

DOCUMENTO 2

MEMORIA DE CÁLCULO

INDICE

MEMORIA DE CÁLCULO

1.5 Cálculos

- 1.5.1 Cálculo de la demanda de ACS
- 1.5.2 Cálculo de la demanda energética de calefacción
- 1.5.3 Cálculos de suelo radiante
- 1.5.4 Volumen de acumulación
- 1.5.5 Potencia de intercambio
- 1.5.6 Volumen de vaso de expansión
- 1.5.7 Circuito hidráulico
 - 1.5.7.1 Caudal
 - 1.5.7.2 Pérdidas de carga

1.5 Cálculos

1.5.1 Cálculo de la demanda energética de ACS

El cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria depende del consumo que se realice en los aseos y cocina.

La temperatura del agua caliente la establece el Documento Técnico de Instalaciones en la Edificación (DTIE 1.01), para edificios destinados a uso residencial con sistemas dotados de acumulación el ACS se preparará a la temperatura de 60° C, en cumplimiento de las recomendaciones de la norma UNE 1000.030.

El problema de la legionela requiere preparar el agua a 60° C, por lo menos para instalaciones centralizadas con acumulación.

Los brotes de legionelosis aparecen cuando las personas inhalan aerosoles que contienen agua (por ejemplo, los procedentes de las torres de agua para refrigeración de aire acondicionado, fuentes, aspersores de riego, duchas, etc.) contaminados con la bacteria de la legionela.

Los organismos de la legionela se pueden encontrar en diversos tipos de sistemas de agua. No obstante, la bacteria se reproduce en grandes cantidades en las aguas calientes y estancadas (32°-40°C), como las de ciertos sistemas de conducción de agua y tanques de agua caliente.

Los fundamentos de la prevención de la legionelosis son el diseño y mantenimiento mejorados de las torres de refrigeración y los sistemas de conducción de agua (especialmente del agua caliente sanitaria, para limitar el crecimiento y expansión de los microorganismos de la legionela.

Es evidente que las razones sanitarias deben prevalecer sobre cualquier otra consideración.

Por lo anteriormente indicado sobre la legionela, la demanda de agua caliente sanitaria se calcula a partir de la información de la sección HE 4 del Código Técnico de la Edificación, del que se extrae la siguiente tabla detallada sobre la demanda de ACS a 60°.

Criterio de demanda Litros ACS/día a 60°C

CRITERIO DE DEMANDA	Litros ACS/ día a 60º C	
Viviendas unifamiliares	30	Por persona
Viviendas multifamiliares	22	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por cama
Hotel ****	70	Por cama
Hotel **	55	Por cama
Hotel/Hostal **	40	Por cama
Camping	40	Por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	Por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	55	Por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	Por servicio
Escuelas	3	Por alumno
Cuarteles	20	Por persona
Fábricas y talleres	15	Por persona
Administrativos	3	Por persona
Gimnasios	20 a 25	Por usuario
Lavanderías	3 a 5	Por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	Por comida

La tabla anterior de criterios de demanda nos indica que para administrativos se estima un consumo de 3 litros/ día de ACS por persona. Teniendo en cuenta que dichas oficinas trabajan 15 administrativos,

Volumen ACS (litros/día)

$$3(\text{litros/persona}) \cdot 15(\text{personas/día}) = 45 \text{ litros/día.}$$

Hay que tener en cuenta que la demanda de ACS varía a lo largo del año debido principalmente a dos factores:

- La temperatura del agua de la red de abastecimiento cambia a lo largo del año.
- La temperatura a la que se demanda el agua en verano es menor.

Estadísticamente está demostrado que la demanda de ACS fluctúa en función de la época del año.

La demanda energética de ACS se calcula considerando la temperatura

de preparación o suministro 60°C, por los problemas derivados de la bacteria legionela que se comentaron anteriormente y mediante la siguiente expresión:

$$\text{Demanda (kcal)} = \text{Volumen ACS} * (T^a \text{ acumulación} - T^a \text{ red})$$

$$\text{Demanda (kcal)} * 4.18 = \text{demanda (kJ)}$$

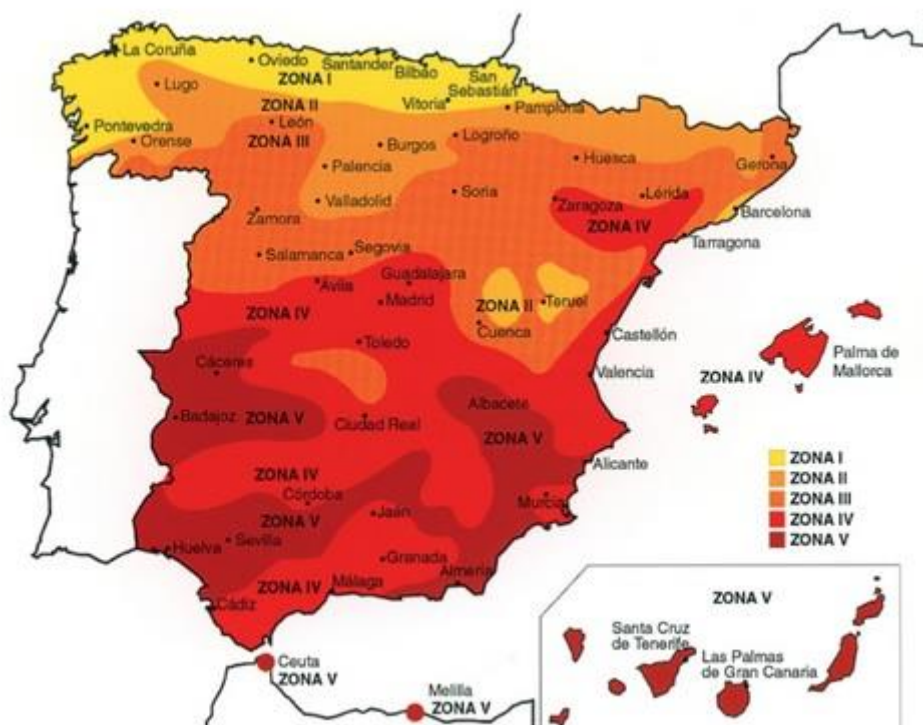
A continuación se muestran los cálculos de demanda de ACS en KJ por meses:

	Tª AC	TªRED	USUARIOS	DEMANDA
Enero	60	8	15	303217,2
Febrero	60	9	15	268606,8
Marzo	60	11	15	285723,9
Abril	60	13	15	265221
Mayo	60	14	15	268230,6
Junio	60	15	15	253935
Julio	60	16	15	256568,4
Agosto	60	15	15	262399,5
Septiembre	60	14	15	259578
Octubre	60	13	15	274061,7
Noviembre	60	11	15	276507
Diciembre	60	8	15	303217,2

A continuación se analizara la energía procedente del sol para determinar qué cantidad de energía nos llega dependiendo de la ubicación de la instalación. Para ello se tienen en cuenta factores como zona climática, orientación, sombras, horas de luz solar...

