90	71,59
100	76,55
110	81,02
120	85,02
130	88,6
140	91,77
150	94,58

Tabla 7. f en función del área de captación.

Representando gráficamente los resultados numéricos de la tabla anterior se obtiene la siguiente:

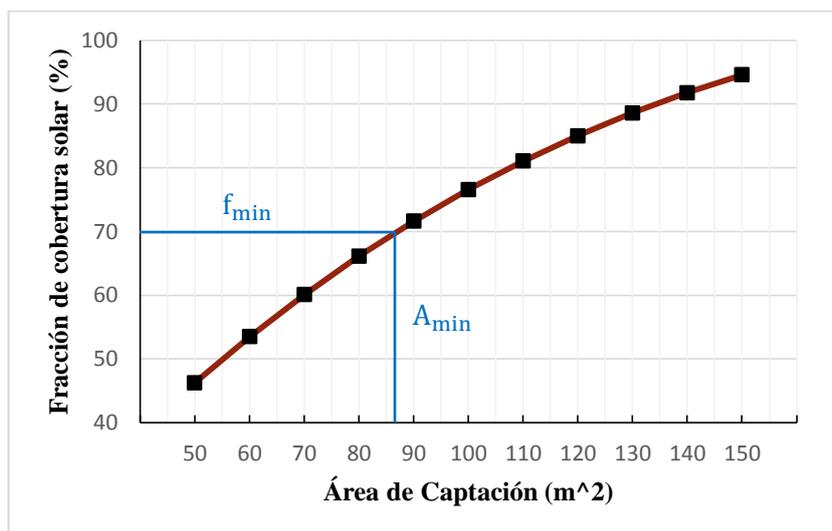


Figura 23. f en función del área de captación.

A la vista de esta gráfica se puede apreciar que el funcionamiento de la instalación depende en gran medida de la superficie de captación, y la fracción solar varía entre 46 % y 95 % aproximadamente. Se observa que la fracción de cobertura solar aumenta con la superficie de captación. En dicha gráfica también se señala el área mínima de captadores posible para que cumpla con lo exigido por el CTE-HE4. Dicha área mínima que proporciona una fracción de demanda aportada por la energía solar del 70 % es de 86,99 m², esto daría un resultado de 45,78 captadores, es decir, que habría que instalar 46 captadores solares como mínimo.

A la vista de lo comentado anteriormente, el número supuesto inicialmente de captadores (42) no cumpliría con la fracción de demanda exigida por el CTE-HE4, por lo que se ha escogido un número mayor que se adecue al espacio disponible y que facilite la distribución de la instalación. El número elegido de captadores es 48, que equivalen a un valor de superficie de captación instalada de 91,20 m², y proporcionará un valor de la fracción de cobertura solar del 72,22 %, manteniendo el resto de los valores inicialmente supuestos constantes.

Para el estudio del resto de los parámetros que influyen en el diseño de la instalación se supondrá como dato inicial el nuevo número de captadores (48).

2.2.1.1.2. Relación Volumen de acumulación – Superficie de captación (V/A).

El siguiente parámetro a estudiar, para ver su influencia en la fracción de demanda aportada por la energía solar (f), es la relación V/A. Para su evaluación se mantienen todos los demás parámetros en sus valores iniciales, excepto el volumen de acumulación que se va variando manteniendo la superficie de captación. El Código Técnico de la Edificación HE4 obliga a una relación V/A comprendida entre 50 y 180 l / (h·m²) por lo que se varía la relación desde 50 hasta 100 l / (h·m²) A continuación se muestran los resultados de la simulación en la tabla 8.

En la tabla 8 se incluye también el volumen de acumulación resultante de la relación V/A para el área de captación inicial.

Representando gráficamente los resultados numéricos de la tabla anterior se obtiene la gráfica 24.



V/A [l/m ²]	V [l]	f _{TOTAL} [%]
50	4560	70,69
55	5016	71,06
60	5472	71,39
65	5928	71,69
70	6384	71,96
75	6840	72,22
80	7296	72,45
85	7752	72,66
90	8208	72,86
95	8664	73,05
100	9120	73,22

Tabla 8. f en función V/A.

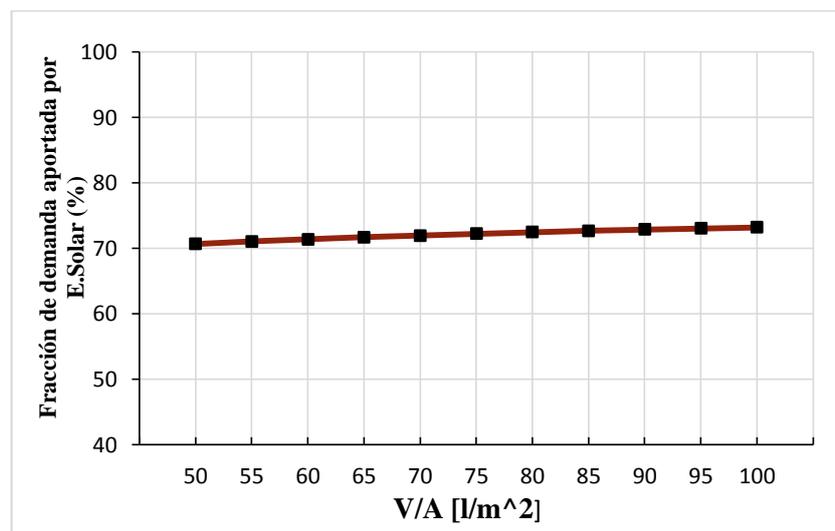


Figura 24. f en función V/A.

Como se aprecia, el volumen de acumulación solar no influye de una forma determinante en el funcionamiento de la instalación. Los valores de la fracción solar varían del 70,50 % al 73,50 % aproximadamente. Observando los volúmenes de acumulación obtenidos, se ha escogido 7000 litros de acumulación que corresponden a una relación V/A de 76,75 l/(h · m²), bastante cercano al recomendado y por lo tanto entra dentro de los límites que impone el CTE, dando una fracción de demanda cubierta del 72,30 %.

2.2.1.1.3. Conexión serie-paralelo.

A continuación, se simula la instalación según el parámetro de conexionado de los captadores. Se simula la instalación para todos los captadores en paralelo, para 2 captadores en serie y para 3 captadores en serie dando los siguientes resultados:

N	f _{TOTAL} [%]
1	73,56
2	72,22
3	70,89

Tabla 9. f en función del número de captadores conectados en serie.

Representando gráficamente los resultados numéricos de la tabla anterior se obtiene la siguiente gráfica:

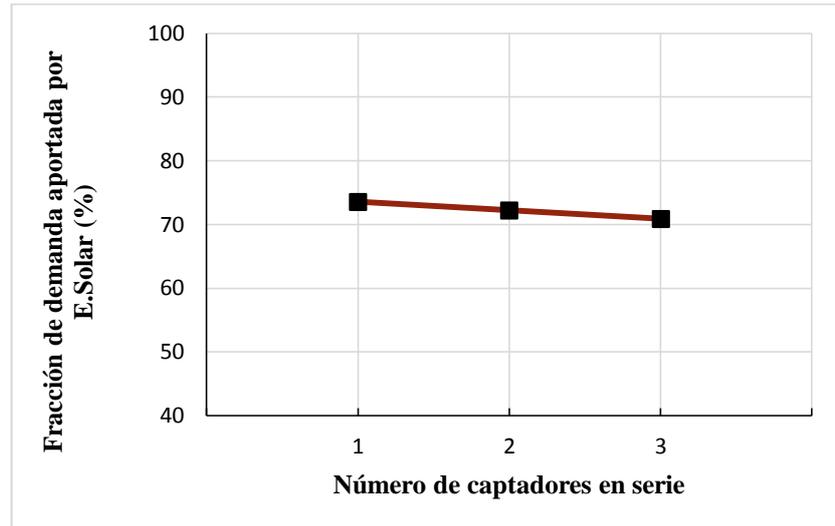


Figura 25. f en función del número de captadores conectados en serie.

Como se puede observar la fracción solar disminuye conforme se aumenta el número de captadores en paralelo debido a que el rendimiento de los captadores se reduce. Se elige instalar 2 captadores en serie con una fracción solar del 72,22 %. Este es el mismo resultado que ha dado en el estudio del área de captación ya que uno de los datos de partida supuestos era los captadores estaban conectados de forma que hubiera 2 en serie.

2.2.1.1.4. Inclinación.

El siguiente parámetro evaluado es la inclinación de los captadores, viendo el efecto de su variación desde los 10° a los 50° con la horizontal. A continuación se muestran los resultados de esta simulación:

Representando gráficamente los resultados numéricos de la tabla anterior se obtiene la siguiente gráfica:

INCLINACIÓN	f_{TOTAL} [%]
10	68,52
15	70,01
20	71,14
25	71,89
30	72,26
35	72,26
40	71,88
45	71,11
50	69,95

Tabla 10. f en función de la inclinación de la superficie de captación.

La fracción solar varía entre 68 % y el 73 % aproximadamente. La inclinación escogida ha sido de 36° ya que es muy próximo al valor de la latitud en el emplazamiento del edificio, y es la inclinación que se recomienda para una instalación que va a funcionar durante todo el año, sin preferencias en invierno o verano. La fracción de demanda cubierta con 36° de inclinación es 72,22 %.

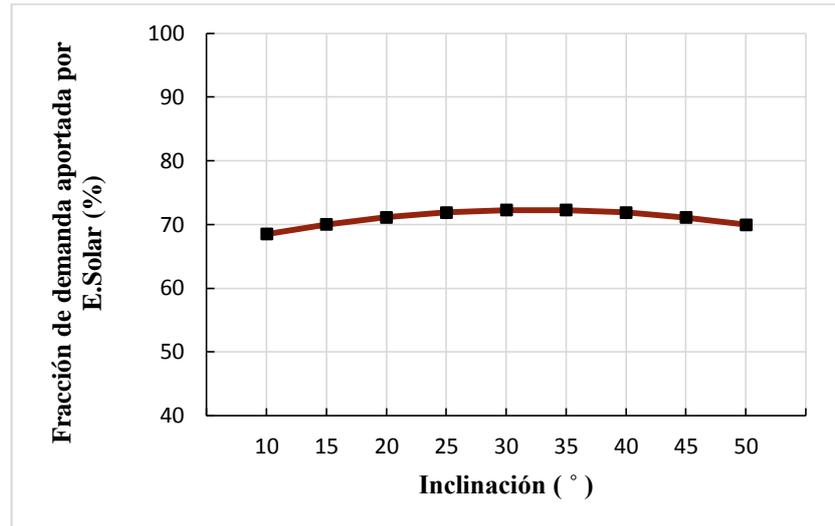


Figura 26. f en función de la inclinación de la superficie de captación.

2.2.1.1.5. Orientación.

Por último, cabría destacar que el estudio del parámetro de la orientación no se ha tenido en cuenta ya que la cubierta tiene una orientación de 11° sur-este e instalar los 48 captadores elegidos solo es posible si éstos están colocados de manera paralela a la cubierta, es decir con una orientación de 11° este.

2.2.1.2. Superficie de captación.

Como se ha explicado anteriormente se instalará un total de 48 captadores con un área total de 91,20 m². La instalación solar se ha decidido colocar en el edificio central de los tres módulos que conforman el instituto. Esto es debido a que dispone de una superficie de 472,47 m², como se muestra en los planos del presente proyecto, que son hacen posible la colocación y disposición de los 48 captadores solares. Por otro lado este módulo tiene una buena orientación y se puede llegar a la cubierta a través de un ascensor, lo que facilita su acceso a ella y el mantenimiento y vigilancia de la instalación.

Los captadores de placa plana escogidos para la instalación son de la marca Termicol, modelo T20US y sus características son las siguientes:

Datos técnicos

- Dimensiones totales: 2130 x 970 x 83 mm.
- Superficie útil de captación: 1,9 m².
- Volumen del fluido contenido: 1,02 litros
- Peso del captador en vacío: 37 kg.
- Presión máxima de trabajo: 6,08 bar.
- Rendimiento óptico (η_0): 78,1%.
- Factor lineal de pérdidas (a_{01}): 3,83 W/(m²·K).
- Recta de rendimiento:

$$\eta = 0,801 - 3,93 \cdot T$$

$$T = \frac{T_e - T_a}{G}$$

- T_e Temperatura media captador [°C]



- T_a = Temperatura ambiente [°C]
- G = Radiación solar [1000 W/m²]

- Curva de pérdida de carga:

$$\Delta p \text{ [mbar]} = 0,0295 \cdot x^2 + 1,1567 \cdot x - 0,1994$$

- x = caudal [kg/min]

Más características de los captadores están incluidas en el apartado 1.7.1.

2.2.1.3. Volumen de acumulación.

Según el CTE HE4, es necesario que el volumen de acumulación cumpla la siguiente restricción:

$$50 < V/A < 180$$

Siendo V el volumen de acumulación solar y A el área total de captación. Se ha escogido una relación con valor de 76,75 l/(h·m²) que corresponde a un volumen de acumulación de 7000 l, por lo que se proyecta la colocación de un solo acumulador vertical que satisface el volumen necesario.

Los acumuladores solares escogidos para la instalación, como se había comentado anteriormente, son dos depósitos de 3500 l de capacidad cada uno, marca Saunier Duval y modelo BDLN-3500, conectados en serie, con una capacidad total de 7000 l. La gama BDLN son depósitos sin serpentín, para acumulación de agua caliente o fría en circuito cerrado en instalación vertical sobre suelo. Están fabricados en acero al carbono, todos ellos cuentan con aislamiento térmico en poliuretano inyectado en molde. Dispone de las conexiones necesarias para la producción de A.C.S. a través de un intercambiador de placas y/o resistencias eléctricas de calentamiento.

Más características de los acumuladores están incluidas en el apartado 1.7.2.

2.2.1.4. Pérdidas por la disposición geométrica de los captadores.

La disposición de los captadores en el campo de captación puede originar pérdidas que reducen el rendimiento de la instalación. Hay tres posibles tipos de pérdidas debidas a la colocación de los captadores: las pérdidas debidas a la orientación según la desviación respecto al Sur geográfico, las pérdidas debidas a la inclinación desviando la recepción ortogonal de la radiación solar, y las pérdidas derivadas de los obstáculos en el entorno que producen sombras.

El presente proyecto contempla la instalación de 48 captadores en la cubierta del instituto, en concreto en el su módulo central ya que es el que se ha considerado idóneo por su tamaño, acceso y orientación. La instalación ha sido distribuida tal y como se muestra en los planos, montando en paralelo 6 baterías de 8 unidades cada una. Las filas son paralelas y están perfectamente alineadas. Dentro de cada batería 4 captadores en paralelo se conectan en serie a otros 4 captadores en paralelo.

La conexión entre captadores y filas se realiza de manera que el circuito quede equilibrado hidráulicamente, con retorno invertido. Los captadores disponen de cuatro manguitos de conexión que se conectan entre sí. En cada batería, la entrada del fluido caloportador se realiza por el extremo inferior del primer captador de la primera fila, y se conecta la salida del último captador de la fila a la entrada de la segunda fila. Así habría que hacerlo con cada una de las diferentes baterías.



A partir de lo comentado anteriormente se realizará un análisis de las posibles pérdidas en el sistema.

Pérdidas por orientación e inclinación

Las pérdidas por orientación e inclinación se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación (θ), definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal (Figura 27). Su valor es 0 grados para captadores horizontales y 90 grados para verticales.
- Ángulo de acimut (β), definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar (Figura 27). Valores típicos son 0 grados para captadores orientados al sur, -90 grados para captadores orientados al este y +90 para captadores orientados al oeste.

El ángulo de inclinación de los captadores (θ) es de 36° , ángulo muy próximo a la latitud geográfica ($36,36^\circ$). Una inclinación igual a la latitud geográfica es la óptima según el CTE HE4 cuando la demanda es constante a lo largo del año.

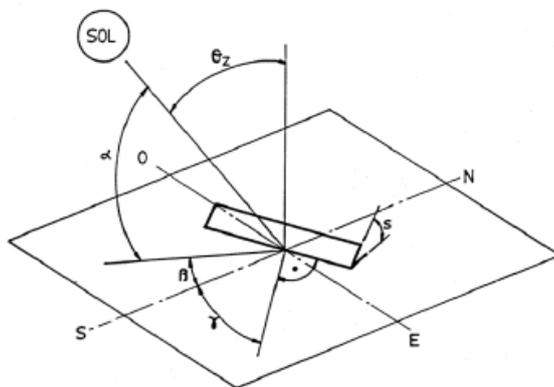


Figura 27. Ángulos relacionados con la dirección de la radiación solar.

Los captadores están orientados hacia el sur geográfico con una desorientación de 11° este debido a la propia orientación de la cubierta ($\beta = -11^\circ$).

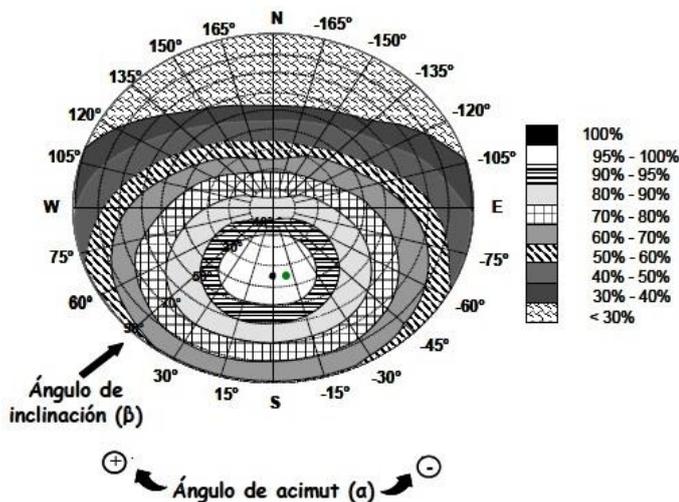


Figura 28. Gráfico de pérdidas en función del ángulo de acimut.



Conocido el azimut, determinamos en el gráfico anterior de pérdidas en función del ángulo de acimut (Figura 28) los límites para la inclinación en el caso de la latitud $\phi = 36^\circ$. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.

Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud $\phi = 36^\circ$ y se corrigen de acuerdo con lo que se cita a continuación.

Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre latitud del lugar en cuestión y la de 36° , de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{Inclinación máxima } (\phi = 36^\circ) - (s - \text{latitud lugar})$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{Inclinación mínima } (\phi = 36^\circ) - (s - \text{latitud lugar})$$

En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas [\%]} = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (s - s_{\text{opt}})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < s < 90^\circ$$

$$\text{Pérdidas [\%]} = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (s - s_{\text{opt}})^2] \quad \text{para } s \leq 15^\circ$$

Aplicando esta metodología a nuestro proyecto, las pérdidas por orientación e inclinación serán las siguientes:

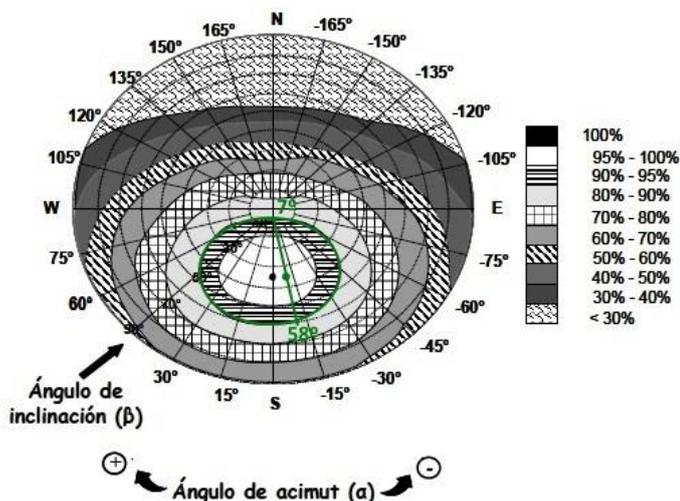


Figura 29. Cálculo definitivo de las pérdidas e inclinación.

Conocido el azimut ($\beta = -11^\circ$), determinamos en el gráfico (Figura 2.3.1.7.c) los límites de inclinación para el caso de latitud ($\phi = 36^\circ$). Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10% (borde exterior de la región 90%-95%), máximo para el caso general, con la recta de azimut -11° nos proporcionan los valores:

- Inclinación máxima ($\phi = 36^\circ$) = 58°
- Inclinación mínima ($\phi = 36^\circ$) = 7°

Corrigiendo los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión, $36,36^\circ$, y la latitud de 36° , obtenemos los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{Inclinación máxima} &= \text{Inclinación máxima } (\phi = 36^\circ) - (s - \text{latitud lugar}) \\ &= 58 - (36 - 36,36) = 58,36^\circ \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Inclinación mínima} &= \text{Inclinación mínima } (\phi = 36^\circ) - (s - \text{latitud lugar}) \\ &= 7 - (36 - 36,36) = 7,36^\circ \end{aligned}$$

La inclinación de la instalación es de 36° , quedando dentro de los límites de inclinación calculados. Por tanto, se puede concluir que las pérdidas serán menores al 10 % que establece el CTE para el caso general.

Para asegurar una mayor exactitud del valor de pérdidas se aplicará la fórmula anteriormente citada. Dado que el ángulo de inclinación (s) es de 36° , utilizaremos la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas [\%]} &= 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (s - s_{\text{opt}})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \\ &= 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (36 - 36,36)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot (-11)^2] = 0,43 \% \end{aligned}$$

Este valor queda muy por debajo del máximo permitido para el caso general, por lo que las pérdidas por orientación e inclinación son correctas y la instalación cumple los requisitos.

Pérdidas por sombras

Las pérdidas por sombras pueden venir de dos tipos de obstáculos: de elementos que obstruyen el horizonte (montañas, edificios,...) y entre captadores del mismo campo. El Código Técnico proporciona un método para calcular las pérdidas por obstáculos remotos y fija la distancia mínima entre filas de captadores para reducir las sombras propias del campo.

