

3. PROCEDIMIENTO OPERATIVO

3.1 Introducción

El método de ensayo que se describe a continuación tiene como base las normas EN 12976-1:2006 y EN 12976-2:2006 para los sistemas solares de calentamiento prefabricados

Este método de ensayo está estructurado en tres fases. Estas fases son:

- Fase I: Recepción, identificación y manipulación de muestras
- Fase II: Realización del ensayo
- Fase III: Realización de informes

3.2 Requisitos previos

3.2.1 Condiciones ambientales

Los equipos utilizados en la realización de las pruebas son aptos para funcionar en condiciones ambientales normales.

Se definirá las condiciones ambientales para cada ensayo.

Se realizará un registro durante el ensayo de los datos de las condiciones ambientales para asegurar que se encuentran dentro de las requeridas en el ensayo.

3.2.2 Limpieza

Ver métodos de mantenimiento de los equipos utilizados.

3.2.3 Protección del personal

Durante la ejecución de las diferentes tareas necesarias para la realización del presente método de ensayo, el jefe de servicio responsable de la misma se encargará del cumplimiento de las medidas de seguridad requeridas para la realización de los trabajos, de manera que se garantice la integridad de las personas y los equipos.

3.2.4 Manipulación

Los sistemas solares durante el funcionamiento del equipo, se calientan a elevadas temperaturas, por tanto se debe tener precaución con las posibles quemaduras. A su vez se debe tener precaución al andar por la plataforma del banco de ensayos.

3.2.5 Protección de equipos

Todos los equipos que se utilizan en el ensayo están adecuadamente protegidos contra la manipulación de personal no autorizado. Se seguirán en todo momento las recomendaciones incluidas en los métodos de funcionamiento de equipos.

3.2.6 Estado de mantenimiento, calibración de los equipos y controles intermedios

Todos los equipos de medida deberán de estar calibrados y mantenidos, de acuerdo con lo establecido en las correspondientes instrucciones de equipos.

Los equipos sometidos a traslados a otras localizaciones deberán de ser evaluados antes de su puesta en marcha en el lugar del ensayo a realizar. Para ello se realizarán controles intermedios para comprobar el buen estado de los equipos después del transporte. Por lo general estas comprobaciones se realizan duplicando equipos y comparándolos entre sí en las mismas condiciones de funcionamiento.

3.2.7 Incidencia del ensayo sobre la muestra

Los ensayos a los que van a ser sometidos los sistemas solares prefabricados no son ensayos destructivos salvo por fallo o defecto imputable al propio equipo; sin embargo pueden provocar roturas, distorsiones, abolladuras y deformaciones de algunos componentes que forman el sistema. Puede ocurrir también que tras alguna fase del ensayo se produzca una rotura que haga imposible continuar con el ensayo.

3.2.8 Equipo

Las especificaciones técnicas requeridas para los equipos utilizados en los diferentes tests que conforman este método, se describen en sus correspondientes instrucciones de equipos.

Código de Equipo	Denominación	Características
542 - SPH	Sistema de presión hidráulica	
542 - SPR	Trasmisor de presión	Indicador de presión adecuado para determinar la presión de ensayo dentro del 5%
542 - PIR	Piranómetro	Clase I (PIR) o mejor de acuerdo a la norma ISO 9060.
542 – EMF+SMO	Anemómetro de molinete	precisión $\pm 0,5$ m/s
542 - STP	Sensor temperatura ambiente exterior	--
542 - TER	Termoresistencia pt-100	Exactitud $\pm 0,1$ °C y precisión \pm

		0,1 °C
542 - CAM	Caudalímetro magnético	--
542 - STC	Sistema de control de temperatura y caudal	Rango de 5 °C a 40 °C y de 200 kPa a 600 kPa o la presión máxima de trabajo del fabricante, la que sea menor.
542 - SAD	Sistema de adquisición de datos	--
542 - CPR	Calibre Pie de rey	--
542 - CMT	Cinta métrica	--
542 - GON	Goniómetro	--
542 - CON	Contador de electricidad	--
542 - BEE	Bastidor de ensayos exterior	Plataforma en la cual se pueda instalar el sistema solar de calentamiento completo de acuerdo con las instrucciones del fabricante
542 - SGV	Sistema generador de viento	--
542 - ARS	Anillo de sombra	--

Tabla 2. Características técnicas equipos de medida

3.3 Proceso

A continuación se describe el proceso de ejecución del ensayo desde la recepción del sistema solar prefabricado hasta la emisión del informe final.

3.3.1 Fase I: Recepción, identificación y manipulación de muestras

La recepción, identificación y manipulación de muestras de ensayo se realizará de acuerdo con el Procedimiento General (*Gestión de Muestras de Ensayo*).

Para cada uno de los ensayos, además de lo indicado en el procedimiento específico interno del Plan de Calidad, se cumplimentará la *Ficha de Descripción de Equipos Proyecto* a fin de garantizar la trazabilidad de los resultados en el tiempo.

Almacenamiento, Transporte y Manipulación

Se procederá a la identificación del sistema solar prefabricado adjuntando los documentos al propio sistema. De esta manera, éste estará disponible para dar comienzo a su correspondiente ensayo.

Se registrará la documentación entregada por el cliente.

El fabricante será el responsable de montaje del sistema solar prefabricado. El sistema está montado, verificado, identificado y registrado las incidencias en el procedimiento General (*Gestión de Muestras de Ensayo*).

Si el sistema solar prefabricado hubiera sufrido daños se registrará en el procedimiento General (*Gestión de Muestras de Ensayo*).

3.3.2 Fase II: Realización del ensayo del sistema solar (UNE-EN 12976-2)

Los ensayos a realizar a la muestra de ensayos son los siguientes:

Apartado	Descripción	Detalles
0	Control de documentación	Examen de documentación según UNE-EN 12976-1 Apartado 4.6)
0	Resistencia a heladas	Ensayo según UNE-EN 12976-2 Apartado 5.1
0	Protección contra sobre-temperaturas	Ensayo según UNE-EN 12976-2 Apartado 5.2
0	Resistencia a la presión	Ensayo según UNE-EN 12976-2 Apartado 5.3
0	Contaminación del agua	Examen de documentación según UNE-EN 12976-2 Apartado 5.4 (UNE-EN 1717)
0	Protección contra rayos	Examen de documentación según UNE-EN 12976-2 Apartado 5.5 y Anexos E y F
0	Equipo de seguridad	Examen de documentación según UNE-EN 12976-2 Apartado 5.6 (UNE-EN 12976-1 Apartados 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3)
0	Etiquetado	Examen de documentación según UNE-EN 12976-2 Apartado 5.7 (UNE-EN 12976-1; 4.7)
0	Rendimiento del sistema	Ensayo según UNE-EN 12976-2; Apartado 5.8.2. a) (ISO 9459-2)
0	Protección contra flujo inverso	Examen de documentación según UNE- EN 12976-2 Apartado 5.10

En el caso de tener algún circuito no metálico el ensayo de sobre-temperatura debe realizarse antes que el de presión interna.

3.3.2.1 Verificación del contenido la de documentación (UNE-EN 12976-1 Apartado 4.6)

Con cada sistema solar prefabricado, el fabricante o distribuidor oficial, debe suministrar documentos para el montaje e instalación (para el instalador) y documentos de operación (para el usuario). Estos documentos deben estar escritos en el idioma oficial del país de venta. Estos documentos deben incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje y operación, incluyendo mantenimiento, y prestando especial atención a requisitos y reglas técnicas de interés.

Requisitos de documentación

Documentación para el instalador:

Las instrucciones de montaje deben ser apropiados al sistema e incluir información relativa a:

1. Datos técnicos, al menos aquellos referidos a:

- Diagrama del sistema.
 - Localización y diámetros nominales de todas las conexiones externas.
 - Una perspectiva general con todos los componentes que se suministran (como captador solar, depósito de acumulación, estructura soporte, circuito hidráulico, equipos auxiliares, sistema de control y accesorios), con información para cada componente de: modelo, potencia eléctrica, dimensiones, peso, marcas y montaje.
 - Presión máxima de operación de todos los circuitos del sistema, tales como el circuito de captadores, el circuito de consumo y el circuito de calentamiento auxiliar (en Pa).
 - Límites de trabajo: temperaturas y presiones admisibles, etc a través del sistema.
 - Tipo de protección contra la corrosión.
 - Tipo de fluido de transferencia de calor.
2. Embalaje y transporte de todo el sistema y/o componentes y modo de almacenaje (exterior, interior, embalado, no embalado).
 3. Guías de instalación con recomendaciones relativas a:
 - Superficies de montaje.
 - Distancias a paredes y seguridad en relación con heladas.
 - La manera como deben acabarse las entradas de las tuberías al edificio (resistencia contra la lluvia y la humedad).
 - El procedimiento a seguir para el aislamiento térmico de las tuberías.
 - La integración en el tejado del captador (si es apropiado).
 - Para los sistemas con drenaje interior o exterior, la inclinación mínima de la tubería y cualquier otra instrucción necesaria para asegurar el drenaje adecuado del circuito del captador.
 4. Si el sistema posee una estructura soporte que normalmente es montada al exterior, los valores máximos de s_k (carga de nieve) v_m (velocidad principal de viento) de acuerdo con las normas experimentales ENV 1991-1-3 y ENV 1991-1-4 y una declaración de que el sistema solo puede ser instalado en sitios con valores menores de s_k y v_m .
 5. Métodos de conexión de tuberías.
 6. Tipos de tamaños de los dispositivos de seguridad y protección, y su drenaje. Las instrucciones de montaje deben indicar que cualquier válvula de seguridad por la que pueda salir vapor en condiciones normales de operación o de estancamiento, debe ser montada de tal forma que el escape de vapor no produzca lesiones, perjuicios o daños. Cuando el sistema este equipado para drenar agua como protección contra sobrecalentamiento, el drenaje de agua caliente debe estar construido de tal forma que el agua drenada no cause ningún daño en el sistema ni a otros materiales del edificio.
 7. Los dispositivos necesarios de control y seguridad incluyendo el esquema del cableado y la necesidad de una válvula termostática de mezcla que limite la temperatura de extracción a 60°C (cuando así se requiera).
 8. Revisión, llenado y arranque del sistema.
 9. Puesta en funcionamiento del sistema.

10. Una lista de comprobación para el instalador para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.
11. La temperatura mínima hasta la cual el sistema puede soportar heladas.
12. La radiación solar total requerida en el plano del captador a la cual se ha realizado el ensayo de protección contra sobrecalentamientos según el apartado 0 y el requisito de que el sistema no debe ser utilizado en zonas con valores de radiación mayores que estos valores.

Documentación para el usuario:

Las instrucciones de operación deben incluir información relativa a:

1. Componentes seguridad existentes y ajustes del termostato cuando sea aplicable.
2. Implantación del sistema poniendo especial atención en el hecho de que:
 - a. Antes de poner el sistema en operación se debe comprobar que todas las válvulas trabajan correctamente y que el sistema esta lleno completamente con agua y/o fluido anticongelante o de acuerdo con las instrucciones de fabricante
 - b. En caso de cualquier avería, se debe llamar a una especialista
3. Operación normal de las válvulas seguridad
4. Precauciones en relación con el riesgo de daños por congelación y/o sobrecalentamientos
5. La manera de evitar averías cuando se arranque el sistema bajo condiciones de congelación o posible congelación
6. Desmantelamiento del sistema
7. Mantenimiento del sistema por un especialista, incluyendo frecuencia de inspecciones y mantenimiento y una lista de partes que necesitan reponerse durante el mantenimiento normal
8. Datos de rendimiento del sistema
 - a. Rango de cargas recomendado por el sistema (en l/día) a la temperatura especificada
 - b. Rendimiento térmica y fracción solar del sistema de acuerdo con el aparato 0 para cargas en el rango de cargas recomendado
 - c. Consumo de electricidad anual de las bombas sistemas de control y válvulas eléctricas del sistema para las mismas condiciones que las especificadas para el rendimiento térmico, asumiendo un tiempo de operación de la bomba de captadores de 2000 h.
 - d. Si el sistema contiene dispositivos de protección contra heladas que consuman electricidad, la potencia eléctrica de estos dispositivos (en W) y sus características (por ejemplo, temperatura de arranque)
 - e. Para sistema solar con energía auxiliar, la máxima carga diaria de agua caliente que puede ser suministrada por el sistema sin ninguna contribución de la energía solar, de acuerdo con el aparato de protección contra flujo invertido.
9. La radiación solar total requerida en el plano del captador en el plano del captador a la cual se ha realizado el ensayo de protección contra sobrecalentamientos según el apartado 5.2 de la norma, el requisito de

que el sistema no debe ser utilizado en zonas con valores de radiación mayores que estos valores.

10. Cuando la protección contra sobrecalentamiento del sistema depende de la electricidad y/o suministro de agua fría y/o el sistema haya sido llenado con agua de consumo, el requisito de no cortar nunca el suministro de eléctrico y/o el suministro de agua fría, o que el sistema no sea drenado cuando haya alta radiación solar.
11. El hecho de que durante situaciones de alta radiación, el agua de consumo puede ser drenado, si es el método usado para prevenir sobrecalentamientos.
12. Temperatura mínima hasta la cual el sistema puede soportar heladas
13. Tipo de fluido de transferencia de calor.
14. En caso de sistemas solares de calentamiento con calentadores auxiliares de emergencia, se debe indicar que este calentador de emergencia solo debe ser usado en caso de emergencia.

Resultados del test

Cualquier observación referente al control de la documentación se registrará en el Anexo técnico Control de la Documentación.

3.3.2.2 Ensayo de resistencia a heladas (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.1)

General

El fabricante debe fijar la temperatura mínima permitida por el sistema. Las partes del sistema que estén expuestas al exterior deben ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.

Cualquier componente interior que vaya a ser instalado en lugares donde la temperatura pueda descender por debajo de los 0 °C, debe estar protegido contra heladas.

Las siguientes comprobaciones se dan para asegurar que las disposiciones para la protección anti-heladas están funcionando correctamente. Existen muchas formas de provisiones protectoras, y el laboratorio debe primero identificar que método ha sido empleado.

La disposición se debe entonces comprobar de acuerdo con la sección apropiada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Sistemas que usan fluido anticongelante

Los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente se llenan con un fluido anticongelante normalmente una mezcla de glicol/agua, teniendo un punto de congelación suficientemente bajo.

Procedimiento:

Para estos sistemas, no hay que realizar ningún ensayo. Sin embargo, si no están disponibles suficientes datos sobre el punto de congelación del fluido anticongelante, el punto de congelación debe medirse y comprobarse contra la mínima temperatura del sistema dada por el fabricante.

Se comprueba que el punto de congelación este como el recomendado por el fabricante.

Se debe comprobar si la composición del fluido es conforme con las especificaciones del fabricante.

Sistemas de drenaje con recuperación

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente cuando hay peligro de heladas es drenado al depósito de acumulación para su posterior uso.

Las tuberías del circuito de captadores deberían ser conformes a las recomendaciones del fabricante en el manual del instalador, y si no existe instrucción, de acuerdo con las condiciones de referencias dados en Anexo B de la Norma UNE-EN 12976-2:2006.

Procedimiento:

El llenado se observará a través del manómetro o a través del indicador del nivel de agua del propio equipo.

Se enciende la bomba, y se observa el manómetro o el indicador del nivel de agua. Si el sistema no incluye un manómetro o un indicador del nivel de agua, se deben usar otros métodos proporcionados por el fabricante para comprobar el llenado, de acuerdo con el manual de instrucciones.

El drenaje puede observarse a través de la reducción en la lectura del manómetro o indicador del nivel de agua. Se apaga la bomba, y se observa el manómetro o indicador de nivel de agua.

Sistemas de drenaje al exterior

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente, es drenado y tirado al exterior cuando existe peligro de heladas.

Se comprueba la correcta apertura y cierre de la válvula de descarga.

Equipos:

- Agua con hielo
- Sensor de temperatura de fluido

Procedimiento:

Si existe una válvula de protección contra heladas no eléctrica, se puede hacer una comprobación usando un spray congelante. El elemento sensor de temperatura debe rociarse. Hay que comparar la temperatura medida de la válvula abierta con la temperatura nominal dada por el fabricante. Es importante que la parte sensible/sensor de la válvula de protección contra heladas este ubicada correctamente.

Las tuberías del circuito de captadores deberían ser conformes a las recomendaciones del fabricante en el manual de instalador.

Se abre la válvula de drenaje manualmente y se mide el fluido drenado con un depósito y un cronometro.

Si el sistema usa una válvula de protección contra heladas operada eléctricamente, el drenaje se debe comprobar interrumpiendo la potencia.

Protección contra heladas y funciones de control combinadas

Equipos:

- Agua con hielo
- Sensor de temperatura del fluido

Procedimiento:

Para sistemas en los que la protección contra heladas y las funciones de control estén combinadas, la unidad de control se debe comprobar como sigue:

- Se ajusta la temperatura simulada del sensor de protección contra heladas a un valor que desactiva la protección contra heladas.
- Se disminuye la temperatura simulada
- Se mide la temperatura TFP (protección-heladas) del actuador relacionado.
- Se compara con el valor nominal dado por el fabricante.

Otros sistemas

Para todos los demás sistemas, se debe comprobar el sistema de control de bombeo, la válvula de drenaje al exterior o cualquier otro dispositivo o sistema de protección contra heladas según las especificaciones del fabricante y la mínima temperatura permitida especificada por el fabricante. Para sistemas integrados, u otros sistemas solares domésticos de calentamiento de agua con el depósito ubicado al exterior, deben llevarse a cabo ensayos especiales de resistencia a heladas.

Resultados del test

Se realizará una comprobación del mecanismo de protección anti-heladas utilizado. Si es anticongelante se llevará a cabo una inspección visual. Si es otro mecanismo se observará que no se produzca fallo alguno en el funcionamiento del mismo.

Se registrarán los resultados de la inspección en el Anexo técnico Ensayo Resistencia a heladas

3.3.2.3 Ensayo de protección contra sobre-temperatura (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.2)

Objetivo:

El propósito de este ensayo es determinar si el sistema solar de calentamiento de agua está protegido contra daños y el usuario está protegido de agua caliente recalentada suministrada por el sistema después de periodos sin extracciones y fallo en la corriente eléctrica.

Requisitos:

Cuando el sistema pueda drenar una cantidad de agua potable como protección ante sobrecalentamientos, el drenaje de agua caliente debe construirse de forma que el agua drenada no produzca daños en el sistema ni en ningún otro material en la vivienda. La construcción debe realizarse de forma que el agua caliente o vapor del drenaje no supongan ningún peligro para los habitantes.

Cuando el sistema de protección contra sobrecalentamientos dependa del suministro eléctrico y/o del suministro de agua fría, debe estar claramente especificado en las instrucciones del sistema (ficha usuario y etiqueta).

El propósito de este ensayo es determinar si el sistema solar de calentamiento de agua está protegido contra daños y el usuario está protegido de agua caliente recalentada suministrada por el sistema después de periodos sin extracciones y fallos en la corriente eléctrica.

Esquema:

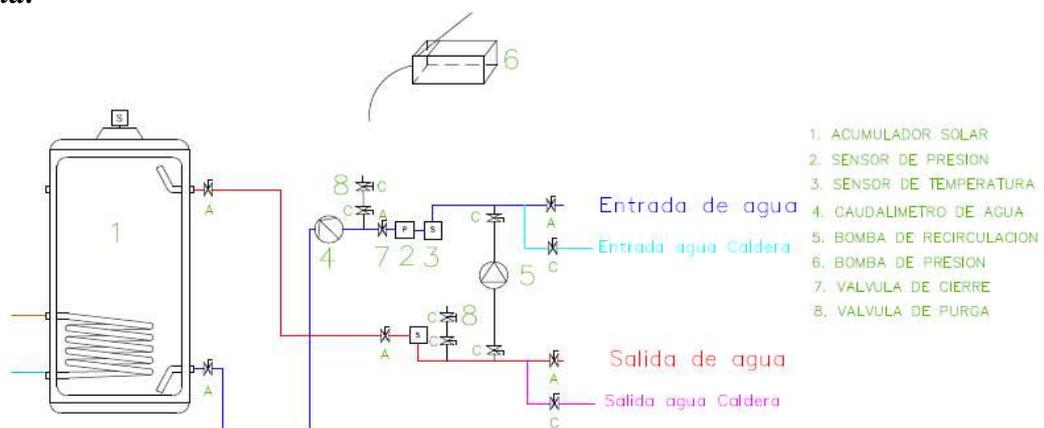


Figura 1. Esquema Protección contra sobre-temperatura

Equipos:

Los aparatos que se requieren son los siguientes:

- Un piranómetro
- Sensor de temperatura ambiente
- Caudalímetro
- Banco de ensayo exterior
- Un suministrador de agua controlado a una temperatura y presión.

Procedimiento de ensayo:

El sistema, tanto el descrito en el manual de instalación como el instalada en la bancada de ensayos, debe comprobarse primero en seguridad contra sobrecalentamiento, por ejemplo, si las válvulas de seguridad y otros dispositivos de protección contra sobrecalentamientos están presentes y ubicados en el lugar correcto, si no hay válvulas entre componentes y válvulas de descarga, etc. Para sistemas que contengan fluidos anticongelantes, no se debe superar la temperatura máxima admitida por las instrucciones del fabricante del anticongelante.

Además, si se usan materiales no metálicos en algún circuito, la máxima temperatura en el circuito debe medirse durante el ensayo de protección contra sobre-temperaturas, para usarlo en el ensayo de resistencia a presión.