La zona climática en la que se encuentra el edificio es un factor a considerar en la realización de un proyecto de estas características pues influye en parámetros como la temperatura de suministro o la fracción de aporte solar .

En la sección HE 4 del Código Técnico de la Edificación se incluye el siguiente mapa de la península Ibérica dividida en distintas regiones según las condiciones climáticas.



El edificio objeto de estudio en este proyecto se encuentra localizado en dos hermanas (Sevilla), ciudad encuadrada en la zona climática V

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales.

En el caso general en el que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural u otras, la contribución solar mínima anual para cada zona climática se indica en la siguiente tabla extraída del CTE.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	ZONA CLIMATICA				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

En este caso, para la zona climática V, una demanda de ACS de 45 litros /día y a una temperatura de suministro de 60°C, la contribución solar mínima anual es de 70%.

El emplazamiento del edificio define el valor de ciertos parámetros como la temperatura media del agua de la red general, la temperatura media ambiente durante las horas de sol, la temperatura mínima histórica (la más baja que se haya medido desde el primer año que se conservan registros de datos), así como la altitud, la latitud, y la longitud.

Estos datos se obtienen del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.

La radiación solar es el flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta).

Aproximadamente la mitad de ellas, comprendidas entre 0.4 μm y 0.7 μm , pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que se denomina como luz visible. De la otra mitad, la mayor parte se sitúa en la parte infrarroja y una pequeña parte en el ultravioleta.

Existen tres tipos de radiaciones que alcanzan la superficie de la Tierra:

- Radiación directa: llega a la Tierra en línea recta desde el círculo solar, sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que interceptan.

- Radiación difusa: se difunde y dispersa al chocar con la atmósfera. Va en todas direcciones como consecuencia de las reflexiones y absorciones tanto de las nubes como de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc.

- Radiación de albedo: procede de cuerpos cercanos. La cantidad de radiación de este tipo depende del coeficiente de reflexión de la superficie, denominado albedo. Generalmente no se considera a efectos de cálculo debido a las dificultades para determinar su valor, pues depende de los objetos visibles por los captadores solares por encima de la línea del horizonte.

La suma de estos tres tipos de radiación se denomina radiación global.

La radiación suele referirse a un plano horizontal, pues los instrumentos de medida y valoración se posicionan horizontalmente.

El dato de la energía por radiación incidente se relaciona con la cantidad de energía que se puede obtener de la instalación y es imprescindible para calcular el número de colectores necesarios con los que elevar la temperatura del agua de red hasta la de suministro.

La energía que incide en Sevilla capital sobre un metro cuadrado se superficie horizontal en un día medio de cada mes se recoge en la siguiente tabla extraída de Censolar.

Irradiación horizontal día (kj/m²)

MES	Kj/m ²
Enero	7300
Febrero	10900
Marzo	14400
Abril	19200
Mayo	22400
Junio	24300
Julio	24900
Agosto	23000
Septiembre	17900
Octubre	12300
Noviembre	8800
Diciembre	6900

óptima es igual a la latitud del lugar menos la declinación. Como ésta última es variable a lo largo del año en un intervalo de $\pm 23.5^\circ$, la inclinación también lo es.

En instalaciones de energía solar térmica Los colectores solares deben tener una orientación e inclinación adecuada para poder recibir los rayos solares en forma perpendicular.

En el anexo V del Código Técnico se recoge la forma de determinar los límites en la inclinación y orientación de los colectores de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.

Las pérdidas por este concepto se calculan en función de:

- Ángulo de inclinación , β , definido como el ángulo que forma la

superficie de los colectores con el plano horizontal.

- Ángulo de acimut, α , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del colector y el meridiano del lugar.

La inclinación varía según la latitud del lugar y la época del año. La inclinación no es una práctica frecuente modificar la inclinación de los colectores. Dado que se pretende dejar fijos los colectores en la azotea del edificio a lo largo de todo el año,

Para este tipo de instalaciones el código técnico aconseja que la inclinación de los colectores sea igual a la latitud, en este caso 37° , pero debido a que nuestra instalación también se utilizara para calefacción pondremos la inclinación recomendada para invierno (latitud+10), 47°

En cuanto a la orientación, por encontrarse localizado el edificio en el hemisferio Norte, los colectores deberán orientarse hacia el Sur, pues es más favorable y permite colocar mayor número de ellos minimizando zonas de sombras, de modo que el ángulo de acimut es nulo ($\alpha = 0^\circ$).

Conocido el ángulo de acimut del captador solar, se determinan las pérdidas máximas para la inclinación en el caso $\varphi = 41^\circ$, dependiendo del caso en el que se encuentren los captadores.

Según el Código técnico de la edificación:

Caso	Orientación e inclinación
General	10%
Superposición	20%
Integración arquitectónica	40%

- Superposición arquitectónica: los captadores están colocados paralelos a la envolvente del edificio, de manera que su inclinación coincide con la del tejado, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con el objetivo de favorecer la autolimpieza del colector.

- Integración arquitectónica: los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica, y además sustituyen elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica.

- Caso general.: lo constituyen el resto de posibilidades.

En este caso, la azotea horizontal de las oficinas estudiar ha permitido elegir un ángulo de inclinación adecuado, luego es un caso general y las