Pérdidas por obstáculos remotos

Las pérdidas por obstáculos remotos se calculan comparando el perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Se localizan los principales obstáculos que afectan a la superficie de captación, en términos de sus coordenadas de posición acimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal), y se representa su perfil en el diagrama siguiente:

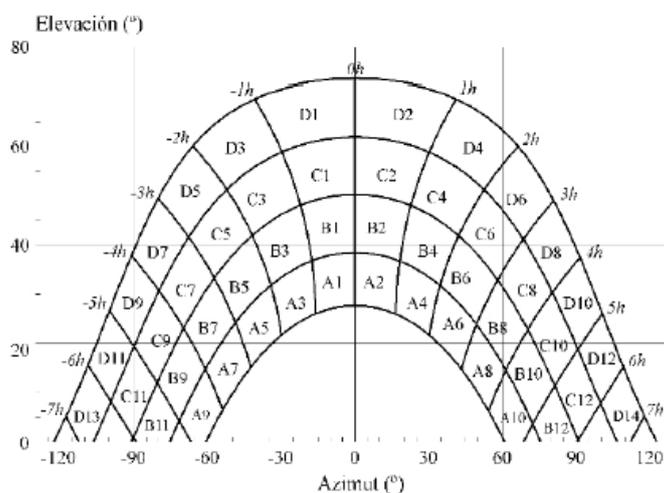


Figura 30. Cálculo definitivo de las pérdidas por obstáculos remotos.

En unas tablas contenidas en los anexos del CTE podremos convertir cada porción oculta por el perfil, por un porcentaje de pérdida y se han de sumar todas las contribuciones para hallar la pérdida total por sombras.

En este proyecto las pérdidas por obstáculos remotos se han considerado nulas debido a que no se considera ningún elemento exterior al edificio de altura superior.



Pérdidas entre elementos interiores del edificio

Estas pérdidas tendrán en cuenta, por un lado, la separación entre filas de captadores y por otro, la separación con cualquier elemento interior a la cubierta del edificio que pueda proyectar sombra.

La distancia de separación entre filas de captadores debe ser suficiente para que un obstáculo no proyecte sombras durante al menos 4 horas durante el día más desfavorable. Este día se escoge como el solsticio de invierno. En la figura 31 se muestra un esquema de dos filas de captadores solares.

La distancia mínima entre dos hileras de captadores se puede calcular de la siguiente manera:

$$d = \frac{h}{\text{tg}(\alpha)}$$

El término de la tangente α , altura solar, se ha calculado para el día más desfavorable en lo que a altura solar se refiere es durante el solsticio de invierno (21/22 de diciembre). Es por ello que se debe dejar una distancia de separación entre fila de módulos que asegure que dicho día se tenga irradiación durante las horas de mayor irradiancia (mediodía), para de este modo evitar las sombras en las horas de mayor producción el día más desfavorable. Dando como resultado una altura solar:

$$\alpha = 26,89^\circ$$

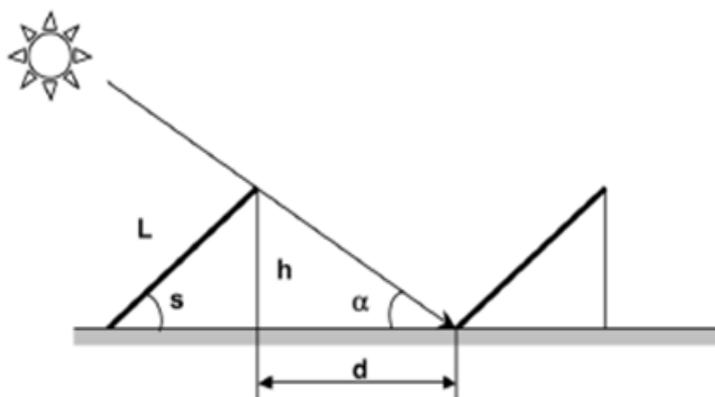


Figura 31. Distancia entre las hileras de captadores

La altura h se calcula de la siguiente manera:

- $h = L \cdot \text{sen}(s)$

En esta instalación, L corresponde a la medida del largo del captador, ya que están instalados de dicha forma, por lo que:

- $L = 2,13 \text{ m}$
- $s = 36^\circ$
- $\text{Latitud} = 36,36^\circ$

La distancia mínima entre hileras de captadores debe ser de 2,47 m.

La cubierta dispone de un pretil de 1,14 m de altura. Por lo que la distancia de la primera fila de captadores a dicho pretil, análogamente al cálculo realizado anteriormente, debe ser de 2,25 m.



2.2.1.5. Comprobación de la instalación.

Una vez dimensionada la instalación se comprueba su funcionamiento observando una serie de variables como su rendimiento, la demanda cubierta o el uso del sistema convencional. Para ello, al igual que en todo el proyecto, se han considerado que las pérdidas por transporte y la variación de energía acumulada son despreciables.

A continuación se muestran una serie de datos medios anuales.

f_{anual} [%]	Demanda Neta Anual [kW·h]	Aporte Solar [kW·h]	Aporte Auxiliar [kW·h]	η_{anual} [%]
72,30	9450	6824,79	2625,21	45,36

Tabla 11. Datos anuales de la instalación

El primer resultado obtenido es la fracción de cobertura solar de la instalación proyectada, para el periodo de un año, con un valor de 72,30 %. Descomponiendo esto mensualmente se obtiene:

Meses	f_{mensual} [%]
Enero	51,76
Febrero	61,49
Marzo	70,86
Abril	74,78
Mayo	75,4
Junio	83,56
Julio	88,85
Agosto	92,21
Septiembre	84,53
Octubre	75,94
Noviembre	58,87
Diciembre	48,69

Tabla 12. Datos mensuales fracción cubierta

Como se puede observar, en ningún mes se alcanza un 100 % de la cobertura solar, por lo que la instalación solar es no sería capaz de cubrir la demanda energética de agua caliente sanitaria del instituto sin necesidad de recurrir al sistema de apoyo convencional. El sistema auxiliar deberá cubrir parte de la demanda energética no cubierta, en mayor medida en los meses de invierno.

La primera tabla también muestra la demanda neta anual, la energía solar aportada por la instalación y la energía aportada por el sistema auxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total. A continuación, en la tabla 13, se muestran los resultados obtenidos mensualmente durante un año de funcionamiento de la instalación.

Si no se hubiese realizado la instalación de energía solar térmica, toda la demanda tendría que ser cubierta por el sistema convencional. A continuación, se muestra una figura 32 donde se puede ver la diferencia gráficamente entre la instalación previa (azul) y la nueva (rojo).

La diferencia entre las barras de la figura 32 en cada mes sería el ahorro energético proporcionado por la instalación solar térmica. Este ahorro es principalmente alto en los meses de verano donde la fracción de demanda cubierta es mayor.



Meses	Demanda Neta [kW·h]	Q _{solar} [kW·h]	Q _{aux.} [kW·h]
Enero	10391,67	5378,73	5012,94
Febrero	9386,11	5771,52	3614,59
Marzo	10177,78	7211,97	2965,80
Abril	9630,56	7201,73	2428,83
Mayo	9519,44	7177,66	2341,78
Junio	8794,44	7348,64	1445,81
Julio	8872,22	7882,97	989,25
Agosto	8655,56	7981,29	674,27
Septiembre	8586,11	7257,84	1328,27
Octubre	9311,11	7070,86	2240,25
Noviembre	9638,89	5674,41	3964,48
Diciembre	10391,67	5059,70	5331,96

Tabla 13. Datos mensuales potencias consumidas

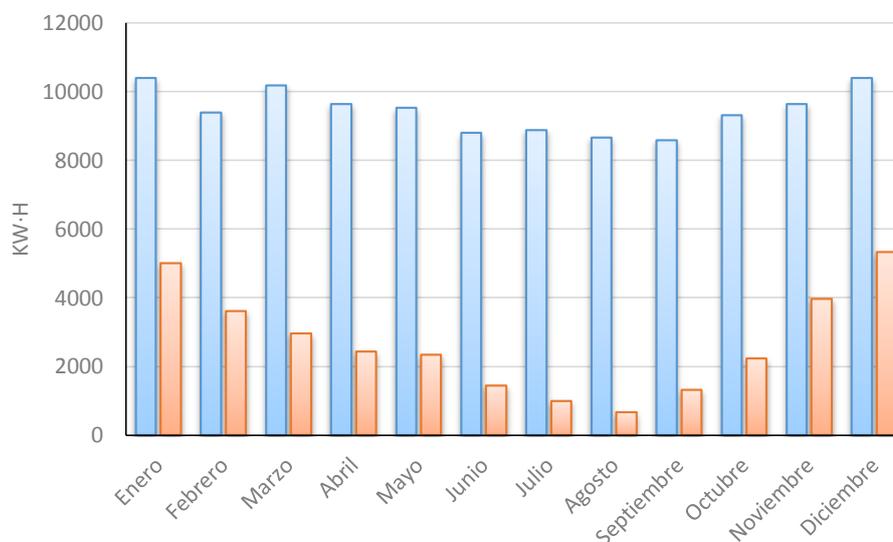


Figura 32. Datos mensuales potencias consumidas

Directamente relacionado con este ahorro energético habría un ahorro del combustible consumido por la caldera, lo que conllevaría un ahorro económico. Se podría ver cuánto sería ese ahorro anualmente y calcular cuando se podría recuperar el precio de la instalación. Esto no se ha realizado ya que el objetivo de este proyecto es el diseño de la instalación y observar el ahorro energético no el económico.

Por último, en la tabla mostrada en primer lugar, se recoge el dato del rendimiento de la instalación solar. También se podría observar como este parámetro varía mensualmente:



MESES	η_{mensual} [%]
Enero	47,95
Febrero	48,04
Marzo	47,06
Abril	46,04
Mayo	41,82
Junio	44,02
Julio	43,14
Agosto	42,03
Septiembre	43,71
Octubre	45,32
Noviembre	47,47
Diciembre	47,98

Tabla 14. Datos mensuales rendimiento de la instalación.

2.2.2. Sistema hidráulico.

2.2.2.1. Conexión de captadores y trazado de tuberías.

Tal y como ha quedado dicho a través de los cálculos en los apartados anterior, se instalarán 48 captadores en la cubierta, montando 6 baterías de 8 captadores cada una. Todas las filas son paralelas y están perfectamente alineadas. Dentro de cada batería se conectarán en agrupaciones serie-paralelo con 2 captadores en serie.

La conexión se realiza de manera que el circuito quede equilibrado hidráulicamente con retorno invertido. Los captadores disponen de cuatro manguitos de conexión que se conectan entre sí.

2.2.2.2. Cálculo de tuberías.

Para el diseño de la tuberías que conforman los distintos circuitos hidráulicos de la instalación (primario y secundario), se han seleccionado los sus diámetros de forma que las pérdidas máximas admisibles en las tuberías sean de 40 mm.c.a. por metro lineal de tubería cuando el líquido que circula es agua sin aditivos, como es el caso del circuito secundario. Si es una mezcla de agua y un anticongelante a base de glicol (30%) se multiplica el valor anterior por 1,3, es decir, 52 mm.c.a. por metro lineal de tubería, como es el caso del circuito primario.

Tras lo comentado anteriormente, se ha utilizado para el cálculo de las pérdidas de cargas en las tuberías de los circuitos hidráulicos una hoja de cálculo dada por el Grupo de Termotecnia del departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla. Dicha hoja Excel permite calcular la pérdida de carga por metro de tubería lineal en función del material de la tubería, la temperatura del fluido, el diámetro de la tubería y el caudal.

Como se explicó anteriormente en el apartado donde se hablaba de la circulación de los diferentes fluidos (1.5.1 en el apartado que se habla del transporte), se emplea el cobre como material para las distintas tuberías, ya que es un material ampliamente utilizado en instalaciones de todo tipo, y el más aconsejable para instalaciones de energía solar, por ser técnicamente idóneo y económicamente competitivo. Se evitan los materiales como aceros galvanizados para este tipo de aplicaciones, en particular cuando existe certeza de que la instalación va a estar sometida a temperaturas mayores de 65 °C.

Para la pérdida de carga en elementos como por ejemplo cambios de dirección, derivaciones, codos, etc.; se considera una longitud equivalente dada por la siguiente tabla.



Diámetro nominal (")	Codo 90°	Curva 90°	Curva 45°	Codo doble 180°	Curva doble 180°	T en ramas alineadas	T en rama derivada	Válvula esférica	Válvula de compuerta	Válvula en ángulo	Válvula de retención
1/4	0.07	0.07	0.04	0.07	0.07	0.05	0.17	2.13		0.68	0.33
3/8	0.12	0.12	0.06	0.12	0.12	0.08	0.28	3.53		1.12	0.55
1/2	0.17	0.16	0.09	0.17	0.17	0.11	0.40	5.01	0.17	1.59	0.80
3/4	0.29	0.26	0.15	0.29	0.27	0.17	0.66	8.05	0.27	2.56	1.34
1	0.40	0.36	0.21	0.40	0.37	0.24	0.92	11.11	0.37	3.52	1.93
1-1/4	0.52	0.46	0.27	0.52	0.47	0.31	1.19	14.09	0.46	4.47	2.55
1-1/2	0.64	0.56	0.33	0.64	0.57	0.37	1.45	16.96	0.55	5.38	3.20
2	0.87	0.74	0.46	0.87	0.74	0.49	1.98	22.27	0.70	7.06	4.57
2-1/2	1.10	0.89	0.59	1.10	0.90	0.59	2.48	26.95	0.83	8.56	6.01
3	1.32	1.03	0.72	1.32	1.03	0.68	2.96	31.01	0.91	9.86	7.52
3-1/2	1.53	1.14	0.85	1.53	1.14	0.76	3.40	34.48	0.97	10.99	9.07
4	1.73	1.24	0.97	1.73	1.22	0.83	3.83	37.46	1.00	11.99	10.68
5	2.10	1.38	1.22	2.10	1.35	0.92	4.60	42.32	0.98	13.71	14.00

Tabla 15. Longitud equivalente para algunos accesorios en tuberías soldadas de cobre

Para el diseño de la red de tuberías se comenzaría por el circuito solar primario, el caudal del fluido caloportador, para ello se ha determinado en 2854,90 l/h l/h. En la siguiente figura se muestra un esquema de la disposición de tuberías y conexión entre hileras de captadores enumerando los tramos del circuito.

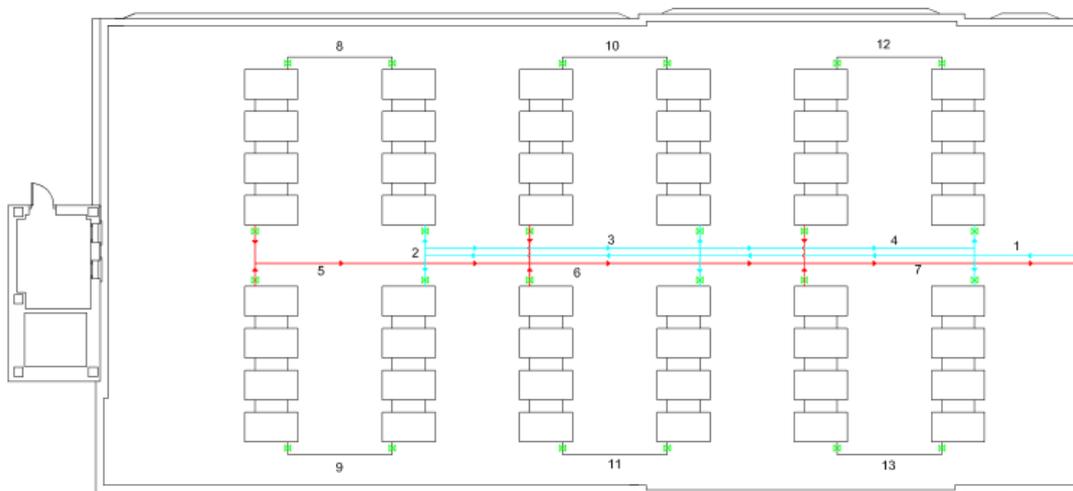


Figura 33. Distribución de los captadores la cubierta.

El estudio de cada uno de los diferentes tramos que componen el circuito primario determinará el diámetro de la tubería a emplear en función de su caudal, su velocidad y la pérdida de carga unitaria. La pérdida de carga del circuito hidráulico debe contemplar, además de los tramos rectos, las pérdidas de carga de los accesorios. En la tabla 16 se recoge el dimensionamiento y la pérdida de carga de los diferentes tramos que conforman el circuito hidráulico solar primario. En dicha tabla se recoge también la pérdida de carga de los diferentes equipos que componen el circuito, dato aportado por los fabricantes de los respectivos equipos. Otro dato que se ha incorporado en la tabla 16 son el número de válvulas y codos de las diferentes tuberías del circuito.

La pérdida de carga que tendrá que vencer el grupo de bombeo del circuito primario será la del camino o circuito más desfavorable, es decir, la del circuito con mayor pérdida de carga. Para ello se calculan las pérdidas de carga de todos los circuitos desde la descarga de la bomba hasta cada una de las unidades terminales, en este caso las baterías de captadores, y su retorno hasta la aspiración de la bomba sumando las pérdidas de carga de los tramos que conforman cada circuito. Aquí se han tenido en cuenta también las pérdidas de cargas producidas por el lado del primario del intercambiador



Tramo	L [m]	Q [l/h]	D ["]	V [m/s]	ΔP [mm.c.a/m]	Codos	V. Corte	V. Ret.	L EQ. [m]	ΔP EQUIP. [m.c.a]	ΔP TOTAL [m.c.a]
1	48,39	2854,90	1,25	1,00	35,49	9	2	1	8,15	0,00	2,01
2	0,25	2379,08	1,25	0,83	25,70	0	0	0	1,19	0,00	0,04
3	9,00	1903,27	1,00	1,04	50,28	0	0	0	0,92	0,00	0,50
4	8,94	951,63	1,00	0,52	14,90	0	0	0	0,92	0,00	0,15
5	8,95	951,63	1,00	0,52	14,90	0	0	0	0,24	0,00	0,14
6	8,94	1903,27	1,00	1,04	50,28	0	0	0	0,24	0,00	0,46
7	38,09	2854,90	1,25	1,00	35,49	9	3	0	6,06	1,74	3,31
8	6,21	475,82	0,75	0,46	17,49	2	4	0	2,49	0,09	0,24
9	5,96	475,82	0,75	0,46	17,49	2	4	0	2,49	0,09	0,24
10	6,21	475,82	0,75	0,46	17,49	2	4	0	2,49	0,09	0,24
11	5,96	475,82	0,75	0,46	17,49	2	4	0	2,49	0,09	0,24
12	6,21	475,82	0,75	0,46	17,49	2	4	0	2,49	0,09	0,24
13	5,96	475,82	0,75	0,46	17,49	2	4	0	2,49	0,09	0,24

Tabla 16. Datos obtenidos para los diferentes tramos.

Como se han diseñado los diferentes circuitos de forma que no hubiera desequilibrios hidráulicos, todos los circuitos tienen una pérdida de carga similar y el máximo el desequilibrio debe ser menor del 10 %. A continuación, se muestra una tabla donde se recogen los tramos que conforman los diferentes circuitos y el desequilibrio entre ellos.

Circuitos	Tramos	Pérdidas de Carga [m.c.a]	Desequilibrios [%]
1	1,2,5,6,7,8	6,19	5,52
2	1,5,6,7,9	6,15	6,15
3	1,2,3,6,7,10	6,55	0,00
4	1,2,3,6,7,11	6,55	0,07
5	1,2,3,4,7,12	6,24	4,80
6	1,2,3,4,7,13	6,00	8,47

Tabla 17. Tramos, pérdidas de cargas y desequilibrios en los diferentes circuitos.

A través de la tabla anterior se puede observar que la bomba debe vencer la pérdida de carga máxima de los diferentes circuitos. Que en este caso sería el circuito 3 con una pérdida de carga de 6,55 m.c.a.

Para el circuito secundario se ha medido 36,88 m de tubería que transportan 1466,57 l/h, de agua y que conectan el grupo de bombeo del secundario con el intercambiador, estos con los acumuladores solares y retorno a la aspiración de la bomba. Todo esto se consideraría un solo circuito, en cual hay un total de 14 codos a 90° y la instalación de 7 válvulas de compuerta y 1 válvula de retención (2 en total en el grupo de bombeo secundario). El motivo de que haya tantos codos a 90° es como se explicó en el apartado descripción general donde se habla de la acumulación (apartado 1.5.1), los acumuladores se han tenido que instalar en el almacén debido a su tamaño. Se dimensiona el diámetro para que la pérdida de carga por metro de tubería sea menor de 40 mm.c.a., por lo que se escoge un diámetro de 1" (25,4 mm). Sumando las pérdidas de carga totales de tubería recta, las pérdidas por accesorios y las pérdidas de los intercambiadores resulta una pérdida de carga total del secundario de 3,32 m.c.a.

2.2.2.3. Intercambiador de calor.

El intercambio de calor del circuito solar primario al secundario se va a realizar mediante un intercambiadores de placas debido a para el caudal que circula por el primario con uno solo se satisfacen las necesidades exigidas. Dichos intercambiadores se dimensionan cumpliendo el código técnico, que establece que:



$$P_{\text{int.}} \geq 500 \cdot A_{\text{cap.}}$$

Por lo tanto resulta que es necesaria una potencia de intercambio mínima de 45,60 kW.

El intercambiador elegido, cuyas características aparecen en el apartado 1.8.3, cumple con el CTE, ya que tiene una potencia de intercambio de 66,47 kW.

Circuito primario

- Fluido: 30 % Prop.glycol.
- Caudal máximo: 3810 l/h.
- Salto térmico: 75-59 °C.
- Pérdida de carga: 17,4 kPa.

Circuito secundario

- Fluido: Agua.
- Caudal máximo: 3631 l/h.
- Salto térmico: 50 - 66 °C.
- Pérdida de carga: 18,3 kPa.

El resto de las características técnicas del intercambiador aparecen en el apartado 1.7.3.

2.2.2.4. Grupos de bombeo del circuito solar.

En el circuito solar habría dos grupos de bombeos principales, uno para el circuito primario otro para el secundario.

El grupo de bombeo del circuito primario, constituido por dos bombas, una de reserva, funcionando alternativamente deberá impulsar un caudal de 2854,90 l/h venciendo las pérdidas de carga del circuito más desfavorable calculadas en el apartado anterior. Así el grupo de bombeo del primario deberá vencer una altura manométrica de 6,55 m.c.a.