El procedimiento de ensayo debe ser como el que sigue:

Operaciones previas:

- Paso 1: Se revisará que los sensores de presión y temperaturas, así como el caudalímetro de agua y los piranómetros estén correctamente conectados al sistema de adquisición de datos y este se dejará listo para el registro de los datos al comienzo del test.
- Paso 2: Se comprueba que el sistema este montado según las instrucciones de instalación.
- Paso 3: Se revisará el circuito de acondicionamiento de agua, de tal forma que se encuentren abiertas las válvulas de entrada y salida de agua, y cerradas las válvulas de entrada y salida de agua a la caldera, la válvula de la bomba de presión, las válvulas de la bomba de recirculación y la válvula de purga. Ver esquema de ensayo de protección contra sobre-temperaturas.

Operaciones del test:

- Paso 4: Se carga el sistema de agua de tal forma que el sistema quede acondicionado a una temperatura de 5 °C a 25 °C y a una presión de 2-6 bar ó la presión máxima de trabajo del fabricante, la que sea menor. Este acondicionamiento se hace del mismo modo que en el ensayo de rendimiento del sistema.
- Paso 5: Una vez alcanzada esta temperatura, se aísla el sistema de posible extracción de agua, dejando siempre la válvula de entrada abierta.
- Paso 6: Se deja operar el sistema un mínimo de 4 días consecutivos sin ninguna extracción de agua caliente y hasta que el campo de captadores haya estado expuesto 2 días consecutivos a una radiación solar que en el plano del campo de captadores exceda 20 MJ/m² por día y a una temperatura ambiente que exceda 20°C durante el mediodía solar.
- Paso 7: Se abren las válvulas de entrada y salida de agua del sistema y se produce la extracción de agua a un caudal de 10±1 L/min.
- Paso 8: Se extraerá un volumen de agua equivalente a 3 veces el volumen del acumulador. Si la diferencia de temperaturas entre la del agua extraída y la del agua fría de entrada es superior a 1 K después de tres volúmenes de

acumulador, entonces la extracción se continuará hasta que la diferencia de temperatura sea menos de 1 K.

Resultados del test:

Se registrarán la marca, el modelo de identificación del sistema, la inclinación del campo de captadores, un registro de la temperatura de agua caliente extraída del sistema frente al tiempo y al volumen total de agua extraída, la presencia de vapor.

Se detallaran las condiciones del sistema y de los componentes individuales tras el ensayo o cualquier modo de fallo durante el ensayo, en particular con respecto a algún defecto que pueda afectar a la utilidad del sistema, como la deformación de tuberías y fugas de componentes o fluidos.

En caso que no hubiera materiales no metálicos en algún circuito, se registra la máxima temperatura medida durante el ensayo.

Los resultados del presente test se registrarán en el Anexo técnico Ensayo de Protección contra sobre-temperatura.

3.3.2.4 Ensayo de resistencia a presión (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.3)

Objetivo:

El propósito de este ensayo es evaluar la presión hidráulica tarada de todos los componentes e interconexiones del sistema solar de calentamiento de agua cuando esta instalado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Esquema:

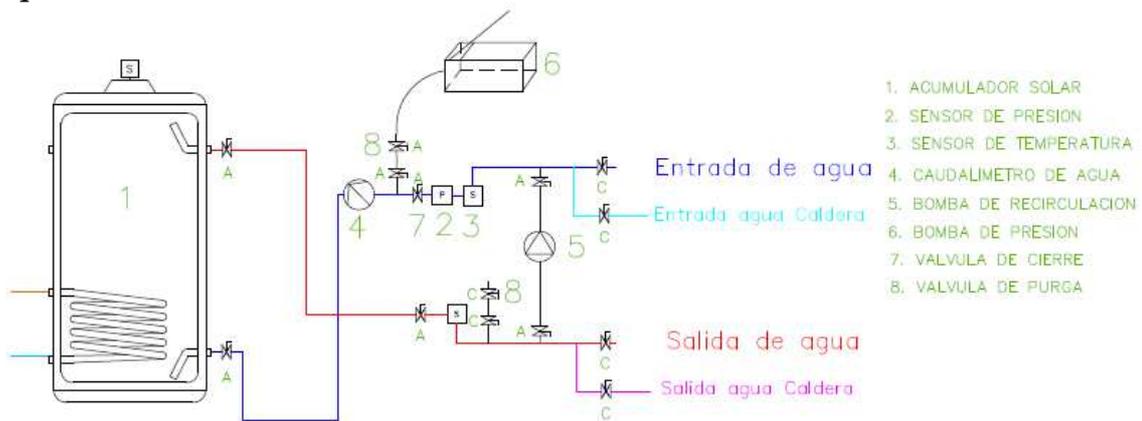


Figura 2. Esquema Ensayo resistencia a presión

Equipos:

Los aparatos deben consistir en lo siguiente:

- Una plataforma y estructura soporte adecuada para la instalación del sistema.
- Una fuente de presión para regular la presión.
- Un indicador de presión.
- Una válvula de purga.
- Una válvula de aislamiento.

Medida de seguridad:

Se recomienda un recinto seguro contra explosiones cuando los sistemas de ensayos tienen un espacio de expansión integral o el depósito contiene aire atrapado.

Procedimiento de ensayo:

El sistema, tanto el instalado en la bancada de ensayos como el descrito en el manual de instalación, debe comprobarse primero en seguridad a presión, por ejemplo, si las válvulas de seguridad y otro dispositivos de protección contra sobrecalentamientos

están y ubicados en el lugar correcto, si no hay válvulas entre componentes y válvulas de descarga, etc.

La duración del ensayo es de 15 min para materiales metálicos. Si se usan materiales no metálicos en algún circuito, este debe ensayarse a presión durante 1 h a la temperatura mayor medida durante el ensayo de protección contra sobrettemperatura más $10 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

1. Se instala el sistema solar de calentamiento de agua sobre una plataforma de ensayo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
2. Se tapan los captadores con las mantas reflectantes.
3. Se realiza un acondicionamiento para conseguir una temperatura de fluido próxima al ambiente y como método de purgado de aire.
4. Se inutiliza las válvulas de descarga de presión, si es aplicable, para prevenir su apertura durante el ensayo.
5. Se conecta el indicador de presión y la salida de agua caliente del sistema.
6. Se conecta la válvula de aislamiento y la fuente de presión hidráulica, usando agua como fluido de ensayo, a la entrada de agua fría del sistema.
7. Se llena con agua parte del sistema utilizando la fuente de presión hidráulica y se purga todo el aire posible fuera del sistema a través de la válvula de purga a la salida de agua caliente del sistema.
8. Se aplica una presión hidráulica igual a 1.5 veces la presión de trabajo máxima especificada por el fabricante.
9. Se aísla la fuente de presión cerrando la válvula de aislamiento y se registran las lecturas del indicador de presión al principio y al final del siguiente intervalo de 15 min o 1 h si tiene materiales no metálicos.
10. Se libera la presión del sistema a través de la válvula de purga y se registra cualquier deformación y fuga de agua permanente visible de los componentes del sistema e interconexiones.
11. Se desconecta la válvula de purga, el indicador de presión, la válvula de aislamiento y la fuente de presión hidráulica del sistema.

Para aquellos sistemas no construidos con un intercambiador de calor y un circuito de transferencia de calor presurizado separado, se omiten los siguientes pasos del procedimiento.

12. Se conecta la válvula de purga y el indicador de presión a la toma de drenaje del circuito de transferencia de calor del sistema y se conecta la válvula de aislamiento y la fuente de presión hidráulica, usando el fluido de transferencia de calor especificado por el fabricante, para llenar la toma del circuito de transferencia de calor.
13. Se llena el circuito de transferencia de calor del sistema usando la fuente de presión hidráulica y se purga todo el aire posible fuera del circuito a través de la válvula de purga en la parte de drenaje de la zona superior del campo de captadores.
14. Se aplica una presión hidráulica igual a 1,5 veces la presión de trabajo máxima individual especificado por el fabricante.
15. Se aísla la fuente de presión cerrando la válvula de aislamiento y se registra las lecturas del indicador de presión al principio y al final del siguiente intervalo de 15 min.

16. Se libera la presión del sistema a través de la válvula de purga y se registra cualquier deformación y fuga del fluido de transferencia de calor permanente visible de los componentes del sistema e interconexiones.
17. Se realizara una inspección visual al final del ensayo.

Resultados del test:

.Se registrarán las presiones máximas de ensayo aplicadas, las lecturas de presión al principio y al final de los intervalos de ensayo y de cualquier deformación o fuga permanente visible de los componentes del sistema e interconexiones.

Se registrara la temperatura del fluido en caso de que hubiera materiales no metálicos en el circuito

Se anota si el ensayo de presión aplicado es más bajo que 1,5 veces la presión de trabajo máxima especificada por el fabricante.

Los resultados del presente test se registrarán en el Anexo técnico Ensayo de Resistencia a Presión.

3.3.2.5 Contaminación del agua (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.4 y UNE-EN 1717)

Objetivo:

Esta norma se ocupa de los medios a utilizar para prevenir la contaminación de agua potable, dentro de las premisas y los requisitos generales de los dispositivos de protección para evitar la contaminación por reflujo de agua.

Requisitos:

El sistema debe ser conforme con la norma UNE-EN 1717.

Procedimiento de comprobación:

Los apartados que se deben comprobar son los siguientes:

1. Determinación de la categoría del fluido que podría estar en contacto con agua potable.

Determinar el número de circuitos hidráulicos o puntos existentes previstos a proteger o a falta de ello el punto de conexión del aparato a la red de agua potable.

En general, en el sistema solar prefabricado habrá dos circuitos hidráulicos: el circuito primario solar, con fluido (agua + anticongelante) y el circuito secundario o de consumo, con agua caliente sanitaria como fluido.

Los fluidos que están o pueden estar en contacto con el agua potable se clasifican en 5 categorías:

Categoría 1: Agua destinada a consumo humano, procedente de la red de distribución de agua potable.

Categoría 2: Fluido que no presenta ningún riesgo para la salud humana. Fluido reconocido como válido para el consumo humano, incluyendo el agua tomada de una red de distribución de agua potable que, eventualmente, pueda experimentar algún cambio en su sabor, olor, color o temperatura (calentamiento o enfriamiento).

Categoría 3: Fluido que presenta un cierto peligro para la salud humana a causa de una o más sustancias nocivas¹.

Categoría 4: Fluido que presenta un peligro para la salud humana debido a la presencia de una o más sustancias tóxicas¹ o muy tóxicas o una o más sustancias radioactivas, mutagénicas o cancerígenas.

¹ El límite entre las categorías 3 y 4 es, en principio, LD50 = 200 mg/kg de masa corporal en referencia a la Directiva de la UE 93/21 CEE de fecha 27 de Abril 1993. El LD 50 es la cantidad de sustancia que una vez administrada por vía oral provoca la muerte en un espacio de 15 días en el 50% de los animales tratados.

Categoría 5: fluido que presenta un peligro para la salud humana debido a la presencia de elementos microbiológicos o víricos.

TABLA GUÍA PARA DETERMINAR LA CATEGORÍA DEL FLUIDO DEL QUE SE REQUIERE PROTECCIÓN

Tabla B.1

1	Agua destinada al consumo humano	Categoría
1.1	Agua potable	1
1.2	Agua a alta presión	1
1.3	Agua estancada ²⁾	2
1.4	Agua refrigerada	2
1.5	Agua caliente sanitaria	2
1.6	Vapor (en contacto con alimentos, sin aditivos)	2
1.7	Agua acondicionada ³⁾	2
2	Agua con aditivos o en contacto con elementos líquidos o sólidos, distintas de las de categoría 1	Categoría
2.1	Agua recocida no destinada al consumo humano	3/4 ⁴⁾
2.2	Agua + anticorrosión no destinada al consumo humano	3/4 ⁴⁾
2.3	Agua + antibio	3/4 ⁴⁾
2.4	Agua + algicida	3/4 ⁴⁾
2.5	Agua + alimentos líquidos (zumo de frutas, café, no alcohólicos, sopas)	2
2.6	Agua + alimentos sólidos	2
2.7	Agua + bebidas alcohólicas	
2.8	Agua + productos de lavar	2
2.9	Agua + surfactantes (agentes tensoactivos)	3/4 ⁴⁾
2.10	Agua + desinfectantes no aptos para el consumo humano	3/4 ⁴⁾
2.11	Agua + detergentes	3/4 ⁴⁾
2.12	Agua + refrigerante	3/4 ⁴⁾
3	Agua de otros usos	Categoría
3.1	Agua de cocinar alimentos	2
3.2	Agua de lavar frutas, verduras (servicio de alimentación)	3/5 ⁵⁾
3.3	Agua de prelavar y lavar platos y utensilios de cocina	5
3.4	Agua de enjuagar platos, utensilios de cocina	3
3.5	Agua de calefacción central sin aditivos	3
3.6	Agua residual	5
3.7	Agua de lavado corporal	5
3.8	Agua de sistema de inodoro	3
3.9	Agua del inodoro	5
3.10	Agua para bebida de animales	5
3.11	Agua de piscinas	5
3.12	Agua de lavar ropa	5
3.13	Agua esterilizada	2
3.14	Agua desmineralizada	2

2) Algunos elementos pueden aumentar los riesgos (temperatura, materiales,...).

3) Agua acondicionada en el interior de edificios (excluidos los equipos).

4) El límite entre las categorías 3 y 4 es, en principio, LD 50 = 200 mg/kg de masa corporal, en referencia a la Directiva de la UE 93/21/ECC de fecha 27 Abril 1993.

5) Categoría 3 para agua de prelavar y lavar.
 Categoría 3 para agua de enjuagar.

Tabla 3. Tabla B.1 UNE-EN 1717

Habitualmente en los sistemas solares térmicos el circuito primario solar contiene como fluido potencialmente nocivo el anticongelante, generalmente se utiliza algún tipo de Glicol. Existen dos tipos de Glicol: Propilenglicol y Etilenglicol. El valor LD50 es mayor de 2000 mg/kg para el Propilenglicol y mayor de 4000 mg/kg para el Etilenglicol. Por lo tanto en los dos casos la toxicidad es inferior al límite LD50=200 mg/kg que correspondería a un fluido de categoría 4 (ver, tabla B.1).

Para el circuito secundario o de consumo, el fluido de trabajo es agua caliente sanitaria, al cual le corresponde la categoría 2 (ver, tabla B.1).

2. Determinación de la pared de separación (sencilla o doble).

Un separador de pared sencilla consiste en una separación o cubierta fija y sellada que puede estar en contacto con el agua potable por un lado y por el fluido por el otro lado. Los fluidos de categoría 3 pueden estar separados del agua potable por una pared sencilla.

Para el circuito primario solar:

Verificar el tipo de pared de separación, analizando la documentación del fabricante sobre el intercambiador del acumulador solar y verificando la separación física del circuito primario o solar del circuito secundario o de consumo.

3. Determinación de las características de la instalación. (Presión = atm o > atm)

El nivel máximo de funcionamiento en una red abierta es el nivel máximo del líquido. En una red presurizada es la máxima altura piezométrica posible.

Para el circuito secundario o de consumo:

Determinar en el punto de conexión del sistema a la red de agua potable y que presión soporta este punto. Ver si esa presión (p) es mayor o igual a la presión atmosférica (atm). La situación será $p > atm$ si el punto de conexión (o de protección previsto) está situado por debajo del nivel máximo de funcionamiento.

4. Determinación de la abertura al aire del desagüe.

Las aberturas de aire para desagüe se deben realizar mediante una desconexión completa o por entradas de aire. Ver capítulo 9 de la norma EN 17-17:2000.

Comprobar que el desagüe del sistema solar prefabricado cumple esa abertura al aire. Verificar que en el manual del instalador se hace referencia a esta abertura al aire antes del desagüe.

5. Comprobación del tipo de unidad de protección utilizado según el fluido utilizado.

El circuito hidráulico de una instalación o aparato conectado a una instalación puede tener varias unidades de protección, cada unidad consta de un dispositivo de protección y de los accesorios necesarios para la protección del agua y su correcto funcionamiento, así como para inspección y mantenimiento (por ej. válvula, filtro, etc.). El dispositivo de protección es un conjunto acabado y montado, dispuesto para ser instalado en un circuito hidráulico.

Requisitos funcionales de las unidades de protección contra reflujo. Ver apartado 5.7 de la EN-1717:2000. Las unidades de protección deben estar construidas de forma que impidan el reflujo por contrapresión y/o por contrasifonaje de un fluido contaminado dentro de una red de agua potable.

Los equipos de protección deben estar integrados dentro de los equipos domésticos. Si por razones técnicas no pudiera ser así, se deben instalar en la conexión del punto de alimentación de los equipos, de forma que quede asegurada la protección del agua potable.

Para el circuito secundario de consumo (agua caliente sanitaria, categoría 2 y presión > atmosférica):

Determinar el tipo de unidad de protección en el punto de conexión con la red de agua potable del sistema solar prefabricado. Verificar que cumple las especificaciones de la tabla 2 (siguiente página) en función de la categoría del fluido y de la presión en el punto de conexión con la red de agua potable. Comprobar el apartado 6 de la EN-1717:2000 para la protección de los equipos de uso doméstico en el punto de utilización, ver tabla 3 a continuación.

Tabla 3

Equipos	Categoría	Nivel autorizado para las unidades
Grifo con pulverizador para lavabo, fregadero, ducha, bañera; excluido inodoro y bidé	5	Unidades de protección adecuadas para categoría 2 y EB, ED, HC
Bañera con entrada de agua por debajo de su borde ^b	5	Unidades de protección adecuadas para categoría 3
Grifo para conexión a manguera ^{a b}	5	Unidades de protección adecuadas para categoría 3
Sistema de riego de césped – sistema enterrado ^b	5	Unidades de protección adecuadas para categoría 4
a Usado para lavado, limpieza o riego de jardín		
b La instalación de la unidad de protección debe estar por encima del nivel de agua máximo de funcionamiento		

Tabla 4. Tabla 3 UNE-EN 1717

Tabla 2
 Matriz de las unidades de protección adecuadas a las categorías del fluido

Categoría de fluidos		1	2	3	4	5
AA	Intervalo de aire sin obstáculos	*	●	●	●	●
AB	Intervalo de aire con rebosadero no circular (sin obstáculos)	*	●	●	●	●
AC	Intervalo de aire con alimentación sumergida que incorpora una entrada de aire y un rebosadero	*	●	●	-	-
AD	Intervalo de aire con inyector	*	●	●	●	●
AF	Intervalo de aire con rebosadero circular (restringido)	*	●	●	●	-
AG	Intervalo de aire con rebosadero definido por ensayo de depresión	*	●	●	-	-
BA	Protector de reflujo con zona de presión reducida controlable	●	●	●	●	-
CA	Protector de reflujo con zonas de presión diferentes no controlable	●	●	●	-	-
DA	Válvula antivacio en línea	○	○	○	-	-
DB	Interruptor de tubería con ventilación atmosférica y elemento móvil	○	○	○	○	-
DC	Interruptor de tubería con ventilación atmosférica permanente	○	○	○	○	○
EA	Válvula de retención anticontaminación controlable	●	●	-	-	-
EB	Válvula de retención anticontaminación no controlable	Sólo para ciertos usos domésticos (véase el capítulo 6)				
EC	Doble válvula de retención anticontaminación controlable	●	●	-	-	-
ED	Doble válvula de retención anticontaminación no controlable	Sólo para ciertos usos domésticos (véase el capítulo 6)				
GA	Desconector mecánico de accionamiento directo	●	●	●	-	-
GB	Desconector mecánico accionado hidráulicamente	●	●	●	●	-
HA	Protector de reflujo en unión de manguera	●	●	○	-	-
HB	Válvula antivacio para unión de manguera flexible de ducha	○	○	-	-	-
HC	Derivador automático	Sólo para ciertos usos domésticos (véase el capítulo 6)				
HD	Válvula antivacio para unión de manguera combinada con una válvula de retención	●	●	○	-	-
LA	Válvula de entrada de aire a presión	○	○	-	-	-
LB	Válvula de entrada de aire a presión combinada con una válvula de retención situada aguas abajo	●	●	○	-	-
Observaciones generales:						
Las unidades con una abertura de aireación atmosférica no se pueden instalar en aquellos casos en que se pueda producir inundación (por ejemplo: AA, BA, CA, GA, GB,.....).						
● Cubre el riesgo						
○ Cubre el riesgo solo si p = atm						
- no cubre el riesgo						
* no es aplicable						

Tabla 5. Tabla 2 UNE-EN 1717

Resultados del test:

Las comprobaciones realizadas sobre el sistema solar se registrarán en el Anexo técnico Contaminación de agua.

3.3.2.6 Ensayo de protección contra descargas eléctricas para sistemas solares de calentamiento (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.5 y Anexo E)

Objetivo:

El ensayo de protección eléctrica debería ser aplicado sólo a aquellas partes de los sistemas solares prefabricados que se encuentren normalmente expuestas a las condiciones exteriores/ambientales.

Se pueden excluir de este ensayo los sistemas que contengan pocas o ningún parte metálica.

Requisitos:

El sistema debería estar conforme con la norma IEC 62305-3:2006.

Equipos:

- Cinta métrica.
- Calibre.

Procedimientos:

Los apartados que se deben comprobar son los siguientes:

1.- Distancia de separación S_t :

Se mide la longitud total del depósito L_t , en milímetros.