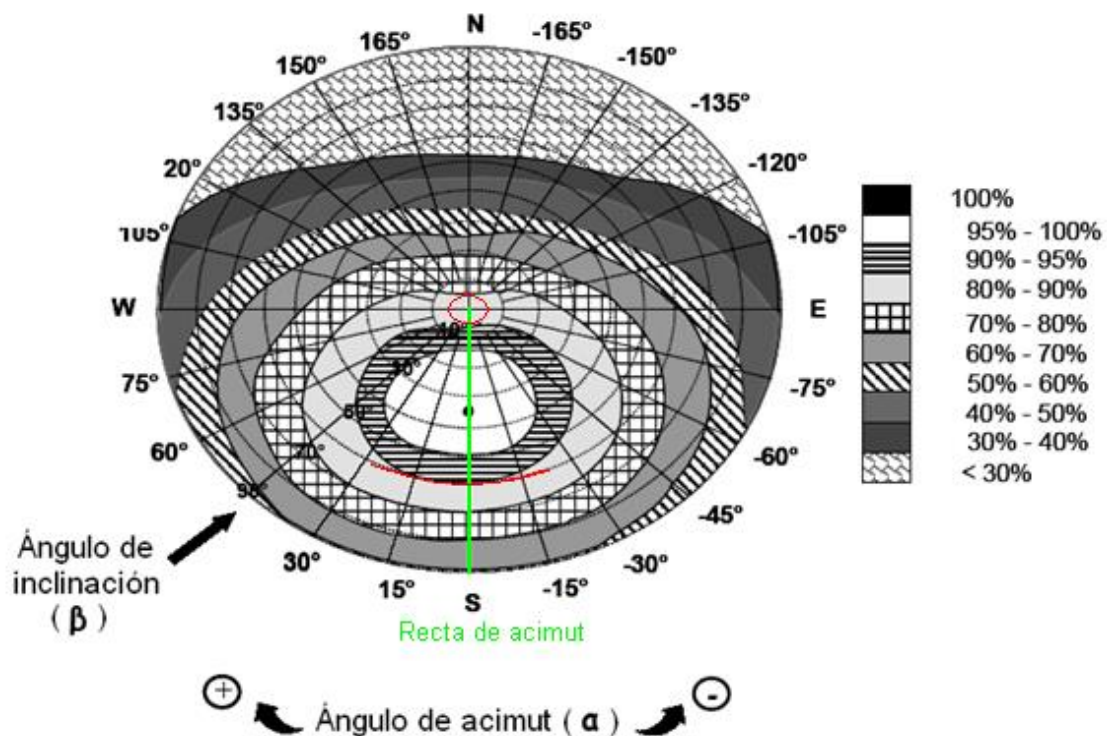
pérdidas por orientación e inclinación no deben superar el 10%.

A continuación se tratará de evaluar si las pérdidas por orientación e inclinación del captador están dentro de los límites permitidos para una instalación en la azotea de un edificio en la que los captadores se orientan hacia el Sur (acimut $\alpha = 0^\circ$) y con una inclinación de 47° respecto a la horizontal, en dos hermanas cuya latitud es de 37° .

Conocido el acimut, cuyo valor, como se indicó anteriormente, es cero, se determinan los límites para la inclinación para el caso de $\phi = 41^\circ$. Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10% (borde exterior de la región 90%-95%), con la recta de acimut nos proporcionan los valores (ver figura):

Inclinación máxima = 60°

Inclinación mínima = 7°



Pérdidas máximas según ángulo de inclinación (FUENTE: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja temperatura)

Los límites de inclinación aceptables se corrigen en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41° , de acuerdo con las siguientes fórmulas:

Inclinación máx = Inclinación máx ($\varphi = 41^\circ$) – (41° – latitud)

Inclinación min = Inclinación min ($\varphi = 41^\circ$) – (41° – latitud)

De manera que corregido para la latitud de dos hermanas (Sevilla):

Inclinación máx = $60^\circ - (41^\circ - 37.2) = 56.2^\circ$

Inclinación min = $7^\circ - (41^\circ - 37.2) = 3.2^\circ$

Por tanto, esta instalación, de inclinación 47° , cumple los requisitos de pérdidas por orientación e inclinación.

Tras comprobar que no existen problemas de pérdidas debido a la disposición de los captadores en la azotea ni en la orientación del edificio, se plantea el factor de corrección k para superficies inclinadas.

Dicho factor representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal.

Por tanto :

Irradiación real= Irradiación horizontal día(kj/m²) * K

Datos de K extraídos del código técnico:

	K 45°	K 50°
Enero	1,35	1,35
Febrero	1,25	1,24
Marzo	1,13	1,09
Abril	1,01	0,94
Mayo	0,92	0,84
Junio	0,89	0,8
Julio	0,92	0,84
Agosto	1,02	0,95
Septiembre	1,17	1,13
Octubre	1,34	1,33
Noviembre	1,44	1,47
Diciembre	1,43	1,46

Interpolando los datos de la tabla anterior, se obtienen los datos de K para 47° (inclinación de los captadores respecto a la horizontal). Dichos resultados se muestran a continuación:

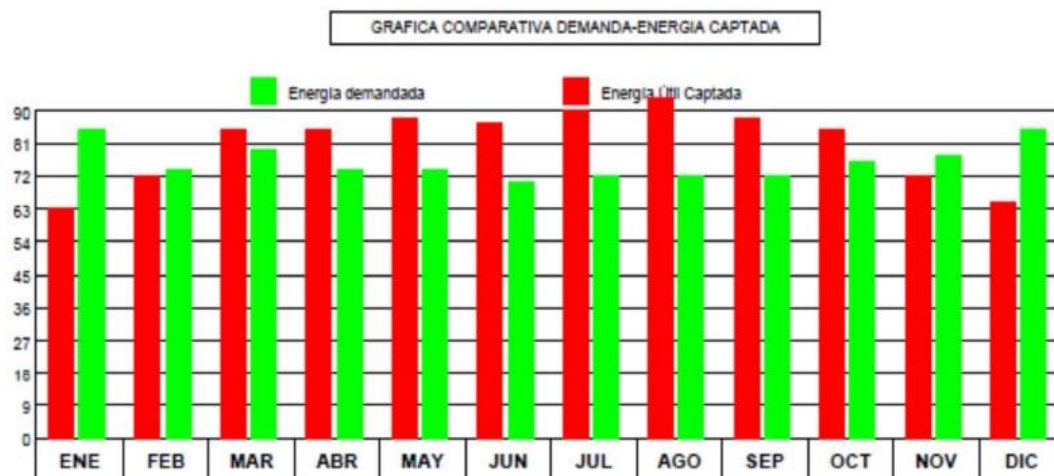
	K 47°
Enero	1,35
Febrero	1,24
Marzo	1,11
Abril	0,98
Mayo	0,88
Junio	0,85
Julio	0,88
Agosto	0,99
Septiembre	1,15
Octubre	1,33
Noviembre	1,45
Diciembre	1,44

Por lo tanto, aplicando la siguiente expresión en la que se multiplica el valor de la energía por radiación solar incidente sobre superficie horizontal por el factor de corrección k, se obtiene el valor de la radiación incidente sobre los colectores de la instalación solar mes a mes:

$$\text{Irradiación real} = \text{Irradiación horizontal día} (\text{kJ/m}^2) * K$$

Resultados de los cálculos de Irradiación real mes (kJ/m²)