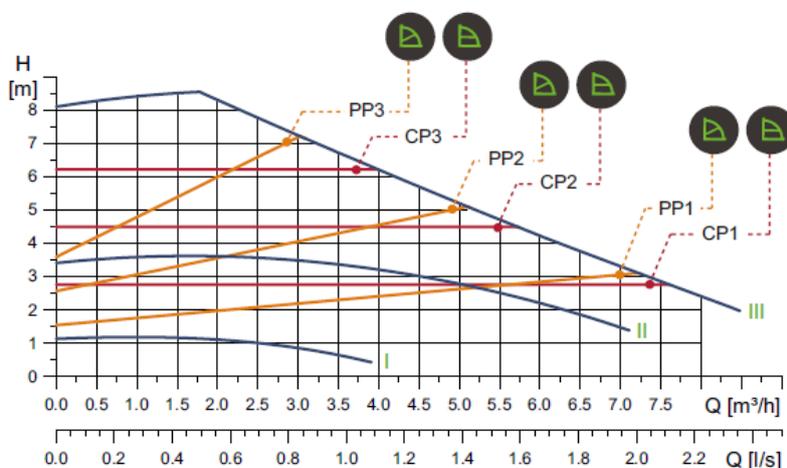


Figura 11. Curva característica bomba circuito primario

El grupo de bombeo del circuito secundario, también está constituido por dos bombas en paralelo. Debe impulsar un caudal de 1466,57 l/h venciendo una pérdida de carga calculada para el circuito secundario. El grupo de bombeo del secundario deberá vencer una altura manométrica de 3,32 m.c.a.

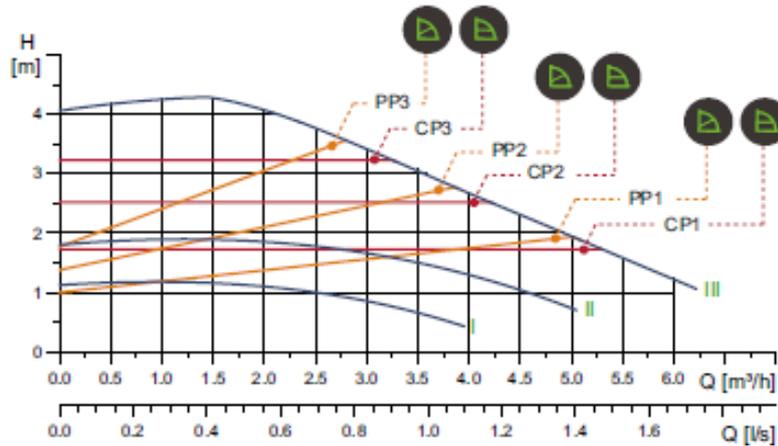


Figura 14. Curva característica bomba circuito secundario.

El resto de las características técnicas de las bombas aparecen en el apartado 1.7.4.

2.2.2.5. Sistema de expansión.

El cálculo del vaso de expansión en el circuito solar primario se hará de acuerdo a la norma UNE 100155. En vasos de expansión cerrados el volumen del vaso viene dado por la expresión:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

Siendo:

- V_t : Volumen total del vaso de expansión (l).
- V : Contenido total del fluido de trabajo en el circuito (l).
- C_e : Coeficiente de expansión del fluido.
- C_p : Coeficiente de presión.

Volumen del fluido de trabajo en el circuito.

El volumen del fluido caloportador en el circuito primario es proporcional a los volúmenes de fluido en los captadores, en el intercambiador y en las tuberías.

$$V_{\text{Total de Fluido}} = V_{\text{Captadores}} + V_{\text{Intercambiador}} + V_{\text{Tuberías}}$$

• Volumen de fluido en los captadores

El volumen de fluido en los captadores, proporcionada por el fabricante, es de 1,02 l.

Dado que el número de colectores a instalar es de 48, el volumen total de los captadores de la instalación será de:

$$V_{\text{Captadores}} = 1,02 \text{ l/Captador} \cdot 48 \text{ Captadores} = 48,96 \text{ l}$$

• Volumen de fluido en el intercambiador

La capacidad volumétrica del intercambiador de calor es de 1,4 l en el circuito primario.

$$V_{\text{Intercambiador}} = 1,14 \text{ l}$$



• Volumen de fluido en las tuberías

A partir de la ecuación que se muestra a continuación es posible calcular el volumen de cada tramo de tuberías:

$$V_{\text{Tuberías}} = \text{Longitud} \cdot \text{Sección} = L \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Como se explicó anteriormente, en el apartado del cálculo de tuberías, los tramos tienen distintas longitudes y diámetros, por ello se ha realizado una tabla calculando el volumen de líquido en cada uno de los tramos en los cuales se ha escogido como longitud la suma de la longitud del tramo más la longitud equivalente de los accesorios incluidos en dicho tramo. Dando los siguientes resultados:

Tramos	L [m]	D [mm]	V _{Tuberías} [l]
1	56,54	31,75	44,76
2	1,44	31,75	1,14
3	9,92	25,40	5,02
4	9,86	25,40	5,00
5	9,19	25,40	4,65
6	9,18	25,40	4,65
7	44,15	31,75	34,96
8	8,70	19,05	2,48
9	8,45	19,05	2,41
10	8,70	19,05	2,48
11	8,45	19,05	2,41
12	8,70	19,05	2,48
13	8,45	19,05	2,41

Tabla 18. Determinación del volumen de las tuberías del circuito primario.

$$V_{\text{Tuberías}} = 114,8 \text{ l}$$

• Volumen total de fluido

Por tanto, el volumen total de fluido será la suma de los anteriores volúmenes resultando:

$$V_{\text{Total de Fluido}} = 165,2 \text{ l}$$

Coefficiente de expansión.

El coeficiente de expansión se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3}$$

Se ha tenido en cuenta una temperatura máxima de 90 °C, puesto que el vaso de expansión se instalará en el circuito de retorno del circuito primario, antes de la bomba de circulación.

Como el fluido caloportador es una solución de glicol en agua, el coeficiente de expansión debe multiplicarse por el siguiente factor de corrección:

$$f_c = a \cdot (1,8 \cdot T + 32)^b$$

Donde:

$$a = -00134 \cdot (G^2 - 143 \cdot G + 1918,2)$$



$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (G^2 - 94,7 \cdot G + 500)$$

Siendo G el porcentaje en volumen de glicol en agua de 30%

Así el valor del coeficiente de expansión es 0,0517.

Coeficiente de presión.

El coeficiente de presión se calcula a través de la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m}$$

Siendo:

- P_M : presión máxima del vaso, 5 bar.
- P_m : presión mínima del vaso, 2,5 bar.

El valor del coeficiente de presión es 2.

En conclusión, el volumen total sería:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p = 17,08 \text{ l}$$

Se ha escogido un vaso de expansión para el circuito primario con un volumen de 18 l.

2.2.2.6. Accesorios

Los elementos del circuito primario comentados anteriormente irán acompañados de ciertos accesorios que los protegen y que optimizan su funcionamiento.

Purga de aire

En el trazado de las tuberías se tratará de evitar la formación de puntos altos que puedan provocar la formación de bolsas de aire que dificulten la circulación del fluido.

Se instalarán dos purgadores por batería de captadores, uno a la salida de cada fila. Lo que harán un total de 12 purgadores en campo de captadores, también se añadirá otro adicional a la salida del campo de captadores.

Se dispondrá también de un purgador a la salida del vaso de expansión.

Drenaje

El circuito primario irá provisto de una válvula de seguridad tarada a una presión que garantice que en el cualquier punto del circuito no se superará la presión máxima de trabajo en cada uno de los componentes. La descarga de las válvulas de seguridad se realizará mediante escape conducido a desagüe. Junto a la válvula de seguridad se instalará un manómetro que permita verificar la presión del circuito.

Llenado

Se deberá prever una conexión para el llenado y la eventual reposición del fluido caloportador.



Válvulas

En el circuito primario se instalará una válvula de retorno de clapeta en la impulsión de la bomba de circulación, para evitar la eventual circulación inversa durante la noche.

Por otro lado, se instalará un total de 42 válvulas de compuertas y 6 de esfera cumpliendo con diversas funciones. La función principal de esas válvulas es el corte del caudal en caso que se quiera sustituir algún elemento de la instalación por lo que se colocarán a entrada y salida del caudal que circula por ellos.

2.2.3. Aislamiento térmico de las instalaciones.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (R.I.T.E.) establece que todos los equipos, depósitos, aparatos, tuberías y accesorios de una instalación de energía solar deberán estar convenientemente aislados térmicamente para disminuir las pérdidas y evitar así un consumo excesivo.

Aislamiento de tuberías y accesorios

Las tuberías que se encuentren a la intemperie deberán llevar una protección externa que asegure la durabilidad del aislamiento de las mismas ante el paso del tiempo y las acciones meteorológicas, como pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas. El aislamiento deberá recubrir la totalidad de las tuberías o accesorios dejando únicamente visible las partes necesarias para el control y buen funcionamiento de los mismos.

El RITE establece el grosor mínimo del aislamiento de las tuberías en función de la temperatura máxima del fluido que circula por su interior y el diámetro de la tubería. A continuación se muestran los espesores mínimos de aislamiento para tuberías en función de la temperatura el fluido y de si están en exterior o en interior (Tabla 19):

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60

Tabla 19. Espesores min. de aislamiento y en int.y ext. según RITE.

Se considera que todo el circuito estará en un rango de temperaturas de entre 60 y 100 °C. Luego siguiendo las indicaciones del RITE para tuberías de menos de 35 mm de diámetro y una longitud no mayor a 50 m el aislamiento mínimo debe ser de 35 mm de espesor.

En este caso se ha optado por aislamiento térmico para las tuberías exteriores fabricado a base de coquilla de espuma elastomérica ARMAFLEX AF, para las tuberías de diámetro exterior



22 mm. , 28 mm.y 35 mm. tendrán un espesor de 35 mm. Todas ellas cumplirán las exigencias del RITE.

Aislamiento de depósito de acumulación.

Según las especificaciones técnicas de instalaciones de energía solar, para capacidades de acumulación inferiores a 300 litros, el espesor mínimo será de 30 mm. Para volúmenes superiores el espesor mínimo será de 50 mm.

Además según el RITE, cuando los acumuladores tengan superficie menor a 2 m² el aislamiento será como mínimo de 30 mm. Cuando sea superior a 2 m² poseerá una protección de 50 mm como mínimo, siempre que se emplee un material aislante con una conductividad de $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

El acumulador elegido del fabricante Saunier Duval de la serie BDLN 3500 posee un aislamiento de más de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC ($k = 0.032 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$) el cual cumple con la normativa.

Intercambiador de calor

Para un material aislante de conductividad térmica 0,040 W/m·K, el espesor de aislante para el intercambiador del circuito solar será de 40 mm.

Vaso de expansión

Para un material aislante de conductividad térmica 0,040 W/m·K, el espesor de aislante para el vaso de expansión cerrado situado en el circuito solar primario es de 40 mm.



3. PLIEGO DE CONDICIONES.

3.1. Pliego de condiciones facultativas.

3.1.1. Derechos y obligaciones de las distintas partes.

3.1.1.1. Proyectista.

Artículo 1: Es obligación de los proyectistas:

1.- Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de ingeniero técnico o superior, según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico redactor del proyecto que tenga la titulación profesional habilitante.

2.- Redactar el proyecto con sujeción a la normativa vigente y a lo que se haya establecido en el contrato y entregarlo, con los visados que en su caso fueran preceptivos.

3.- Acordar, de ser necesario, la contratación de colaboraciones parciales.

3.1.1.2. Director facultativo.

Artículo 2: Corresponde a un ingeniero industrial la dirección del montaje, que formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo montado. Siendo sus funciones específicas:

1.- Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico director de la ejecución que tenga la titulación profesional habilitante.

2.- Redactar el documento de estudio y análisis del proyecto para elaborar los programas de organización y de desarrollo del proyecto.

3.- Planificar, a la vista del proyecto de detalle, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de la ejecución.

4.- Redactar, cuando se le requiera, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización del montaje y aprobar el estudio de seguridad y salud para la aplicación del mismo.

5.- En caso de ser necesario, efectuar los replanteos necesarios preparando el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del ingeniero y del constructor.

6.- Comprobar las instalaciones provisionales, medios auxiliares y medidas de seguridad y salud en el trabajo, controlando su correcta ejecución.

7.- Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según las frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartándole, en su caso, las órdenes oportunas; de no resolverse la contingencia adoptará las medidas que corresponda, dando cuenta al ingeniero.

8.- Verificar la recepción de los productos para el montaje, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.

9.- Dirigir la ejecución material, comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto.

10.- Consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas.



11.- Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de ejecución y el certificado final, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades ejecutadas.

12.- Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación del montaje ejecutado, aportando los resultados del control realizado.

3.1.1.3. Constructor.

Artículo 3: Es obligación del constructor:

1.- Ejecutar el montaje del sistema con sujeción al proyecto, a la legislación y a las instrucciones de los proyectistas, con tal de conseguir la calidad exigida en el proyecto.

2.- Tener la titulación o capacidad profesional que habilita por el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.

3.- Designar a un responsable que asumirá la representación técnica de constructor y que por su titulación o experiencia deberá tener la capacidad adecuada de acuerdo con las características y la complejidad del montaje de las piezas.

4.- Asignar al montaje los medios humanos y materiales que su importancia requiera.

5.- Elaborar el plan de seguridad y salud en el trabajo en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento.

6.- Atender a las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución del montaje, y en su caso de la dirección facultativa.

7.- Formalizar las subcontrataciones de posibles partes o instalaciones dentro de los límites establecidos en el contrato.

8.- Ordenar y dirigir la ejecución material cumpliendo el proyecto y las normas técnicas.

9.- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales que se utilicen, rechazando, por iniciativa propia o por prescripción de las personas facultadas, los suministros que no cuenten con garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.

10.- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros.

11.- Facilitar el acceso a laboratorios y entidades de control de calidad contratado y debidamente homologado para la realización de sus funciones.

12.- Suscribir las garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos del montaje previsto.

13.- Comprobar que el edificio reúne las condiciones necesarias para soportar la instalación, indicándolo expresamente en la documentación.

14.- Comprobar la calidad de los materiales y agua utilizados, cuidando que se ajusten a lo especificado en estas normas, y el evitar el uso de materiales incompatibles entre sí.

15.- Será responsable de la vigilancia de sus materiales durante el almacenaje y el montaje, hasta la recepción provisional.

3.1.1.4. Coordinador de seguridad y salud.

Artículo 4: El coordinador en materia de seguridad y salud deberá cumplir las siguientes funciones:

1.- Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y de seguridad.

2.- Coordinar las actividades de del montaje para garantizar que todas las personas implicadas apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

3.- Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el constructor y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.

4.- Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.



5.- Adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la zona de trabajo. La dirección facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación de coordinador.

3.1.1.5. Proveedores.

Artículo 5: Es obligación de los proveedores:

- 1.- Tener la titulación o capacidad profesional que habilita por el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como proveedor.
- 2.- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales que suministren.
- 3.- Proporcionar las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- 4.- Realizar los ensayos y pruebas pertinentes a todos y cada uno de los materiales, moldes, piezas y herramientas proporcionadas.
- 5.- Ajustarse a los plazos de entrega estipulados, asumiendo todos los gastos en caso contrario.
- 6.- Garantizar la sujeción de los resultados a los planos proporcionados por el proyectista, asegurando así mismo las tolerancias de calidad exigidas.

3.1.2. Disposiciones generales.

Artículo 6: Documentos que sirven de base al contrato

Salvo que se acuerde en caso contrario al redactar el contrato o contratos definitivos para la ejecución del proyecto, servirán de base a ellos el pliego de condiciones facultativas, el presupuesto y los planos.

Artículo 7: Forma de comunicar órdenes al constructor

Para que sean válidas, el ingeniero deberá comunicar por escrito al constructor todas las órdenes que directa o indirectamente puedan tener relación con la valoración que haya de hacerse para el montaje de la instalación. Igualmente podrá exigir el constructor que le sea comunicada por escrito cualquier orden o instrucción que el ingeniero o sus agentes le diesen, sin perjuicio de cumplimentar aquello que revistiese carácter urgente.

Artículo 8: Procedencia de los materiales

El constructor, salvo indicación en caso contrario contenida en este pliego o en el presupuesto, tiene libertad de tomar los materiales de todas clases en los puntos que le parezca más convenientes, siempre que reúnan las condiciones requeridas, estén perfectamente preparados para el objeto a que se apliquen y sean empleados conforme a las reglas.

Artículo 9: Examen y pruebas de los materiales

- 1.- No se procederá al empleo de los materiales sin que antes sean examinados y aceptados en los términos y forma que prescriba el Ingeniero, salvo lo que se dispone en caso contrario para casos determinados en el presente pliego.
- 2.- Las pruebas y ensayos prescritos en éste se llevarán a cabo por el Ingeniero o agente en quien al efecto delegue. En el caso en que al realizarlos no se hallase el constructor conforme con los procedimientos seguidos, se someterá la cuestión al Laboratorio Central de ensayo de materiales, siendo obligatorios para ambas partes los resultados que en él se obtengan y las conclusiones que formule.
- 3.- Todos los gastos de pruebas y ensayos sobre los materiales serán a cuenta del proveedor y se hallan comprendidos en los precios del estudio de viabilidad económica del documento



memoria. Todo ensayo que no resulte satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías se podrá comenzar de nuevo a cargo del mismo.

Artículo 10: Materiales defectuosos

Cuando los materiales no fueren de la calidad prescrita, o no tuvieren la preparación exigida o, cuando a falta de prescripciones formales de aquél se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el proveedor deberá reemplazarlos a su costa por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Artículo 11: Invariabilidad de los precios

El proveedor no podrá, bajo ningún pretexto de error u omisión, reclamar aumento de los precios fijados, en el cuadro correspondiente del presupuesto. Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que se hagan en la Memoria del mismo, pues este documento no se considerará como base del contrato. Las equivocaciones materiales que el presupuesto pueda contener, se corregirán en cualquier época en que se observen.

Artículo 12: Modificaciones en el pliego de condiciones

Las prescripciones de este pliego, en lo que afecte a las relaciones y obligaciones mutuas, podrán ser objeto de modificaciones en puntos determinados al celebrarse los contratos de ejecución, siempre que con ello no sufran alteración alguna las prescripciones y reglas de carácter técnico que en él se contienen, en todo lo que afecte a la naturaleza y condiciones de los materiales y su mano de obra y a las que deben llenarse al realizar la ejecución.

Artículo 13: Experiencia y condiciones del personal

Todos los trabajos y la inmediata dirección de ellos se encomendarán a personal que posea la suficiente experiencia y cualificación para realizarlos cumplidamente, con arreglo a las condiciones de este pliego. Se prescindirá del personal que prácticamente no tenga la competencia precisa, así como de todo el que, por cualquier motivo, resulte inconveniente o peligroso en los trabajos.

Artículo 14: Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto

El constructor podrá requerir del ingeniero, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los pliegos de condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al constructor, estando éste obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del ingeniero.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos que crea oportuno hacer el constructor, habrá de dirigirla, dentro precisamente del plazo de 3 días, a quién la hubiere dictado, el cual dará al constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

Artículo 15: Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa

Las reclamaciones que el constructor quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la dirección facultativa, sólo podrá presentarlas, a través del ingeniero, ante la propiedad, si son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los pliegos de condiciones correspondientes.



Contra disposiciones de orden técnico del ingeniero, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el constructor salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al ingeniero, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Artículo 16: Faltas del personal

El ingeniero, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al constructor para que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

Artículo 17: Orden de los trabajos

En general, la determinación del orden de los trabajos es facultad del constructor, exceptuando aquellos casos en que por circunstancias de orden técnico, la dirección facultativa estime conveniente su variación.

Artículo 18: Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al proyecto, a las modificaciones del mismo que previamente hayan estado aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue el ingeniero al constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias.

3.2. Pliego de condiciones económicas.

La finalidad es regular las relaciones económicas entre el contratista, los proveedores, los subcontratados y los clientes.

Todos los que intervienen en el proceso de construcción y proyección tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación, con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

El constructor y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

3.2.1. Precios y revisión de precios.

3.2.1.1. Composición de los precios unitarios.

El cálculo de los precios de las distintas partes es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

3.2.1.1.1. Costes directos.

- La mano de obra, con sus pluses, cargas y seguros sociales, que interviene directamente en el proceso de fabricación
- Los materiales, a los precios resultantes, que queden integrados en el proceso de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.
- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.



- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

3.2.1.1.2. Costes indirectos.

Los gastos de almacenes, talleres de fabricación y preparación de moldes, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico, proyectistas y los imprevistos. Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

3.2.1.1.3. Precio de ejecución material.

Se denominará precio de ejecución material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos.

3.2.1.2. Revisión de precios.

Cada 6 meses se comprobarán las variaciones de precios de los diversos materiales y servicios y se ajustarán ya sea a la alza como a la baja. Éste sólo se efectuará si se produce una variación superior al 2%.

3.2.2. Modos de pago.

3.2.2.1. Valoración y abono de los trabajos.

Los proveedores y las empresas encargadas del transporte recibirán por adelantado el 25% del abono total, el cual estará concertado previamente en el pliego de condiciones o acordado entre proveedor y constructor. El valor del abono sólo se podrá ver modificado por penalizaciones causadas por incumplimientos en el plazo de entrega o por deficiencia de calidad del servicio otorgado.

Los empleados encargados del montaje, empaquetado y administración del producto recibirán la cifra estipulada mediante pago por vía bancaria y en un solo cobro realizado la última semana de cada mes.

3.2.2.2. Abono de trabajos especiales no contratados.

Cuando fuese preciso efectuar otra clase de trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del constructor, y si no se contratasen con tercera persona, no tendrá el constructor la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos que estos ocasionen. En el caso que se haga cargo de estos gastos adicionales se le deberán ser restituidos en un plazo de 3 meses desde el momento que se produzca dicho pago.

3.2.2.3. Pago de arbitrios.

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen correrá a cargo del constructor, siempre que en las condiciones particulares del proyecto no se estipule lo contrario.

3.2.3. Garantías, finanzas y avales.

El constructor garantizará la instalación durante un período mínimo de 3 años, para todos los materiales utilizados y el procedimiento empleado en su montaje.



Sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el manual de instrucciones.

La garantía se concede a favor del comprador de la instalación, lo que deberá justificarse debidamente mediante el correspondiente certificado de garantía, con la fecha que se acredite en la certificación de la instalación.

Si hubiera de interrumpirse la explotación del suministro debido a razones de las que es responsable el constructor, o a reparaciones que el constructor haya de realizar para cumplir las estipulaciones de la garantía, el plazo se prolongará por la duración total de dichas interrupciones.

La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía.

Quedan expresamente incluidos todos los demás gastos, tales como tiempos de desplazamiento, medios de transporte, amortización de vehículos y herramientas, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.

Asimismo se deben incluir la mano de obra y materiales necesarios para efectuar los ajustes y eventuales reglajes del funcionamiento de la instalación.

Si en un plazo razonable, el constructor incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho constructor cumpla con las mismas. Si el constructor no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación podrá, por cuenta y riesgo del constructor, realizar por sí mismo o contratar a un tercero para realizar las oportunas reparaciones, sin perjuicio de la ejecución del aval prestado y de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el constructor.