Se mide la distancia de separación existente S_t entre el tanque y la cubierta exterior de metal en la parte frontal y posterior del fondo.

Se calcula la distancia de separación mínima permitida D_t .

2.- Existencia de cables de conexión S_t :

Cuando el depósito de agua esté montado al exterior, la distancia S_t de separación debería cumplir bien $S_t > D_t$ o bien debería de haber al menos una conexión (cable o puente de continuidad eléctrica) entre el depósito y la capa exterior de cubierta (es decir, en la parte frontal y trasera). Este cable o puente debería tener como mínimo los tamaños que se especifican en la siguiente tabla:

Nivel de protección	Material de cable	Sección transversal de cable F_c (mm^2)	
		Carga eléctrica elevada	Carga eléctrica no elevada
I – II – III - IV	Cobre (Cu)	16	6
	Aluminio (Al)	25	10
	Acero (Fe)	50	16

Donde:

D_t es la mínima distancia de separación $(K_i \times K_c / K_m) \times L_t = 0,044 L_t$;

L_t es la longitud total del tanque [mm];

$K_i = 0,05$; $K_c = 0,44$; $K_m = 0,50$

3.- Puentes entre depósito y soporte:

Cuando el depósito esté montado al exterior, los puentes entre el depósito y los soportes deberían tener un área total de contacto (conexión) mayor de 100 cm^2 (la superficie de solape atornillada o soldada por puntos).

4.- Puentes entre captador y soporte:

Los puentes entre los captadores y los soportes deberían tener un área total de contacto de al menos 100 cm^2 (superficie superpuesta atornillada o soldada).

5.- Existencia de orificios:

Se comprueba la existencia de orificios y se miden los tamaños d , l y h .

6.- Espesores de recubrimiento:

Se comprueban si existen recubrimientos metálicos en los componentes del sistema.

Resultados:

Se registrarán los resultados del ensayo, medidas y cálculos en el Anexo técnico Ensayo de Protección contra Descargas Eléctricas.

Conclusiones:

Las conclusiones incluyen la evaluación final del sistema solar prefabricado en relación con su adecuada fabricación y capacidad de conectarse a un sistema de protección pararrayos existente en el tejado del edificio. De este modo debería estar protegido contra daños debido a efectos eléctricos.

Las conclusiones finales se anotan e incluyen en la ficha de ensayos de protección eléctrica.

3.3.2.7 Control equipos de seguridad (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.6)

Objetivo:

El propósito de este ensayo es comprobar que los elementos de seguridad instalados en el sistema solar están correctamente diseñados. Los elementos del sistema que deben ser comprobados son las válvulas de seguridad, líneas de seguridad y expansión y las líneas de purga. Las características de estos elementos deben estar descritas en la documentación e instrucciones de Instalador y para usuario adjuntados al sistema.

Válvulas de seguridad (UNE-EN 12976-1 Apartado 4.4.1)

Se comprueba que la documentación del sistema especifica que cada sección del campo de captador, que pueda ser aislada del resto, debe estar provista al menos de una válvula de seguridad. Los sistemas integrados deben ir provistos al menos de una válvula de seguridad, que puede estar integrada en combinación con una entrada.

Se comprueba la especificación de las válvulas de seguridad:

- La válvula de seguridad debe resistir a las condiciones de temperatura a la cual esta expuesta, como lo especifica el fabricante.
- La válvula de seguridad debe resistir el medio de transferencia de calor.
- La válvula de seguridad debe estar dimensionada de tal forma que pueda descargar el mayor caudal de agua caliente o vapor que pueda ocurrir.
- Se comprueba que la dimensión de las válvulas de seguridad es correcta.
- Se comprueba si la temperatura del medio de transferencia de calor a la presión de descarga de la válvula de seguridad excede la temperatura máxima permitida del medio de transferencia de calor.

Líneas de seguridad y líneas de expansión (UNE-EN 12976-1 Apartado 4.4.2)

Se realizarán las siguientes comprobaciones:

- Si el sistema esta equipado con línea de seguridad y expansión, no debe ser posible cerrar estas líneas.
- Se comprueba el diámetro de las líneas de seguridad y expansión que debe estar dimensionadas de tal forma que, para el mayor caudal de agua caliente o vapor que puede ocurrir, en ningún sitio del circuito del captador se exceda la presión máxima permitida debido a la caída de presión en estas líneas.
- Las líneas de seguridad y expansión deben estar conectadas y colocadas de tal forma que se evite cualquier acumulación de suciedad, depósitos o impurezas similares.

Líneas de purga (UNE-EN 12976-2 Apartado 4.4.3)

Se realizarán las siguientes comprobaciones:

- .Si el sistema está equipado con líneas de purga, estas líneas deben estar colocadas de forma que no puedan helar y no se pueda acumular agua dentro de estas líneas.
- Los orificios de las líneas de purga deben estar dispuestos de tal forma que el vapor o el medio de transferencia de calor que salga por las válvulas de seguridad no causen ningún riesgo para las personas, materiales o al medio ambiente.

Resultados:

Se registran los resultados del ensayo, medidas y cálculos en el Anexo técnico Control de equipos de Seguridad.

3.3.2.8 Control Etiquetado (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.7)

Cada sistema debe llevar la siguiente información grabada de forma duradera en una placa o etiqueta visible en el sistema solar:

- Nombre de fabricante o suministrador responsable del sistema.
- Indicación del tipo de sistema.
- Numero de fabricación o numero de serie.
- Año de fabricación, esto puede incluirse en el numero de producción o de serie codificado o de forma clara.
- Área de apertura y del absorbedor del captador en m².
- Capacidad nominal del depósito de acumulación en l.
- Presión de diseño del circuito de agua de consumo en kPa.
- Medio de transferencia de calor utilizado en el captador.
- Presión de trabajo permitido por el medio de transferencia de calor del captador en kPa o, en caso de el sistema tenga un circuito del captador abierto o ventilado, una notificación a este efecto.
- Cuando la protección contra sobrecalentamientos del sistema sea dependiente de la electricidad o del suministro de agua fría y/o el sistema sea llenado con agua potable, se debe incluir en el sistema un aviso sobre este efecto. En caso de dependencia del suministro eléctrico, la conexión a red del sistema debe también estar claramente indicada a este efecto.
- Potencia eléctrica de todos los componentes eléctricos.

Resultados:

Se registran los resultados del etiquetado en el Anexo técnico Control Etiquetado.

3.3.2.9 Ensayo de rendimiento térmico (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.8)

Objetivo:

El objetivo de este test es caracterizar el rendimiento térmico del sistema.

Antes de comenzar el ensayo de rendimiento térmico, el ensayo de resistencia a heladas tendría que haberse completado y haberse etiquetado.

En caso de que el sistema falle uno o más de estos ensayos, el mal funcionamiento o defecto deberá ser eliminado por el fabricante antes de la realización del ensayo. Si esto no es posible, el mal funcionamiento deberá ser registrado en el informe de ensayo de rendimiento.

Método usado

Se usará el método de ensayo según ISO 9459-2 aplicable a sistemas únicamente solares y sistemas de precalentamiento.

Requisitos del montaje del sistema

Los ensayos se realizarán con los componentes del sistema instalados conforme a las instrucciones de instalación del fabricante. Cualquier controlador incluido en el sistema se fijará de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El sistema deberá estar montado de tal manera que garantice la seguridad del personal. Se deberá considerar la probabilidad de romper vidrio y de pérdidas de líquidos calientes. El montaje deberá resistir los efectos de ráfagas de viento.

Cuando sea posible, el sistema será montado sobre la estructura soporte proporcionada por el fabricante. Cuando no hay estructura soporte (por ejemplo, sistema integrado en el techo), se utilizarán un sistema de montaje abierto. El sistema de montaje no podrán obstruir la apertura de los captadores y el montaje de la estructura no afectará de manera significativa el aislamiento trasero y lateral de los captadores o del acumulador. Excepto para los sistemas con acumulador fijado a los captadores (por ejemplo sistemas termosifón), el acumulador se instalará en la posición más baja permitida en las instrucciones de instalación del fabricante.

Para los sistemas en los cuales el acumulador independiente de los captadores, la longitud total de la conexión de tuberías entre captador y acumulador (para sistemas con bomba de circulación forzada) será de 15 m.

El diámetro y el aislamiento de las tuberías se harán conforme a las instrucciones de instalación del fabricante.

Requisitos de la instalación:

El captador será montado en posición fija frente al ecuador dentro de $\pm 10^\circ$.

El captador será ubicado de tal manera que no le sombrea nada, que no tenga importante radiación solar reflejada de los edificios o superficies alrededores durante el periodo de ensayo, y que no tenga obstrucciones significativas en el campo de visión.

Los bancos de ensayo sobre la azotea de un edificio se encontraran al menos a 2 m de distancia del borde de la azotea.

Los captadores diseñados para su integración en un tejado tendrán su parte trasera protegida del viento, y esto se reflejara en el informe de resultados de ensayo.

El material de las tuberías utilizadas en el bucle tiene que ser apropiado al fluido utilizado en el sistema y adecuado para trabajar a temperaturas de hasta 95 °C. La longitud de las tuberías deberá ser corta. En particular, la tubería entre la salida del controlador de agua fría de entrada y la entrada al acumulador se reduce al mínimo, para reducir los efectos de entorno sobre la temperatura de entrada del agua. Esta sección de tubería será aislada para garantizar unas pérdidas de calor de menos de 0,2 W/K y será protegida con una manta waterproof reflectante.

Las tuberías entre los sensores de temperatura y las entradas y salidas del sistema se protegerán con aislamiento y reflectante más allá de las posiciones de los sensores de temperatura, de modo que la ganancia o pérdida de temperatura a lo largo de la tubería no sea superior a 0,01 K durante el ensayo. Se requieren dispositivos de mezcla de flujo tales como codos de tuberías inmediatamente aguas arriba de los sensores de temperatura.

NOTA:

Para calcular las pérdidas de calor a través de una tubería calorifugada se utilizará la siguiente fórmula, sacada de la ley de Fourier aplicada a la geometría de un tubo y la ley conservación de la energía.

$$\frac{H}{L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (T_i - T_e)}{\ln \frac{R_e}{R_i}}$$

Donde T_e y T_i son las temperaturas interior y exterior del aislante respectivamente, R_e y R_i los radios externo e interno, L la longitud de la tubería y λ la conductividad térmica del material.

El controlador de flujo y caudalímetro será instalado en la tubería de entrada de agua fría, de manera que las lecturas no se verán afectada por los cambios de temperatura. Una tubería de purga deberá ser instalada en la tubería del agua fría justo antes de la entrada del acumulador.

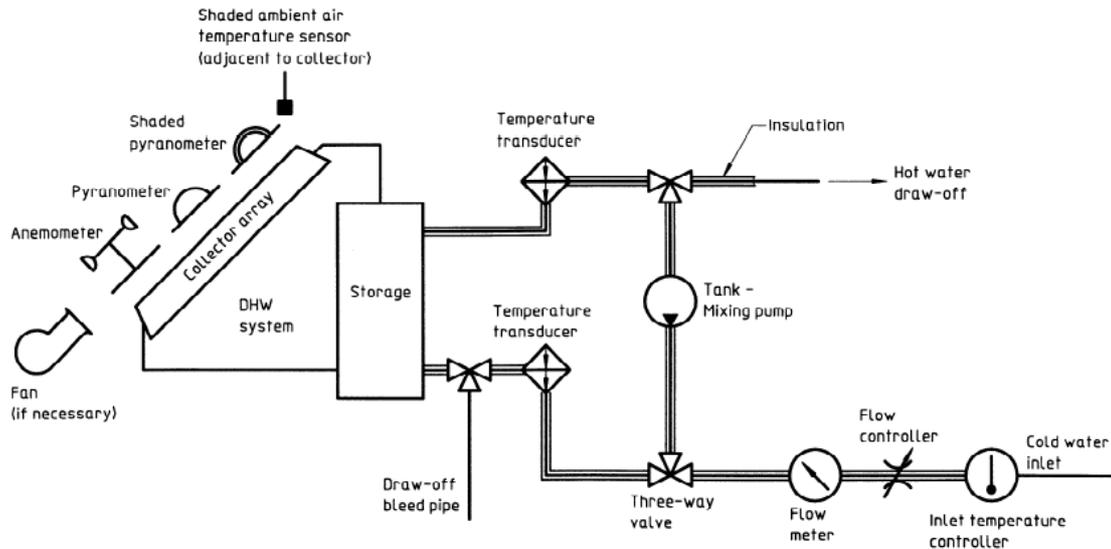


Figura 3. Figura 1 ISO 9459-2

El sistema solar de calentamiento de agua sanitaria será instalado con el captador inclinado en el ángulo de inclinación especificado, y este ángulo utilizado para el ensayo será reflejado en el informe de resultados de ensayo. El ángulo de inclinación especificado se mantendrá constante durante todo el ensayo. Si el ángulo de inclinación no está especificado se usará un bastidor de ensayo inclinado a 45°.

El fluido de transferencia de calor utilizado en el sistema durante el ensayo será el líquido recomendado por el fabricante. Cuando se ensayen los sistemas de circulación forzada, se utilizara el caudal de líquido recomendado por el fabricante. Si el bucle del captador está diseñado para ser utilizado con anti-congelante, los procedimientos de ensayo se llevaran a cabo con estos líquidos, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Si el fluido de transferencia de calor y el caudal no están especificado se usara agua de red.

Fluidos de transferencia de calor

El fluido de transferencia de calor usado para el test del sistema solar será agua.

El calor específico y la densidad del fluido en un $\pm 1\%$ sobre el rango de temperaturas del fluido usadas durante los test

Se utilizarán las siguientes tablas de densidad y calor específico del agua como definido en la norma UNE-EN 12975-2.

Densidad del agua a 1 bar en kg/m³:

$$\rho = a_0 + a_1 * T + a_2 * T^2 + a_3 * T^3 + a_4 * T^4$$

Coficiente	Valor polinomio
a ₀	999,85
a ₁	6,187 x 10 ⁻²
a ₂	-7,654 x 10 ⁻³
a ₃	3,974 x 10 ⁻⁷
a ₄	-1,110 x 10 ⁻⁷

Tabla 6. Coeficientes densidad del agua a 1 bar

La desviación del polinomio con respecto a los valores publicados en tablas es siempre menor que 0,02 %. La R² es igual a 0,99998.

Calor específico del agua (a 1 bar) en kJ/(kg K):

$$C_f(T_{amb})=a_0+a_1*T+a_2*T^2+a_3*T^3+a_4*T^4+a_5*T^5$$

Coeficiente	Valor polinomio
a ₀	4,217
a ₁	-3,358 x 10 ⁻³
a ₂	1,089 x 10 ⁻⁴
a ₃	-1,675 x 10 ⁻⁶
a ₄	1,309 x 10 ⁻⁸
a ₅	-3,884 x 10 ⁻¹¹

Tabla 7. Coeficientes Calor específico del agua a 1 bar

La desviación del polinomio con respecto a los valores publicados en tablas es siempre menor que 0,02 %. La R² es igual a 0,9994.

Los fluidos de ensayo se cambiarán cada año si se observa suciedad.

Requisitos de sensores de medición

Radiación solar

Se utilizarán piranómetros para medir la irradiancia solar global y la irradiancia solar difusa. Los piranómetros serán de clase I (o mejor), tal como se especifica en la norma ISO 9060:1990.

Antes de cada ensayo, se inspeccionará que el piranómetro PIR está exento de polvo, manchas, etc. en la cúpula exterior y se limpiará si fuese necesario (ISO/TR9901).

Los piranómetros se calibrarán utilizando un piranómetro conforme a la norma ISO 9847:1992.

Temperaturas

La exactitud y la precisión de los instrumentos de medición de la temperatura, incluidos los dispositivos de lectura, serán dentro de los límites indicados.

Tabla 2 Exactitud y la precisión de los instrumentos de medición de temperatura

Parámetro	Exactitud	Precisión
Temperatura del aire ambiente	± 0,5 °C	± 0,2 °C
Temperatura de entrada de agua fría	± 0,1 °C	± 0,1 °C
Diferencia de temperatura a través del sistema de agua caliente (Entrada de agua fría, salida de agua caliente del acumulador)	± 0,1 K	± 0,1 K

El tiempo de respuesta será inferior a 5s.

Tabla 8. Tabla 2 ISO 9459-2

Temperatura ambiente

La temperatura del aire ambiente se medirá utilizando un sensor sombreado y bien ventilado a aproximadamente 1 m sobre el nivel del suelo, no a menos de 1,5 m de los captadores y de los componentes del sistema pero no a más de ± 10 m del sistema. La temperatura de las superficies adyacentes al sistema debe ser lo más próxima posible a la del aire ambiente.

Se usa un protector de radiación con ventilación natural durante la medición de la temperatura del aire ambiente.

Temperatura de entrada del agua

La temperatura del agua suministrada al sistema, t_{main} , se controlará.

Si se utiliza un controlador de temperatura en línea a la entrada del acumulador entonces se requerirá una potencia alta para alcanzar los caudales altos durante el ensayo. Como alternativa, la regulación de la temperatura se puede alcanzar por un controlador con mezcla de agua en un depósito de agua caliente y agua fría. El controlador de temperatura o la válvula de mezcla tendrán que poder controlar la deriva de la temperatura del fluido a la entrada dentro de un 0,2 K en el período entre el inicio y el final de la extracción cuando el caudal es de 600 l/h. Se permiten fluctuaciones de la temperatura de entrada de 0,25 K si son causados por la histéresis del controlador de temperatura, siempre y cuando no den lugar a una deriva adicional.

Caudal del flujo del líquido

La medición del caudal será igual o mejor que $\pm 1,0\%$ del valor medido en unidades de masa por unidad de tiempo.

Cuando se ensaya un sistema con bomba de circulación, un caudalímetro se instalará en el bucle del captador para medir el caudal con una precisión de $\pm 5\%$.

Velocidad del aire circundante

La velocidad del aire circundante se medirá con un anemómetro de cazoletas para determinar la media de la velocidad del aire integrado para cada periodo de ensayo con una precisión de $\pm 0,5$ m/s.

Sistema de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos analógicos y digitales utilizados deberán tener una precisión igual o mejor que $\pm 0,5\%$ de la escala máxima de lectura y tener una constante de tiempo de 1 s o menos. La indicación de pico cubrirá entre el 50% y el 100% de la escala máxima.

Los aparatos digitales y integradores electrónicos utilizados deberá tener una precisión igual o mejor que el 1,0% del valor medido.

La impedancia de entrada de los sistemas de adquisición será mayor que 1000 veces la impedancia de los sensores o 10 M Ω , el que sea superior.

En ningún caso, la división de escala más pequeña del instrumento superará a dos veces la precisión especificada. Por ejemplo, si se especifica la precisión es de $\pm 0,1$ °C, la división más pequeña no será superior $\pm 0,2$ °C.

Se registrará con una frecuencia de adquisición de datos de al menos cada 15 s.