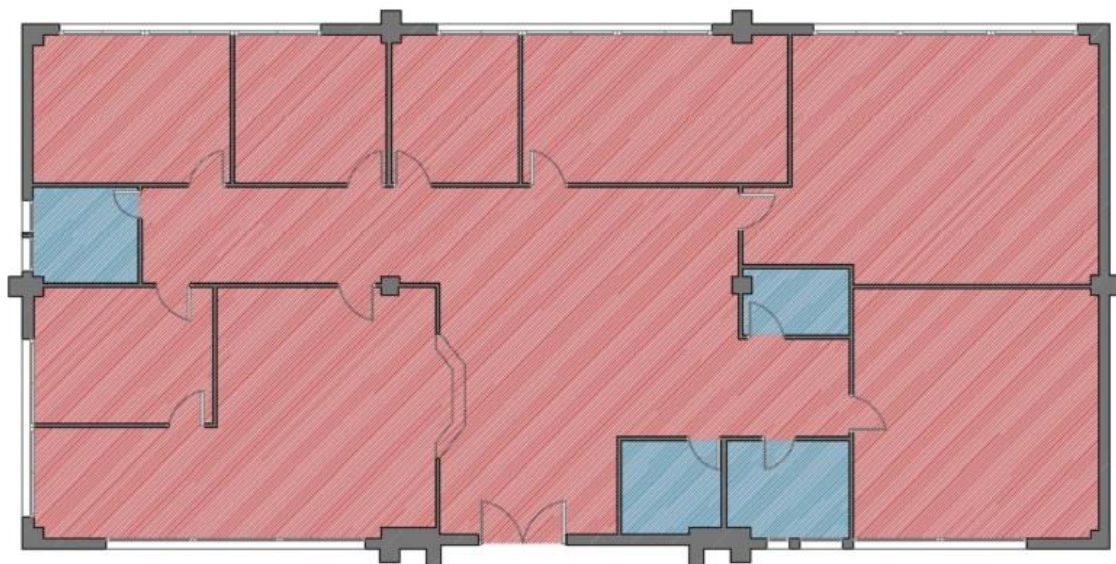
MES	Kj/m²
Enero	305505
Febrero	380279,2
Marzo	497289,6
Abril	565632
Mayo	616627,2
Junio	622566
Julio	685447,2
Agosto	707296
Septiembre	619698
Octubre	509416,8
Noviembre	383328
Diciembre	308443,8



1.5.2 Cálculo de la demanda energética de calefacción

El cálculo de la demanda de calefacción también se realizara por meses, teniendo en cuenta los parámetros de T^a exterior, T^a interior que deseamos, y cargas térmicas(pérdidas por ventilación, cargas internas y pérdidas de calor a través de cerramientos según orientación).

Plano de zonas calefactadas.

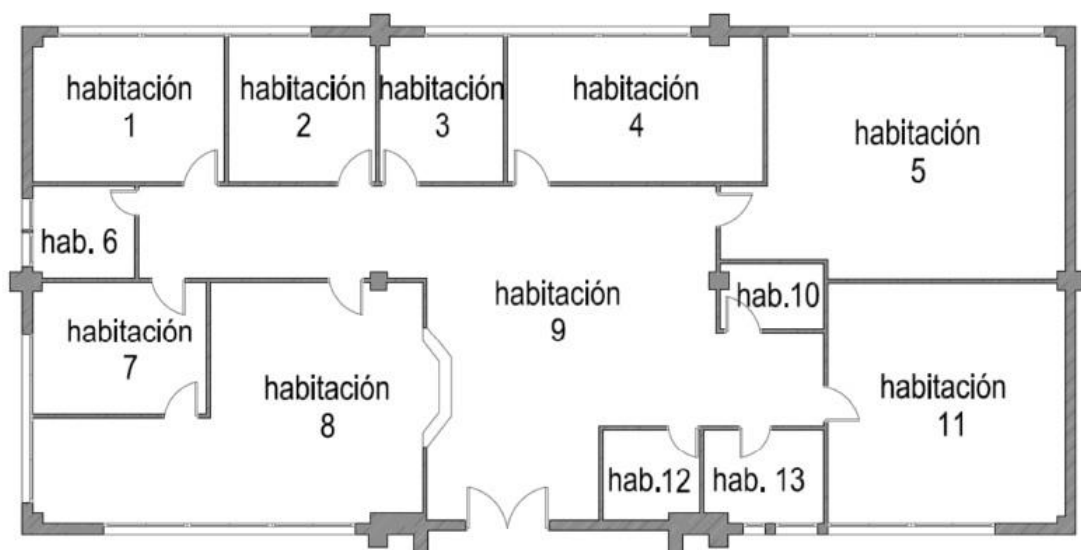


Los cálculos se han realizado con el DB-1

Para ello hemos tomado una $T^{\text{a}}_{\text{interior}} 22^{\circ}\text{C}$, se ha dividido las oficinas en habitaciones.

En las pérdidas por los cerramientos solo se tendrán en cuenta los cerramientos que tengan contacto con el exterior debido a que las habitaciones colindantes también estarán calefactadas. Introduciendo los siguientes datos por habitación.

Nomenclatura utilizada en cálculos.



Cálculos de cerramientos por habitación:

HABITACIÓN 1

superficie 16.74 m²

altura 3.08 m²

volumen 51.55 m³

cubierta 16.74 m²

suelo 16.74 m²

fachada este :

muro exterior 10.93 m²

fachada sur:

muro exterior 7.93 m²

jambas 0.142 m²

dintel 0.618 m²

ventanas 5.85 m²

HABITACIÓN 2

superficie 12.97 m²

altura 3.08 m²

volumen 39.95 m²

cubierta 12.97 m²

suelo 12.97 m²

fachada sur:

muro exterior 7.86 m²

jambas 0.142 m²

dintel 0.309 m²

ventanas 2.93 m²

HABITACIÓN 3

superficie 10.82 m²

altura 3.08 m²

volumen 33.31 m²

cubierta 10.82 m²

suelo 10.82 m²

fachada sur:

muro exterior 6.01 m²

jambas 0.142 m²

dintel 0.309 m²

ventanas 2.93 m²

HABITACIÓN 4

superficie 22.45 m²

altura 3.08 m²

volumen 139.03 m²

cubierta 22.45 m²

suelo 22.45 m²

fachada sur:

muro exterior 12.92 m²

jambas 0.142 m²

dintel 0.618 m²

ventanas 5.58 m²

HABITACIÓN 5

superficie 45.36 m²

altura 3.08 m²

volumen 139.03 m²

cubierta 45.36 m²

suelo 45.36 m²

fachada oeste :

muro exterior 18.39 m²

fachada sur:

muro exterior 12.69 m²

jambas 0.84 m²
dintel 0.93 m²
ventanas 8.78 m²

HABITACIÓN 7

superficie 13.99 m²

altura 3.08 m²

volumen 43.01 m²

cubierta 13.99 m²

suelo 13.99 m²

fachada este:

muro exterior 6.66 m²

jambas 0.14 m²

dintel 0.31 m²

ventanas 2.93 m²

HABITACIÓN 8

superficie 118.53 m²

altura 3.08 m²

volumen 365.01 m²

cubierta 118.53 m²

suelo 118.53 m²

fachada norte:

muro exterior 25.94 m²

jambas 0.93 m²

dintel 0.28 m²

ventanas 8.78 m²

fachada este:

muro exterior 14.69 m²

jambas 0.14 m²

dintel 0.31 m²

ventanas 2.93 m²

HABITACIÓN 11

superficie 34.99 m²

altura 3.08 m²

volumen 107.65 m²

cubierta 34.99 m²

suelo 34.99 m²

fachada norte:

muro exterior 11.35 m²

jambas 0.28 m²

dintel 0.62 m²

ventanas 5.85 m²

fachada oeste:

muro exterior 18.44 m²

cálculo de transmitancias (U) por cerramientos

$U=1/R_t$; siendo R_t . resistencia térmica

$R_t= R_1+R_2+...R_n+R_{si} +R_{se}$

Siendo $R_1, R_2, ..., R_n$ las distintas capas que forman el cerramiento, y

Rsi, Rse definidas en el código técnico dependiendo de si el cerramiento en cuestión sea vertical u horizontal.