La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido reparada, modificada o desmontada, aunque sólo sea en parte, por personas ajenas al constructor o a los servicios de asistencia técnica de los fabricantes no autorizados expresamente por el constructor.

Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación, lo comunicará fehacientemente al constructor. Cuando el constructor considere que es un defecto de fabricación de algún componente lo comunicará fehacientemente al fabricante.

El constructor atenderá el aviso en un plazo de:

- 24 horas, si se interrumpe el suministro de agua caliente, procurando establecer un servicio mínimo hasta el correcto funcionamiento de ambos sistemas (solar y de apoyo).
- 48 horas, si la instalación solar no funciona.
- Una semana, si el fallo no afecta al funcionamiento.

Las averías de las instalaciones se repararán en su lugar de ubicación por el constructor. Si la avería de algún componente no pudiera ser reparada en el domicilio del usuario, el componente deberá ser enviado el taller oficial designado por el fabricante por cuenta y a cargo del constructor.

El constructor realizará las reparaciones o reposiciones de piezas a la mayor brevedad posible una vez recibido el aviso de avería, pero no se responsabilizará de los perjuicios causados por la demora en dichas reparaciones siempre que dicha demora sea inferior a 15 días naturales.



Devolución de fianzas

La fianza retenida será devuelta a los proveedores o subcontratas en un plazo que no excederá de 30 días una vez firmada el acta de recepción de mercancías.

3.2.4. Penalizaciones.

3.2.4.1. Penalizaciones por rendimiento de los servicios exteriores.

Si se advirtiese que los rendimientos del trabajo, fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de montaje iguales o similares, se notificará por escrito al constructor, con el fin de que éste haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por el ingeniero director.

Si hecha esta notificación al proveedor, en los 2 meses sucesivos, los rendimientos no llegasen a los normales, el constructor se reserva el derecho de rebajar el importe a percibir en un 15% del importe total.

Si un servicio se demorara un periodo de un mes desde la fecha concertada entre constructor y proveedor, este el último deberá hacerse cargo del 50% del importe de esa partida. Si el retardo sobrepasa un mes se añadiría una rebaja del 2% por cada semana de retraso.

3.2.4.2. Penalizaciones por baja calidad.

Si se advirtiese que los materiales, servicios o productos adquiridos no cumplen con los requisitos de calidad estipulados el constructor queda exento del pago de la actividad realizada o de los elementos obtenidos. En el caso concreto de adquisición de piezas, si se detecta más de un 2% de piezas defectuosas el proveedor será sancionado con una multa de 3.000 euros, que serán abonados en un plazo máximo de 6 meses.

3.2.4.3. Desperfectos en las propiedades colindantes.

Si el constructor causara algún desperfecto en las propiedades colindantes, tendrá que restaurarlas a su cuenta, dejándolas en el estado que las encontró al dar comienzo las obras de la instalación solar.

3.2.4.4. Replanteos.

Todas las operaciones y medios auxiliares que se necesite para los replanteos serán de cuenta del contratista, no teniendo por este concepto derecho a indemnización de ninguna clase. El contratista será responsable de los errores que resulten de los replanteos con relación a los planos acotados que el director de la obra facilite a su debido tiempo.

3.3. Pliego de condiciones legales.

3.3.1. Responsabilidades y seguridad laboral.

Todas las empresas subcontratadas deberán nombrar y certificar a una persona responsable de la seguridad que la actividad relacionada con la realización y construcción de este proyecto. Dicha persona se encargará de revisión y divulgación de las normativas de seguridad relacionadas con el proyecto y de su cumplimiento.

Además, toda persona que trabaje para éste queda sujeto a:



- 1.- La responsabilidad civil será exigible en forma personal e individualizada, tanto por actos u omisiones propios, como por actos u omisiones de personas por las que se deba responder.
- 2.- No obstante, cuando pudiera individualizarse la causa de los daños materiales o quedase debidamente probada la concurrencia de culpas sin que pudiera precisarse el grado de intervención de cada agente en el daño producido, la responsabilidad se exigirá solidariamente.
- 3.- Cuando el proyecto haya sido contratado conjuntamente con más de un proyectista, los mismos responderán solidariamente.
- 4.- Los proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.
- 5.- Cuando el director facultativo subcontrate con otras personas físicas o jurídicas la ejecución de determinadas partes o instalaciones, será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución, sin perjuicio de la repetición a que hubiere lugar.
- 6.- Quien acepte la dirección cuyo proyecto no haya elaborado él mismo, asumirá las responsabilidades derivadas de las omisiones, deficiencias o imperfecciones del proyecto, sin perjuicio de la repetición que pudiere corresponderle frente al proyectista.

3.3.1.1. Capacidad para contratar.

- 1.- Podrán contratar las personas naturales o jurídicas, españolas o extranjeras que, teniendo plena capacidad de obrar, no se hallen privadas por parte del Estado ni tengan faltas pendientes con la justicia.
 - 2.- Las empresas deberán ser personas físicas o jurídicas cuya finalidad o actividad tenga relación directa con el objeto del contrato, según resulte de sus respectivos estatutos o reglas fundacionales y dispongan de una organización con elementos personales y materiales suficientes para la debida ejecución del contrato.
 - 3.- Las empresas no españolas de Estados miembros de la Unión Europea deberán acreditar su capacidad de obrar mediante certificación de inscripción.
 - 4.- Las restantes empresas extranjeras deberán acreditar su capacidad de obrar mediante informe expedido por la Misión Diplomática Permanente u Oficina Consular de España del lugar del domicilio de la empresa, en la que se haga constar, previa acreditación por la empresa, que figuran inscritas en el Registro local profesional o comercial.
- Además de los requisitos reseñados, los licitadores deberán acreditar su solvencia económica, financiera y técnica a través de los medios que se reseñan a continuación:

Económica y financiera:

- 1.- Cuentas anuales presentadas en el Registro Mercantil o en el Registro oficial que corresponda. Los empresarios no obligados a presentar las cuentas en Registros oficiales podrán aportar, como medio alternativo de acreditación, los libros de contabilidad debidamente legalizados.
- 2.- Declaración sobre el volumen global de negocios y, en su caso, sobre el volumen de negocios en el ámbito de actividades correspondiente al objeto del contrato, referido como máximo a los tres últimos ejercicios disponibles en función de la fecha de creación o de inicio de las actividades del empresario, en la medida en que se disponga de las referencias de dicho volumen de negocios.
- 3.- Si, por una razón justificada, el empresario no está en condiciones de presentar las referencias solicitadas, se le autorizará a acreditar su solvencia económica y financiera por medio de cualquier otro documento que se considere apropiado por el órgano de contratación.
- 4.- Los empresarios que sean personas naturales deberán aportar, asimismo, copia o fotocopia legalizada de la Declaración del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas de los dos últimos ejercicios presentados.



Técnica (por uno de los siguientes medios):

1.- Relación de los principales suministros efectuados durante los tres últimos años, indicando su importe, fechas y destinatario público o privado de los mismos. Los suministros efectuados se acreditarán mediante certificados expedidos o visados por el órgano competente, cuando el destinatario sea una entidad del sector público o cuando el destinatario sea un comprador privado, mediante un certificado expedido por éste o, a falta de este certificado, mediante una declaración del empresario.

2.- Indicación del personal técnico o unidades técnicas, integradas o no en la empresa, de los que se disponga para la ejecución del contrato, especialmente los encargados del control de calidad.

3.- Descripción de las instalaciones técnicas, de las medidas empleadas para garantizar la calidad y de los medios de estudio e investigación de la empresa.

4.- Control efectuado por la entidad del sector público contratante o, en su nombre, por un organismo oficial competente del Estado en el cual el empresario está establecido, siempre que medie acuerdo de dicho organismo, cuando los productos a suministrar sean complejos o cuando, excepcionalmente, deban responder a un fin particular. Este control versará sobre la capacidad de producción del empresario y, si fuera necesario, sobre los medios de estudio e investigación con que cuenta, así como sobre las medidas empleadas para controlar la calidad.

5.- Muestras, descripciones y fotografías de los productos a suministrar, cuya autenticidad pueda certificarse a petición de la entidad del sector público contratante.

6.- Certificados expedidos por los institutos o servicios oficiales encargados del control de calidad, de competencia reconocida, que acrediten la conformidad de productos perfectamente detallada mediante referencias a determinadas.

3.4. Pliego de condiciones técnicas.

3.4.1. Condiciones generales.

3.4.1.1. Objeto y campo de aplicación.

El presente pliego de condiciones técnicas del proyecto de instalación solar en un instituto tiene por objeto principal fijar las condiciones técnicas mínimas que debe cumplir la instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria descrita en la memoria de este proyecto, especificando los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad, el tipo de materiales utilizados, etc.

El ámbito de aplicación de este documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de la instalación.

Se detallarán las pruebas y ensayos parciales a realizar durante el transcurso de los montajes o finales provisionales y definitivos de las correspondientes recepciones. Las garantías exigidas tanto en los materiales, como en su montaje o en su funcionamiento conjunto.

Para cualquier especificación no incluida en este pliego se deberá de tener en cuenta la normativa correspondiente.

3.4.1.2. Normativa.

3.4.1.2.1. Normativa aplicable.

- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas.
- Pliego de condiciones técnicas de las instalaciones de energía solar térmica, del IDAE



- Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT).
- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).
- Ley 31/1995 del 8 de Noviembre sobre la prevención de riesgos laborales (BOE nº 269 del 10 de Noviembre)
- Real Decreto 1627/97, de 24 de Octubre de 1997 por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción
- Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).
- Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida SI.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares. (BOE 18 de agosto de 1980)
- Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Orden del 9 de abril de 1981, por la que se especifican las exigencias técnicas que deben cumplir los sistemas solares para agua caliente y climatización, a efectos de la concesión de subvenciones a los propietarios, en el desarrollo del artículo 13 de la ley 82/1980, del 30 de diciembre, sobre conservación de la energía (BOE 25 de Abril de 1981)
- Resolución del 5 de Noviembre de 2001, de la consejería de industria, comercio y turismo, por la que se aprueban las bases que han de regir la convocatoria pública de subvenciones para programas de ahorro energético y uso de energías renovables en el año 2002.

Se considerará la edición más reciente de las normas antes mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

3.4.1.2.2. Normativa de consulta.

- UNE-EN 12975-1: *Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.*
- UNE-EN 12975-2: *Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.*
- UNE-EN 12976-1: *Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.*
- UNE-EN 12976-2: *Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.*
- UNE-EN 12977-1: *Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 1: Requisitos generales.*
- UNE-EN 12977-2: *Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.*
- UNE-EN 12977-3: *Sistemas solares térmicos y sus componentes. Parte 3: Caracterización del funcionamiento de acumuladores para las instalaciones de calefacción solares.*
- UNE 94002: *Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda de energía térmica.*
- UNE 94003: *Datos climáticos para el dimensionado de las instalaciones solares térmicas.*



- UNE 100155: *Diseño y cálculo de sistemas de expansión.*
- prEN 806-1: *Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption. Part 1: General.*
- prEN 1717: *Protection against pollution of potable water in drinking water installations and general requirements of devices to prevent pollution by back flow.*
- EN 60335-1/1995: *Safety of household and similar electrical appliances. Part 1: General requirements* (IEC 335-1/1991 modified).
- EN 60335-2-21: *Safety of household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for storage water heaters* (IEC 335-2- 21/1989 + Amendments 1/1990 and 2/1990, modified).
- ENV 61024-1: *Protection of structures against lightning. Part 1: General principles* (IEC 1024-1/1990, modified).
- Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- ISO 9488: *Energía solar. Vocabulario.*

Se considerará la edición más reciente de las normas antes mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

3.4.1.3. Disposiciones preliminares.

A la instalación recogida bajo este documento le son de aplicación el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), y sus Instrucciones Técnicas (IT), junto con la serie de normas UNE sobre energía solar térmica listadas en el Anexo I, así como lo dispuesto en el Código Técnico de la Edificación (CTE) sobre energía solar térmica.

3.4.1.4. Requisitos generales.

3.4.1.4.1. Fluido de trabajo.

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará una mezcla de agua y anticongelante (propilenglicol). No puede ser tóxico, irritar la piel, los ojos o las mucosas, o contaminar el agua. Debe de ser totalmente biodegradable y compatible con todos los materiales de la instalación. El pH a 20 °C del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:

- 1.- La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650 μ S/cm.
- 2.- El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico.
- 3.- El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

Como requisitos de mantenimiento, deberá seguir la normativa de obligado cumplimiento:

- RITE 2007 Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio por el que se aprueba el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (IT)
- UNE-EN 12977-3:2002 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 3: Caracterización del funcionamiento de acumuladores para las instalaciones de calefacción solares.

3.4.1.4.2. Protección contra heladas.



Se fijará una temperatura mínima permitida en el sistema de $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deberán ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.

Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, deberá estar protegido contra heladas.

El método de protección anti-heladas utilizado en esta instalación será el uso de mezclas anticongelantes.

El anticongelante podrá utilizarse, solo o mezclado con agua, cumpliendo la reglamentación vigente y siendo su punto de congelación inferior a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. En todo caso, su calor específico no será inferior a $3\text{ kJ}/(\text{kgAK})$, equivalentes a $0,7\text{ kcal}/(\text{kgA}^{\circ}\text{C})$, medido a una temperatura $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ menor que la mínima histórica registrada.

Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante como resultado de condiciones altas de temperatura. Estas precauciones deberán de ser comprobadas de acuerdo con UNE-EN 12976-2.

La instalación dispone de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado.

El sistema de llenado no permite las pérdidas de concentración producidas por fugas del circuito y resueltas con reposición de agua de red.

3.4.1.4.3. Sobre calentamientos.

El sistema está diseñado de tal forma que con altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se deben producir situaciones en las cuales el usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

Se deben limpiar los circuitos periódicamente.

3.4.1.4.4. Resistencia a presión.

Se deberán cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 12976-1.

En caso de sistemas de consumo abiertos con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de la misma para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

3.4.1.4.5. Prevención de flujo inverso.

La instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

La circulación natural que produce el flujo inverso se puede favorecer cuando el acumulador se encuentra por debajo del captador, por lo que habrá que tomar, en esos casos, las precauciones oportunas para evitarlo.

En sistemas con circulación forzada se aconseja utilizar una válvula anti-retorno para evitar flujos inversos.

3.4.1.4.6. Prevención de la legionelosis.

Se deberá cumplir, cuando sea de aplicación, el Real Decreto 865/2003, por lo que la temperatura del agua en el circuito de distribución de agua caliente no deberá ser inferior a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$



en el punto más alejado y previo a la mezcla necesaria para la protección contra quemaduras o en la tubería de retorno al acumulador. La instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70°C. En consecuencia, no se admite la presencia de componentes de acero galvanizado.

3.4.2. Clasificación de la instalación.

Según la clasificación que aparece en el “Pliego de condiciones técnicas de las instalaciones de baja temperatura” del IDAE, la instalación descrita en este proyecto posee las siguientes características:

- Principio de circulación: circulación forzada.
- Sistema de transferencia de calor: Instalaciones con intercambiador de calor independiente.
- Sistema de expansión: Sistema cerrado.
- Sistema de aporte de energía auxiliar: Sistema de energía auxiliar en línea distribuido.
- Aplicación: Instalación para calentamiento de agua sanitaria.

3.4.3. Criterios generales de diseño.

3.4.3.1. Dimensionado y cálculo.

3.4.3.1.1. Datos de partida.

Los datos de partida necesarios para el dimensionado y cálculo de la instalación están constituidos por dos grupos de parámetros que definen las condiciones de uso y climáticas.

Condiciones de uso

Las condiciones de uso vienen dadas por la demanda energética asociada a la instalación según los diferentes tipos de consumo. En este caso en particular, la demanda energética se determina en función del consumo de agua caliente.

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas vienen dadas por la radiación global total en el campo de captación, la temperatura ambiente diaria y la temperatura del agua de la red.

En la memoria de cálculo se han utilizado datos de radiación publicados por entidades de reconocido prestigio y los datos de temperatura publicados por el Instituto Nacional de Meteorología, recogidos en la norma UNE 94003:2007.

3.4.3.1.2. Dimensionamiento básico.

A los efectos de este PCT (Pliego de condiciones técnicas), el dimensionado básico de las instalaciones o sistemas a medida se refiere a la selección de la superficie de captadores solares y al volumen de acumulación solar, para la aplicación a la que está destinada la instalación.

El dimensionado de la instalación es tal que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110% de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100%. A estos efectos, no se tomarán en consideración aquellos períodos de tiempo en los cuales la demanda se sitúe un 50 % debajo de la media correspondiente al resto del año.

El rendimiento de la instalación se refiere sólo a la parte solar de la misma.



Se debe tener en cuenta que el sistema solar se ha diseñado y calculado en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto la acumulación se prevé acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

Para esta aplicación el área total de los captadores debe tener un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

Donde A será la superficie total de los captadores, expresada en m², y V es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria.

3.4.3.2. Diseño del sistema de captación.

3.4.3.2.1. Generalidades.

El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por un organismo competente en la materia, según la legislación vigente.

Los captadores que integran la instalación son del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.

Los captadores solares serán planos.

Han de tener un aspecto uniforme y sin defectos.

Se escogen los captadores a montar, entre los diferentes tipos existentes en el mercado, que mejor se adaptan a las características y condiciones de trabajo de la instalación, siguiendo siempre las especificaciones y recomendaciones dadas por el fabricante.

Están diseñados y contruidos de manera que sus características en uso normal sean seguras y sin riesgo para el usuario del entorno.

Todos los materiales serán incombustibles y deben resistir la temperatura máxima de estancamiento. Así mismo, han de ser resistentes al choque térmico y a la exposición de la radiación UV. Los materiales que no resistan la radiación UV han de estar debidamente protegidos contra las radiaciones incidentes y reflectantes.

Los materiales han de ser resistentes a las tensiones ambientales, como por ejemplo la lluvia, nieve, granizadas, heladas, viento, otras humedades y polución del aire.

Los materiales en contacto con el fluido caloportador han de ser resistentes a las acciones del mismo.

En la máxima temperatura de trabajo, los materiales no pueden fundirse, no pueden emitir vapores que puedan condensarse sobre otras superficies ni poder sufrir corrosiones.

No deben de aparecer tensiones mecánicas cuando se llegue a la máxima temperatura de trabajo.

Los pasos y conductos a través de la carcasa han de ser contruidos de forma que no pueda haber pérdidas de fluido causadas por la dilatación térmica del mismo.

Las conexiones de los captadores han de ser capaces de soportar las tensiones que se produzcan durante el montaje y el funcionamiento.



Los captadores han de cumplir los ensayos requeridos en las normas UNE-EN 12975-1 y UNE-EN 12975-2. Concretamente, durante estos ensayos no se pueden producir ninguna de los siguientes fallos:

- No se pueden producir fugas en el absorbedor ni deformaciones que establezcan contacto de éste con la cubierta.
- Rotura o deformaciones permanentes de la cubierta de las fijaciones de la cubierta.
- Rotura o deformaciones permanentes de los puntos de fijación de la carcasa del captador.
- Acumulación de humedad dentro del captador.

Los captadores deberán de llevar en un lugar visible una placa en la cual contenga, como mínimo, los siguientes datos:

- Nombre del fabricante
- Tipo
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Superficie total del captador.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura de estanqueidad a 1000 W/m² y 30°C.
- Presión máxima de trabajo.
- Volumen del líquido de trabajo.
- Peso del captador vacío.

3.4.3.2.2 Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica

La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la tabla 20. Se considerarán tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica según se define más adelante. En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición de módulos	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla 20. Porcentaje máximo de pérdidas por orientación, inclinación y sombras. Fuente: CTE

Se considera la dirección Sur con una desviación de 11° Este como orientación óptima, ya que es la orientación del edificio, y la mejor inclinación, s_{opt} , dependiendo del período de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica ($\phi = 36,36^\circ$)
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica - 10°

Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales.



Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor, con el fin de favorecer la autolimpieza de los captadores.

En el presente proyecto, se considera el caso General.

3.4.3.2.3. Conexionado.

Los captadores se dispondrán en filas constituidas por el mismo número de elementos, conectadas entre sí en paralelo. Se instalarán válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. Controlando el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

3.4.3.2.4. Estructura soporte.

Si el sistema posee una estructura soporte que es montada normalmente en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de s_k (carga de nieve) y v_m (velocidad media de viento) de acuerdo con las normas UNE-EN 1991-2-3 y UNE-EN 1991-2-4.

El sistema sólo podrá ser instalado en localizaciones donde los valores de s_k y v_m determinados de acuerdo con las normas UNE-EN 1991-2-3 y UNE-EN 1991-2-4 sean menores que los valores máximos especificados por el fabricante.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.

Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y posición relativa adecuada, de forma que no se produzcan flexiones en el captador superiores a las permitidas por el fabricante.

Los topes de sujeción de los captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre estos últimos.

3.4.3.2.5. Normativa de mantenimiento.

Normativa de obligado cumplimiento:

- RITE 2007 Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio por el que se aprueba el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)
- UNE-EN 12975-1:2001 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12975-2:2002 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 2: Método de diseño.

3.4.3.3. Diseño del sistema de acumulación solar.

3.4.3.3.1. Generalidades.

Depósito de acero inoxidable o de acero pero con una protección interior contra la corrosión mediante tratamientos vitrificados y protección catódica.



Los acumuladores para ACS cumplirán los requisitos de UNE-EN 12897.

El acumulador será de configuración vertical y se ubicará en zona interior.

Puesto que el acumulador está directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, se ubicará un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema será capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis, tal como dispone el RD 865/2003, de 4 de julio.

Se ha previsto un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir con las medidas de prevención de legionela.

Dado que el acumulador del sistema tiene un volumen mayor de 2 m³ deberán llevar válvulas de corte adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

Ha de estar formado por:

- Cubeta de agua caliente sanitaria.
- Purgador.
- Termostato.
- Entrada de agua de red.
- Entrada de fluido caloportador para calentar el agua.
- Salida de fluido caloportador.
- Intercambiador de doble pared.
- Recirculación.
- Termómetro.
- Válvula de seguridad.

Estará cubierto de una capa aislante y de la envolvente exterior. La envolvente debe de disponer de un agujero de drenaje de medidas apropiadas, según la capacidad del acumulador.

Cada acumulador debe ser suministrado de fábrica con las tuberías de acoplamiento, debidamente soldadas antes del tratamiento de protección para las siguientes funciones:

- Entrada y salida de fluido caloportador.
- Entrada y salida agua sanitaria.
- Registro para inspección del interior.
- Agujero roscado para termómetro y termostato.
- Agujero para vaciado.