Esquemas de funcionamiento:

Plano1, configuración bomba de calor:

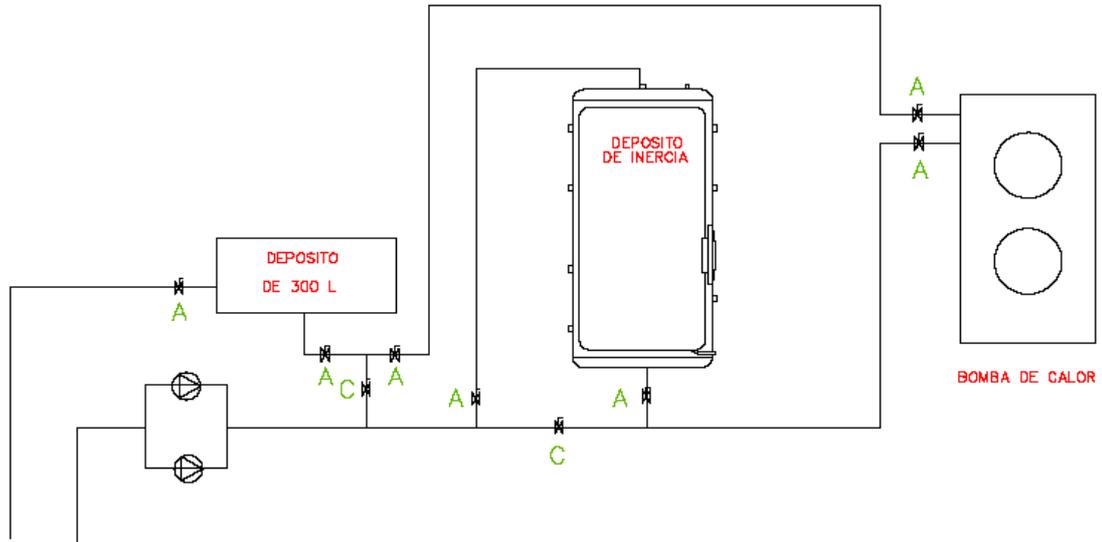


Figura 4. Configuración bomba de calor

Plano2, configuración de termos de calentamiento y enfriamiento para acondicionamiento y extracción:

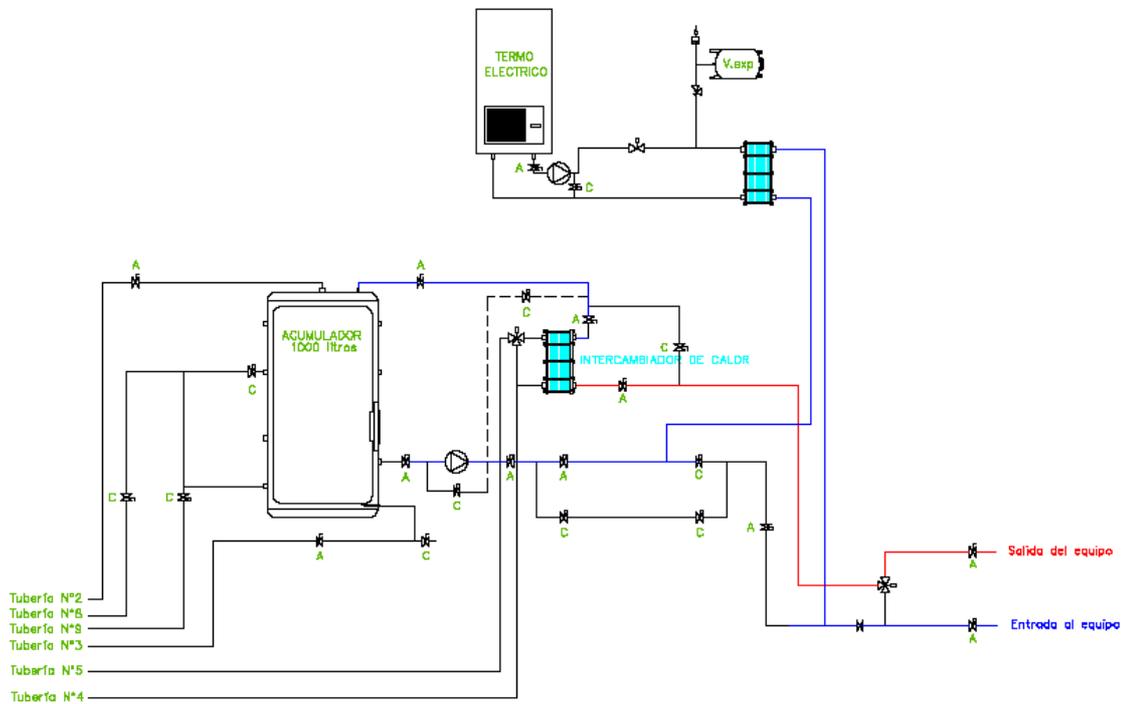


Figura 5. Configuración acondicionamiento para la extracción

Plano 3, configuración sistema solar para acondicionamiento y extracción:

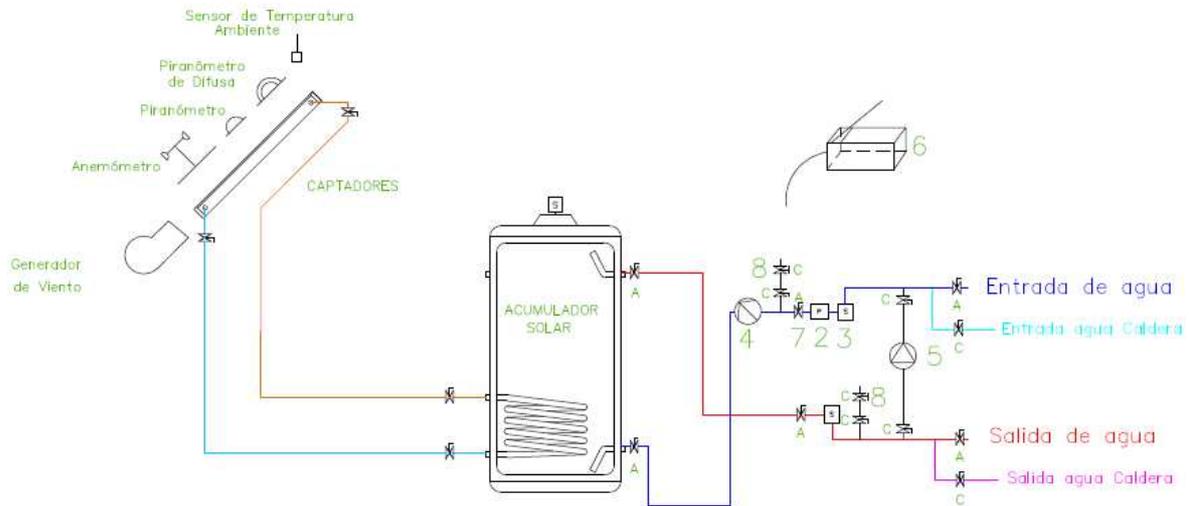


Figura 6. Configuración acondicionamiento para la extracción

Equipos

- Piranómetro para la irradiancia solar global.
- Piranómetro para la irradiancia solar difusa.
- Sensores de temperatura del aire ambiente.
- Sensores de temperatura de entrada del agua fría.
- Sensores de temperatura de salida del agua de extracción.
- Sensor de presión
- Caudalímetro.
- Generador de viento.
- Anemómetro de cazoletas para velocidad del viento.
- Sistema de adquisición de datos.
- Inclínómetro para inclinación del campo de captadores.
- Bancos de ensayo.
- Sistema de generador de temperatura y caudal.
- Contador de electricidad.

Procedimiento de ensayo

Este ensayo consiste en una serie de ensayos en exterior de un día con un total de al menos 6 días para un sistema completo junto con un ensayo corto para determinar el grado de mezcla en el acumulador durante la extracción y un ensayo de pérdidas de calor durante la noche para determinar el coeficiente de pérdida de calor del acumulador. Está incluido también un ensayo opcional para una extracción de mediodía.

El procedimiento de ensayo consiste en una serie de ensayos de un día, que son independientes entre ellos. Por cada día de ensayo, el sistema pueda operar en exterior y una sola extracción se efectúa al final del día. Al inicio de cada día de ensayo, el sistema se pre acondicionará llenándolo con agua a una temperatura conocida. La entrada, (irradiación incidente sobre el sistema), y la salida, (energía contenida en el agua caliente de la extracción), se miden por cada día de ensayo y se representan en un

diagrama entrada / salida. Los días de ensayo cubrirán un rango de valores de irradiación y valores de $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$ de modo que la dependencia del rendimiento del sistema en estos parámetros se puedan establecer.

Rango de condiciones de ensayo

Se obtendrán resultados por lo menos cuatro días, con aproximadamente los mismos valores de $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$ y valores de irradiación repartidas equitativamente entre 8 MJ/m² y 25 MJ/m². Se obtendrán también resultados para al menos otros dos días con valores de $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$ de al menos 9 K encima o por debajo de los valores de $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$ obtenidas en los primeros 4 días. El valor de $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$ estará en el rango de - 5 K a + 20 K por cada día de ensayo.

Pre- acondicionamiento

El sistema se inspeccionara visualmente y se registrará cualquier daño. Se limpiara la cubierta de los captadores.

Al comienzo de cada día de ensayo, antes del inicio, el captador será tapado del sol directo con manta reflectante y el sistema se preacondicionará haciendo circular agua fría en la temperatura t_{main} a través del sistema con un caudal de al menos 600 l/h de manera a que todo el sistema este a una temperatura uniforme..

Cuando el bucle del captador emplea circulación forzada, se usará la bomba para el pre- acondicionamiento del bucle del captador. A menos que en el sistema ensayado el agua caliente entregada este calentada pasando por un intercambiador de calor, se supone que el sistema haya alcanzado una temperatura uniforme cuando la diferencia entre la temperatura del agua en la salida del sistema y la entrada del sistema sea menor de 1 K, durante un período de al menos 15 min.

Cuando el sistema ha alcanzado una temperatura uniforme, parar la circulación, pero en el caso de circulación forzada, dejar la bomba del bucle del captador funcionando.

Parar la circulación justo antes del inicio del período de ensayo y aislar el bucle de circunvalación con una válvula para inhibir la circulación natural.

Velocidad del aire circundante

Se utilizará un generador artificial de viento. El promedio de la velocidad del aire circundante sobre el captador tendrá que ser entre 3 m/s y 5 m/s, medida sobre el plano del captador a una distancia de 50 mm de la superficie de la cubierta. Se medirá la uniformidad de la velocidad del viento un anemómetro de molinete orientado hacia la salida del generador. La velocidad del aire sobre la apertura del captador permanecerá constante difiriendo del valor medio en más de un $\pm 25\%$. La temperatura del aire que sale del generador de viento deberá estar dentro de $\pm 1^\circ\text{C}$ de la temperatura del aire ambiente.

Mediciones durante el período de ensayo

Se registrarán las siguientes medidas haciendo una media horaria durante el período de ensayo, desde 6 horas antes del mediodía solar hasta 6 horas después del mediodía solar:

1. Irradiancia solar global sobre la apertura del captador
2. Irradiancia solar difusa sobre la apertura del captador
3. Temperatura del aire ambiente alrededor de los captadores
4. Velocidad del aire circundante
5. Energía eléctrica consumida por la circulación y el control de los aparatos del sistema (bombas, controles, válvulas solenoides, etc.)

3.3.2.9.1 Determinación del rendimiento diario del sistema

El sistema operará durante 12 horas, desde 6 horas antes del mediodía solar hasta 6 horas después del mediodía solar. A las 6 horas después del mediodía solar el captador será tapado, y el agua será evacuada del acumulador a un caudal constante de 600 l/h (10 l/min). El agua de entrada al acumulador se acondicionará a la temperatura t_{main} , determinadas durante el pre-acondicionamiento del sistema.

Poco tiempo (10 min - 20 min) antes de la extracción del agua del sistema (a las 6 horas después del mediodía solar) será descargada un poco de agua fría a través de la tubería de purga de extracción para garantizar que el agua en la tubería entre el controlador de temperatura de entrada de agua fría y la entrada del acumulador esté a la temperatura deseada t_{main} . El caudal desde el acumulador a través de la tubería de purga será nulo.

Durante la extracción, se medirá la temperatura del agua t_d por lo menos cada 15 s o se registrará un valor medio por lo menos cada vez que una décima parte del volumen del acumulador este extraído. Las temperaturas serán utilizadas para representar el perfil de temperatura de la extracción, como se muestra en figure siguiente:

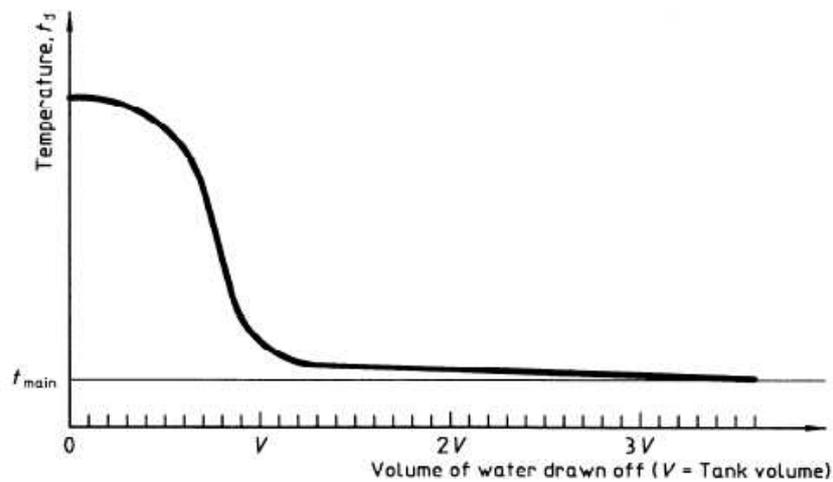


Figura 7. Figura 2 ISO 9459-2. Perfil de temperatura de extracción

Se extraerá un volumen de agua equivalente a 3 veces el volumen del acumulador. Si la diferencia de temperaturas entre la del agua extraída y la del agua fría de entrada es superior a 1 K después de tres volúmenes de acumulador, entonces la extracción se continuará hasta que la diferencia de temperatura sea menos de 1 K.

Durante la extracción, la temperatura del agua fría de entrada al acumulador no podrá fluctuar en más de $\pm 0,25$ K, y no se derivará en más de $\pm 0,2$ K durante el período de la extracción.

El caudal durante la extracción de agua caliente del acumulador es muy importante, y tiene una gran influencia sobre el perfil de temperatura de extracción. El sistema de control del caudal deberá mantener un caudal constante a través del acumulador de 600 l/h \pm 50 l/h.

Realización del test

El test se realizará siguiendo las siguientes instrucciones:

Operaciones previas:

- Paso 1: Se revisará que los sensores de presión y temperaturas, caudalímetro, piranómetros, anemómetro, contador eléctrico están correctamente conectados al sistema de adquisición de datos y este se dejará listo para el registro de los datos al comienzo del test.
- Paso 2: Comprobar que el sistema solar a ensayo se encuentre montado según las instrucciones de instalación con el campo de captadores orientados hacia el mediodía solar.
- Paso 3: Se revisará el circuito de acondicionamiento de agua para comprobar que las válvulas de cierre están configuradas de acuerdo a los planos 1, 2 y 3.
- Paso 4: Ver que el anemómetro, piranómetro y piranómetro de difusa se encuentran en el plano del captador.
- Paso 5: Poner los generadores de viento de tal forma que el viento incida en el plano de captación a una velocidad media de 3-5 m/s y no haya una desviación significativa de $\pm 25\%$ en toda la superficie de captación.
- Paso 6: Configurar el set-point de la bomba de calor a la temperatura deseada.
- Paso 7: Configurar los relés de temperaturas del acumulador de 1000 l a la temperatura deseada T_f .
- Paso 8: Configurar los relés de temperaturas de entrada al sistema a la temperatura deseada (Temperatura ambiente – Temperatura de entrada de agua sea de -5 a 20 °C)
- Paso 9: Configurar los relés de temperaturas del termo eléctrico a la temperatura deseada T_c .
- Paso 10: Configurar la bomba de recirculación del acumulador de 1000 l en modo manual en el cuadro de control.
- Paso 11: Se realiza una programación en el programa de control de válvulas (WIT) de tal forma que se realice un acondicionamiento hasta las 6 horas antes del mediodía solar.
- Paso 12: Se realiza otra programación 6 horas después del mediodía solar, de tal forma que se realice una pequeña extracción de agua por la válvula 8 de entrada, unos minutos antes de realizar la extracción definitiva de agua. En dicha programación seremos capaces de controlar el tiempo de extracción y el tiempo de apertura de la válvula 8 de salida.
- Paso 13: Se regula mediante la válvula de esfera a un caudal de unos 600 l/h \pm 50 l/h. Durante la extracción/acondicionamiento de agua la regulación de caudal se realiza con una válvula proporcional, de forma que se mantiene estable el caudal de entrada.

Operaciones del test:

- Paso 14: Se abre automáticamente la válvula de tres vías de entrada de agua al banco para que se pueda acondicionar el acumulador solar a la temperatura deseada.

- Paso 15: La válvula se mantiene abierta hasta que la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida sea de 1K al menos en un periodo de 15 minutos.
- Paso 16: 6 horas antes del mediodía solar se cierra la válvula de tres vías quedando el sistema en funcionamiento sin extracción de agua.
- Paso 17: 10 minutos antes de 6 horas después del mediodía solar se extrae agua durante un período de 2 minutos de duración.
- Paso 18: 6 horas después del mediodía solar se extraerá un volumen de agua equivalente a 3 veces el volumen del acumulador. Si la diferencia de temperaturas entre la del agua extraída y la del agua fría de entrada es superior a 1 K después de tres volúmenes de acumulador, entonces la extracción se continuará hasta que la diferencia de temperatura sea menos de 1 K.
- Paso 19: Si el sistema tuviera elementos eléctricos, registrar la energía parasita consumida durante el día Q_{par} .

Resultados del test

Se registrarán los datos de caudal, irradiancia, temperatura ambiente, temperatura entrada y salida con el sistema de adquisición. Los resultados del ensayo del rendimiento diario se registrarán en el Anexo técnico Rendimiento Diario del Sistema.

3.3.2.9.2 Determinación del grado de mezcla en el acumulador durante la extracción

Este ensayo se llevará a cabo, además de los ensayos diarios de rendimiento del sistema. Este ensayo está diseñado para determinar la cantidad de mezcla entre el agua caliente en el acumulador y el agua fría que entra en el acumulador, durante una extracción de agua caliente. El perfil de mezcla se obtiene graficando la temperatura del agua extraída del acumulador que fue pre-calentado a una temperatura uniforme alta.

Método de ensayo

El ensayo se realizará en exterior, primero tapando los captadores del sol. Luego, el acumulador se pre acondicionará calentándolo de manera uniforme a una temperatura entre 60 °C y 70 °C.

Antes del inicio del ensayo, se mezclará el agua en el acumulador mediante el uso de una pequeña bomba que distribuya el agua desde la parte superior a la parte inferior del acumulador. Se circulará el agua a un caudal de por lo menos 5 veces el volumen del acumulador por hora $\pm 10\%$. El agua en el acumulador se supondrá uniforme en temperatura, cuando la temperatura del agua a la salida del acumulador varíe menos de 1 K durante un período de 15 min. Luego, se detendrá la circulación y se cerrarán las válvulas de las tuberías conteniendo la bomba de mezcla del acumulador.

Se evacuará agua del acumulador a un caudal constante de 600 l/h ± 50 l/h. El agua fría de entrada al acumulador será introducida a una temperatura constante de menos de 30 °C, no deberá variar en más de $\pm 0,25$ K, y no se permitirá una deriva mayor de $\pm 0,2$ K durante el período de ensayo.

Ilustración 1 Perfil de mezcla de la extracción

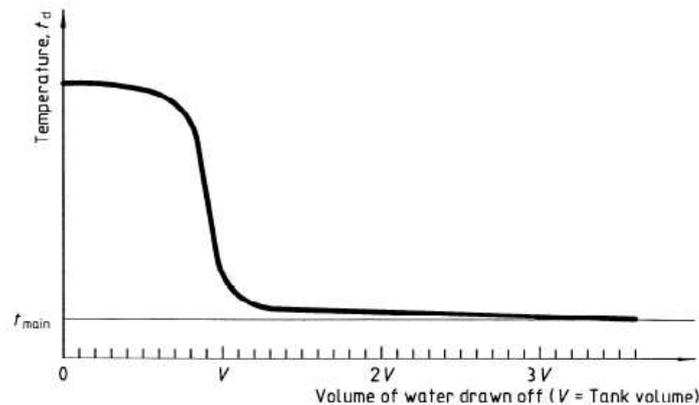


Figura 8. Figura 3 ISO 9459-2. Perfil de extracción de mezcla

Se medirá la temperatura del agua extraída por lo menos cada 15 s o se registrará un valor medio por lo menos cada vez que una décima parte del volumen del acumulador este extraído. Las mediciones de la temperatura del agua que entra en el acumulador y del agua saliendo del acumulador debe hacerse conforme con los requisitos anteriores. Extraer un volumen de agua equivalente a tres veces el volumen del acumulador. Si la diferencia de temperatura entre el agua extraída y el agua fría de entrada al acumulador es superior a 1 K después de que tres volúmenes han sido extraídos, a continuación, se continuará la extracción hasta que la diferencia de temperatura sea menos de 1 K.