Para el cálculo de la resistencia térmica de capa que forma el cerramiento, utilizaremos la siguiente expresión:

$$R = e / \lambda$$

siendo λ : conductividad térmica (w/m*°k)

e: espesor (m)

- DINTELES: ladrillo perforado (5), hormigón (20 cm), ladrillo hueco (5). Definido en DB-1.

- JAMBAS: ladrillo macizo (1pie). Definido en DB-1

- VENTANAS: vidrio doble bajo emisivo con carpintería de pvc. Definida en DB-1.

- MURO EXTERIOR :

	Espesor	R.Térmica
Ladrillo macizo	0,125	0.18
Embarrado	0,015	0.036
Tabique	0,07	0.16
Enlucido yeso	0,015	0.016
Cámara de aire		0.417

$$R_t = 0.13 + 0.04 + 0.18 + 0.036 + 0.16 + 0.016 + 0.417 = 0.99$$

$$U = 1.01$$

SUELO:

	Espesor	R.térmica
Arena	0.03	0.075
Entrevigado de hormigón	0.03+0.004	0.222
Cámara de aire	0.05	0.313
Solería	0.04	0.031

$$R_t = 0.04 + 0.17 + 0.031 + 0.075 + 0.222 + 0.313 = 0.847$$

$$U=1.18$$

CUBIERTA:

	Espesor	R. térmica
Grava	0.1	0.2
Impermeabilización	0.005	0.022
Entrevigado	0.03+0.004	0.23
Escayola	0.01	0.04

$$R_t=0.04+0.17+0.2+0.022+0.23+0.04=0.589$$

$$U=1.74$$

Utilizando DB-1 con los datos anteriormente calculados obtenemos los siguientes datos de demanda de calefacción para cada mes del año por habitación.

Los datos obtenidos se utilizarán para el cálculo de la potencia y número de radiadores a instalar para cada habitación.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN EN Kw.h

	Habt.1	Habt.2	Habt.3	Habt.4	Habt.5	Habt.7	Habt.8-9	Habt.11
MES								
ENERO	477	316	272	530	1150	465	3612	1125
FEBRERO	328	205	179	345	752	359	2781	840
MARZO	296	106	142	270	576	289	2245	626
ABRIL	56	36	26	39	183	179	1392	323
MAYO	0	0	0	0	0	0	0	0
JUNIO	0	0	0	0	0	0	0	0
JULIO	0	0	0	0	0	0	0	0
AGOSTO	0	0	0	0	0	0	0	0
SEPTIEMBRE	0	0	0	0	0	0	0	0
OCTUBRE	91	46	42	77	173	88	787	200
NOVIEMBRE	260	159	140	269	581	289	2352	675
DICIEMBRE	441	293	251	489	1075	448	3506	1087

A continuación se muestran los datos de demanda de calefacción obtenidos en DB-1, considerando en este caso el edificio como una sola habitación.

A los siguientes resultados, se le sumaran las pérdidas térmicas y se utilizaran para el cálculo del número de captadores a instalar.

MES	
ENERO	7407
FEBRERO	5029
MARZO	3765
ABRIL	1736
MAYO	0
JUNIO	0
JULIO	0
AGOSTO	0
SEPTIEMBRE	0
OCTUBRE	1179
NOVIEMBRE	4018
DICIEMBRE	7051

Para obtener resultados más precisos en el cálculo del número de captadores necesarios para satisfacer las necesidades, se realiza el cálculo de pérdidas térmicas de los distintos elementos del circuito primario, pérdidas en tuberías , acumulador...

El cálculo de las pérdidas térmicas se realizarán por meses, y se sumaran a los cálculos de demanda realizados anteriormente.

El cálculo de pérdidas térmicas de cada mes será la suma de las pérdidas de cada elemento de circuito primario.

El cálculo de dichas pérdidas se ha realizado con C.T.E. SOLAR, introduciendo los siguientes datos:

Acumulador;

altura(mm)	2313
diámetro(mm)	1100
espesor aislante(mm)	40
conductividad térmica aislante(w/m·°k)	0,026
temperatura de acumulación(°k)	60

Interacumulador;

altura(mm)	950
diámetro(mm)	858
espesor aislante(mm)	50
conductividad térmica aislante(w/m·°k)	0,024
temperatura de acumulación(°k)	60

Tuberías

diámetro(mm)	40
longitud(mm)	81,3
espesor aislante(mm)	40
conductividad térmica aislante(w/m·°k)	0,04

diámetro(mm)	35
longitud(mm)	16
espesor aislante(mm)	45
conductividad térmica aislante(w/m·°k)	0,04

diámetro(mm)	18
longitud(mm)	12,7
espesor aislante(mm)	40
conductividad térmica aislante(w/m·°k)	0,04

Realizando los cálculos de pérdidas térmicas, obtenemos los siguientes resultados:

Pérdidas térmicas en kw·h

	Tuberías	acumulador	interacumulador	totales
Enero	157,66	83,86	19,77	261,3
Febrero	180,85	113,79	26,83	321,47
Marzo	244,8	165,55	39,03	449,39
Abril	252,05	184,28	43,45	479,79
Mayo	233,2	185,33	43,7	462,24
Junio	232,68	200,96	47,38	481,04
Julio	258,71	238,76	56,29	553,76
Agosto	262,26	241,58	56,96	560,81
Septiembre	247,37	208,62	49,19	505,19
Octubre	179,38	138,42	32,63	350,43
Noviembre	166,93	112,61	26,55	306,1
Diciembre	144,62	77,65	18,3	240,58

Sumando dichas pérdidas a la demanda de calefacción , obtenemos la energía necesaria para cubrir el 100% de la necesidad térmica. Obtenemos los siguientes resultados:

Demanda total de calefacción en kw·h

Enero	7668,3
Febrero	5350,47
Marzo	4214,39
Abril	2215,79
Mayo	0
Junio	0
Julio	0
Agosto	0
Septiembre	0
Octubre	1529,43
Noviembre	4324,1
Diciembre	7291,58

1.5.3 Cálculos de suelo radiante.

Los principales parámetros de proyecto vienen en la actualidad definidos a nivel europeo por la norma EN1264. En ayuda al método de cálculo tradicional, tal normativa tiene en cuenta valores prácticos y teóricos experimentados en el curso de años, a los que haremos referencia en la parte esencial del desarrollo del proyecto.