En la entrada del agua debe de haber una válvula de retención y en el circuito debe de figurar una válvula de seguridad incorporada, debe de ser suministrada juntamente con el aparato.

Para el desmontaje de elementos para el mantenimiento preventivo no se debe ser necesario desplazarlo y la operación debe poder realizarse con herramientas ordinarias.

Las partes en contacto con el agua sanitaria serán de materiales que no puedan contaminarla.

Ha de ser capaz de resistir la presión del agua que se produce en el uso normal.

Dispondrá de dispositivos de protección contra la sobrepresión si esta supera en 1 bar la presión nominal.



3.4.3.3.2. Situación de las conexiones.

Con objeto de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, la situación de las tomas para las diferentes conexiones serán las establecidas en los puntos siguientes:

1.- La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del mismo.

2.- La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.

3.- La alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

3.4.3.3.3. Sistema auxiliar en el acumulador solar.

No se permite la conexión de un sistema auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones.

3.4.3.3.4. Normativa de mantenimiento.

Normativa de cumplimiento obligado.

- RAP 1979 Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos Presión.

3.4.3.4. Diseño del sistema de intercambio.

La potencia mínima de diseño del intercambiador independiente, P, en vatios, en función del área de captadores A, en metros cuadrados, cumplirá la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

El intercambiador independiente será de placas de acero inoxidable y deberá soportar las temperaturas y presiones máximas de trabajo de la instalación.

Se deberá indicar el fabricante y modelo del intercambiador de calor, así como datos de sus características de actuación medidos por el propio fabricante o por un laboratorio acreditado.

Los materiales del intercambiador de calor resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito primario y serán compatibles con el fluido de trabajo.

El fabricante del intercambiador de calor garantizará un factor de ensuciamiento menor al permitido en los Criterios de Dimensionado y Cálculo de Instalaciones de Energía Solar Térmica.

La pérdida de carga de diseño en el intercambiador de calor no será superior a 3 m.c.a., tanto en el circuito primario como en el secundario.

3.4.3.5. Diseño del circuito hidráulico.

3.4.3.5.1. Generalidades.



El circuito hidráulico será de por sí equilibrado, no necesitando controlar el flujo por válvulas de equilibrado.

El circuito hidráulico del sistema de consumo deberá cumplir los requisitos especificados en la norma UNE-EN 806-1, y los materiales de este circuito deberán cumplir lo especificado en ISO/TR 10217.

3.4.3.5.2. Tuberías.

Consideraciones:

- En el proyecto se deberá especificar:
 - Tipo de material (siendo cobre el material elegido).
 - Diámetro nominal.
 - Presión de trabajo.
- El circuito debe evitar recorridos difíciles así como favorecer el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos.
- Se instalarán lo más próximo posible a paramentos (distancia mínima aproximada 5 cm) con el espacio suficiente para manipular aislamiento y accesorios.
- Se instalarán por debajo de instalaciones eléctricas, comunicaciones, etc.
- Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema será corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general.
- El diseño y los materiales serán tales que no exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que influyan drásticamente en el rendimiento del sistema.

Dimensionado:

- El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.
- El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

3.4.3.5.3. Bombas.

Se utilizará una bomba de impulsión del fluido caloportador.

La caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito.

La bomba estará conectada a la red que dará servicio, y el motor en la línea de alimentación eléctrica.

La bomba se montará en la zona más fría del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

Como la superficie de captación es superior a 50 m², se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario, de manera que se establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas.

Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión.

El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.



Las reducciones de diámetro se realizarán con piezas cónicas, con una conicidad $\leq 30^\circ$. Las reducciones horizontales se realizarán excéntricas y debe quedar rasada por la generatriz superior para evitar la formación de bolsas de aire.

El eje impulsor quedará en posición horizontal. El eje bomba-tubería no debe tener limitaciones en su posición. La posición ha de ser la indicada por el fabricante.

Se debe comprobar si la tensión del motor corresponde a la disponible y si gira en el sentido conveniente.

La Normativa de obligado cumplimiento para el mantenimiento de la bomba de circulación será:

- RITE 2007 Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio por el que se aprueba el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)
- REBT 2002 Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento.

3.4.3.5.4. Vasos de expansión.

Se utilizará un vaso de expansión como depósito que contrarresta las variaciones de volumen y presión que se producen en el circuito.

El vaso de expansión se conectará en la aspiración de la bomba.

El vaso deberá ser capaz de absorber el volumen de toda la instalación más un 10%.

Debe estar sujeto a la norma de aparatos a presión.

La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

Los datos que sirven de base para la selección del vaso son los siguientes:

- Volumen total de agua en la instalación, en litros.
- Temperatura mínima de funcionamiento, para la cual se asumirá el valor de 4°C , a la que corresponde la máxima densidad.
- Temperatura máxima que pueda alcanzar el agua durante el funcionamiento de la instalación.
- Presiones mínima y máxima de servicio, en bar, cuando se trate de vasos cerrados.
- Volumen de expansión calculado, en litros.

Los cálculos darán como resultado final el volumen total del vaso y la presión nominal PN, que son los datos que definen sus características de funcionamiento.

La temperatura extrema del circuito primario será, como mínimo, la temperatura de estancamiento del captador.

El volumen de dilatación será, como mínimo, igual al 4,3 % del volumen total de fluido en el circuito primario.

Se dimensionarán de forma que la presión mínima en frío en el punto más alto del circuito no sea inferior a $1,5 \text{ kp/cm}^2$ y la presión máxima en caliente en cualquier punto del circuito no supere la presión máxima de trabajo de los componentes.



El dispositivo de expansión cerrado del circuito de captadores deberá estar dimensionado de tal forma que, incluso después de una interrupción del suministro de potencia a la bomba de circulación del circuito de captadores justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer la operación automáticamente cuando la potencia esté disponible de nuevo.

3.4.3.5.5. Válvulas.

Se utilizarán válvulas para controlar y regular el paso de un fluido.

La elección de las válvulas se realiza, tal y como se ha especificado en la Memoria, en función del trabajo a realizar:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta o especiales para sistemas de termosifón

Han de poder trabajar en las condiciones extremas:

- Temperatura: desde -30°C (excluyendo la congelación) hasta 180°C.
- Presión nominal: 10 bares.
- Fluido utilizable: agua y soluciones de glicol.

Los materiales empleados en su fabricación deben ser adecuados para estar en contacto con agua potable, no experimentando ninguna alteración al trabajar en las condiciones de servicio.

Todos los materiales que intervienen en la instalación serán compatibles entre ellos, por este motivo, el montaje y las conexiones de los equipos serán realizados con los materiales y accesorios suministrados por el fabricante o expresamente aprobados por éste.

La posición del obturador ha de ser en posición de cerrado o completamente abierto, no se debe hacer trabajar a las válvulas en posiciones intermedias por períodos prolongados.

Las partes de las válvulas que se hayan de manipular serán accesibles, por este motivo, la distancia entre la válvula y los elementos que la envuelven será suficiente para permitir el desmontaje y mantenimiento.

Los ejes de la válvula de la tubería estarán alineados.

El peso de las tuberías no debe descansar sobre las válvulas.

La brida debe realizar una presión uniforme sobre el elemento a estancar. Las uniones deben de ser estancas.

El sentido de circulación del fluido dentro de la válvula ha de coincidir con la marca gravada en el cuerpo de la válvula.

Ejecución de la obra:

- Replanteo de la unidad de obra.
- Limpieza del interior de los tubos.
- Conexión a la red.
- Prueba de funcionamiento.
- Prueba de estancamiento.



- Retirada de la obra de los restos de envoltorio, restos de tubos, etc.

El montaje se ha de realizar según las instrucciones de la documentación técnica del fabricante. Se ha de seguir la secuencia propuesta por el fabricante.

Durante la instalación sujetar la válvula por los extremos de conexión, nunca por la parte central o el cuello de la misma, para evitar deformaciones en los componentes internos.

Todos los elementos se han de inspeccionar antes de su colocación en la red.

Se ha de comprobar que las características técnicas de la válvula corresponden con las especificaciones del proyecto.

La instalación de la válvula no ha de alterar las características de los elementos.

Las conexiones a la red de servicio se hará una vez esté cortado suministro de red.

Las pruebas sobre la válvula una vez instalada, se ha de realizar por personal especializado.

Una vez instalada la válvula, se procederá a la retirada de la obra de los materiales sobrantes como envoltorios, restos de tubos, etc.

La Normativa de obligado cumplimiento para el mantenimiento de la bomba de circulación será:

- Para la fabricación de estos dispositivos han de ser acorde con lo dispuesto en el Anexo IX del Real Decreto 140/2003 de 7 Febrero, relativo a la calidad de las aguas destinadas para consumo humano.
- Los fabricantes deberán haber realizado los ensayos para verificar y cumplimentar los requisitos de la norma UNE 19804, sobre:
 - Características dimensionales.
 - Características de estanqueidad.
 - Características de comportamiento mecánico bajo presión.
 - Características hidráulicas.
 - Características de resistencia mecánica.
 - Características de resistencia a la incrustación de elementos de cierre.
 - Características de duración mecánica de las válvulas.
 - Características de duración mecánica del dispositivo anti retorno.
 - Características acústicas.

3.4.3.5.6. Purga de aire.

En los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por purgadores automáticos.

3.4.3.5.7. Drenaje.

Los conductos de drenaje de las baterías de captadores se han diseñado en lo posible de forma que no puedan congelarse.

3.4.3.6. Diseño del sistema de control.

El diseño del sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso



adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario (si existe).
- Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos, heladas, etc.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

El sistema de control se realizará por control diferencial de temperaturas, mediante un dispositivo electrónico que compare la temperatura de captadores con la temperatura de acumulación o retorno, como por ejemplo ocurre en la acumulación distribuida. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor de 2°C. De esta forma el funcionamiento de la parte solar de una instalación se optimiza. Para optimizar el aprovechamiento solar de la instalación y, cuando exista intercambiador exterior, se podrán instalar también dos controles diferenciales.

El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se han colocado en la parte superior de los captadores, de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación.

El sensor de temperatura de la acumulación se colocará en la parte inferior, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.

3.4.4. Suministro y almacenamiento.

3.4.4.1. Captadores.

Los captadores serán suministrados en jaulas de madera adecuadas para su traslado o elevación mediante carretillas elevadoras.

Embalados, con todas las protecciones necesarias para su correcto transporte y posterior almacenamiento. Deberán de llevar las conexiones hidráulicas debidamente tapadas.

Las jaulas se almacenarán depositándolas sobre suelo plano y a cubierto. En caso de almacenaje exterior, se cubrirán las jaulas para protegerlas del agua de lluvia, impactos, las humedades y de los rayos de sol.

El fabricante ha de proporcionar un manual de instrucciones de instalación que ha de contener como mínimo la siguiente información:

- Dimensiones y peso del captador, instrucciones sobre el transporte y la manipulación.
- Descripción del procedimiento de montaje.
- Recomendaciones sobre la protección contra rayos.
- Instrucciones sobre el líquido caloportador y sobre la conexión con el circuito de ACS.
- Recomendaciones sobre el fluido caloportador que se puede hacer servir, así como las precauciones que se han de tomar durante el llenado, operación y puesta en servicio.
- Presión máxima de trabajo, caída de presión y máximo y mínimo ángulo de inclinación.

En el caso de que los captadores, una vez desembalados y previamente a su montaje sobre los perfiles de apoyo, deban ser dejados de forma interina a la intemperie, se colocarán con un



ángulo mínimo de inclinación de 20° y máximo de 80°, con la cubierta de cristal orientada hacia arriba. Se evitará la posición horizontal y vertical.

Hasta que los captadores no estén llenos de fluido caloportador es conveniente cubrirlos, a fin de evitar excesivas dilataciones.

3.4.4.2. Fluido caloportador.

Debe de ser suministrado en garrafas o bidones. En la parte de atrás deben figurar los siguientes datos:

- Identificación del fabricante.
- Nombre comercial del producto.
- Identificación del producto.
- Peso neto o volumen del producto.
- Fecha de caducidad.
- Modo de empleo.
- Límites de temperatura.
- Toxicidad e inflamabilidad.

Se ha de almacenar en:

- Lugar ventilado.
- No expuesto al sol.
- Dentro de su envase original y cerrado.
- No debe tener contacto con el suelo.

3.4.4.3. Acumuladores.

Empaquetados sobre euro palés.

Cada aparato debe llevar en un lugar visible, una vez instalado, una placa que indique de manera indeleble:

- Identificación del constructor, modelo o tipo.
- Símbolo del grado de aislante.
- Presión nominal en bares.
- Capacidad.

Además debe de facilitarse el esquema de instalación donde se indique claramente:

- Grifo de cierre.
- Purgador de control de estanqueidad.
- Válvula de seguridad.
- Deberán de almacenarse en lugar seguro sin peligro de impactos.

3.4.4.4. Bomba de circulación.

Embalada con todas las protecciones necesarias para su correcto transporte y posterior almacenamiento.

Se almacenará depositándola sobre suelo plano y a cubierto. En caso de almacenaje exterior, se cubrirá para protegerlas del agua de lluvia, impactos, las humedades y de los rayos de sol.



El fabricante ha de proporcionar un manual de instrucciones de instalación que ha de contener como mínimo la siguiente información:

- Dimensiones, instrucciones sobre el transporte y la manipulación.
- Descripción del procedimiento de montaje.
- Recomendaciones.

En la bomba deben figurar los siguientes datos:

- Identificación del fabricante.
- Nombre comercial del producto.
- Identificación del producto.
- Caudal y pérdida de carga de trabajo.
- Sentido de circulación.

3.4.4.5. Válvulas.

Embalada individualmente en bolsas de plástico, con todas las protecciones necesarias para su correcto transporte y posterior almacenamiento.

Se almacenará depositándola sobre suelo plano y a cubierto. En caso de almacenaje exterior, se cubrirá para protegerlas del agua de lluvia, impactos, las humedades y de los rayos de sol.

El fabricante ha de proporcionar un manual de instrucciones de instalación que ha de contener como mínimo la siguiente información:

- Dimensiones, instrucciones sobre el transporte y la manipulación.
- Descripción del procedimiento de montaje.
- Recomendaciones.

3.4.5. Condiciones de materiales y equipos.

3.4.5.1. Generalidades.

Los distintos materiales a colocar serán nuevos y de primera calidad, de manera que la Dirección Facultativa podrá solicitar los certificados de idoneidad y características que estime oportunos, así como rechazar aquellos que a su juicio no resulten ajustados al presente proyecto.

En este sentido, el adjudicatario presentará los certificados que especifiquen las características de aquellos materiales que la Dirección Facultativa estime conveniente.

Las tolerancias y condiciones de recepción de los distintos materiales serán los que determine la normativa específica de aplicación.

3.4.5.2. Selección de materiales.

Todos los materiales serán de buena calidad y de reconocida casa comercial. Tendrán las dimensiones que indiquen los documentos del proyecto y fije la dirección facultativa.

En las tuberías del circuito primario podrán utilizarse como materiales el hierro negro, el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas y protección exterior con pintura anticorrosiva. También se admite material plástico acreditado apto para esta aplicación.



Mientras que en las tuberías del circuito secundario podrán utilizarse cobre y acero inoxidable. Además, también se podrán utilizar materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito y cumplan con las normas UNE que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las Compañías de suministro de agua potable. En ningún caso se pueden utilizar tuberías de acero negro.

En sistemas directos sólo podrá utilizarse cobre o acero inoxidable en el circuito primario.

Cuando sea imprescindible utilizar materiales diferentes en el mismo circuito, especialmente cobre y acero, en ningún caso estarán en contacto debiendo situar entre ambos juntas o manguitos dieléctricos.

En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero.

Cuando se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 1,5 m/s. y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No se permitirá el uso de aluminio en sistemas abiertos o sistemas sin protección catódica.

Cuando se utilice cobre en tuberías y accesorios la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y 1,5 m/s en sistemas abiertos.

Cuando se utilice acero en tuberías o accesorios la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 12.

Cuando se utilice acero galvanizado en contacto con el fluido de trabajo se evitará que la temperatura del fluido sobrepase 65 °C en periodos prolongados.

La tornillería y piezas auxiliares estarán protegidas por galvanizado o zincado, o bien serán de acero inoxidable.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

Para la protección del material aislante situado en intemperie se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio. En el caso de depósitos o cambiadores de calor situados en intemperie, podrán utilizarse forros de telas plásticas.

La elección de los materiales de la instalación estudiada están especificados en el apartado Memoria Descriptiva siguiendo las bases de este documento.

3.4.5.3. Procedencia.

Se tendrá libertad a la hora de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el pliego particular de condiciones técnicas preceptúe una procedencia determinada.

Se utilizarán proveedores de serie, de manera que los proyectistas diseñarán las piezas y los proveedores solamente las fabricarán.

3.4.5.4. Reconocimiento de los materiales.

Los materiales serán reconocidos en obra antes de su empleo por la dirección facultativa, sin cuya aprobación no podrán ser empleados en la obra.



El contratista proporcionará a la dirección facultativa muestra de los materiales para su aprobación.

Los ensayos y análisis que la dirección facultativa crea necesarios, se realizarán en laboratorios autorizados para ello.

Los accesorios, codos, latiguillos, racores, etc. serán de buena calidad y estarán igualmente exentos de defectos, tanto en su fabricación como en la calidad de los materiales empleados.

3.4.5.5. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales serán de cuenta de los proveedores.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías podrá comenzarse de nuevo a cargo de los mismos.

3.4.6. Condiciones de montaje.

3.4.6.1. Montaje de estructura soporte y captadores.

Al estar los captadores instalados en el tejado del edificio, deberá asegurarse la estanqueidad en los puntos de anclaje.

La instalación permitirá el acceso a los captadores de forma que su desmontaje sea posible en caso de rotura, pudiendo desmontar cada captador con el mínimo de actuaciones sobre los demás.

Las tuberías flexibles se conectarán a los captadores utilizando, preferentemente, accesorios para mangueras flexibles.

Cuando se monten tuberías flexibles se evitará que queden retorcidas y que se produzcan radios de curvatura superiores a los especificados por el fabricante.

El constructor evitará que los captadores queden expuestos al sol por períodos prolongados durante el montaje. En este período las conexiones del captador deben estar abiertas a la atmósfera, pero impidiendo la entrada de suciedad.

Terminado el montaje, durante el tiempo previo al arranque de la instalación, si se prevé que éste pueda prolongarse, el constructor procederá a tapar los captadores.

3.4.6.2. Montaje del acumulador.

La estructura soporte para depósitos y su fijación se realizará según la normativa vigente.

La estructura soporte y su fijación para depósitos de más de 1000 l situados en cubiertas o pisos deberá ser diseñada por un profesional competente.

3.4.6.3. Montaje del intercambiador.

Se tendrá en cuenta la accesibilidad del intercambiador, para operaciones de sustitución o reparación.

3.4.6.4. Montaje de la bomba.



Las bombas en línea se instalarán con el eje de rotación horizontal y con espacio suficiente para que el conjunto motor-rodete pueda ser fácilmente desmontado. El acoplamiento de una bomba en línea con la tubería podrá ser de tipo roscado hasta el diámetro DN 32.

El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

Las tuberías conectadas a las bombas en línea se soportarán en las inmediaciones de las bombas de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos.

La conexión de las tuberías a las bombas no podrá provocar esfuerzos recíprocos.

Todas las bombas estarán dotadas de tomas para la medición de presiones en aspiración e impulsión.

Todas las bombas deberán protegerse, aguas arriba, por medio de la instalación de un filtro de malla o tela metálica.

3.4.6.5. Montaje de las tuberías y accesorios.

Antes del montaje deberá comprobarse que las tuberías no estén rotas, fisuradas, dobladas, aplastadas, oxidadas o de cualquier manera dañadas.

Se almacenarán en lugares donde estén protegidas contra los agentes atmosféricos. En su manipulación se evitarán roces, rodaduras y arrastres, que podrían dañar la resistencia mecánica, las superficies calibradas de las extremidades o las protecciones anti-corrosión.

Las piezas especiales, manguitos, gomas de estanqueidad, etc. se guardarán en locales cerrados.

Las tuberías serán instaladas de forma ordenada, utilizando fundamentalmente tres ejes perpendiculares entre sí y paralelos a elementos estructurales del edificio, salvo las pendientes que deban darse.

Las tuberías se instalarán lo más próximas posible a paramentos, dejando el espacio suficiente para manipular el aislamiento y los accesorios. En cualquier caso, la distancia mínima de las tuberías o sus accesorios a elementos estructurales será de 5 cm.

Las tuberías discurrirán siempre por debajo de canalizaciones eléctricas que crucen o corran paralelamente.

La distancia en línea recta entre la superficie exterior de la tubería, con su eventual aislamiento, y la del cable o tubo protector no será inferior a:

- 5 cm para cables bajo tubo con tensión inferior a 1000 V.
- 30 cm para cables sin protección con tensión inferior a 1000 V.
- 50 cm para cables con tensión superior a 1000 V. Las tuberías no se instalarán nunca encima de equipos eléctricos, como cuadros o motores. No se permitirá la instalación de tuberías en huecos y salas de máquinas de ascensores, centros de transformación, chimeneas y conductos de climatización o ventilación.

Las conexiones de las tuberías a los componentes se realizarán de forma que no se transmitan esfuerzos mecánicos. Las conexiones de componentes al circuito deben ser fácilmente desmontables mediante bridas o racores, con el fin de facilitar su sustitución o reparación.



Se facilitarán las dilataciones de tuberías utilizando los cambios de dirección o dilatadores axiales.

Durante el montaje de las tuberías se evitarán en los cortes para la unión de tuberías, las rebabas y escorias.

En las ramificaciones soldadas el final del tubo ramificado no debe proyectarse en el interior del tubo principal.

Los sistemas de seguridad y expansión se conectarán de forma que se evite cualquier acumulación de suciedad o impurezas.

3.4.6.6. Montaje del aislamiento.

El aislamiento no podrá quedar interrumpido al atravesar elementos estructurales del edificio.

Tampoco se permitirá la interrupción del aislamiento térmico en los soportes de las conducciones, que podrán estar o no completamente envueltos por el material aislante.

Después de la instalación del aislamiento térmico, los instrumentos de medida y de control, así como válvulas de desagües, volante, etc., deberán quedar visibles y accesibles.

Las franjas y flechas que distinguen el tipo de fluido transportado en el interior de las conducciones se pintarán o se pegarán sobre la superficie exterior del aislamiento o de su protección.