Esquemas de funcionamiento:

Plano 1, configuración de la caldera de gas para el acondicionamiento:

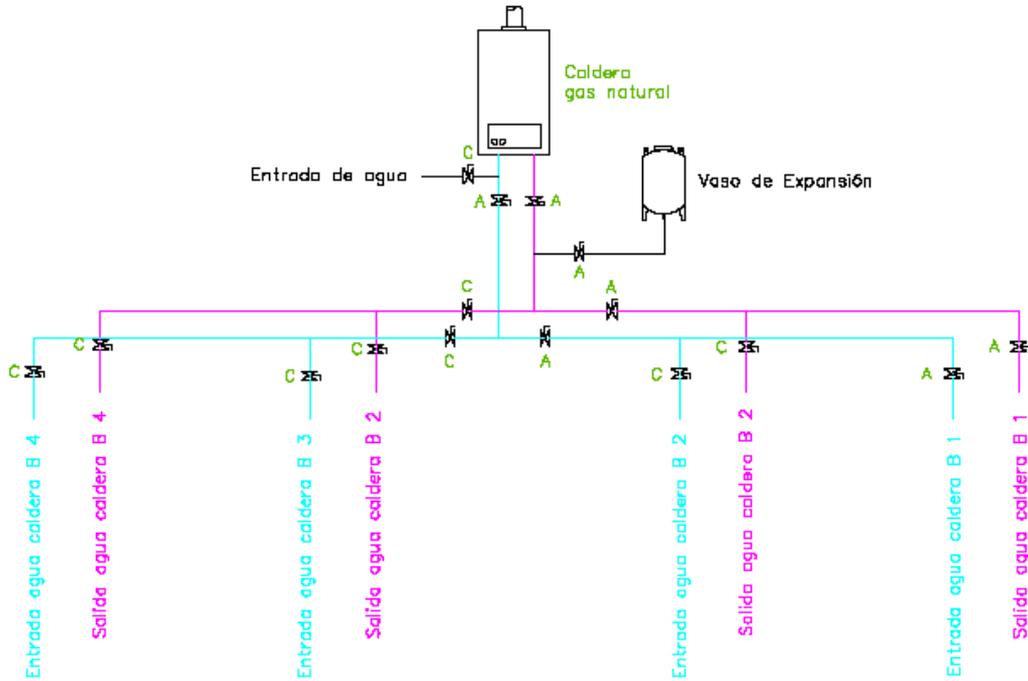


Figura 9. Configuración de la caldera de gas para el acondicionamiento

Plano 2, configuración de termos de calentamiento y enfriamiento para el acondicionamiento:

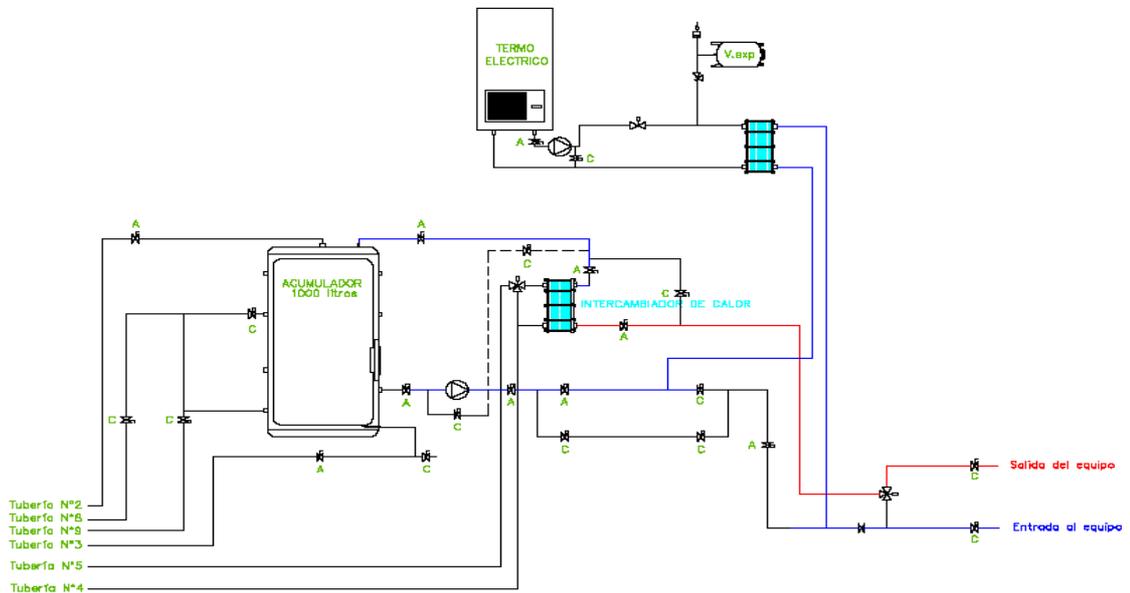


Figura 10. Configuración de termos de calentamiento y enfriamiento para el acondicionamiento

Plano 3, configuración del sistema solar para el calentamiento del agua del acumulador hasta 60 °C:

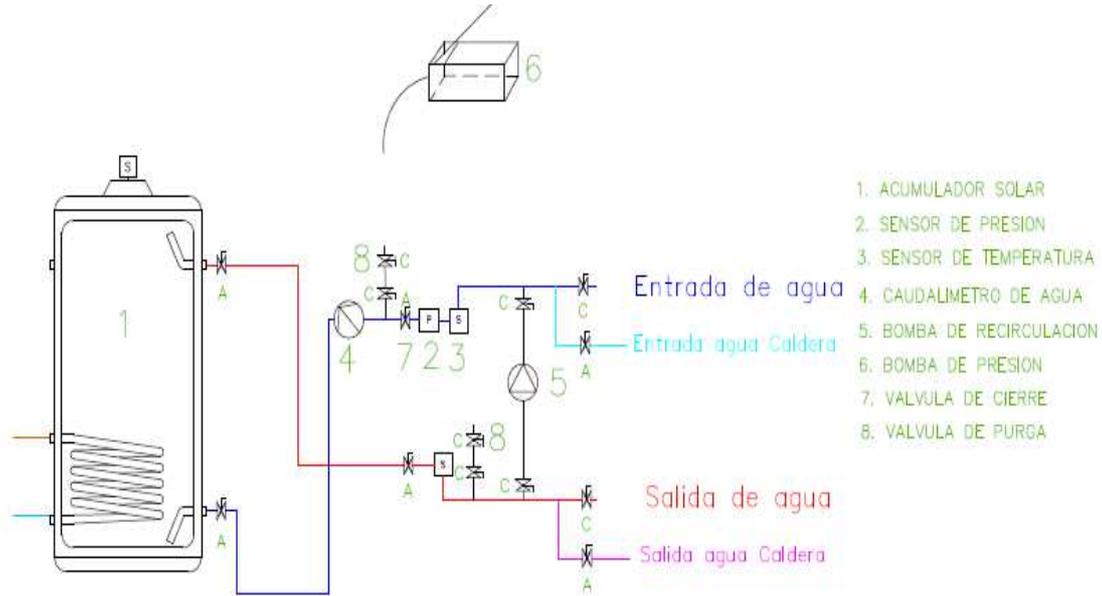


Figura 11. Configuración del sistema solar para el calentamiento del agua del acumulador hasta 60°C

Realización del test

El test se realizará siguiendo las siguientes instrucciones:

Operaciones previas:

- Paso 1: Se revisará que los sensores de presión y temperaturas, caudalímetro, piranómetros y anemómetro están correctamente conectados al sistema de adquisición de datos y este se dejará listo para el registro de los datos al comienzo del test.
- Paso 2: Comprobar que el sistema solar a ensayo se encuentre montado según las instrucciones de instalación con el campo de captadores orientados hacia el mediodía solar.
- Paso 3: Se revisará el circuito de acondicionamiento de agua para comprobar que las válvulas de cierre están configuradas de acuerdo a los planos 1, 2 y 3.
- Paso 4: Configurar el set-point de la bomba de calor a la temperatura deseada.
- Paso 5: Configurar los relés de temperaturas del acumulador de 1000 l a la temperatura deseada T_f .
- Paso 6: Configurar los relés de temperaturas de entrada al sistema a la temperatura deseada.
- Paso 7: Configurar los relés de temperaturas del termo eléctrico a la temperatura deseada T_c .
- Paso 8: Configurar la bomba de recirculación del acumulador de 1000 l en modo manual.
- Paso 9: Tapar los captadores con la manta reflectante.

Operaciones del test:

- Paso 10: Encender la caldera de gas con un set point de 70°C (posición N°5).

- Paso 11: Cuando se alcance una temperatura superior a 60 °C, en el sensor de temperatura de salida del acumulador, durante más de 15 minutos, se apaga la caldera.
- Paso 12: Se cierran las llaves de entrada y salida de agua a la caldera, de forma que el mismo quede aislado de posible extracción de agua.
- Paso 13: Se abren las llaves de la bomba de recirculación, ver Plano 2.
- Paso 14: Se acciona la bomba de recirculación a un caudal de al menos 5 veces el volumen del tanque por hora.
- Paso 15: Una vez que la temperatura de salida del acumulador varía menos de 1 K durante 15 minutos, se para la bomba de recirculación.
- Paso 16: Se cierran las llaves de bomba de recirculación.
- Paso 17: Se abren las llaves de entrada y salida de agua al sistema solar.
- Paso 18: Se extraerá un volumen de agua equivalente a 3 veces el volumen del acumulador a un caudal constante de $600 \text{ l/h} \pm 50 \text{ l/h}$ con agua en entrada al acumulador a una temperatura constante de menos de 30 °C, no variando en más de $\pm 0,25 \text{ K}$, y con una deriva no mayor de $\pm 0,2 \text{ K}$. Si la diferencia de temperaturas entre el agua extraída y el agua fría de entrada es superior a 1 K después de 3 volúmenes de acumulador, entonces la extracción se continuará hasta que la diferencia de temperatura sea menos de 1 K.

Resultados del test

Se registrarán con el sistema de adquisición los datos de caudal, temperatura entrada y temperatura de salida. Los resultados del test de grado de mezcla se registrarán en el Anexo técnico Grado de Mezcla en el Acumulador.

3.3.2.9.3 Determinación de las pérdidas de calor por el acumulador

Este ensayo se llevará a cabo, además del ensayo de rendimiento global del sistema. El coeficiente de pérdidas de calor por el acumulador se determinará con el sistema instalado y montado, tal como se especifica en los requisitos anteriores. Este ensayo permite determinar el valor de las pérdidas de calor en los cálculos de rendimiento del sistema, incluyendo, por ejemplo, las pérdidas de calor causadas por el flujo inverso en el bucle del captador. Este coeficiente se utiliza para la predicción del rendimiento a largo plazo del sistema.

El ensayo se realiza en exterior y a la noche, con los captadores expuestos a un cielo claro. Algunas horas de mañana y atardecer con luz solar podrán ser utilizadas siempre que el sistema está tapado de irradiación solar durante estos períodos.

El acumulador deberá ser previamente pre acondicionado calentándolo uniformemente a una temperatura entre 60 °C y 70 °C.

Método de ensayo

Antes del inicio del ensayo, se mezclará el agua en el acumulador usando una bomba de circulación del agua desde la parte superior hasta el fondo del acumulador. Se hará circular el agua, a razón de por lo menos 5 veces el volumen del acumulador por hora \pm 10%. El agua en el acumulador se supondrá uniforme cuando la temperatura del agua a la salida del acumulador varíe menos de 1 K, durante un período de 15 min. La temperatura media durante estos 15 minutos se tomará como la temperatura inicial del acumulador. Luego se parará la circulación, se cerrarán las válvulas de las tuberías que contienen la bomba de mezcla del acumulador del sistema y se dejara enfriar durante un período de más de 12 h y no más de 24 h (se pondrá una manta reflectante sobre el campo de captadores cuando empieza la radiación solar).

Durante el período de enfriamiento, el aire con una velocidad media del viento de entre 3 m/s y 5 m/s deberá pasar libremente sobre la apertura, la parte trasera y los lados del captador y sobre el acumulador si está diseñado para ser montado en exterior.

Se medirá la temperatura ambiente en los alrededores del acumulador cada hora durante el período de ensayo.

Al final del período de ensayo, se reiniciara la circulación del agua en el acumulador para alcanzar una temperatura uniforme. La temperatura se supondrá uniforme a la salida del acumulador cuando variara en menos de 1 K, durante un período de 15 minutos: La temperatura media durante este período de 15 minutos se tomará como la temperatura final del acumulador.

Para los sistemas forzados, se llevará a cabo un segundo ensayo idéntico para determinar el coeficiente de pérdida de calor del acumulador con el bucle del captador desconectado (es decir, sin flujo en el bucle del captador). Antes de realizar este ensayo, el sistema debe ser modificado según sea necesario para garantizar que no haya flujo en el bucle del captador (es decir, eliminando también la posibilidad de corrientes invertidas).

Cálculo del coeficiente de pérdidas de calor por el acumulador

El coeficiente de pérdidas de calor del acumulador U_s , en W/K, se calculará mediante la Ecuación 1:

$$\text{Ecuación 1} \quad U_s = \frac{\rho_w c_{pw} V_s}{\Delta t} \ln \left[\frac{t_i - t_{a,s(av)}}{t_f - t_{a,s(av)}} \right]$$

* Si el acumulador esta en exterior, $t_{a,s} = t_a$

Δt es la duración del período de enfriamiento (en segundos), considerado como el tiempo transcurrido entre el momento en que la circulación de agua a través del acumulador se detiene y el momento en que se reinicia.

Esquemas de funcionamiento

Los planos de configuración de apertura y cierre de válvulas utilizados para el ensayo de grado de mezcla son los mismos que se deben de tener en cuenta para la realización del ensayo de pérdidas nocturnas.

Realización del test

El test se realizará siguiendo las siguientes instrucciones:

Operaciones previas:

- Paso 1: Se revisará que los sensores de presión, temperaturas, caudalímetro, piranómetros y anemómetro están correctamente conectados al sistema de adquisición de datos y este se dejará listo para el registro de los datos al comienzo del test.
- Paso 2: Comprobar que el sistema solar a ensayo se encuentre montado según las instrucciones de instalación con el campo de captadores orientados hacia el mediodía solar.
- Paso 3: Tapar los captadores con una manta en los períodos en los que el sol incida sobre el captador.
- Paso 4: Se encenderán los generadores de viento de tal forma que la velocidad del aire sea de 3-5 m/s. Ese viento generado debe incidir a ambos lados del captador y del acumulador.
- Paso 5: Se revisará el circuito de acondicionamiento de agua para comprobar que las válvulas de cierre están configuradas de acuerdo a los planos 1, 2 y 3. Ver planos del ensayo de grado de mezcla.
- Paso 6: Configurar el set-point de la bomba de calor a la temperatura deseada.
- Paso 7: Configurar los relés de temperaturas del acumulador de 1000l a la temperatura deseada T_f .
- Paso 8: Configurar los relés de temperaturas de entrada al sistema a la temperatura deseada.
- Paso 9: Configurar los relés de temperaturas del termo eléctrico a la temperatura deseada T_c .
- Paso 10: Poner la bomba de recirculación del acumulador de 1000 l en modo manual.

Operaciones del test:

- Paso 11: Encender la caldera de gas con un set point de 70°C
- Paso 12: Cuando se alcance una temperatura superior a 60 °C en el sensor de temperatura de salida del acumulador durante más de 15 minutos, se apaga la caldera.
- Paso 13: Se cierran las llaves de entrada y salida de agua a la caldera, de forma que el mismo circuito quede aislado de posible extracción de agua.
- Paso 14: Se abren las llaves de la bomba de recirculación, ver plano 2 del test de grado de mezcla.
- Paso 15: Se acciona la bomba de recirculación a un caudal de al menos 5 veces el volumen del tanque por hora.
- Paso 16: Una vez que la temperatura de salida del acumulador varíe menos de 1 K durante 15 minutos, se para la bomba de recirculación.
- Paso 17: Se cierran las llaves de bomba de recirculación.
- Paso 18: Se abren las llaves de entrada y salida de agua al sistema solar.
- Paso 19: Una vez transcurrido un período de 12-24 horas después del acondicionamiento del acumulador solar se reiniciara la circulación del agua en el acumulador para alcanzar una temperatura uniforme. La temperatura se supondrá uniforme a la salida del acumulador cuando variara en menos de 1 K, durante un período de 15 minutos: La temperatura media durante este período de 15 minutos se tomará como la temperatura final del acumulador.

Resultados del test

Se registrarán con el sistema de adquisición los datos de caudal, irradiancia, temperatura ambiente, temperatura entrada, temperatura de salida y velocidad de viento. Los resultados del test de pérdidas nocturnas se registrarán en el Anexo técnico Pérdidas de Calor por el Acumulador.

3.3.2.9.4 Ensayo de sistema con extracción al mediodía (opcional a petición del cliente)

En algunos países puede tener un gran consumo de agua caliente al mediodía. Para determinar la capacidad de un sistema para entregar un volumen de agua con temperatura alta al mediodía, se realizará un día de ensayo suplementario donde se extraerá una carga de la mitad del volumen del acumulador al mediodía, y otra carga de una vez y medido el volumen del acumulador al final del día.

Método de ensayo

El sistema deberá ser previamente pre-acondicionado como en el ensayo de rendimiento. El día de ensayo tendrá una irradiación total H , de más de 20 MJ/m^2 , con una radiación mayor de 10 MJ/m^2 en el periodo de 6 horas antes del mediodía solar y con una radiación mayor de 10 MJ/m^2 en el periodo de 6 horas después del mediodía solar. La temperatura del agua fría t_{main} utilizada para el pre-acondicionamiento del acumulador será $(t_{\text{a(day)}} - 5 \text{ K})$.

El pre-acondicionamiento del sistema tendrá fin 6 horas antes del mediodía solar y el sistema podrá operar durante 12 horas. Las mediciones se realizarán durante este período, tal como se describe en el ensayo de rendimiento diario. Al mediodía solar, se extraerá un volumen de agua igual a la mitad del volumen del acumulador a un caudal constante de 600 l/h. El agua de entrada estará a la temperatura t_{main} obtenida durante el pre-acondicionamiento del sistema.

La temperatura del agua de extracción al mediodía solar y a las 6 horas después del mediodía solar se medirá como se especifica en el ensayo de grado mezcla en el acumulador. Los perfiles de temperatura del agua de extracción se representaran para las dos extracciones.

3.3.2.9.5 Análisis y presentación de los resultados

Los resultados obtenidos en los diferentes test no serán utilizados para hacer declaraciones sobre el rendimiento de este sistema. Se trata de una fase intermedia en el método de ensayo y se utilizarán tan sólo como entradas a los procedimientos de cálculo de predicción.

Los resultados de ensayo dan lugar a una producción de energía diaria del sistema para diversos valores de H y $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$.

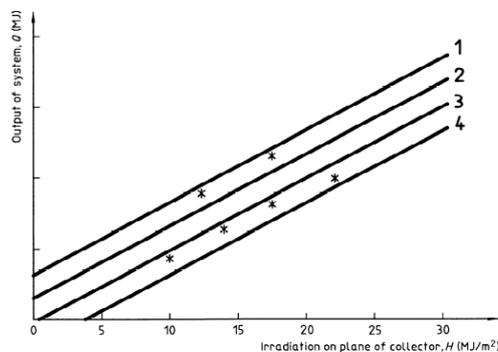
El rendimiento de un sistema de calentamiento del agua sanitaria solo solar se representará por la Ecuación 2:

$$\text{Ecuación 2} \quad Q = a_1 H + a_2 (t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) + a_3$$

Los coeficientes a_1 , a_2 y a_3 para el sistema serán determinados utilizando el método de ajuste de los **mínimos cuadrados**.

Q se refiere a la energía solar neta adquirida por el acumulador durante el día. Q se refiere a la energía en el volumen total de agua caliente extraída de acuerdo con el test de eficiencia diaria.

Se representarán en una gráfica los puntos experimentales y el rendimiento del sistema según la ecuación (2) para $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) = -10 \text{ K}, 0 \text{ K}, 10 \text{ K}, 20 \text{ K}$. Si estos valores de $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$ no cubran este rango de valores de ensayo $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$, entonces se trazan más líneas características.



- 1 $t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}} = 20 \text{ K}$
- 2 $t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}} = 10 \text{ K}$
- 3 $t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}} = 0 \text{ K}$
- 4 $t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}} = -10 \text{ K}$

Figura 12. Figura 4 ISO 9459-2. Energía de salida del sistema Q como una función de la radiación

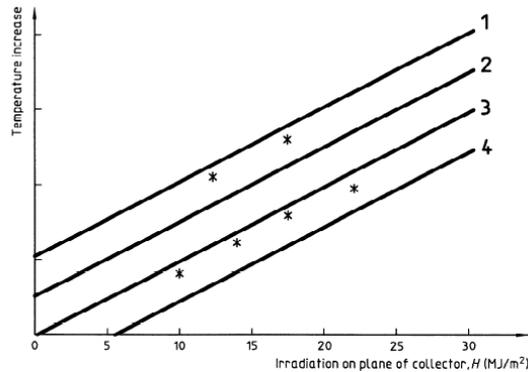
Además, también obtenemos como resultado el incremento de la temperatura $(t_{d(\text{max})} - t_{\text{main}})$ del agua para distintos valores de H y $(t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}})$ según la ecuación Ecuación 3:

$$\text{Ecuación 3} \quad t_{d(\text{max})} - t_{\text{main}} = b_1 H + b_2 (t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) + b_3$$

Los coeficientes b_1 , b_2 y b_3 para el sistema serán determinados a partir de los resultados ensayo utilizando el método de ajuste de los mínimos cuadrados.

$t_{d(max)}$ se refiere a la temperatura máxima del agua estando extraída.

Se representarán en una gráfica los puntos experimentales y el incremento de temperatura según la ecuación (3) para $(t_{a(day)} - t_{main}) = -10\text{ K}, 0\text{ K}, 10\text{ K}, 20\text{ K}$. Si estos valores de $(t_{a(day)} - t_{main})$ no cubran este rango de valores de ensayo $(t_{a(day)} - t_{main})$, entonces se trazan más líneas características.



- 1 $t_{a(day)} - t_{main} = 20\text{ K}$
- 2 $t_{a(day)} - t_{main} = 10\text{ K}$
- 3 $t_{a(day)} - t_{main} = 0\text{ K}$
- 4 $t_{a(day)} - t_{main} = -10\text{ K}$

Figura 13. Figura 5 ISO 9459-2. Incremento de la temperatura ($t_{d(max)} - t_{main}$) como una función de la radiación

Identificación de parámetros

La Regresión Múltiple Lineal es un método matricial muy rápido no iterativo que permite una selección completamente libre de datos de la base de datos del ensayo antes de aplicar la identificación de parámetros MLR Lineal implica que el modelo tiene que ser escrito como una suma de términos con los parámetros conocidos como multiplicadores enfrente de los términos.

Por ejemplo:

$$Y_{out} = p_0 + p_1 \cdot f(x_1, x_2) + p_2 \cdot g(x_1, x_3, x_4) +$$

Donde los sub-modelos $f(x.....)$ y $g(x.....)$ en cada término pueden ser fuertemente no lineales.

Para la aplicación del MLR, el rendimiento de un sistema de calentamiento del agua sanitaria solo solar se escribirá como:

$$Q = a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_2 + a_3 \cdot F_3$$

Donde:

- $F_1(H) = H$
- $F_2(t_{a(day)}, t_{main}) = (t_{a(day)} - t_{main})$
- $F_3(\) = 1$

De la misma manera el incremento de la temperatura del agua se escribirá como:

$$t_{d(max)} - t_{main} = b_1 H + b_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + b_3$$

Donde:

- $F_1(H) = H$
- $F_2(t_{a(day)}, t_{main}) = (t_{a(day)} - t_{main})$
- $F_3() = 1$

Se realizará un ajuste estadístico de las curvas del rendimiento del sistema y del incremento de la temperatura del agua usando la Regresión Múltiple Lineal para obtener los parámetros a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 y b_3 y con ellos las curvas de eficiencia instantánea.