Aislante de fondo

El sistema de calefacción por suelo requiere la aplicación de una capa aislante entre el forjado y la masa de cemento del solado. Sus funciones son:

- . Reducir la inercia térmica del sistema, reduciendo la masa a calentar
- . Evitar que el calor pase de forma incontrolada a un ambiente que no lo requiere.

El aislante puede ser plano o conformado en su cara superior para facilitar la colocación del tubo. El plano se utiliza principalmente en grandes superficies, en cuyo caso se dispone de guías especiales con clips de sujeción rápida del tubo, en los cuales queda firmemente alojado.

Los edificios de viviendas y la mayor parte de comercios de reducidas dimensiones, requieren aislante de densidad estándar mientras que en áreas de gran extensión y de más alta concentración como centros deportivos o comerciales son necesarios aislantes de alta densidad. Para áreas industriales es oportuno utilizar aislantes de densidad extra-alta y para soportar cargas elevadas es aconsejable además extender sobre la superficie una red electrosoldada. Giacomini propone tres espesores diferentes en su gama, cuya referencia de catálogo es R982:

- . Tipo H30 de 30 mm de espesor
- . Tipo H45 de 45 mm de espesor
- . Tipo H60 de 60 mm de espesor

La versión inferior, de 30 mm es especialmente adecuada para ambientes cuya altura es limitada; es el caso de la mayoría de rehabilitaciones de viviendas. El tipo H60 es el tipo adecuado para pavimentos bajo los cuales se encuentren locales no calefaccionados o bien en forjados donde se quiera mejorar las características térmicas o incluso acústicas.

Para el montaje de las instalaciones eléctricas o sanitarias, se pueden seguir dos alternativas:

1. Colocar las conducciones sobre el forjado gris y enrasado con hormigón. Por encima se colocará el aislante, el tubo y el mortero o cemento aditivado sobre el que finalmente se coloca el revestimiento.

2. Dejando una banda de 30 a 40 cm de amplitud a lo largo de los muros o tabiques internos, en la que no se coloca tubo de calefacción. En ella se colocan los canales para cables y la posible distribución hidrosanitaria. Evidentemente es la solución mas económica aunque resta superficie de emisión térmica que en ocasiones puede ser necesaria.

Banda perimetral aislante

Antes del vertido del cemento, se debe extender a lo largo de toda superficie vertical, paredes, columnas, bancadas, etc., una banda perimetral aislante que debe cubrir desde la base de soporte hasta la superficie del suelo radiante acabado y permitir un movimiento del solado de algunos mm.

La banda perimetral debe ser fijada de modo tal que no permita su movimiento durante el vertido del cemento del solado. La parte superior de la banda perimetral que sobresalga por encima del pavimento, no debe cortarse hasta completar la cobertura con el revestimiento final.

Distancia entre tubos (paso)

El paso o distancia entre tubos puede variar en función de la carga térmica. Desde valores bajos, (50 ó 75 mm según se haya elegido el tipo de aislante T50 ó T75) hasta un máximo de 300 mm en grandes áreas como centros deportivos o almacenes. Los cálculos se especifican en la norma EN1264. La complejidad del cálculo presentado en la norma no debe inducir a engaño. Se trata de consideraciones que forman parte de la física del edificio y que al usuario pueden interesar solo expresadas en forma de tablas. Los cálculos efectuados para utilización solo calefacción, no son válidos para aplicación calefacción y refrigeración. Efectivamente en todos aquellos casos en que el suelo radiante vaya a ser usado también en refrigeración, el cálculo del paso debe basarse en esta última aplicación, tratándose de condiciones en las que la emisión específica del suelo resulta mas limitada. A igualdad de caudal (es decir, sin variar el circulador) y con temperatura mínima de ida no inferior a 14°C, la emisión se sitúa alrededor del 40% respecto a la que ofrecería en mismo pavimento durante el funcionamiento invernal. Para obtener una emisión estival de 35-40 W/m², la invernal correspondiente debe situarse entre 90 y 100W/m².

Longitud máxima del circuito

Ningún circuito debe superar la longitud de 200m. La longitud depende obviamente del caudal y del diámetro del tubo. Es aconsejable limitar los circuitos a un máximo de 120m.

Indicando con G el caudal en l/h y con Di el diámetro interno del tubo en mm, la pérdida de carga puede ser calculada, entre diversas maneras, con la siguiente:

G2

$$D_p = L \times 191,4 \times D_i^5$$

Para un tubo de 18x2, o sea con 14 mm de diámetro interior, considerando una pérdida de carga admitida para un circuito, de 2000 mm c.d.a. se obtiene el siguiente diagrama que relaciona el caudal y la longitud en metros del circuito.

Relación entre longitud del tubo y caudal para tubo de diámetro interno 14 y 16 mm, con pérdida de carga máxima por circuito de 2000 mm c.d.a.

A continuación se calculan los metros lineales necesarios de tuberías por habitación para cubrir la demanda de calefacción necesaria, para ello se utilizan los cálculos de demanda por habitación.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN EN Kw.h

	Habt.1	Habt.2	Habt.3	Habt.4	Habt.5	Habt.7	Habt.8-9	Habt.11
MES								
ENERO	477	316	272	530	1150	465	3612	1125
FEBRERO	328	205	179	345	752	359	2781	840
MARZO	296	106	142	270	576	289	2245	626
ABRIL	56	36	26	39	183	179	1392	323
MAYO	0	0	0	0	0	0	0	0
JUNIO	0	0	0	0	0	0	0	0
JULIO	0	0	0	0	0	0	0	0
AGOSTO	0	0	0	0	0	0	0	0
SEPTIEMBRE	0	0	0	0	0	0	0	0
OCTUBRE	91	46	42	77	173	88	787	200
NOVIEMBRE	260	159	140	269	581	289	2352	675
DICIEMBRE	441	293	251	489	1075	448	3506	1087

El calor medio a aportar por m², o flujo calorífico es

$$f = \text{demanda total} / \text{m}^2 \text{ totales}$$

CRITERIOS DE DISEÑO.

Se prevé, en principio, un circuito por habitación. En caso de habitaciones muy grandes se las dotaría de dos circuitos, ya que uno solo acusaría una pérdida de carga difícilmente compensable aconsejándose circuitos de longitud inferior a los 100 m.. Por el mismo motivo deben agruparse en uno los circuitos de las habitaciones pequeñas y contiguas. Se excluye de esta regla los baños, que poseen circuito independiente para, así, poder responder a su termostato independiente.