3.4.7. Programa de mantenimiento.

Se definen tres escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma:

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

3.4.7.1. Plan de vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación.

Puede ser llevado a cabo por el usuario, que asesorado por el instalador, observará el correcto comportamiento y estado de los elementos, y tendrá un alcance similar al descrito en la tabla 21. (IV: Inspección visual)

3.4.7.2. Plan de mantenimiento preventivo

El plan de mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento necesarias para que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.



El mantenimiento preventivo implicará operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deberían permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV - Condensaciones en las horas centrales del día
	Juntas	3	IV - Agrietamientos y deformaciones
	Absorbedor	3	IV - Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV - Fugas
	Estructura	3	IV - Degradación, indicios de corrosión.
Circuito Primario	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV – Ausencia de humedad y fugas
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín
Circuito Secundario	Termómetro	Diaria	IV - Temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV – Ausencia de humedad y fugas
	Acumulador Solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte superior del depósito

Tabla 21. Plan de Vigilancia. Fuente: CTE

IV: Inspección visual

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con área de apertura de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones superiores a 20 m².

En las tablas 22, 23, 24, 25, 26 y 27 se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.



Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV - Diferencias sobre original
		IV – Diferencia entre captadores
Cristales	6	IV – Condensaciones y suciedad
Juntas	6	IV – Agrietamientos, deformaciones
Absorbedor	6	IV – Corrosión, deformaciones
Carcasa	6	IV - Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6	IV – Aparición de fugas
Estructura	6	IV – Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos
Captador (*)	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captador (*)	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captador (*)	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captador (*)	12	Llenado parcial del campo de captadores

Tabla 22. Plan de mantenimiento para el sistema de captación. Fuente: CTE

IV: Inspección visual

(*): Estas operaciones se realizarán, según proceda, en el caso de que se haya optado por el tapado o vaciado parcial de los captadores para prevenir el sobrecalentamiento.



Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV - Degradación protección de uniones y ausencia de humedad.
Aislamiento al interior	12	IV – Uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF - Actuación
Válvula de corte	12	CF – Actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento.
Válvula de seguridad	12	Cf - Actuación

Tabla 23. Plan de mantenimiento para el circuito hidráulico. Fuente: CTE

IV: Inspección visual
CF: Control de funcionamiento.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que esté bien cerrado para que no entre polvo
Cuadro diferencial	12	CF-Actuación
Termostato	12	CF-Actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF-Actuación

Tabla 24. Plan de mantenimiento para el sistema eléctrico y de control. Fuente: CTE

IV: Inspección visual.
CF: Control de funcionamiento.



Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en el fondo
Ánodos de sacrificio	12	Comprobación del desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Tabla 25. Plan de mantenimiento para el sistema de acumulación. Fuente: CTE

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF-Eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF-Eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

Tabla 26. Plan de mantenimiento para el sistema eléctrico y de control. Fuente: CTE

CF: Control de funcionamiento.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema Auxiliar	12	CF-Actuación
Sondas de temperatura	12	CF-Actuación

Tabla 27. Plan de mantenimiento para el sistema de energía auxiliar. Fuente: CTE

CF: Control de funcionamiento.

Dado que el sistema de energía auxiliar no forma parte del sistema de energía solar propiamente dicho, sólo será necesario realizar actuaciones sobre las conexiones del primero a este último, así como la verificación del funcionamiento combinado de ambos sistemas. Se deja un mantenimiento más exhaustivo para la empresa instaladora del sistema auxiliar.

3.4.7.3. Plan de mantenimiento correctivo

Las actividades de mantenimiento correctivo no pueden estar sometidas a un plan, dado el carácter impredecible de estas acciones. Como su propio nombre indica, las acciones de



mantenimiento correctivo se realizarán para corregir anomalías observadas durante el funcionamiento normal de la instalación.

No obstante, sí es posible llevar un control de las acciones de mantenimiento correctivo realizadas, mediante el uso de un parte de mantenimiento correctivo. En este parte aparecerá recogido el componente afectado, la causa aparente del problema, la acción correctiva realizada, además de la fecha y la firma del responsable de dicha acción.

3.4.8. Criterios de integración paisajística

Debido la importancia que tiene la instalación de captación solar en las cubiertas de los edificios respecto al impacto paisajístico y visual, hace falta tener en cuenta que es necesario pensar en el proyecto arquitectónico ya en origen, con la necesidad de incorporar los sistemas de captación de energía solar térmica.

Esto puede simplificar la integración arquitectónica de estos sistemas, y en general puede ayudar mucho en todas las fases de ampliación del sistema de captación y distribución de la energía solar, en las fases de proyecto, ejecución de la instalación y posterior mantenimiento. A tal efecto es interesante considerar los siguientes elementos:

- La colocación de los captadores solares se realizará en el lugar donde la cuenca visual sea más reducida, dentro de las limitaciones de orientación y sombras.
- Las aristas exteriores e intermedias del conjunto de captadores solares instalados deberán ser paralelas y perpendiculares a las líneas de pendiente de cubierta y a las aristas de las carenas y voladizo.
- La forma de los captadores solares más habitual es la rectangular y por lo tanto hará falta estudiar la idoneidad de la colocación (vertical y horizontal), siempre que no afecte su comportamiento energético.
- En caso de disponer de poca superficie de cubierta disponible, hará falta la utilización de captadores solares más eficientes que reducen sensiblemente la superficie de captación. No obstante, las limitaciones de superficie disponible pueden dar como resultado una instalación solar que no llegue al 50% de cobertura solar o incluso su exención; en este sentido, es necesario que el técnico redactor justifique de manera clara estos hechos.

Las dos tipologías más habituales de cubiertas en el municipio de Rubí son las cubiertas planas o inclinadas y para cada caso se apuntan las recomendaciones siguientes:

- Cubiertas planas: Es necesario que el plano de fachada remonte por encima la cota superior de la planta cubierta para integrar los captadores y limitar su cuenca visual. Es necesario recordar que en el mercado actual hay captadores solares planos para funcionamiento horizontal y que su utilización permite reducir el impacto visual.
- Cubiertas inclinadas: Los captadores solares se han de instalar integrados o sobrepuestos en la cubierta con la misma inclinación que ésta.

3.4.9. Ejecución de trabajos

En este apartado se pretenden describir las disposiciones mínimas de seguridad y salud de acuerdo con lo que prevé el RD16727/1997.

En este proyecto se prevén trabajos con máquinas y herramientas para el montaje de la instalación.

3.4.9.1. Riesgos



3.4.9.1.1. Riesgos debidos a herramientas o maquinaria

- Golpes y/o cortes.
- Caída de objetos y personas.
- Enganchadas.

3.4.9.1.2. Riesgos debidos a electricidad

- Quemadas físicas y químicas.
- Contactos eléctricos directos o indirectos.
- Incendio.
- Exposición a fuentes luminosas.

3.4.9.1.3. Riesgos debidos a anclajes, tornillos, etc.

- Golpes y/o cortes.
- Caída de objetos o personas.
- Pisadas sobre objetos punzantes.

3.4.9.1.4. Riesgos en el montaje de la instalación

- Golpes.
- Enganchadas y sobreesfuerzos.

3.4.9.2. Medidas de protección y prevención

3.4.9.2.1. Condiciones de trabajo

Las personas deberán tener autorización y formación. Así mismo, deberán seguir las normas internas de seguridad y cuidar la conservación del equipo de trabajo.

3.4.9.2.2. Medidas de prevención

- Golpes y/o cortes: bolsa para llevar herramientas, calzado adecuado, guantes y casco homologado.
- Caída de personas: calzado adecuado y, si la ocasión lo requiere, cinturón de seguridad.
- Caída de objetos: bolsa para llevar herramientas, calzado adecuado, guantes y casco.
- Enganchadas: casco homologado, guantes y, calzado y ropa adecuada.
- Quemadas físicas y químicas: gafas de seguridad, guantes, casco homologado y, calzado y ropa adecuada.
- Contactos eléctricos directos o indirectos: gafas de seguridad, guantes, casco homologado y calzado adecuado.
- Incendio: equipo de extinción.
- Exposición a fuentes luminosas: gafas de seguridad y pantalla facial.
- Pisadas sobre objetos punzantes: bolsa para llevar herramientas y calzado adecuado.
- Sobreesfuerzos: cinturón de protección lumbar.

3.4.9.2.3. Actos que se deben evitar

- Trabajar sin autorización o formación.
- Trabajar en condiciones peligrosas para uno mismo o para otros.
- Anular los dispositivos de seguridad.
- Utilización incorrecta de herramientas o maquinaria.
- No utilizar equipos de protección.
- Distracciones.



3.4.10. Pruebas a realizar

El constructor entregará al usuario un documento-albarán en el que conste el suministro de componentes, materiales y manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Este documento será firmado por duplicado por ambas partes, conservando cada uno un ejemplar.

3.4.10.1. Pruebas a realizar por el instalador

Las pruebas a realizar por el instalador serán, como mínimo, las siguientes:

- Llenado, funcionamiento y puesta en marcha del sistema.
- Se probarán hidrostáticamente los equipos y el circuito de energía auxiliar.
- Se comprobará que las válvulas de seguridad funcionan y que las tuberías de descarga de las mismas no están obturadas y están en conexión con la atmósfera. La prueba se realizará incrementando hasta un valor de 1,1 veces el de tarado y comprobando que se produce la apertura de la válvula.
- Se comprobará la correcta actuación de las válvulas de corte, llenado, vaciado y purga de la instalación.
- Se comprobará que alimentando (eléctricamente) las bombas del circuito, éstas entran en funcionamiento y el incremento de presión indicado por los manómetros se corresponde en la curva con el caudal del diseño del circuito.
- Se comprobará la actuación del sistema de control y el comportamiento global de la instalación realizando una prueba de funcionamiento diario, consistente en verificar, que, en un día claro, las bombas arrancan por la mañana, en un tiempo prudencial, y paran al atardecer, detectándose en el depósito saltos de temperatura significativos.

Concluidas las pruebas y la puesta en marcha se pasará a la fase de la Recepción Provisional de la instalación, no obstante el Acta de Recepción Provisional no se firmará hasta haber comprobado que todos los sistemas y elementos han funcionado correctamente durante un mínimo de un mes, sin interrupciones o paradas.

3.4.10.2. Pruebas de estanqueidad del circuito primario

El procedimiento para efectuar las pruebas de estanqueidad comprenderá las siguientes fases:

1.- Preparación y limpieza de redes de tuberías. Antes de efectuar la prueba de estanqueidad las tuberías deben ser limpiadas internamente, con el fin de eliminar los residuos procedentes del montaje, llenándolas y vaciándolas con agua el número de veces que sea necesario. Deberá comprobarse que los elementos y accesorios del circuito pueden soportar la presión a la que se les va a someter. De no ser así, tales elementos y accesorios deberán ser excluidos.

2.- Prueba preliminar de estanqueidad: Esta prueba se efectuará a baja presión, para detectar fallos en la red y evitar los daños que podría provocar la prueba de resistencia mecánica.

3.- Prueba de resistencia mecánica: La presión de prueba será de una vez y media la presión máxima de trabajo del circuito primario, con un mínimo de 3 bar, comprobándose el funcionamiento de las válvulas de seguridad. Los equipos, aparatos y accesorios que no soporten dichas presiones quedarán excluidos de la prueba. La prueba hidráulica de resistencia mecánica tendrá la duración suficiente para poder verificar de forma visual la resistencia estructural de los equipos y tuberías sometidos a la misma.

4.- Reparación de fugas: La reparación de las fugas detectadas se realizará sustituyendo la parte defectuosa o averiada con material nuevo. Una vez reparadas las anomalías, se volverá a comenzar desde la prueba preliminar. El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario.

3.4.11. Documentación necesaria



La documentación del sistema descrita a continuación deberá ser completa y entendible.

3.4.11.1. Fichero de clasificación

Deberá incluir:

- Todas las configuraciones propuestas del sistema incluyendo los esquemas hidráulicos y de control y las especificaciones que permitan al usuario entender el modo de funcionamiento del sistema.
- Lista de componentes a incluir dentro de las configuraciones del sistema, con referencias completas de dimensión y tipo. La identificación de los componentes de la lista deberá ser clara y sin ambigüedades.
- Una lista de combinaciones propuestas de opciones dimensionales en cada una de las configuraciones del sistema.
- Diagramas o tablas estableciendo el rendimiento del sistema bajo condiciones de referencia para cada combinación propuesta de opciones dimensionales en cada configuración del sistema. Las condiciones de referencia deberían estar completamente especificadas incluyendo supuestos hechos en cargas térmicas y datos climatológicos. Las cargas térmicas supuestas deberán estar en el rango comprendido entre 0,5 y 1,5 veces la carga de diseño especificada por el fabricante.

3.4.11.2. Documentación de los componentes

Todos los componentes del sistema deberán ir provistos con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento entendibles, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento.

Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

3.4.11.3. Documentos con referencia a la puesta en servicio

La documentación debería incluir:

- 1.- Todos los supuestos hechos en la carga (ofreciendo conjunto de valores en el intervalo ± 30 % sobre la carga media seleccionada).
- 2.- Referencia completa de los datos climáticos usados.
- 3.- Registro completo del método usado para el dimensionado del área de captadores, sistema de almacenamiento e intercambiador de calor, incluyendo todas los supuestos (fracción solar deseada) y referencia completa a cualquier programa de simulación usado.
- 4.- Registro completo de los procedimientos usados para el dimensionado hidráulico del circuito de captadores y sus componentes.
- 5.- Registro completo de procedimientos usados para la predicción del rendimiento térmico del sistema, incluyendo referencia completa al programa de simulación usado.

3.4.11.4. Documentos de montaje e instalación

Los documentos deberán cumplir los siguientes puntos:

a) Datos técnicos que se refieran a:

- 1.- Diagramas del sistema.
- 2.- Localización y diámetros nominales de todas las conexiones externas.
- 3.- Un resumen con todos los componentes que se suministran (como captador solar, depósito de acumulación, estructura soporte, circuito hidráulico, provisiones de energía



auxiliar, sistema de control/regulación y accesorios), con información de cada componente del modelo, potencia eléctrica, dimensiones, peso, marca y montaje.

4.- Máxima presión de operación de todos los circuitos de fluido del sistema, tales como el circuito de captadores, el circuito de consumo y el circuito de calentamiento auxiliar.

5.- Límites de trabajo: temperaturas y presiones admisibles, etc. a través del

6.- Tipo de protección contra la corrosión.

7.- Tipo de fluido de transferencia de calor.

b) Método de conexión de tuberías.

c) Tipos y tamaños de los dispositivos de seguridad y su drenaje. Las instrucciones de montaje deberán indicar que cualquier válvula de tarado de presión que se instale por la cual pueda salir vapor en condiciones de operación normal o estancamiento, habrá de ser montada de tal forma que no se produzcan lesiones, agravios o daños causados por el escape de vapor. Cuando el sistema esté equipado para drenar una cantidad de agua como protección contra sobrecalentamiento, el drenaje de agua caliente debe estar construido de tal forma que el agua drenada no cause ningún daño al sistema ni a otros materiales del edificio.

d) Revisión, llenado y arranque del sistema.

e) Una lista de comprobación para el instalador para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

f) La mínima temperatura hasta la cual el sistema puede soportar heladas.

La descripción del montaje e instalación del sistema deberá dar lugar a una instalación correcta de acuerdo con los dibujos del sistema.

3.4.11.5. Documentos para el funcionamiento

La documentación deberá cumplir con los apartados a) y c) del apartado 3.4.11.5.

Los documentos deberán incluir también:

a) Esquemas hidráulicos y eléctricos del sistema.

b) Descripción del sistema de seguridad con referencia a la localización y ajustes de los componentes de seguridad.

NOTA: Se debería dar una guía para la comprobación del sistema antes de ponerlo en funcionamiento de nuevo después de haber descargado una o más válvulas de seguridad.

c) Acción a tomar en caso de fallo del sistema o peligro, como está especificado según normativa de seguridad.

d) Descripción del concepto y sistema de control incluyendo la localización de los componentes del control (sensores). Éstos deberían estar incluidos en el esquema hidráulico del sistema.

e) Instrucciones de mantenimiento, incluyendo arranque y parada del sistema.

f) Comprobación de función y rendimiento.



4. PRESUPUESTO

4.1. Sistema solar de captación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
1.1	Ud. Captador solar Termicol, modelo T20US o Similar de las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">Placa absorbente: formado por un emparrillado de tubos de cobre con aletas de aluminio soldadas por ultrasonidos y soldados a dos tubos colectores superior e inferiorVolumen del fluido contenido: 1,02 litrosDimensiones totales: 2130 x 970 x 83 mm.Superficie útil de captación: 1,9 m²Peso del captador: 37 kg.Presión máxima de trabajo: 6,08 bar.Rendimiento óptico: 78,1%Coeficiente de pérdidas k1: 3,83	48	580,00 €	27.840,00 €
1.2	Conjunto de accesorios para batería (Batcapt) <ul style="list-style-type: none">Tapón compresión tubo cobre 16Reducción 3/4 Ma1/2”HRacor macho 16-3/4Cruz igual 3/4”HVálvula de esfera 1/2” M-H mariposa.Purgador automático 3/8” MVaina latón 1/2”Válvula esfera 3/4” M-H mariposaVálvula de Seguridad 6 bar 1/2” “H SolarRacor Marsella 3/4 Ha1/2”	6	109,00 €	654,00 €
1.3	Conjunto de adaptadores al circuito hidráulico (Racorbat) <ul style="list-style-type: none">Racor macho 18-3/4 (4 unidades)	48	10,00 €	480,00 €
1.4	Ud. Soporte de aluminio para 4 colectores	12	485,00 €	5.820,00 €
1.5	Ud. Purgador Caleffi o similar de 1 1/4”	6	211,00 €	1.266,00 €
1.6	Ud. Fluido caloportador Kimex Solar Gel 30 o similar, propilenglicol al 30%, depósito de 1000 L.	1	1.420,00 €	1.420,00 €

Total Sistema de Captación

37.480,00 €



4.2. Sistema de acumulación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
2.1	Ud. Acumulador solar Saunier Duval modelo BDLN-3500 o similar con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">Están fabricados en acero al carbono y cuenta con aislamiento térmico en poliuretano inyectado en molde.Capacidad de A.C.S: 3500 litrosPeso en vacío: 576 kgDiámetro exterior: 1660 mmAltura total: 2580 mm	2	4.080,00 €	8.160,00 €

Total Sistema de Acumulación

8.160,00 €

4.3. Sistema de intercambio

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
3.1	Intercambiador de placas Fagor, modelo IP-75, o similar con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">Número de placas: 30Potencia de intercambio: 66,47 kWÁrea de intercambio: 1,4 m²Pérdida de carga primario: 17,4 kPaPérdida de carga secundario: 18,3 kPa.Salto térmico primario: 75-59 °C.Salto térmico secundario: 50 - 66 °CCaudal primario máximo: 3810 l/hCaudal secundario máximo: 3631 l/h	1	690,00 €	690,00 €

Total Sistema de Intercambio

690,00 €

4.4. Sistema hidráulico

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
4.1	Ud. Bomba centrífuga de circulación del primario, Grundfos modelo MAGNA1 25-80, o similar con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">Caudal: 2,85 m³/hAltura: 6,55 m.c.a.Potencia absorbida: 125 W	2	743,00 €	1.486,00 €
4.2	Ud. Bomba centrífuga de circulación del secundario, Grundfos modelo MAGNA1 25-40, o similar con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">Caudal: 1,47 m³/hAltura: 3,22 m.c.a.Potencia absorbida: 55 W	2	549,00 €	1.098,00 €
4.3	Ud. Vaso de expansión Direnova Solar 18 o similar con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">Capacidad 18 litrosPresión máxima de trabajo: 10 bar	1	57,75 €	57,75 €
4.4	m. Tubería de cobre 22 x 1,5 mm	36,51	5,42 €	197,88 €



Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
4.5	m. Tubería de cobre 28 x 1,5 mm	72,71	7,10 €	516,24 €
4.6	m. Tubería de cobre 35 x 1,5 mm	86,54	9,32 €	806,55 €
4.7	m. Aislamiento Armaflex AF de tubería de 22 mm con espesor de 35 mm	51,45	13,51 €	695,09 €
4.8	m. Aislamiento Armaflex AF de tubería de 28 mm con espesor de 35 mm	75,03	16,38 €	1.228,99 €
4.9	m. Aislamiento Armaflex AF de tubería de 35 mm con espesor de 35 mm	102,13	18,31 €	1.870,00 €
4.10	Ud. Válvula de compuerta bronce/latón 22 mm a la entrada y salida de baterías de captadores.	18	22,76 €	409,68 €
4.11	Ud. Válvula de compuerta bronce/latón 35 mm: <ul style="list-style-type: none">▪ Entrada y salida de campo solar: 2▪ Grupo bombeo primario: 4▪ Entrada y salida de intercambiador: 4	11	44,22 €	486,42 €
4.12	Ud. Válvula de compuerta bronce/latón 28 mm: <ul style="list-style-type: none">▪ Entrada y salida de intercambiador: 2▪ Grupo bombeo secundario: 4▪ Entrada y salida de acumuladores solares: 4▪ Conexión subsistema solar con sistema auxiliar: 3	13	28,45 €	369,85 €
4.13	Válvula de retención de bronce con cierre clapeta deslizante PN-16 de 35 mm para grupo de bombeo primario.	2	81,56 €	163,12 €
4.14	Válvula de retención de bronce con cierre clapeta deslizante PN-16 de 28 mm para grupo de bombeo secundario.	2	50,22 €	100,44 €
4.15	Ud. Codo 90° de cobre 22 mm	12	24,30 €	291,60 €
4.16	Ud. Codo 90° de cobre 28 mm	14	45,50 €	637,00 €
4.17	Ud. Codo 90° de cobre 35 mm	18	83,07 €	1.495,26 €
4.18	Ud. Unión en T 35 mm	7	59,01 €	413,07 €
4.19	Ud. Purgador automático a la salida del campo solar y en vaso de expansión Caleffi	2	211,00 €	422,00 €
4.20	Sist. llenado y vaciado digital 500L, Termicol	1	4.718,00 €	4.718,00 €
4.21	Filtro de agua de 1-1/4"	2	160,00 €	320,00 €
4.22	Filtro de agua 1"	2	115,60 €	231,20 €

Total Sistema Hidráulico

18.014,15 €

4.5. Sistema de control y regulación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
5.1	Ud. unidad de control y regulación de la marca VISSMAN modelo Vitosolic 200 por diferencia de temperaturas o similar.	1	671,00 €	671,00 €
5.2	Ud. Termómetro PT1000 sumergible, hasta 180 °C	6	16,00 €	96,00 €
5.3	Manómetros de esfera seca toma 1/4", de 0-10 bar D.50	4	8,09 €	32,36 €

Total Sistema de Control y Regulación

799,36 €



4.6. Presupuesto total

• Sistema de captación:	37.480,00 €
• Sistema de acumulación:	8.160,00 €
• Sistema de intercambio:	690,00 €
• Sistema hidráulico:	18.014,15 €
• Sistema de regulación y control:	779,36 €

TOTAL INSTALACIÓN SOLAR: 65.143,51 €
RATIO (€ Sistema Solar/ m² de captación): 864,29 €/m²

IVA (21%): 13.580,14 €

El presupuesto de este proyecto asciende a 78.823,65 €

SETENTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS VEINTITRES CON SESENTA Y CINCO EUROS.