El MLR permite una selección libre de datos de la base de datos del ensayo, de acuerdo a las especificaciones del test, antes de aplicar la identificación de parámetros MLR.

Los resultados se registrarán en el Anexo técnico Rendimiento Térmico.

3.3.2.9.5.1 Perfiles de la temperatura de extracción

Perfiles de temperatura de extracción medida

Para todos los sistemas, los perfiles de extracción de agua caliente se presentarán para las condiciones (1) y (2) de días de ensayo como se muestra en la tabla siguiente:

Perfiles de temperatura del agua caliente de extracción			
Periodo	Irradiación solar [MJ/m ²]	Volumen de agua caliente extraída	Hora
Día de ensayo (1)	8-16	3,0 V _S	Mediodía solar + 6 h
Día de ensayo (2)	16-25	3,0 V _S	Mediodía solar + 6 h
Día de ensayo (3)	16-25	0,5 V _S	Mediodía solar
Día de ensayo (3)	16-25	1,5 V _S	Mediodía solar + 6 h

Los perfiles de extracción para las condiciones de día (3) también se podrán presentar, si se efectúa una extracción al mediodía.

Perfiles de temperatura de extracción normalizados f(V)

Mediante el uso de valores medidos, la energía Q_i contenida en cualquier décima parte del volumen del acumulador ΔV_i extraído se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 4} \quad Q_i = \Delta V_i \rho_w c_{pw} [t_{di}(V_i) - t_{main}]$$

Donde t_{di}(V_i) es la temperatura media del volumen de agua extraída por cada ΔV_i. La energía Q_i se calculará para cada ΔV_i (décima parte del volumen del acumulador) para la cual la temperatura esta adquirida hasta un volumen extraído de 3 V_S o hasta el volumen para cual (t_d - t_{main}) ≤ 1 K. La energía total en el agua caliente extraída del acumulador es la suma de todos los Q_i, es decir:

$$\text{Ecuación 5} \quad Q = \sum_{i=1}^n Q_i$$

El valor F_i del perfil de temperatura de extracción normalizado f(V), que está asociado a cada ΔV_i, se deriva a partir de la relación de la energía extraída en cada pequeño volumen de agua extraída Q_i y la energía total extraída Q, es decir:

$$\text{Ecuación 6} \quad F = \frac{Q_i}{Q}$$

El perfil de temperatura de extracción normalizado f(V) se derivará para los días de ensayo (1), (2) y (3) (si aplica). Estas gráficas serán representadas en el Anexo 5.

Perfil de temperatura de la mezcla de extracción $g(V)$

Los cálculos utilizados para determinar el perfil normalizado de $f(V)$ se utilizan para calcular el perfil de extracción normalizado $g(V)$. La única diferencia es que ahora nos basamos en los datos obtenidos en el ensayo de grado de mezcla.

El perfil normalizado de la temperatura de la mezcla de extracción se presentará en el Anexo técnico Grado de Mezcla en el Acumulador, junto con la temperatura del agua fría entrando en el acumulador.

3.3.2.9.5.2 Predicción del rendimiento a largo plazo

Los resultados del ensayo dan lugar a la caracterización del rendimiento del sistema independientemente de las condiciones climáticas en las que se obtuvieron. Las características del sistema se utilizan para determinar la energía solar mensual y anual de acuerdo a unas determinadas condiciones climáticas y de demanda.

El método de predicción definido es capaz de predecir la producción a la salida del sistema en función de los siguientes parámetros:

- Irradiación solar
- Temperatura del aire ambiente
- Temperatura del agua fría de red
- Volumen de carga
- Temperatura de la demanda de agua caliente

El objetivo del método es predecir a largo plazo el rendimiento del sistema con una precisión en torno a un $\pm 5\%$.

Método de cálculo día a día

El rendimiento del sistema se calcula para cada día del año sobre la base de datos climáticos del día y del volumen de agua caliente diariamente consumida, teniendo en cuenta la energía en el acumulador de días anteriores. La energía puede ser conservada de un día al otro, en caso de que solo un pequeño volumen de agua se haya extraído durante el día, o porque ocurrió una mezcla en el acumulador durante la extracción. Una parte de esta energía se perderá durante la noche como consecuencia de las pérdidas de calor del acumulador, pero aún es probable que al inicio del día siguiente el sistema de acumulación tenga una temperatura inicial superior a la temperatura del agua fría de red.

La única suposición en el procedimiento de cálculo diario es que si el agua en el acumulador se encuentra a una temperatura superior a la temperatura del agua fría al comienzo del día (debido a la conservación de energía del día anterior), entonces esta energía se mezcla al volumen del acumulador al inicio del nuevo día, de modo que el acumulador esté siempre a una temperatura uniforme al inicio de cada día.

El procedimiento de cálculo utiliza los datos obtenidos de los ensayos de rendimiento del sistema. Por lo tanto, las predicciones se aplican sólo para una sola extracción a las 6 horas después del mediodía solar. El rendimiento del sistema a largo plazo se calcula sumando el rendimiento del sistema para cada día sobre el período total de días considerados.

La producción del sistema para cualquier período determinado es la suma de las salidas diarias de energía:

$$\text{Ecuación 7} \quad Q = Q_{c(1)} + Q_{c(2)} + \dots + Q_{c(n)}$$

Son necesarios los siguientes **datos de ensayo**:

- a) Las características de producción total de energía del sistema determinadas a partir de los ensayos como una función de la irradiación diaria y de la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura del agua fría:

$$\text{Ecuación 8} \quad Q = a_1 H + a_2 (t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) + a_3$$

- b) El perfil de la temperatura de extracción, expresada como una función de volumen $f(V)$ y normalizada de tal manera que el área englobada por la curva de perfil de extracción sea igual a 1:

$$\text{Ecuación 9} \quad \int_0^{\infty} f(V) dV = 1$$

El valor de $f(V)$ es conocido para cada décima parte del volumen del acumulador.

Se debe determinar los perfiles de temperaturas de extracción para diferenciar entre los rangos de irradiación, por ejemplo, de 9 MJ/m^2 a 15 MJ/m^2 y de 16 MJ/m^2 a 25 MJ/m^2 .

- c) El perfil de mezcla de extracción, expresada como una función de volumen $g(V)$ y normalizada de tal manera que el área englobada por la curva de perfil de extracción sea igual a 1:

$$\text{Ecuación 10} \quad \int_0^{\infty} g(V) dV = 1$$

El valor de $g(V)$ es conocido para cada décima parte del volumen del acumulador.

- d) El coeficiente de pérdidas de calor por el acumulador U_s , en W/K.

Son necesarios los siguientes **datos climáticos**:

- a) La radiación solar diaria sobre el plano del captador H , en MJ/m^2 .
b) La temperatura ambiente promedio en el período de 6 horas antes del mediodía solar hasta las 6 horas después del mediodía solar para cada día, $t_{a(\text{day})}$.
c) El promedio de la temperatura ambiente durante la noche por la noche, $t_{a(\text{night})}$.

Se tomará $t_{a(\text{day})} = t_{a(24 \text{ h})} + 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y $t_{a(\text{night})} = t_{a(24 \text{ h})} - 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_{a(\text{day})}$ es la media de la temperatura ambiente medida a la largo del día de ensayo.

Son necesarios los siguientes **datos de uso del sistema**:

- a) El volumen de consumo diario de agua caliente, V_C , o el límite mínimo de temperatura útil para el consumo de agua caliente.
b) La temperatura de entrada de agua fría, t_{main} , para cada día.

Para todos los cálculos se usará $\rho_w c_{pw} = 4180$.

Para Estocolmo, Davos, Wurzburg y Atenas se usa el año de referencia de ensayo. Estos datos están disponibles para todos los laboratorios de ensayo europeos a través de la red de SolarKeymark.

A partir de los datos horarios de radiación global G sobre un plano inclinado a 45° y de la temperatura ambiente se calculan los valores de irradiación solar diaria H (suma de $G \cdot \Delta t$) y la media diaria de la temperatura ambiente. Luego se usan valores de temperatura diurna (t_{day}) igual al valor de la media de temperatura ambiente diaria $+2,5^\circ\text{C}$ y valores de temperatura nocturna (t_{night}) igual al valor de la media diaria $-2,5^\circ\text{C}$.

Cálculo para el día 1

A continuación indicamos los pasos a seguir para realizar los cálculos de predicción del día 1:

Las condiciones para el día 1, son:

- Irradiación = $H(1)$
- Temperatura ambiente diurna promedia = $t_{a(\text{day})}(1)$
- Temperatura del agua fría = $t_{\text{main}}(1)$
- Volumen de extracción $V_C(1)$ o temperatura límite de extracción = $t_h(1)$

El sistema comienza el día a la temperatura de agua fría de red, $t_{\text{main}}(1)$. Se extrae un volumen $V_C(1)$ a las 6 horas después del mediodía solar.

Paso 1: Cálculo de energía 6 h después del mediodía solar

La energía total contenida en el sistema a las 6 horas después del mediodía solar, $Q(1)$, se calcula utilizando la Ecuación 2, con $t_{\text{main}} = t_{\text{main}}(1)$, $t_{a(\text{day})} = t_{a(\text{day})}(1)$ y $H = H(1)$

$$\text{Ecuación 11} \quad Q(1) = a_1 H(1) + a_2 (t_{a(\text{day})}(1) - t_{\text{main}}(1)) + a_3$$

Paso 2: Temperatura del agua caliente extraída

NOTA : Este paso es necesario sólo si la demanda en agua caliente tiene un límite en temperatura. Para una demanda en agua caliente limitada por el volumen, se omite el paso 2 y se continúa con el paso 3.

El perfil de temperatura del agua caliente extraída, en función del volumen, se calcula utilizando la ecuación de la energía instantánea durante la extracción de agua caliente, es decir:

$$\text{Ecuación 12} \quad t_d(V) = t_{\text{main}}(1) + \frac{Q(1)f(V)}{0.1V_S \rho_w c_{pw}}$$

El volumen consumido $V_C(1)$ se calcula determinando el volumen máximo por el cual t_d sigue siendo superior a la $t_h(1)$.

Paso 3: Energía extraída

La energía $Q_C(1)$, que contiene un volumen de extracción $V_C(1)$ (que puede no ser iguales a la energía total contenida en el sistema) se calcula con la función $f(V)$ integrada de $V = 0$ a $V = V'$.

$$\text{Ecuación 13} \quad Q_C(1) = Q(1) \int_0^{V'} f(V) dV$$

Donde V' se determina por dos condiciones:

$$\text{Ecuación 14} \quad Q_C(1) \leq V_C \rho_w c_{pw} (t_{carga} - t_{red}) \quad \text{y} \quad \text{Ecuación 15} \quad V' \leq V_C$$

Paso 4: Energía que se queda en el acumulador

La energía que se queda en el acumulador Q_R se calcula como:

$$\text{Ecuación 16} \quad Q_R(1) = Q(1) - Q_C(1)$$

Paso 5: Energía perdida durante la noche

La energía perdida durante la noche se calcula utilizando el coeficiente de pérdidas de calor del acumulador. De ahí se puede determinar la energía que queda en el acumulador a la mañana siguiente. Se supone que por la mañana el acumulador ha vuelto a ser mezclado completamente y que el agua está a una temperatura uniforme t_S .

Esta temperatura t_S se calcula como:

$$\text{Ecuación 17} \quad t_S(2) = t_{main}(1) + \frac{Q_R(1) - Q_{LOS}}{C_{ACU}}$$

$$\text{Con } C_{ACU} = V_S \rho_w c_{pw} = V_S \frac{4180}{10^6} \text{ en MJ/K}$$

Donde Q_{LOS} es la pérdida en el acumulador por la noche.

Las pérdidas en el acumulador por la noche, Q_{LOS} , se calcula como:

$$\text{Ecuación 18} \quad Q_{LOS} = V_S \rho_w c_{pw} [t_i - t_{a(night)}] \left[1 - \exp\left(-\frac{U_S \Delta t}{V_S \rho_w c_{pw}}\right) \right]$$

Donde t_i es la temperatura media del acumulador al comienzo de la noche y $t_{a(night)}$ es la temperatura ambiente media durante la noche. t_i se calcula a partir del valor de Q_R :

$$\text{Ecuación 19} \quad t_i = \frac{Q_R(1)}{V_S \rho_w c_{pw}} + t_{main}(1)$$

Cálculo para el día 2 y los días siguientes

A continuación indicamos los pasos a seguir para realizar los cálculos de predicción del día 2 y los días sucesivos:

Las condiciones para el día 2, son:

- Irradiación = $H(2)$.
- Temperatura ambiente diurna promedia = $t_{a(\text{day})}(2)$.
- Temperatura del agua fría = $t_{\text{main}}(2)$.
- Volumen de extracción $V_C(2)$ o temperatura límite de extracción = $t_h(2)$.

El sistema comienza el día en la temperatura $t_s(2)$ como se calcula en el paso 5 del día 1. $t_s(2)$ tiene que ser mayor que $t_{\text{main}}(2)$. Se extrae un volumen $V_C(2)$ a las 6 horas después del mediodía solar.

Paso 1: Energía disponible a las 6 horas después del mediodía solar

Una parte de la energía disponible es la que se ha obtenido si el sistema se ha llenado durante la extracción de agua caliente a las 6 horas después del mediodía solar a la temperatura inicial del agua $t_s(2)$.

Esta energía se calcula con la Ecuación 18, con $t_{\text{main}} = t_s(2)$, $t_{a(\text{day})} = t_{a(\text{day})}(2)$ y $H = H(2)$.

$$\text{Ecuación 20} \quad Q(2: \text{part1}) = a_1 H(2) + a_2 (t_{a(\text{day})}(2) - t_s(2)) + a_3$$

La otra parte de la energía disponible se debe al hecho de que el sistema se ha llenado con agua a $t_{\text{main}}(2)$, que es inferior a $t_s(2)$. Esta energía está dada por el producto de la parte de la energía solar del acumulador y la diferencia entre $t_s(2)$ y $t_{\text{main}}(2)$.

$$\text{Ecuación 21} \quad Q(2: \text{part2}) = V_s \rho_w c_{pw} (t_s(2) - t_{\text{main}}(2))$$

Como resultado obtenemos la energía total disponible según la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación 22} \quad Q(2) = Q(2: \text{part1}) + Q(2: \text{part2})$$

Paso 2: Volumen de extracción para alcanzar el límite de temperatura mínima

NOTA: Este paso es necesario sólo si la demanda en agua caliente tiene un límite en temperatura. Para una demanda en agua caliente limitada por el volumen, se omite el paso 2 y se continúa con el paso 3.

El perfil de temperatura del agua caliente en función del volumen se calcula utilizando la Ecuación 23. Calculando el perfil de temperatura, es necesario considerar las dos contribuciones de energía $Q(2:\text{part 1})$ y $Q(2:\text{part 2})$.

$$\text{Ecuación 23} \quad t_d(V) = t_{\text{main}}(2) + \frac{Q(2: \text{part1})f(V)}{0.1V_s \rho_w c_{pw}} + \frac{Q(2: \text{part2})g(V)}{0.1V_s \rho_w c_{pw}}$$

El volumen consumido $V_C(2)$ se calcula determinando el volumen máximo a la temperatura t_d , como se ha calculado en la Ecuación 23, que sigue mayor que $t_h(2)$.

Paso 3: Energía extraída

Una parte de la energía obtenida en el volumen de extracción $V_C(2)$ es $Q(2:part 1)$, la energía que se entregó si el sistema se ha llenado con agua a la temperatura inicial $t_S(2)$. Basándonos en la energía que se ha determinado en el paso 1, se utiliza la función $f(V)$, integrada de $V = 0$ a $V = V_C(2)$.

$$\text{Ecuación 24 } Q_C(2: part1) = Q(2: part1) \int_0^{V'} f(V) dV$$

La proporción de la energía que esta extraída del volumen consumido $V_C(2)$ se calcula usando el perfil de mezcla, $g(V)$:

$$\text{Ecuación 25 } Q_C(2: part2) = Q(2: part2) \int_0^{V'} g(V) dV$$

El valor de V' se determina cuando se calcula la energía total extraída de acuerdo a:

$$\text{Ecuación 26 } Q_C(2) = Q_C(2: part1) + Q_C(2: part2) \leq V_C \rho_w c_{pw} (t_{carga} - t_{red})$$

Y Ecuación 27 $V' \leq V_C$

Paso 4: Energía que se queda en el acumulador

El total de la energía que se queda en el acumulador al final del día 2 se calcula como:

$$\text{Ecuación 28 } Q_R(2) = Q(2) - Q_C(2)$$

Paso 5: Energía perdida durante la noche

La energía perdida durante la noche se puede calcular utilizando el coeficiente de pérdidas de calor en el acumulador. De ahí se puede determinar la energía que queda en el acumulador a la mañana siguiente. Se supone que por la mañana el acumulador ha vuelto a ser mezclado completamente y que el agua está a una temperatura uniforme t_S .

Esta temperatura t_S se calcula como:

$$\text{Ecuación 29 } t_S(3) = t_{main}(2) + \frac{Q_R(2) - Q_{LOS}}{C_{ACU}}$$

Donde Q_{LOS} son las pérdidas en el acumulador por la noche.

Las pérdidas en el acumulador por la noche, Q_{LOS} , se calcula como:

$$\text{Ecuación 30 } Q_{LOS} = V_S \rho_w c_{pw} [t_i - t_{a(night)}] \left[1 - \exp\left(-\frac{U_S \Delta t}{V_S \rho_w c_{pw}}\right) \right]$$

Donde t_i es la temperatura media del acumulador al comienzo de la noche y $t_{a(night)}$ es la temperatura ambiente media durante la noche. t_i se calcula a partir del valor de Q_R calculado en la Ecuación 28:

$$\text{Ecuación 31 } t_i = \frac{Q_R(2)}{V_S \rho_w c_{pw}} + t_{main}(2)$$

Paso 6: Días siguientes

El procedimiento empieza de nuevo para los días siguientes del 3 al 365, repitiendo los pasos realizados en el día 2.

3.3.2.9.5.3 Predicción anual de rendimiento (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.8.3)

Para condiciones fijas se obtiene los siguientes indicadores de rendimiento a partir del ensayo de rendimiento:

Para sistemas únicamente solares y sistemas de precalentamiento

- El calor producido por el sistema solar de calentamiento Q_L
- La fracción solar f_{sol}
- La energía parasita Q_{par} si existe.

3.3.2.9.5.4 Calculo de la fracción solar (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.8.3.3)

Se realiza el balance energético del sistema sobre una base anual. Esto incluye las siguientes cantidades de energía:

- Q_d demanda de calor
- Q_L calor suministrado por el sistema solar de calentamiento (carga)
- Q_{par} energía parasita (electricidad) por bomba y controles

La energía parasita anual Q_{par} es el consumo de electricidad anual realizado por bombas, sistemas de control y válvulas eléctricas del sistema asumiendo un tiempo de operación de la bomba de captadores de 2000 h. Se utilizará la especificación del fabricante para el consumo del sistema solar Q_{par} .

La fracción solar f_{sol} es la energía suministrada por la parte solar del sistema dividida por la carga total del sistema $f_{sol} = Q_L / Q_d$

3.3.2.9.5.5 Condiciones de referencia para la presentación del rendimiento

Condición de referencia	Valor	Comentarios
Sistema		
Orientación de captador	Sur	
Ángulo de inclinación del captador	45°	Para el ensayo, $(45 \pm 5)^\circ$ si no está fijado para el sistema o especificado por el fabricante
Longitud total del circuito de captadores	20m (10 m + 10 m)	Si las tuberías no son suministradas con el sistema o especificadas por el fabricante
Localización de las tuberías del circuito de captadores	Interior, para sistemas con acumulación situada al interior Exterior, para sistemas con la acumulación situada al exterior	Tan lejos como sea posible del banco de ensayos
Temperatura ambiente de la acumulación	15°C	Para los sistemas en los que la acumulación este situada al exterior, deben usarse los datos climáticos
Para sistemas con calentamiento auxiliar indirecto (hidráulico)	(100 ± 30) W por litro de acumulación por encima de la entrada más baja del intercambiador de calor	Si el calentador auxiliar no se suministra con el sistema y no existe ninguna restricción en la documentación
Potencia aplicable en el intercambiador de calor auxiliar		El calentador auxiliar debe ser modelado como una fuente de calor ideal sin capacidad térmica y con potencia constante
Caudal a través del intercambiador de calor auxiliar	El caudal del intercambiador de calor debe ser seleccionado de forma que la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida del intercambiador de calor auxiliar de (10 ± 2) K bajo condiciones de régimen estacionario, a menos que sea especificado de otra forma por el fabricante	
Para sistemas con energía auxiliar eléctrica: Potencia del elemento eléctrico	Si un elemento eléctrico se suministra normalmente con el sistema o es especificado por el fabricante, se debe usar este elemento. De otra forma (25 ± 8) W por litro de acumulación por encima del elemento eléctrico	
Temperatura de calentamiento auxiliar integrado	52,5 °C (temperatura mínima de histéresis)	O una temperatura mayor, si así lo recomienda el fabricante
Clima		
Localidades de referencia	Stockholm, Würzburg, Davos, Athens	En el informe, se puede dar también otra localidad diferente a elegir.
Datos climáticos	Para Stockholm: año de referencia de ensayo CEC; para Davos, Würzburg y Athens: año de referencia de ensayo	
Carga calorífica		
Perfil de carga diaria	Para todos los sistemas: 100% 6h después del mediodía solar Para el ensayo, las cargas diarias deben ser las especificadas en el procedimiento de ensayo	
Temperatura deseada (válvula mezcladora) t_{carga}	45°C	Si las cargas diarias o anuales restan calculadas en términos de energía, esta energía debe ser calculada usando la temperatura de suministro de agua fría y la temperatura deseada
Volumen de carga diaria V_C	Los volúmenes de carga diarios deberán seleccionarse entre una de las siguientes serie: 50 l/d, 80 l/d, 110 l/d, 140 l/d, 170 l/d, 200 l/d, 250 l/d, 300 l/d, 400 l/d, 600 l/d. Si se requieren cargas mayores, se pueden extender estas series repetidamente multiplicando por $\sqrt{2}$ y	

redondeando al múltiplo de 10 más cercano.