Se procura situar los colectores en el centro de gravedad térmico de las zonas a las que alimenta.

Se sitúan las tuberías generales de alimentación (ida y retomo) en situación centrada.

Se dibujan primero los circuitos más alejados de los colectores para evitar cruces de tuberías.

Habitualmente en la obra se ejecutará la tabiquería antes que las soleras y, por tanto, antes que los trazados de tubería. Sí no se desea romper la tabiquería ejecutada se pasarán los tubos bajo el espacio destinado a las puertas.

Los cálculos del flujo calorífico f , se realiza con los datos del mes de enero puesto que es el mes más desfavorable. Luego se calculan los metros lineales de tuberías necesarias para cubrir la demanda de calefacción para cada habitación.

ESTANCIA	SUPERFICIE (M2)	DEMANDA (Kw)	f (FLUJO CALORÍFICO)	LONGITUD (ML)
Habt.1	16,74	477	28,49	83,7
Habt.2	12,97	319	24,60	64,85
HABT.3	10,82	272	25,14	54,1
Habt.4	22,45	530	23,61	112,25
Habt.5	45,36	1150	25,35	226,8
Habt.7	13,99	465	33,24	69,95
Habt.8-9	118,53	3612	30,47	592,65
Habt.11	34,99	1125	32,15	174,95

Puesto que hay estancias que necesitan una cantidad muy superior a 100 metros lineales de tuberías para su calefacción, hay que realizar varios circuitos en algunas habitaciones.

Se ha decidido realizar un total de 15 circuitos.

ESTANCIA	LONGITUD (ML)	Nº DE CIRCUITOS	LONGITUD POR CIRCUITO
Habt.1	84	1	84
Habt.2	65	1	65
HABT.3	55	1	55
Habt.4	113	1	113
Habt.5	225	2	113
Habt.7	70	1	70
Habt.8	593	6	99
Habt.11	175	2	88

	ESTANCIA	LONGITUD DEL CIRCUITO (ML)
CIRCUITO C1	Habt.1	84
CIRCUITO C2	Habt.2	65
CIRCUITO C3	Habt.3	55
CIRCUITO C4	Habt.4	113
CIRCUITO C5	Habt.5	113
CIRCUITO C6	Habt.5	113
CIRCUITO C7	Habt.7	70
CIRCUITO C8	Habt.8	99
CIRCUITO C9	Habt.8	99
CIRCUITO C10	Habt.8	99
CIRCUITO C11	Habt.8	99
CIRCUITO C12	Habt.8	99
CIRCUITO C13	Habt.8	99
CIRCUITO C14	Habt.11	88
CIRCUITO C15	Habt.11	88

1.5.4 Cálculo de número de captadores

Debido a la poca demanda de agua caliente sanitaria, con un solo captador aportamos más del 100% de la demanda. Por lo que el cálculo de captadores se ha realizado teniendo en cuenta la demanda de calefacción.

Para ello primero calculamos los metros cuadrados de captadores a instalar; luego el resultado obtenido se divide entre los metros cuadrados de un captador.

Para el cálculo de los metros cuadrados a instalar, utilizamos la siguiente expresión que relaciona la demanda con la energía que llega procedente del sol y el rendimiento del captador;

Energía captada por metro cuadrado de nuestro captador:

$$E_{\text{captada}}(\text{kJ/m}^2) = \text{irradiación real}(\text{kJ/m}^2) \cdot \eta$$

Siendo η : rendimiento del captador.

$$m^2 \text{ a instalar} = \text{demanda calefacción}(\text{kJ}) / (E_{\text{captada}}(\text{kJ/m}^2))$$

$$N^{\circ} \text{ de captadores} = m^2 \text{ a instalar} / m^2 \text{ de captador}$$

Calculo de $G(\text{w/m}^2)$

$$G = \text{irrad. real mes}(\text{kJ/m}^2) / (\text{horas efectivas día} \cdot n^{\circ} \text{días} \cdot 3.6)$$

El valor máximo para G se considera 1000 w/m^2 , por tanto se tomarán 1000 w/m^2 , en los meses que se obtenga un valor superior.

A continuación se muestra una tabla con los valores de G obtenidos en w/m^2 .

	irrad.real mes	horas dia	G(w/m²)
Enero	301838,94	3,5	772,75
Febrero	375715,84	3,5	1000
Marzo	491322,12	3,5	1000
Abril	558844,41	5,5	940,81
Mayo	609227,67	5,5	992,55
Junio	615095,2	5,5	1000
Julio	677221,83	5,5	1000
Agosto	698808,44	5,5	1000
Septiembre	612261,62	5,5	1000
Octubre	503303,79	3,5	1000
Noviembre	378728,06	3,5	1000
Diciembre	304742,47	3,5	780,19

Calculo del rendimiento del captador (η)

$$\eta = \eta_0 * a_1 * (T^0_{AC} - T^a)/G - a_2 * (T^a_{AC} - T^a)^2/G$$

η_0 , a_1 , a_2 , constantes definidas por el fabricante.

$$\eta_0 = 0.812$$

$$a_1 = 4.31$$

$$a_2 = 0.0037$$

$$T^a_{AC} = 60$$

Variando cada mes el valor de G y de T^a , obtenemos los siguientes resultados para el rendimiento de captador:

	G(w/m²)	T°C	η
Enero	772,757143	11	0,53
Febrero	1000	13	0,6
Marzo	1000	14	0,61
Abril	940,815515	17	0,61
Mayo	992,550788	21	0,64
Junio	1000	25	0,66
Julio	1000	29	0,67
Agosto	1000	29	0,67
Septiembre	1000	24	0,65
Octubre	1000	20	0,63
Noviembre	1000	16	0,62
Diciembre	780,190667	12	0,54

Cálculos de los metros cuadrados necesarios para el 100% de la demanda.

$$m^2 \text{ a instalar} = \text{demanda calefacción(kj)} / (E_{\text{captada}}(\text{kJ/m}^2))$$

$$E_{\text{captada}}(\text{kJ/m}^2) = \text{irradiación real}(\text{kJ/m}^2) \cdot \eta$$

E_{captada} , Energía captada por metro cuadrado de nuestro captador:

	demanda(kj)	irra.real mes(kj/m²)	η	m² necesarios
Enero	27605909,87	301838,94	0,53	173,47
Febrero	19261700,7	375715,84	0,6	85,27
Marzo	15171813,62	491322,12	0,61	50,96
Abril	7976854,104	558844,41	0,61	23,49
Mayo	0	609227,67	0,64	0
Junio	0	615095,2	0,66	0
Julio	0	677221,83	0,67	0
Agosto	0	698808,44	0,67	0
Septiembre	0	612261,62	0,65	0
Octubre	5505976,355	503303,79	0,63	17,26
Noviembre	15566774,61	378728,06	0,62	66,81
Diciembre	26249710,48	304742,47	0,54	160,73

Dividiendo los metros cuadrados de captador necesarios entre los metros cuadrados del captador utilizado en el proyecto, se obtiene el número de captadores necesarios para cubrir el 100% de la demanda de calefacción.

	m² necesarios	m² de un captador	Nº de captadores
Enero	173,47		91
Febrero	85,27	1,91	45
Marzo	50,96		27
Abril	23,49		13
Mayo	0		0
Junio	0		0
Julio	0		0
Agosto	0		0
Septiembre	0		0
Octubre	17,26		10
Noviembre	66,81		35
Diciembre	160,73		85

En este proyecto se pretende aportar el 40% de la media anual de la demanda (teniendo en cuenta solo los meses que existe demanda de calefacción).