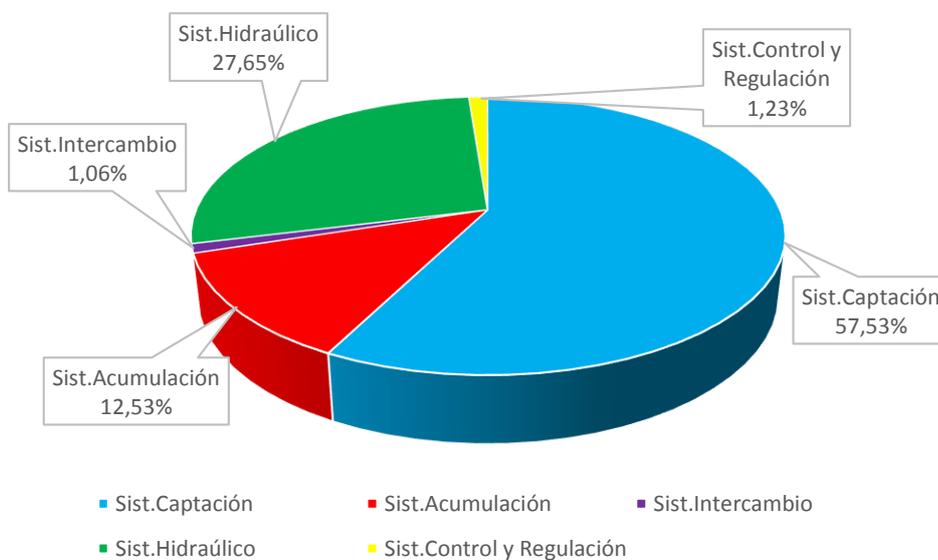


Figura 34. Peso de los sistemas en el presupuesto.



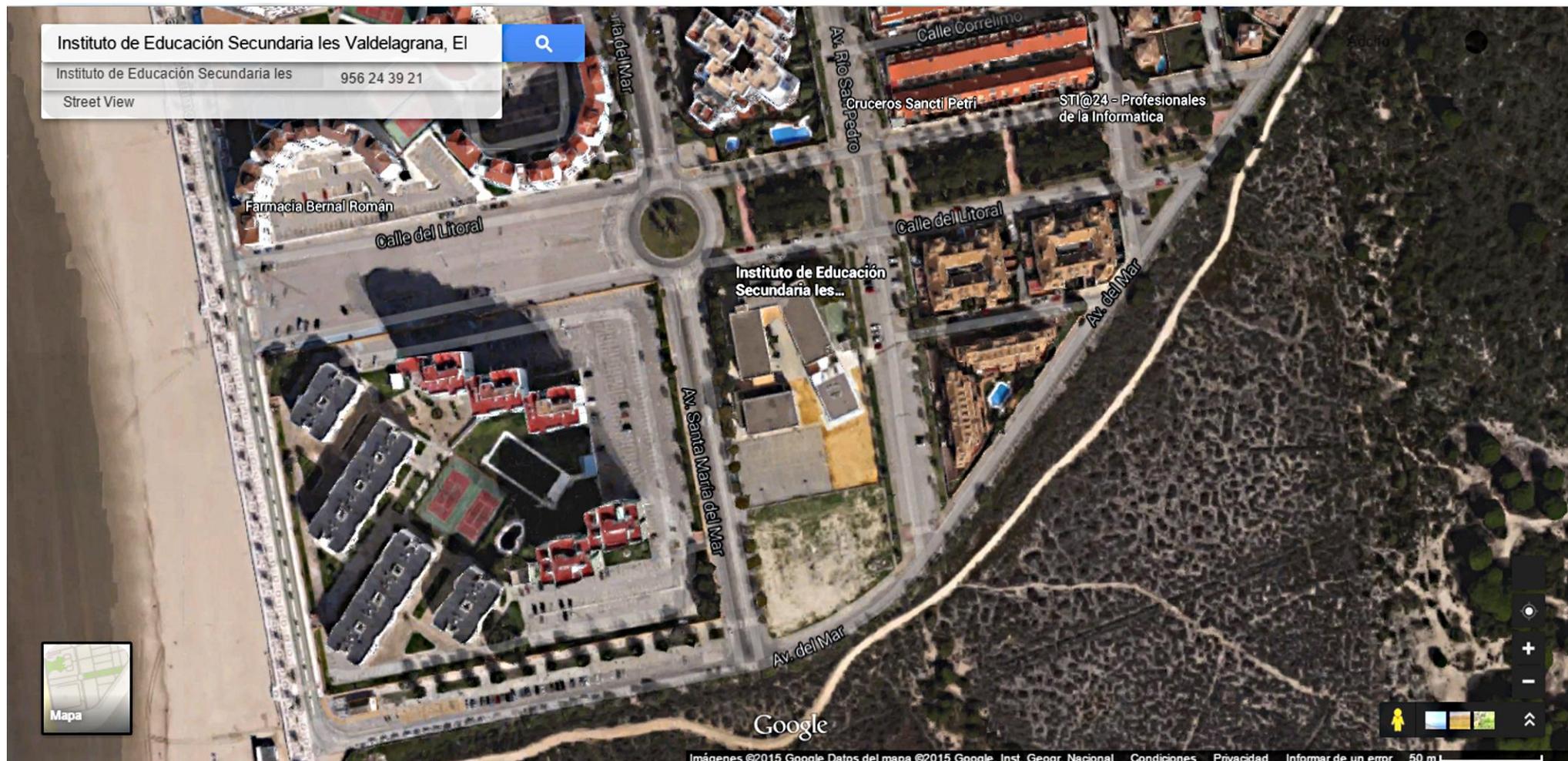
5. PLANOS

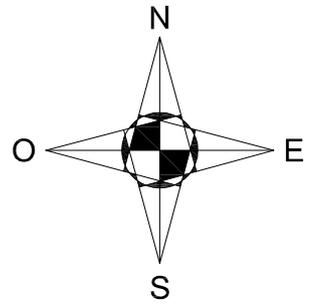
En este apartado se incluyen los planos del edificio, de la instalación y de la sala de máquinas. En los planos relativos a la instalación se ha dibujado en cian las tuberías que llevan el agua fría, en rojo las de agua caliente, en magenta cuando las dos anteriores se superponen en el plano, y en amarillo las tuberías que van desde el segundo depósito al depósito auxiliar. se ha dibuja A continuación se muestra un índice con los distintos planos:

- 5.1. Emplazamiento.
- 5.2. Edificio
 - 5.2.1. Planta baja edificio.
 - 5.2.2. Primera planta edificio.
 - 5.2.3. Cubierta edificio.
- 5.3. Esquema de principio.
 - 5.3.1. Diagrama de principio.
 - 5.3.2. Diagrama de principio y control.
- 5.4. Distribución de captadores.
 - 5.4.1. Distribución de captadores en cubierta.
 - 5.4.2. Cubierta edificio con captadores solares.
- 5.5. Edificio con instalación solar.
 - 5.5.1. Secciones edificio con instalación solar.
 - 5.5.2. Sección edificio módulo central y gimnasio con instalación solar.
- 5.6. Sala de máquinas.
 - 5.6.1. Interior sala máquinas.
 - 5.6.2. Exterior sala máquinas.



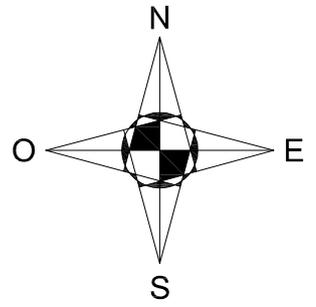
5.1. Emplazamiento.



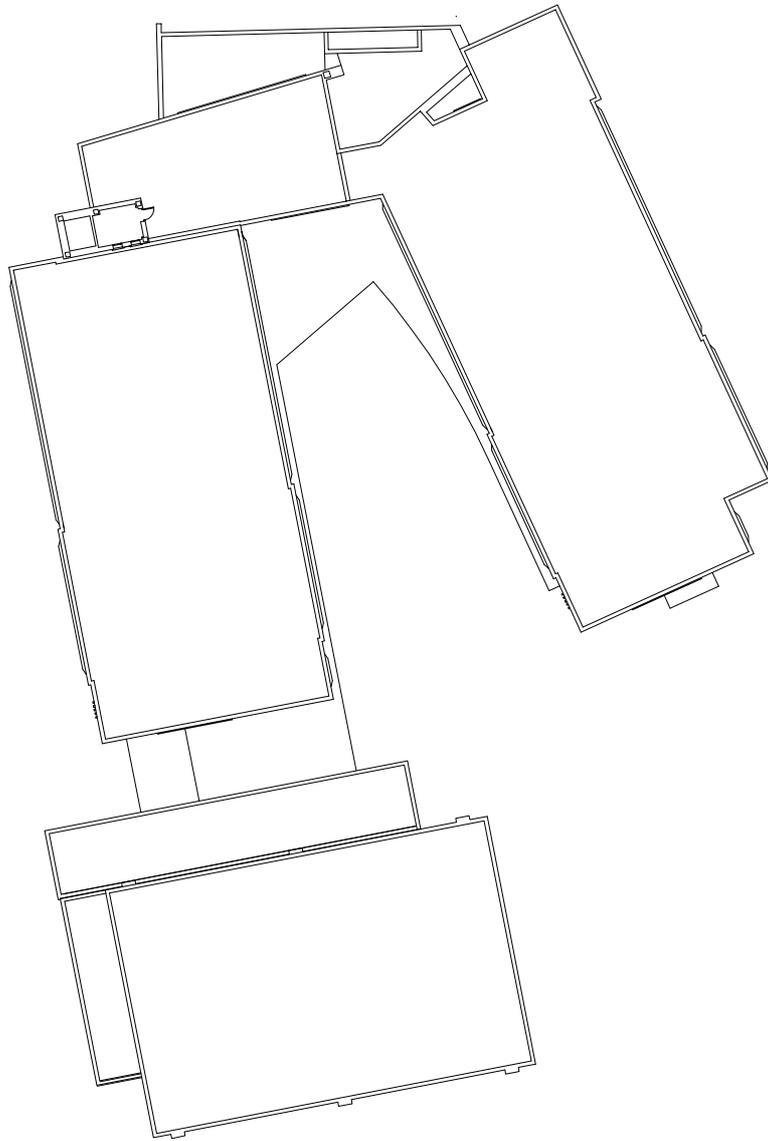
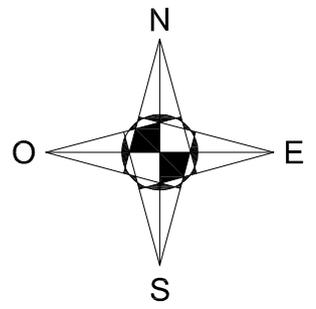


- * SALA DE CALDERAS 20.30 M²
- * ALMACEN 22.98 M²

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA 1:500
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	PLANO Nº 5.2.1
FECHA 25/06/2015	PLANTA BAJA EDIFICIO	



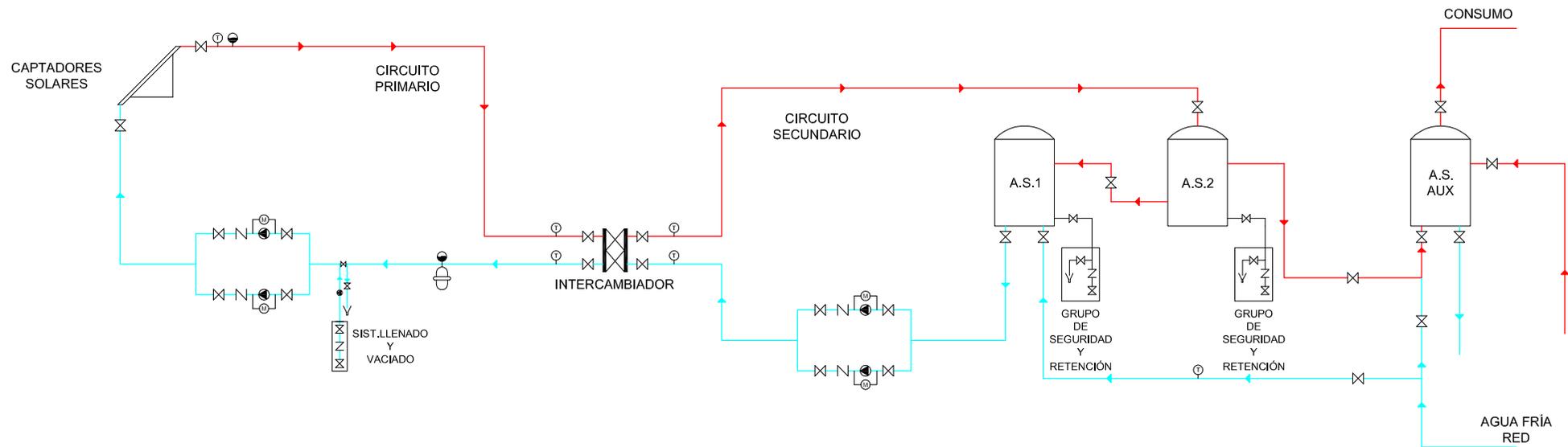
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA 1:500
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	PLANO Nº 5.2.2
FECHA 25/06/2015	PRIMERA PLANTA EDIFICIO	



SUPERFICIE UTIL

1	- CASTILLETE	7.11 M2
2	- ASCENSOR	3.54 M2

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA 1:500
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONSON		INDUSTRIAL
FECHA	CUBIERTA EDIFICIO	PLANO Nº
25/06/2015		5.2.3

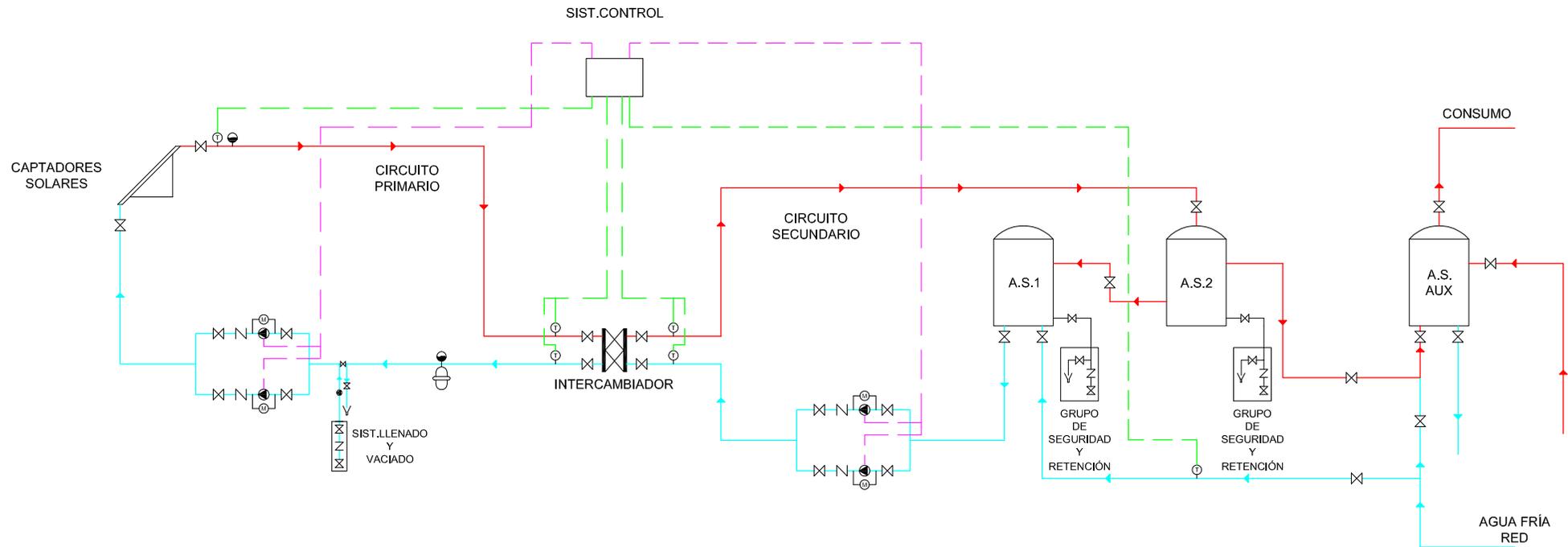


LEYENDA	
	VÁLVULA DE CORTE
	VÁLVULA DE RETENCIÓN
	VASO DE EXPANSIÓN
	PURGADOR
	BOMBA DE CIRCULACIÓN
	TERMÓMETRO
	MANÓMETRO

NOTAS :

- LAS TUBERÍAS DE LA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR SON DE COBRE SEGÚN LA NORMA UNE.
- EL AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS SERÁ SEGÚN EL RITE Y MEDIANTE UNA COQUILLA TIPO ARMAFLEX.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONÓSÓN	INDUSTRIAL	S/E
FECHA	DIAGRAMA DE PRINCIPIO	
25/06/2015	PLANO Nº	
		5.3.1

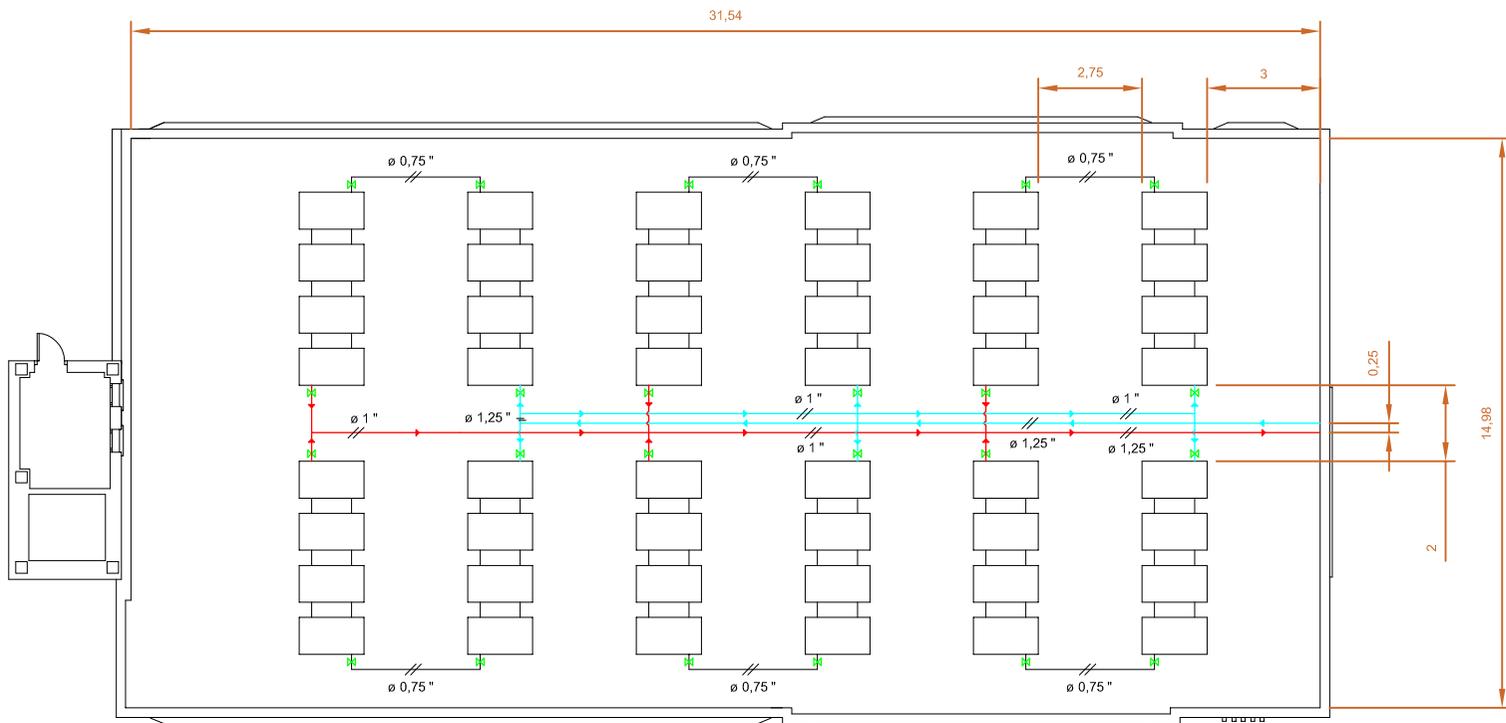


LEYENDA	
	VÁLVULA DE CORTE
	VÁLVULA DE RETENCIÓN
	VASO DE EXPANSIÓN
	PURGADOR
	BOMBA DE CIRCULACIÓN
	TERMÓMETRO
	MANÓMETRO