El fabricante debe proporcionar una carga de diseño para el sistema. Se debe usar el valor más cercano de las series superiores, así como el menor y mayor más próximo. Se recomienda usar todos los valores de la serie menores y mayores, aquellos que caigan en el rango de 0.5 veces y 1.5 veces la carga de diseño.

Para el ensayo, se deben usar los volúmenes de carga especificados en los procedimientos de ensayo.

Caudal de extracción	10 l/min	Si el caudal de diseño máximo de extracción es menor que 10 l/min, se debe de usar el caudal de diseño máximo de extracción
----------------------	----------	---

Diámetro y espesor de tuberías

Si la tubería y el aislante del circuito del colector son suministrados con el sistema, o si el diámetro y el espesor del aislante a usar por el captador están especificados claramente en el manual de instalación para el sistema, deben utilizarse los materiales suministrados o los valores especificados.

Para sistemas de circulación forzada, cuando la tubería y el aislante no son suministrados con el sistema o no están claramente especificados, deben usarse el diámetro y espesor de tubería y el espesor del aislante dados en la siguiente tabla:

Diámetro de tubería y espesor de aislamiento para sistemas por circulación forzada

Caudal en el circuito de colectores [l/h]	Diámetro exterior de tubería [mm]	Espesor de tubería [mm]	Espesor de la capa de aislamiento [mm]
< 90	10 ± 1	1	20 ± 2
≥ 90 y ≤ 140	12 ± 1	1	20 ± 2
≥ 140 y ≤ 235	15 ± 1	1	20 ± 2
≥ 235 y ≤ 405	18 ± 1	1	20 ± 2
≥ 405 y ≤ 565	22 ± 1	1	20 ± 2
≥ 565 y ≤ 140	28 ± 1	1,5	30 ± 2
≥ 880 y ≤ 1445	35 ± 1	1,5	30 ± 2
≥ 1445 y ≤ 1500	42 ± 1	1,5	30 ± 2
> 1500	Aquel en el que la velocidad de flujo sea aproximadamente 0,5 m/s	1,5	El mismo que el diámetro de tubería interior

Basada en una conductividad térmica de 0,04 W/mK ± 0,01 para una temperatura de 10°C.

Para sistemas por termosifón, cuando la tubería y el aislante no son suministrados con el sistema o no están claramente especificados, deben usarse el diámetro y espesor de tubería, y el espesor del aislante dados en la siguiente tabla:

Diámetro de tubería y espesor de aislamiento para sistemas de termosifón

Área de apertura total de captador [m ²]	Diámetro exterior de tubería [mm]	Espesor de tubería [mm]	Espesor de la capa de aislamiento [mm]
≥ 1 y < 2	15 ± 1	1	20 ± 2
≥ 2 y < 6	18 ± 1	1,5	30 ± 2
≥ 6 y < 10	22 ± 1	1,5	39 ± 2

Basada en una conductividad térmica de 0,04 W/mK ± 0,01 para una temperatura de 10°C.

El material para el circuito hidráulico del colector debe ser cobre, a menos que se especifique de otra forma en el manual de instalación.

Calculo de la temperatura de agua fría en localidad de referencia

La temperatura de agua fría debe calcularse de acuerdo con

$$v_{cw} = v_{media} + \Delta v_{amplitud} \text{seno} \left(2\pi \frac{([Día] - D_s)}{365} \right)$$

Donde:

v_{cw} es la temperatura del agua fría

v_{media} es la temperatura media anual en el sitio de referencia

$\Delta v_{amplitud}$ es la amplitud promedio de las variaciones estacionales en el sitio de referencia

[Día] es el número del día del año

D_s es el término de ajuste

En la tabla siguiente se dan los valores de la temperatura media anual del agua fría, la amplitud media de las variaciones estacionales de la temperatura de agua fría y el término de ajuste que deben utilizarse en los sitios de referencia.

Datos para el cálculo de la temperatura de agua fría en las localidades de referencia

Localidad de referencia	v_{media} (°C)	$\Delta v_{amplitud}$ (°C)	D_s (d)
Stockholm	8,5	6,4	137
Würzburg	10,0	3,0	137
Davos	5,4	0,8	137
Athens	17,8	7,4	137

Los datos radiométricos y meteorológicos anuales utilizados para el cálculo de la media anual de la energía solar neta adquirida (Q_{medio}), rendimiento medio anual ($\eta_{medio\ anual}$), media anual de temperatura máxima de agua extraída ($t_{d(max)media}$) y Fracción solar media anual, son los que se muestran en la siguiente tabla

Localidad	$H_{media\ 45^\circ}$ (MJ/m ²)	$T_{a\ media\ diaria}$ (°C)	$T_{main\ media}$ (°C)
Sevilla	19,45	20,7	15,58
Atenas	16,95	20,99	17,8
Davos	16,61	6,01	5,4
Wurzburgo	12,13	12,16	10
Estocolmo	10,98	9,19	8,5

Tabla 9. Datos radiométricos y meteorológicos para cada localidad de referencia

Donde:

$H_{media\ 45^\circ}$ es la radiación media anual en orientación sur y con una inclinación de 45°.

$T_{a\ media\ diaria}$ es la temperatura media anual obtenida en periodos solares.

$T_{\text{main media}}$ es la temperatura media anual del agua de la red.

Los datos de $H_{\text{media } 45^\circ}$ y $T_{\text{a media diaria}}$ para la localidad de Sevilla se han sacado del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC). Mientras que los datos de $T_{\text{main media}}$ se han sacado de la Norma UNE-EN 94002=2005.

Para el resto de localidades, los datos los suministra el comité de certificación Solarkeymark.

3.3.2.10 Comprobación de protección contra flujo invertido (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.10).

Se debe realizar una inspección visual para comprobar si existe alguna válvula de retención u otro tipo de protección.

3.3.2.11 Control seguridad eléctrica (UNE-EN 12976-2 Apartado 5.11)

Si el sistema posee algún dispositivo eléctrico, se comprobará en la documentación del fabricante que ha sido ensayado de acuerdo con las normas EN 60335-1 y EN 60335-2-21.

3.3.2.12 Incertidumbres asociadas a los resultados

El presente documento establece los principios requeridos para el cálculo de incertidumbre en los ensayos realizados en el Laboratorio de Captadores Solares. A continuación se detalla de forma general los cálculos de incertidumbre realizados para los diversos ensayos.

Cálculo general de incertidumbres

La incertidumbre de medida asociada a las estimaciones de entrada se evalúa utilizando fuentes de contribución Tipo A o Tipo B. La incertidumbre final resultante de la estimación de fuentes de contribución A o B se calcula de acuerdo a la ley de combinación de incertidumbres (Dietrich, 1991):

$$u = \sqrt{\sum u_k^2}$$

- Contribuciones Tipo A:

La evaluación tipo A de la incertidumbre típica es el método de evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones. En este caso, la incertidumbre típica es la desviación típica experimental de la medida que se deriva de un procedimiento promediado o de un análisis de regresión. La evaluación tipo A se utiliza cuando se han realizado n observaciones independientes de una de las magnitudes de entrada bajo las mismas condiciones de medida. Si este proceso de medida tiene suficiente resolución, se podrá observar una dispersión o fluctuación de los valores obtenidos.

Para cada punto de ensayo la estimación sobre un conjunto de N medidas tomadas es la media aritmética \bar{x} . El valor estimado de la varianza de la distribución de probabilidad es la varianza experimental, que viene dada por:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Su raíz cuadrada se denomina desviación típica experimental. La estimación de la varianza de la media aritmética \bar{x} es la varianza experimental de la media aritmética, que viene dada por:

$$\sigma^2(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{N}$$

Su raíz cuadrada positiva se denomina desviación típica experimental de la media aritmética:

$$\sigma(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

- Contribuciones Tipo B:

La evaluación Tipo B de la incertidumbre típica es el método de evaluar la incertidumbre mediante un procedimiento distinto al método estadístico de una serie N de observaciones. En este caso la incertidumbre se basa en conocimientos científicos como:

- datos obtenidos de mediciones anteriores
- experiencia o conocimientos generales sobre el comportamiento
- especificaciones del fabricante
- datos obtenidos de calibraciones y certificados

Hay que distinguir varios casos:

- . Cuando solo se conoce un valor único de la magnitud x_i , por ejemplo el valor de una única medición, un valor de referencia...este valor debe utilizarse como x_i .
- . A veces cuando solo pueden definirse unos límites superior e inferior a_+ y a_- por ejemplo intervalo de temperaturas, resolución de equipos, especificaciones de fabricante...puede suponerse una distribución de probabilidad constante o rectangular entre dichos límites para la variabilidad de la magnitud de entrada x_i . Para estos casos la incertidumbre estimada se ajusta a la siguiente expresión:

$$u_x = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad \text{donde} \quad a: \frac{1}{2} \text{ del intervalo.}$$

- Si se sabe que los valores de la magnitud en cuestión son próximos al centro del intervalo de variabilidad y más probables que los valores de los extremos, un modelo más adecuado de distribución sería la normal o triangular.

- Incertidumbre combinada

Cuando las magnitudes de entrada no están correlacionadas, si queremos obtener la incertidumbre asociada a una salida 'y' que es función de un conjunto de magnitudes que se miden directa e independientemente, entonces el cuadrado de la incertidumbre típica asociada a la estimación de salida 'y' viene dado por la *ley de propagación de errores Fuller1987*:

$$u^2(y) = \sum c_i^2 \cdot u(x_i)^2$$

Donde la contribución a la incertidumbre total 'y' asociada a la estimación de entrada x_i , viene ponderada por el coeficiente de sensibilidad c_i , que es la derivada parcial de la función modelo y con respecto a x_i .

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

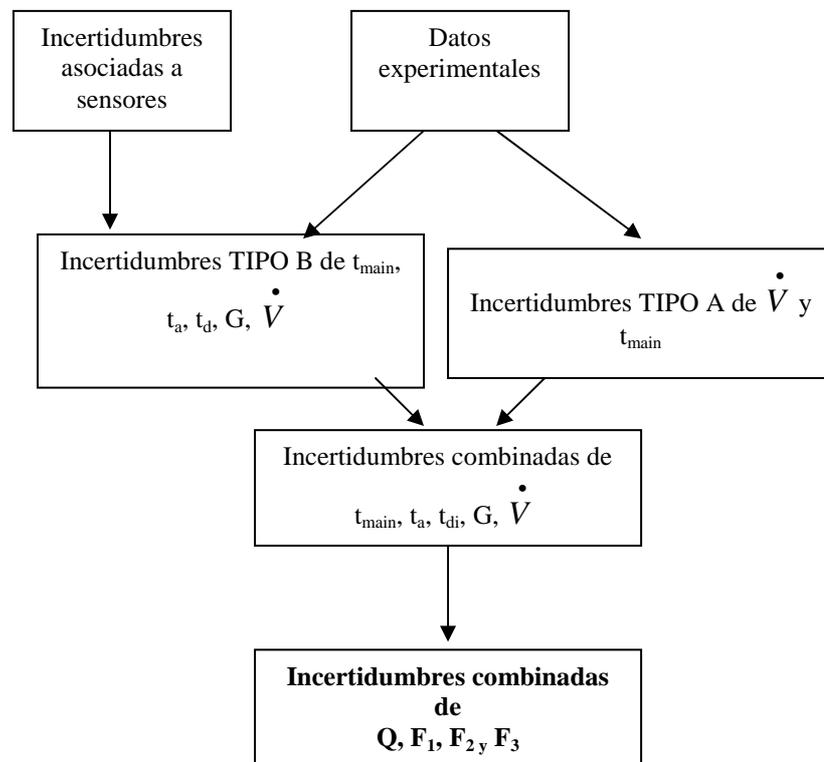
El valor resultante de la ecuación del calculo de incertidumbre lo multiplicaremos por $K=2$ correspondiente a un nivel de confianza del 95%.

Calculo de Incertidumbres.

El objetivo de este apartado es la determinación indirecta de la curva de rendimiento instantáneo del captador solar así como la incertidumbre asociada a los parámetros resultantes del ajuste, a partir de medidas directas de irradiancia global, irradiancia directa, caudal volumétrico, temperaturas del agua en entrada y temperaturas del agua de extraccion del sistema solar, temperatura ambiente,.

En este caso se calcula las incertidumbres combinadas

El siguiente diagrama de flujo representa las contribuciones de incertidumbre que se deben tener en cuenta:



En primer lugar se calculan las incertidumbres Tipo A debido a la toma de medidas repetidas en cada uno de los puntos de ensayo. Estas incertidumbres se calculan por

análisis estadístico. Para cada uno de los puntos de operación del captador su incertidumbre Tipo A viene dada por la “desviación estándar de la media” (Fuller, 1987):

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)} \right]^{0.5}$$

En segundo lugar se calculan las incertidumbres de Tipo B, teniendo en cuenta las incertidumbres a lo largo de todo el proceso de medida (incertidumbres de los sensores, del sistema de adquisición de datos, etc.).

En nuestro caso particular queremos hallar la ecuación de la curva que mejor se ajusta a una nube de puntos procedentes de la siguiente relación entre el eje de abcisas y el eje de coordenadas:

A continuación se indica, para cada término de la ecuación, el cálculo de incertidumbres combinadas:

Primera regresión:

$$Q = a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_2 + a_3 \cdot F_3$$

- $F_1(H) = H$
- $F_2(t_{a(day)}, t_{main}) = (t_{a(day)} - t_{main})$
- $F_3(\) = 1$

- Incertidumbre del coeficiente Q

Partiendo de la ecuación que define la eficiencia instantánea del captador:

$$Q = a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_2 + a_3 \cdot F_3$$

$$Q = a_1 H + a_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + a_3$$

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n \left[\Delta t \dot{V}_i \sum_{k=0}^4 a_{k\rho_w} t_{d_i}^k \sum_{k=0}^5 a_{kc_{pw}} t_{d_i}^k [t_{d_i}(V_i) - t_{main}] \right]$$

Con $Q_i = \Delta V_i \rho_w c_{pw} [t_{d_i}(V_i) - t_{main}] = \Delta t \dot{V}_i \rho_w (t_{d_i}) c_{pw} (t_{d_i}) [t_{d_i}(V_i) - t_{main}]$

Se contemplan las siguientes fuentes de contribución para el cálculo de Q_i :

Temperatura del agua suministrada por la red t_{main} : se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

$$\text{Incertidumbre certificado para } t_{main}: \pm X_1 \text{ en } ^\circ\text{C, para } K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_1}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad C_1 se obtiene derivando la función principal de rendimiento respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_1 = \frac{\partial Q}{\partial t_{main}} = -\Delta t \dot{V}_i \rho_w c_{pw}$$

Temperatura del agua de carga extraída $t_{d_i}(V_i)$: se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

$$\text{Incertidumbre certificado para } t_{d_i}(V_i): \pm X_2, \text{ para } K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_2}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad C_2 se obtiene derivando la función principal de rendimiento respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_2 = \frac{\partial Q}{\partial t_{d_i}(V_i)} = \Delta t \dot{V}_i \rho_w c_{pw} = -C_1$$

Caudal volumétrico \dot{V} : se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

$$\text{Incertidumbre certificado para } \dot{V}_i: \pm X_3 \text{ m}^3/\text{s, para } K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_3}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad C_3 se obtiene derivando la función principal de rendimiento respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_3 = \frac{\partial Q}{\partial \dot{V}_i} = \Delta t \rho_w c_{pw} [t_{d_i}(V_i) - t_{main}]$$

$$X_3 = \frac{u_{\%}(\dot{V})}{100} * \frac{\dot{V}}{60000}$$

4.- Sistema de Adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos donde conectamos nuestros equipos en sus diferentes canales debemos de tenerlo en cuenta a la hora de estimar la incertidumbre total de medida para cada equipo. Por tanto consideramos la incertidumbre de calibración de cada canal de medición de cada equipo. Las unidades de incertidumbre serán mA o Voltios y los equipos conectados son el piranómetro y el caudalímetro magnético.

Incertidumbre de certificado: $\pm X_4$ Canal caudal en A para $K=2$

$$u_y = \frac{X_4}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad será la relación de señal entre las unidades finales y las unidades de medición a través del sistema de adquisición de datos C_{SV} .

$$C_{SV} = \frac{\dot{V}_{\max} - \dot{V}_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \text{ en m}^3/\text{s.A}$$

A continuación reflejamos un cuadro resumen de todas las fuentes de contribución estimadas para variables de Tipo A o B.

Fuente de contribución	Origen	Incertidumbre	Unidad	Distrib.	K	Coficiente Sensibilidad	Incertidumbre final u_y
Tª entrada t_{main}	Certificado Sensor Pt100	$\pm X_1$	°C	Normal	2	C_1	$\frac{X_1}{2} \cdot C_1$
Desv. Típica Tª Entrada	Ensayo	σ_{tmain}	°C	Normal	$\sqrt{N_1}$	C_1	$\frac{\sigma_{tmain}}{\sqrt{N_1}} \cdot C_1$
Tª salida $t_d(V_i)$	Certificado Sensor Pt100	$\pm X_2$	°C	Normal	2	C_2	$\frac{X_2}{2} \cdot C_2$
Caudal \dot{V}	Certificado Caudalímetro	$\pm X_3$	m³/s	Normal	2	C_3	$\frac{X_3}{2} \cdot C_3$
Desv. Típica Caudal \dot{V}	Ensayo	$\frac{\sigma_v}{60000}$	m³/s	Normal	$\sqrt{N_2}$	C_3	$\frac{\sigma_v}{60000\sqrt{N_2}} \cdot C_3$
SAD \dot{V}	Certificado canal	$\pm X_4$	A	Normal	2	$\frac{\dot{V}_{\max} - \dot{V}_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} C$	$\frac{X_4}{2} \cdot \frac{\dot{V}_{\max} - \dot{V}_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} C$

Tabla 10. Fuentes de contribución estimadas para las variables de Tipo A ó B

N_1 numero datos para acondicionamiento y extracción

N_2 numero de datos para extracción

Donde:

- X_i : Incertidumbres de las fuentes de influencia
- C_i : Coeficientes de sensibilidad de las fuentes de influencia

La incertidumbre final resultante del cálculo de la incertidumbre de las fuentes de contribución consideradas se calcula aplicando la expresión de la incertidumbre combinada:

$$u^2(y) = \sum c_i^2 \cdot u(x_i)^2$$

$$u(Q_i) = \sqrt{\left(\frac{X_1}{2} \cdot C_1\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_2}} \cdot C_1\right)^2 + \left(\frac{X_2}{2} \cdot C_2\right)^2 + \left(\frac{X_3}{2} \cdot C_3\right)^2 + \left(\frac{\sigma_v}{60000\sqrt{N_2}} \cdot C_3\right)^2 + \left(\frac{X_4}{2} \cdot \frac{\dot{V}_{max} - \dot{V}_{min}}{I_{max} - I_{min}} \cdot C_3\right)^2}$$

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$u(Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (u(Q_i))^2}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_1}{2} \cdot C_1\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_2}} \cdot C_1\right)^2 + \left(\frac{X_2}{2} \cdot C_2\right)^2 + \left(\frac{X_3}{2} \cdot C_3\right)^2 + \left(\frac{\sigma_v}{60000\sqrt{N_2}} \cdot C_3\right)^2 + \left(\frac{X_4}{2} \cdot \frac{\dot{V}_{max} - \dot{V}_{min}}{I_{max} - I_{min}} \cdot C_3\right)^2 \right]}$$

- Incertidumbre del coeficiente F1

$$H = \sum_{i=1}^n H_i = \sum_{i=1}^n G_i \Delta t_i$$

Partiendo de la ecuación $F_1(H) = H$ se contemplan las siguientes fuentes de contribución:

1. Irradiancia G: se tendrá en cuenta la incertidumbre del piranómetro según el certificado de calibración.

$$\text{Incertidumbre de certificado: } \pm X_5 \text{ en } \frac{W}{m^2} \text{ para } K=2 \rightarrow u_y = \frac{X_{16}}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad C_4 se obtiene derivando la función F_1 respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_4 = \frac{\partial F_1}{\partial G} = \Delta t$$

2. Sistema de Adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos donde conectamos nuestros equipos en sus diferentes canales debemos de tenerlo en cuenta a la hora de estimar la incertidumbre total de medida para cada equipo. Por tanto consideramos la incertidumbre de calibración de cada canal de medición de cada equipo. Las unidades de incertidumbre serán μA y los equipos conectados son el piranómetro.