El % de aporte de demanda para N captadores, es el cociente entre la energía captada por N captadores y la demanda energética. El cálculo se realiza con la siguiente expresión :

$$\% = \text{m}^2 \text{captador} * N * \eta * \text{irra,real (kj/m}^2\text{)}/\text{demanda(kj)}$$

En dicha expresión para el cálculo de % de demanda, queda como única variable el número de captadores , puesto que conocemos el rendimiento y metros cuadrados de nuestro captador, demanda energética e irradiación real.

Realizando cálculos, para 10 captadores se obtienen los siguientes resultados de % de aporte de la demanda energética.

	irra.real(kj/m²)	m² instalados	demanda(kj)	% aporte
Enero	301838,94	19,1	27605909,87	11,01
Febrero	375715,84	19,1	19261700,7	22,4
Marzo	491322,12	19,1	15171813,62	37,45
Abril	558844,41	19,1	7976854,104	81,32
Mayo	609227,67	0	0	0
Junio	615095,2	0	0	0
Julio	677221,83	0	0	0
Agosto	698808,44	0	0	0
Septiembre	612261,62	0	0	0
Octubre	503303,79	19,1	5505976,355	110,65
Noviembre	378728,06	19,1	15566774,61	28,59
Diciembre	304742,47	19,1	26249710,48	11,88

Realizando la media de % aporte de los meses que hay demanda de calefacción, obtenemos un 43 % anual.

Por tanto con 10 captadores se cubre más del 40% de la demanda de calefacción, más un captador para la demanda de agua caliente sanitaria, se instalaran un total de 11 captadores, teniendo una superficie de captación de 21.01 m².

1.5.5 Volumen de acumulación

Para el caso de la acumulación de A.C.S, utilizaremos un volumen de acumulación(interacumulador de 150 litros) igual a la demanda diaria de A.C.S.

La superficie mínima de intercambio para un interacumulador viene marcada por el código técnico:

$$S_{\text{intercambio}} > 0.15 \cdot m^2_{\text{instalados}}$$

Puesto que para ACS solo disponemos de un captador, $1,91 \text{ m}^2$
La superficie mínima de intercambio del interacumulador es 0.29 m^2

Para el cálculo del volumen de acumulación destinada a calefacción utilizamos la expresión recomendada por el código técnico:

$$50 < V(l)/m^2_{\text{instalados}} > 180$$

$V(l)$: volumen de acumulación en litros.

$m^2_{\text{instalados}}$: metros cuadrados de captador instalados.

Teniendo en cuenta que tenemos 19.1 m^2 de captador instalados para calefacción:

$$V(l)_{\text{mínimo}} = 955 (l)$$

$$V(l)_{\text{máximo}} = 343.8(l)$$

El volumen del acumulador a elegir entre los distintos tipos del mercado, tiene que tener un volumen de acumulación entre $955(l)$ y $343.8 (l)$.

Sea tomado la decisión de coger una acumulación de $2000(l)$.

1.5.6 Potencia de intercambio

Para su cálculo se tendrán en cuenta las recomendaciones del código técnico:

En el caso de un intercambiador independiente, la potencia mínima del intercambiador P se determinará para las condiciones de trabajo en horas centrales del día suponiendo una radiación solar 1000 w/m^2 y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50%, cumpliéndose la condición:

$P > 500 \text{ m}^2$ de captador instalados

m^2 de captador instalados para calefacción = 19,1

P mínima= 9550 W

1.5.7. Volumen del vaso de expansión

El volumen del vaso de expansión cerrado se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{\text{vaso}} = V * n * P_f / (P_f - P_i)$$

Siendo:

V_{vaso} Volumen del vaso de expansión (litros)

V Volumen de fluido caloportador en el circuito primero (litros)

n Coeficiente de dilatación (adimensional)

P_f Presión absoluta final del vaso de expansión (Kg / cm^2)

P_i Presión absoluta inicial del vaso de expansión (Kg / cm^2)

Se debe considerar el denominado volumen de reserva, para compensar pérdidas de fluido, como purga de aire, y la contracción del fluido a temperaturas muy bajas, que debería ser de por lo menos 3 litros.

Con lo cual el vaso de expansión que debemos colocar en el circuito primario será de **18 litros**.

Y haciendo los cálculos para el circuito secundario para calefacción será de **12 litros**.

1.5.8 circuito hidráulico

1.5.8.1 Caudal

El caudal del circuito primario se calcula a partir del caudal unitario por m^2 del captador, de su superficie y del número de ellos. El caudal del fluido portador se determina de acuerdo con las especificaciones del fabricante como consecuencia del diseño de su producto, como base de los cálculos se ha considerado un valor medio de 70 l/h por m^2 de captación solar, para captadores solares conectados en paralelo, salvo otra indicación concreta del fabricante acerca del caudal recomendado para su captador.

El caudal que circula por una batería de captadores en paralelo es el resultado de la suma de caudales que circulan por cada uno de los captadores.

El caudal se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = Q_{\text{captador}} \times A \times N$$

Siendo:

Q caudal total del circuito primario, en l/h

Q captador caudal unitario del captador, en l/(hm²)

A superficie de un captador solar, en m²

N número de captadores en paralelo, entendiendo que el caudal de una serie equivale a un único captador.

Q= 764 litros de acumulación

Con lo cual el acumulador a instalar será de 1500 litros, ya que el volumen que nos ha resultado no hay dimensiones con tal volumen.

1.5.8.2. Pérdidas de carga

Para calcular las pérdidas de carga se tendrá en cuenta tanto los metros lineales de tubería y todos los elementos puntuales de la instalación, así como las cargas puntuales de los captadores e interacumulador de la instalación.

Las cargas de los elementos son:

- Pérdidas de tubería= 0,29 m.c.a.
- Pérdidas de Interacumulador= 0,008 m.c.a.
- Pérdidas de captadores= 11 x 0.01= 0,11 m.c.a.

**Con lo cual las pérdidas totales en nuestra instalación solar es de:
0,408 m.c.a.**