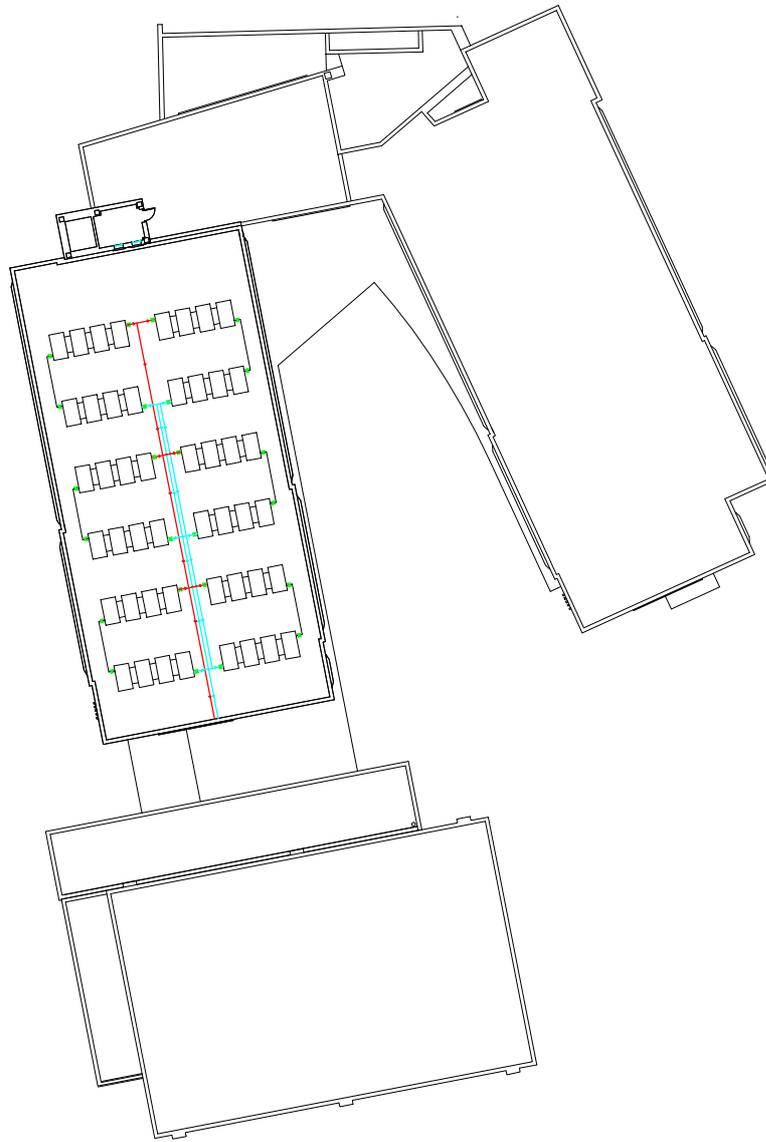
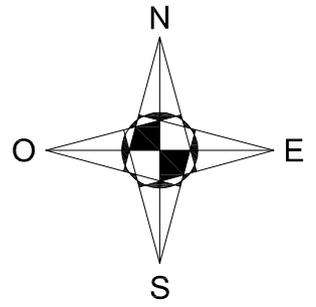
NOTAS :

- LAS TUBERÍAS DE LA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR SON DE COBRE SEGÚN LA NORMA UNE.
- EL AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS SERÁ SEGÚN EL RITE Y MEDIANTE UNA COQUILLA TIPO ARMAFLEX.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	S/E
FECHA	DIAGRAMA DE PRINCIPIO Y CONTROL	PLANO Nº
25/06/2015		5.3.2



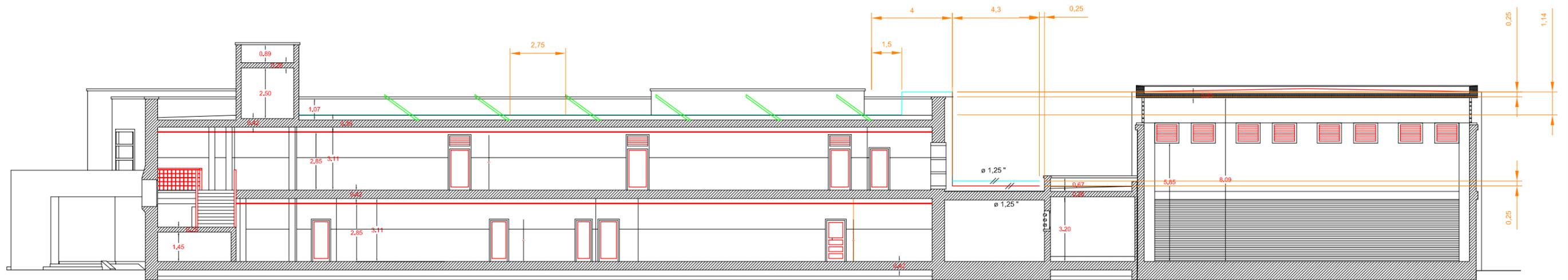
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA 1:200
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	PLANO Nº 5.4.1
FECHA 25/06/2015	DISTRIBUCIÓN CAPTADORES EN CUBIERTA	



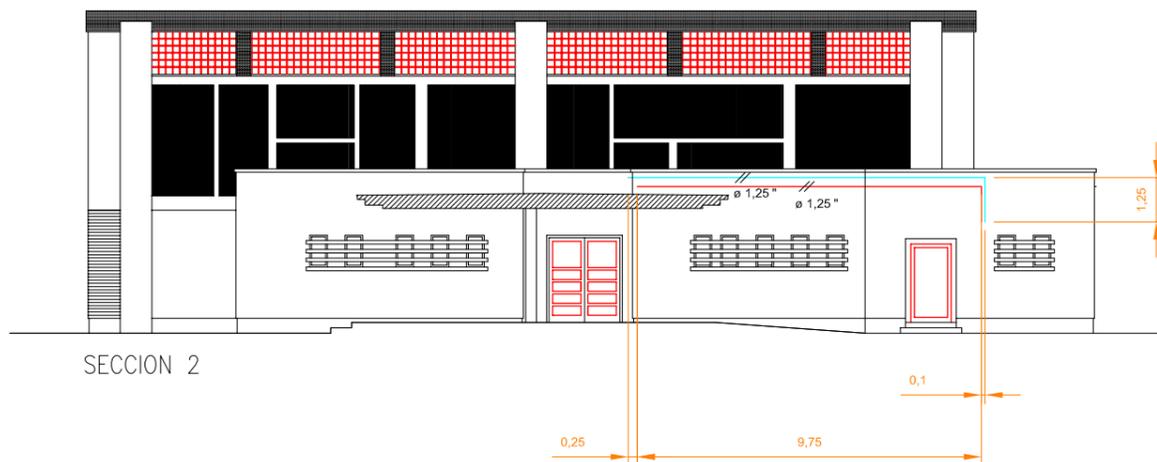
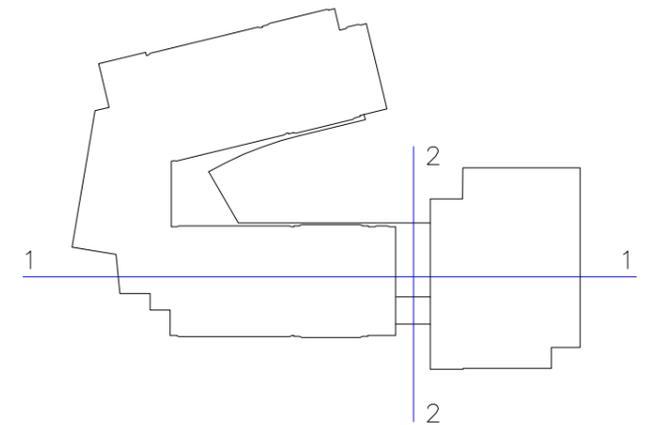
SUPERFICIE UTIL

- 1 - CASTILLETE 7.11 M2
- 2 - ASCENSOR 3.54 M2

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA 1:500
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	PLANO Nº 5.4.2
FECHA 25/06/2015	CUBIERTA EDIFICIO CON CAPTADORES SOLARES	



SECCION 1

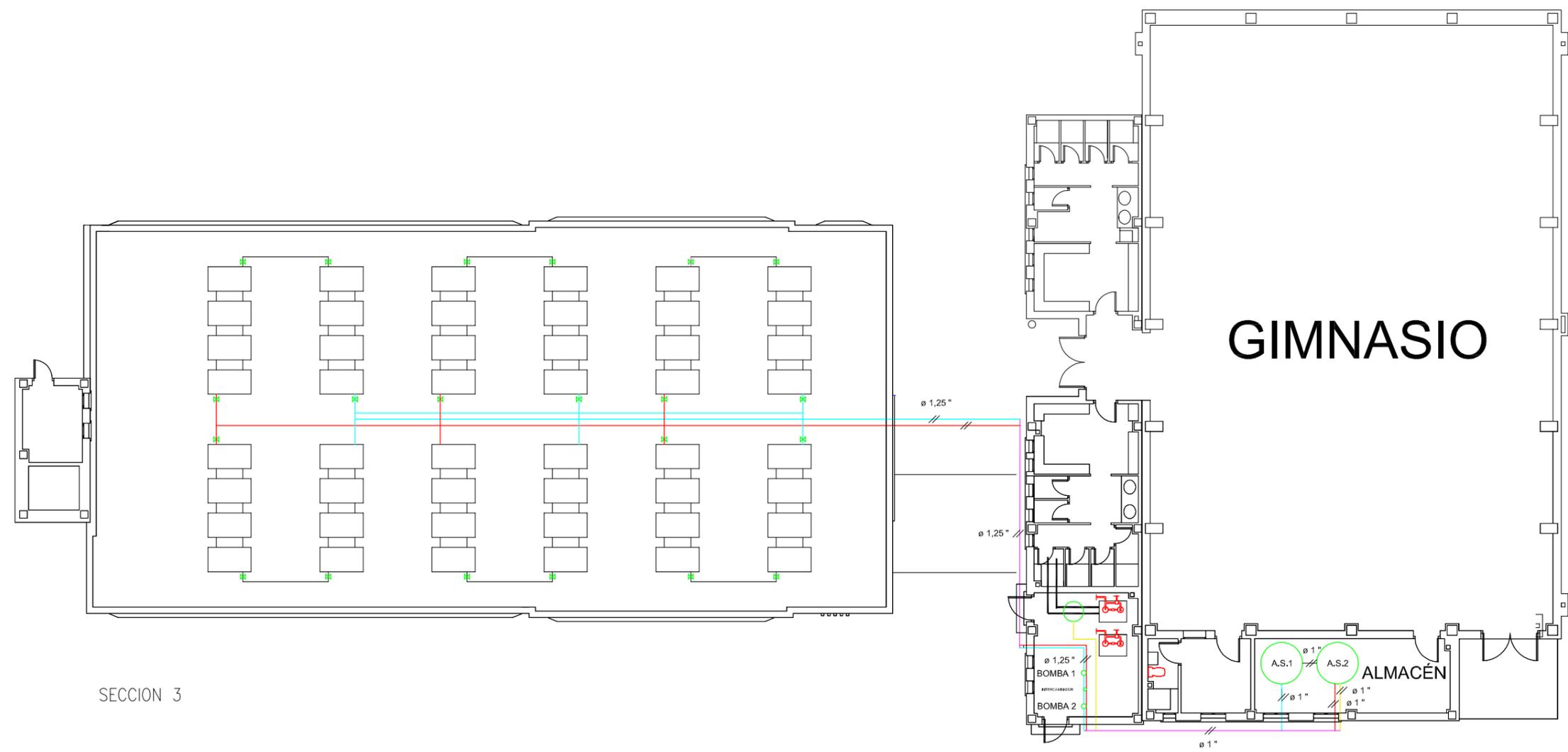
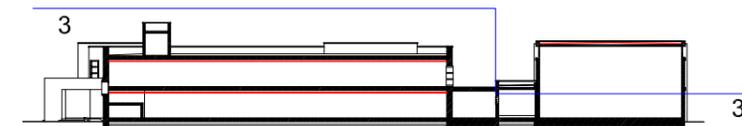


SECCION 2

-  LADRILLO VISTO
-  HORMIGON VISTO

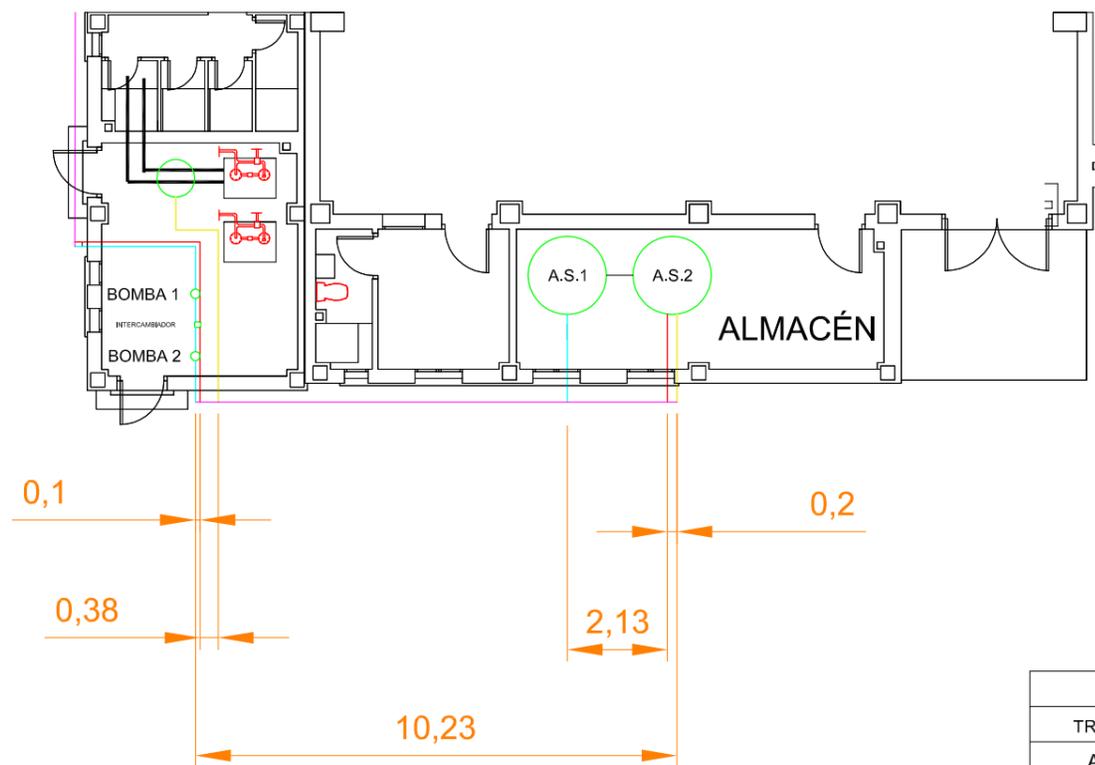
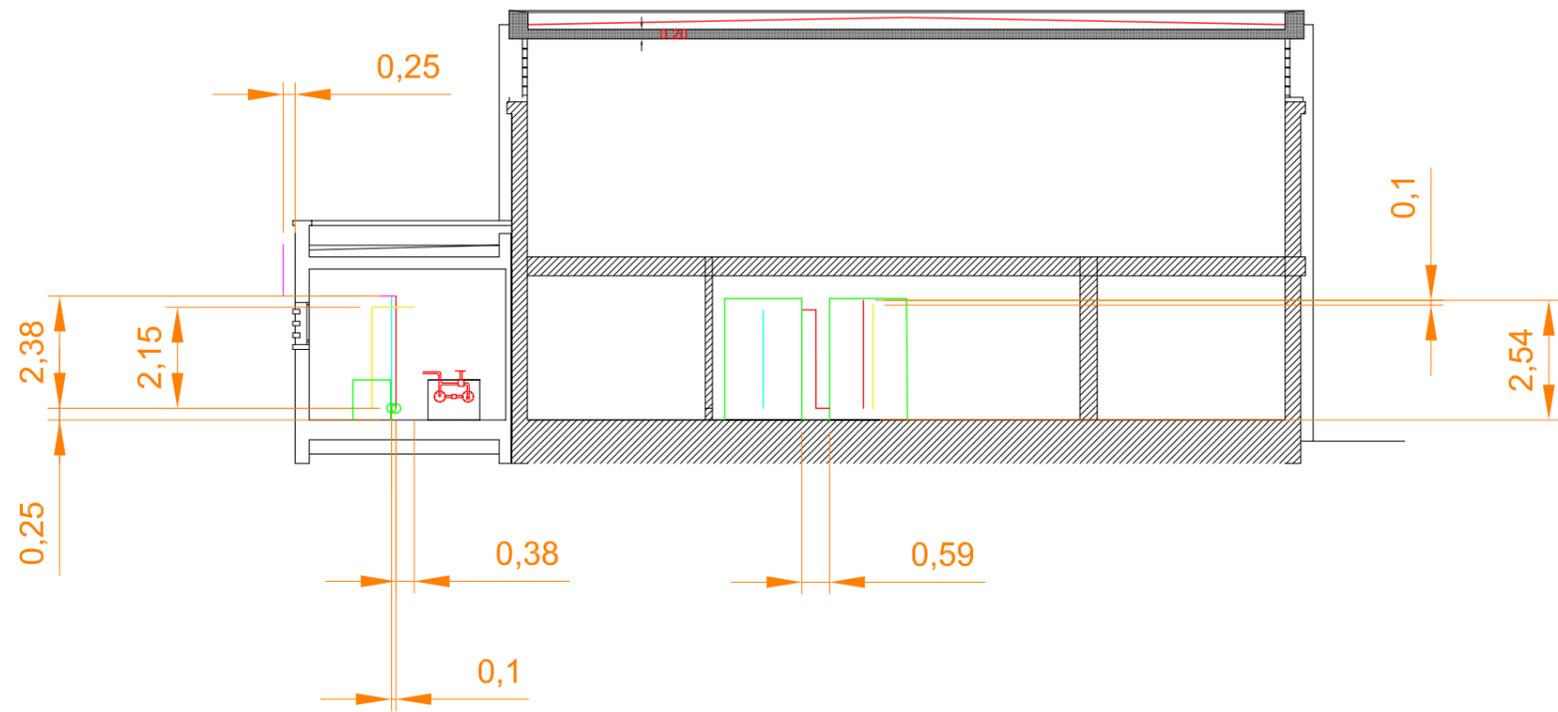
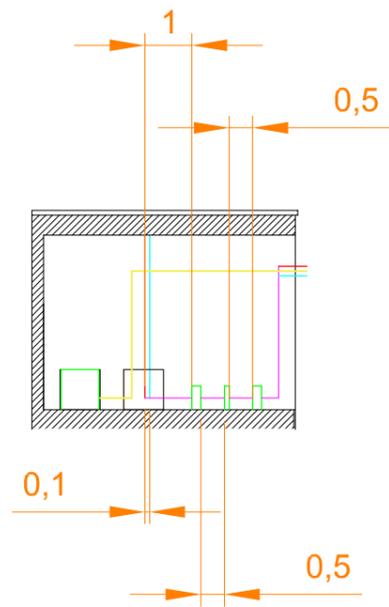
RESTO MONOCAPA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		1:200
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	
FECHA	SECCIONES EDIFICIO CON INSTALACIÓN SOLAR	PLANO Nº
25/06/2015		5.5.1

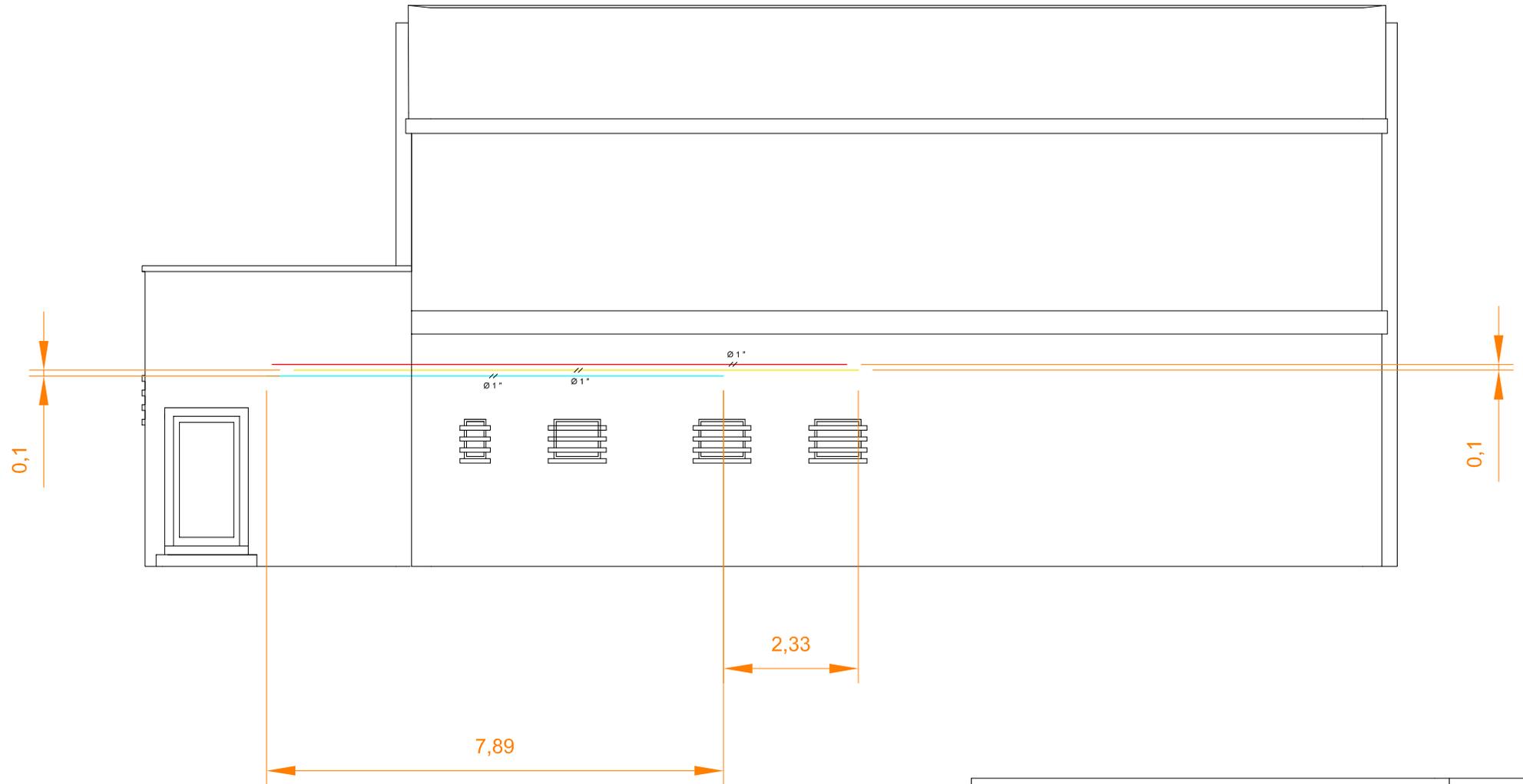


SECCION 3

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		1:200
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	
FECHA	SECCION EDIFICIO MÓDULO CENTRAL Y GIMNASIO CON INSTALACIÓN SOLAR	PLANO Nº
25/06/2015		5.5.2



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		1:150
ADOLFO NAVARRO BONSON	INDUSTRIAL	
FECHA	INTERIOR SALA MÁQUINAS	PLANO Nº
25/06/2015		5.6.1



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		ESCALA 1:100
TRABAJO DE FIN DE GRADO : INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
ADOLFO NAVARRO BONÓSÓN	INDUSTRIAL	PLANO Nº 5.6.2
FECHA 25/06/2015	EXTERIOR SALA MÁQUINAS	