Incertidumbre de certificado:

$$\pm X_5 \text{ Canal Piranómetro en } \mu V \quad \text{para } K=2$$

$$u_y = \frac{X_5}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad será la relación de señal entre las unidades finales y las unidades de medición a través del sistema de adquisición de datos. C_{SPIR} en $\mu V/W/m^2$

A continuación se refleja un cuadro resumen de todas las fuentes de contribución estimadas:

<i>Fuente de contribución</i>	<i>Origen</i>	<i>Incertid. expandida</i>	<i>Unidad</i>	<i>Distribución</i>	<i>K</i>	<i>Coficiente Sensibilidad</i>	<i>Incertidumbre final u_y</i>
Radiación total G	Certificado piranómetro	$\pm X_5$	W/ m ²	Normal	2	C_4	$\frac{X_5}{2} \cdot C_4$
SAD G	Certificado canal	$\pm X_6$	μV	Normal	2	C_4	$\frac{X_6}{2} \cdot \frac{C_4}{C_{SPIR}}$

Tabla 11. Fuentes de distribución estimadaa

Donde:

- X_i : Incertidumbres de fuentes de influencia.
- C_i : Coeficientes de sensibilidad fuentes de influencia.

La incertidumbre final resultante del cálculo de la incertidumbre de las fuentes de contribución consideradas se calcula aplicando la expresión de la incertidumbre combinada:

$$u^2(y) = \sum c_i^2 \cdot u(x_i)^2$$

$$u(H_i) = \sqrt{\left(\frac{X_5}{2} \cdot C_4\right)^2 + \left(\frac{X_6}{2} \cdot \frac{C_4}{C_{SPIR}}\right)^2}$$

$$u(H) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_5}{2} \cdot C_4\right)^2 + \left(\frac{X_6}{2} \cdot \frac{C_4}{C_{SPIR}}\right)^2 \right]}$$

$$u(H) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_5}{2} \cdot \Delta t\right)^2 + \left(\frac{X_6}{2} \cdot \frac{\Delta t}{C_{SPIR}}\right)^2 \right]}$$

- Incertidumbre del coeficiente F_2

$$F_2 = t_{a(day)} - t_{main}$$

Se contemplan las siguientes fuentes de contribución para el cálculo de F_2 :

1.- Temperatura del agua suministrada por la red t_{main} : se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

Incertidumbre certificado para t_{main} : $\pm X_1$ en °C, para $K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_1}{2}$

El coeficiente de sensibilidad C_5 se obtiene derivando la función principal de rendimiento respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_5 = \frac{\partial F_2}{\partial t_{main}} = -1$$

2.- Temperatura ambiente del día $t_{a(day)}$: se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

Incertidumbre certificado para $t_{a(day)}$: $\pm X_7$ en °C, para $K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_7}{2}$

El coeficiente de sensibilidad C_6 se obtiene derivando la función principal de rendimiento respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_6 = \frac{\partial F_2}{\partial t_{a(day)}} = 1$$

3. Sistema de Adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos donde conectamos nuestros equipos en sus diferentes canales debemos de tenerlo en cuenta a la hora de estimar la incertidumbre total de medida para cada equipo. Por tanto consideramos la incertidumbre de calibración de cada canal de medición de cada equipo. Las unidades de incertidumbre serán Voltios y los equipos conectados son el sensor de temperatura de humedad.

Incertidumbre de certificado: $\pm X_8$ Canal caudal en V para $K=2$

$$u_y = \frac{X_8}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad será la relación de señal entre las unidades finales y las unidades de medición a través del sistema de adquisición de datos C_{ST} .

$$C_{ST} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \text{ en } ^\circ\text{C/V}$$

A continuación reflejamos un cuadro resumen de todas las fuentes de contribución estimadas para variables de Tipo A o B.

<i>Fuente de contribución</i>	<i>Origen</i>	<i>Incertidumbre</i>	<i>Unidad</i>	<i>Distr.</i>	<i>K</i>	<i>Coficiente Sensibilidad</i>	<i>Incertidumbre final uy</i>
Tª entrada tmain	Certificado Sensor Pt100	$\pm X_1$	$^\circ\text{C}$	Normal	2	C_5	$\frac{X_1}{2} \cdot C_5$
Desv. Típica Tª Entrada	Ensayo	σ_{tmain}	$^\circ\text{C}$	Normal	$\sqrt{N_1}$	C_5	$\frac{\sigma_{tmain}}{\sqrt{N_1}} \cdot C_5$
Tª ambiente ta(day)	Certificado Sensor temperatura y humedad	$\pm X_7$	$^\circ\text{C}$	Normal	2	C_6	$\frac{X_7}{2} \cdot C_6$
Sistema de Adq. de Datos ambiente today	Certificado de calibración	$\pm X_8$	V	Normal	2	$\frac{T_{\max} - T_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \cdot C_6$	$\frac{X_8}{2} \frac{T_{\max} - T_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$

Tabla 12. Fuentes de contribución estimadas para las variables de Tipo A ó B

N_1 numero datos para acondicionamiento y extracción

Donde:

- X_i : Incertidumbres de las fuentes de influencia
- C_i : Coeficientes de sensibilidad de las fuentes de influencia

La incertidumbre final resultante del cálculo de la incertidumbre de las fuentes de contribución consideradas se calcula aplicando la expresión de la incertidumbre combinada:

$$u^2(y) = \sum c_i^2 \cdot u(x_i)^2$$

$$u(F_2) = \sqrt{\left(\frac{X_1}{2} \cdot C_5\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_1}} \cdot C_5\right)^2 + \left(\frac{X_7}{2} \cdot C_6\right)^2 + \left(\frac{X_8}{2} \cdot \frac{T_{max} - T_{min}}{V_{max} - V_{min}} \cdot C_6\right)^2}$$

$$u(F_2) = \sqrt{\left(-\frac{X_1}{2}\right)^2 + \left(-\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_1}}\right)^2 + \left(\frac{X_7}{2}\right)^2 + \left(\frac{X_8}{2} \cdot \frac{T_{max} - T_{min}}{V_{max} - V_{min}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{X_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_1}}\right)^2 + \left(\frac{X_7}{2}\right)^2 + \left(\frac{X_8}{2} \cdot \frac{T_{max} - T_{min}}{V_{max} - V_{min}}\right)^2}$$

- Incertidumbre del coeficiente F₃

F₃=1 no se contempla incertidumbre

Cálculo de los parámetros F₁, F₂ y F₃, y sus incertidumbres u(F₁), u(F₂) y u(F₃):

En primer lugar calculamos la varianza:

$$u_i^2 = u(Q)^2 + a_1^2 \cdot u(F_1)^2 + a_2^2 \cdot u(F_2)^2 + a_3^2 \cdot u(F_3)^2 = u(Q)^2 + a_1^2 \cdot u(F_1)^2 + a_2^2 \cdot u(F_2)^2$$

En este caso se tienen N observaciones en N puntos en función de varios parámetros.

Por tanto, aplicando la ecuación matricial $K \cdot C = L$

$$\begin{bmatrix} \frac{F_{1(1)}}{u_1} & \frac{F_{2(1)}}{u_1} & \frac{F_{3(1)}}{u_1} \\ \frac{F_{1(2)}}{u_2} & \frac{F_{2(2)}}{u_2} & \frac{F_{3(2)}}{u_2} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{F_{1(6)}}{u_6} & \frac{F_{2(6)}}{u_6} & \frac{F_{3(6)}}{u_6} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Q_1}{u_1} \\ \vdots \\ \frac{Q_6}{u_6} \end{bmatrix}$$

Donde:

- u₁...u₆: incertidumbres combinadas resultantes de la combinación de la ecuación (a) y los coeficientes a₁, a₂ y a₃ procedentes del primer ajuste realizado por el MLR.
- F₁₍₆₎, ..., F₃₍₆₎: valor de las observaciones realizadas para cada uno de los N registros

- a_1, a_2, a_3 : incógnitas a despejar
- Q_1, \dots, Q_6 : eficiencia instantánea de cada uno de los 6 registros obtenidos

Desarrollando la ecuación anterior matricialmente, se resuelven las incógnitas que queremos conocer:

$$\begin{aligned} K \cdot C &= L \Leftrightarrow \\ (K^T \cdot K) \cdot C &= K^T \cdot L \Leftrightarrow \\ (K^T \cdot K)^{-1} \cdot (K^T \cdot K) \cdot C &= (K^T \cdot K)^{-1} \cdot K^T \cdot L \Leftrightarrow \\ C &= (K^T \cdot K)^{-1} \cdot K^T \cdot L \end{aligned}$$

Donde la diagonal de la matriz $[K^T \cdot K]^{-1}$ son las varianzas de a_1, a_2 y a_3 , es decir, la raíz cuadrada de cada término de la diagonal es la incertidumbre de los coeficientes de la ecuación de la curva de rendimiento del captador, y la matriz C son los parámetros a_1, a_2 y a_3 compensados según sus incertidumbres.

Segunda regresión:

$$t_{d(\max)} - t_{main} = b_1 H + b_2 (t_{a(\text{day})} - t_{main}) + b_3$$

Donde:

- $F_1(H) = H$
- $F_2(t_{a(\text{day})}, t_{main}) = (t_{a(\text{day})} - t_{main})$
- $F_3(\) = 1$

- Incertidumbre del coeficiente:

$$\frac{t_{d(\max)} - t_{main}}$$

Se contemplan las siguientes fuentes de contribución de $t_{d(\max)} - t_{main}$:

1.- Temperatura del agua suministrada por la red t_{main} : se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

Incertidumbre certificado para t_{main} : $\pm X_1$, para $K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_1}{2}$

El coeficiente de sensibilidad C_7 se obtiene derivando la función principal de rendimiento respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_7 = \frac{\partial(t_{d(max)} - t_{main})}{\partial t_{main}} = -1$$

2.- Temperatura del agua de carga extraída $t_{d(max)}$: se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

Incertidumbre certificado para $t_{d(max)}$: $\pm X_2$, para $K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_2}{2}$

El coeficiente de sensibilidad C_8 se obtiene derivando la función principal de rendimiento respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_8 = \frac{\partial(t_{d(max)} - t_{main})}{\partial t_{d(max)}} = 1$$

A continuación reflejamos un cuadro resumen de todas las fuentes de contribución estimadas para variables de Tipo A o B.

<i>Fuente de contribución</i>	<i>Origen</i>	<i>Incertidumbre</i>	<i>Unidad</i>	<i>Distri-</i>	<i>K</i>	<i>Coficiente Sensibilidad</i>	<i>Incertidumbre final uy</i>
Tª entrada tmain	Certificado Sensor Pt100	$\pm X_1$	° C	Normal	2	C_7	$\frac{X_1}{2} \cdot C_7$
Desv. Típica Tª Entrada	Ensayo	σ_{tmain}	° C	Normal	$\sqrt{N_1}$	C_7	$\frac{\sigma_{tmain}}{\sqrt{N_1}} \cdot C_7$
Tª salida tsal	Certificado Sensor Pt100	$\pm X_2$	° C	Normal	2	C_8	$\frac{X_2}{2} \cdot C_8$

N_1 numero datos para acondicionamiento y extracción

Donde:

- X_i : Incertidumbres de las fuentes de influencia
- C_i : Coeficientes de sensibilidad de las fuentes de influencia

La incertidumbre final resultante del cálculo de la incertidumbre de las fuentes de contribución consideradas se calcula aplicando la expresión de la incertidumbre combinada:

$$u^2(y) = \sum c_i^2 \cdot u(x_i)^2$$

$$u(t_{d(\max)} - t_{main}) = \sqrt{\left(\frac{X_1}{2} \cdot C_7\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_1}} \cdot C_7\right)^2 + \left(\frac{X_2}{2} \cdot C_8\right)^2}$$

$$u(t_{d(\max)} - t_{main}) = \sqrt{\left(-\frac{X_1}{2}\right)^2 + \left(-\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_1}}\right)^2 + \left(\frac{X_2}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{X_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{main}}{\sqrt{N_1}}\right)^2 + \left(\frac{X_2}{2}\right)^2}$$

- Incertidumbre del coeficiente F₁

Se utiliza el mismo valor de incertidumbre que para la primera regresión.

- Incertidumbre del coeficiente F₂

Se utiliza el mismo valor de incertidumbre que para la primera regresión.

- Incertidumbre del coeficiente F₃

F₃=1 no se contempla cálculo de incertidumbre

Cálculo de los parámetros F₁, F₂ y F₃, y sus incertidumbres u(F₁), u(F₂) y u(F₃):

En primer lugar calculamos la varianza:

$$\begin{aligned} u_i^2 &= u(t_{d(\max)} - t_{main})^2 + b_1^2 \cdot u(F_1)^2 + b_2^2 \cdot u(F_2)^2 + b_3^2 \cdot u(F_3)^2 \\ &= u(t_{d(\max)} - t_{main})^2 + b_1^2 \cdot u(H)^2 + b_2^2 \cdot u(t_{a(day)} - t_{main})^2 \end{aligned}$$

En este caso se tienen N observaciones en N puntos en función de varios parámetros.

Por tanto, aplicando la ecuación matricial $K \cdot C = L$

$$\begin{bmatrix} \frac{F_{1(1)}}{u_1} & \frac{F_{2(1)}}{u_1} & \frac{F_{3(1)}}{u_1} \\ \frac{F_{1(2)}}{u_2} & \frac{F_{2(2)}}{u_2} & \frac{F_{3(2)}}{u_2} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{F_{1(6)}}{u_6} & \frac{F_{2(N)}}{u_6} & \frac{F_{3(6)}}{u_6} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{t_{d(\max)N} - t_{main1}}{u_1} \\ \vdots \\ \frac{t_{d(\max)6} - t_{main6}}{u_6} \end{bmatrix}$$

Donde:

- $u_1 \dots u_N$: incertidumbres combinadas resultantes de la combinación de la ecuación (a) y los coeficientes b_1 , b_2 y b_3 procedentes del primer ajuste realizado por el MLR.
- $F_{1(N)}, \dots, F_{6(N)}$: valor de las observaciones realizadas para cada uno de los N registros
- b_1, b_2 y b_3 : incógnitas a despejar
- $(t_{d(max)1} - t_{main 1}), \dots, (t_{d(max)6} - t_{main 6})$: diferencias de temperatura de cada uno de los 6 registros obtenidos

Desarrollando la ecuación anterior matricialmente, se resuelven las incógnitas que queremos conocer:

$$\begin{aligned}
 K \cdot C &= L \quad \Leftrightarrow \\
 (K^T \cdot K) \cdot C &= K^T \cdot L \quad \Leftrightarrow \\
 (K^T \cdot K)^{-1} \cdot (K^T \cdot K) \cdot C &= (K^T \cdot K)^{-1} \cdot K^T \cdot L \quad \Leftrightarrow \\
 C &= (K^T \cdot K)^{-1} \cdot K^T \cdot L
 \end{aligned}$$

Donde la diagonal de la matriz $[K^T \cdot K]^{-1}$ son las varianzas de b_1, b_2 y b_3 , es decir, la raíz cuadrada de cada término de la diagonal es la incertidumbre de los coeficientes de la ecuación de la curva de rendimiento del captador, y la matriz C son los parámetros b_1, b_2 y b_3 compensados según sus incertidumbres.

Coficiente de pérdidas nocturnas U_s :

$$\text{Incertidumbre del coeficiente } U_s = \frac{\rho_w c_{pw} V_s}{\Delta t} \ln \left[\frac{t_i - t_{a(av)}}{t_f - t_{a(av)}} \right]$$

Se contemplan las siguientes fuentes de contribución de U_s :

1.- Temperatura inicial del agua de entrada t_i : se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

$$\text{Incertidumbre certificado para } \underline{t_i} : \pm X_1 \text{ en } ^\circ\text{C}, \text{ para } K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_1}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad C_9 se obtiene derivando la función principal de pérdidas térmicas respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_9 = \frac{\partial U_s}{\partial t_i} = \frac{\rho_w c_{pw} V_s}{\Delta t} \frac{1}{\left[\frac{t_i - t_{a(av)}}{t_f - t_{a(av)}} \right]}$$

Temperatura final del agua de entrada t_f : se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

Incertidumbre certificado para t_f : $\pm X_1$ en °C, para $K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_2}{2}$

El coeficiente de sensibilidad C_{10} se obtiene derivando la función principal de pérdidas térmicas respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_{10} = \frac{\partial U_S}{\partial t_i} = \frac{\rho_w c_{pw} V_S}{\Delta t} \frac{\left[\frac{(t_i - t_{a(av)})}{(t_f - t_{a(av)})^2} \right]}{\left[\frac{t_i - t_{a(av)}}{t_f - t_{a(av)}} \right]}$$

4. Temperatura ambiente del día $t_{a(day)}$: se tomarán como incertidumbre de medición los valores indicados en el correspondiente certificado de calibración, asumiendo una distribución normal.

Incertidumbre certificado para $t_{a(day)}$: $\pm X_7$ en °C, para $K = 2 \rightarrow u_y = \frac{X_7}{2}$

El coeficiente de sensibilidad C_6 se obtiene derivando la función principal de pérdidas térmicas respecto a la magnitud de la fuente de contribución:

$$C_{11} = \frac{\partial U_S}{\partial t_i} = \frac{\rho_w c_{pw} V_S}{\Delta t} \frac{\left[\frac{(t_i - t_f)}{(t_f - t_{a(av)})^2} \right]}{\left[\frac{t_i - t_{a(av)}}{t_f - t_{a(av)}} \right]}$$

5. Sistema de Adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos donde conectamos nuestros equipos en sus diferentes canales debemos de tenerlo en cuenta a la hora de estimar la incertidumbre total de medida para cada equipo. Por tanto consideramos la incertidumbre de calibración de cada canal de medición de cada equipo. Las unidades de incertidumbre serán Voltios y el equipo conectado es el sensor de temperatura ambiente.

Incertidumbre de certificado: $\pm X_8$ Canal caudal en V para $K = 2$

$$u_y = \frac{X_8}{2}$$

El coeficiente de sensibilidad será la relación de señal entre las unidades finales y las unidades de medición a través del sistema de adquisición de datos C_{ST} .

$$C_{ST} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \text{ en } ^\circ\text{C/V}$$

A continuación reflejamos un cuadro resumen de todas las fuentes de contribución estimadas para variables de Tipo A o B.

<i>Fuente de contribución</i>	<i>Origen</i>	<i>Incertidumbre</i>	<i>Unidad</i>	<i>Distr.</i>	<i>K</i>	<i>Coficiente Sensibilidad</i>	<i>Incertidumbre final u_y</i>
Tª entrada inicial t_i	Certificado Sensor Pt100	$\pm X_1$	$^\circ\text{C}$	Normal	2	C_9	$\frac{X_1}{2} \cdot C_9$
Desv. Típica Tª Entrada inicial t_i	Ensayo	σ_{t_i}	$^\circ\text{C}$	Normal	$\sqrt{N_3}$	C_9	$\frac{\sigma_{t_i}}{\sqrt{N_3}} \cdot C_9$
Tª entrada final t_f	Certificado Sensor Pt100	$\pm X_1$	$^\circ\text{C}$	Normal	2	C_{10}	$\frac{X_1}{2} \cdot C_{10}$
Desv. Típica Tª Entrada final t_f	Ensayo	σ_{t_f}	$^\circ\text{C}$	Normal	$\sqrt{N_4}$	C_{10}	$\frac{\sigma_{t_f}}{\sqrt{N_4}} \cdot C_{10}$
Tª ambiente ta(day)	Certificado Sensor temperatura y humedad	$\pm X_7$	$^\circ\text{C}$	Normal	2	C_{11}	$\frac{X_7}{2} \cdot C_{11}$
Sistema de Adq. de Datos ambiente today	Certificado de calibración	$\pm X_8$	V	Normal	2	$\frac{T_{\max} - T_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \cdot C_{11}$	$\frac{X_8}{2} \frac{T_{\max} - T_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$

Tabla 13. Fuentes de contribución estimadas para las variables de Tipo A ó B

N_3 numero datos para la primera recirculación

N_4 numero datos para la segunda recirculación

Donde:

- X_i : Incertidumbres de las fuentes de influencia
- C_i : Coeficientes de sensibilidad de las fuentes de influencia

La incertidumbre final resultante del cálculo de la incertidumbre de las fuentes de contribución consideradas se calcula aplicando la expresión de la incertidumbre combinada:

$$u^2(y) = \sum c_i^2 \cdot u(x_i)^2$$

$$u(U_s) = \sqrt{\left(\frac{X_1}{2} \cdot C_9\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{t_i}}{\sqrt{N_3}} \cdot C_9\right)^2 + \left(\frac{X_1}{2} \cdot C_{10}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{t_f}}{\sqrt{N_4}} \cdot C_{10}\right)^2 + \left(\frac{X_7}{2} \cdot C_{11}\right)^2 + \left(\frac{X_8}{2} \frac{T_{\max} - T_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \cdot C_{11}\right)^2}$$

3.4 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN/RECHAZO DE RESULTADOS FINALES DEL ENSAYO

Se tomará como criterio de aceptación al término “sin fallo” siempre que no ocurra ninguno de los siguientes sucesos:

- Fugas en el acumulador, absorbedor o deformaciones de tal forma que se establezcan contactos permanentes entre el absorbedor y la cubierta.
- Rotura o deformación del acumulador.
- Rotura o deformación permanente de la estructura soporte del sistema solar prefabricado.
- Pérdida de vacío, de forma que los captadores subatmosféricos o de vacío no puedan clasificarse más como tales, de acuerdo con la definición de la norma EN ISO 9488 (solo aplicable para captadores de vacío o subatmosféricos). La pérdida de vacío se controlará después de cada test cuando se denota turbiedad del aire interior o rotura del vidrio de los tubos del captador.
- Acumulación de humedad dentro del captador