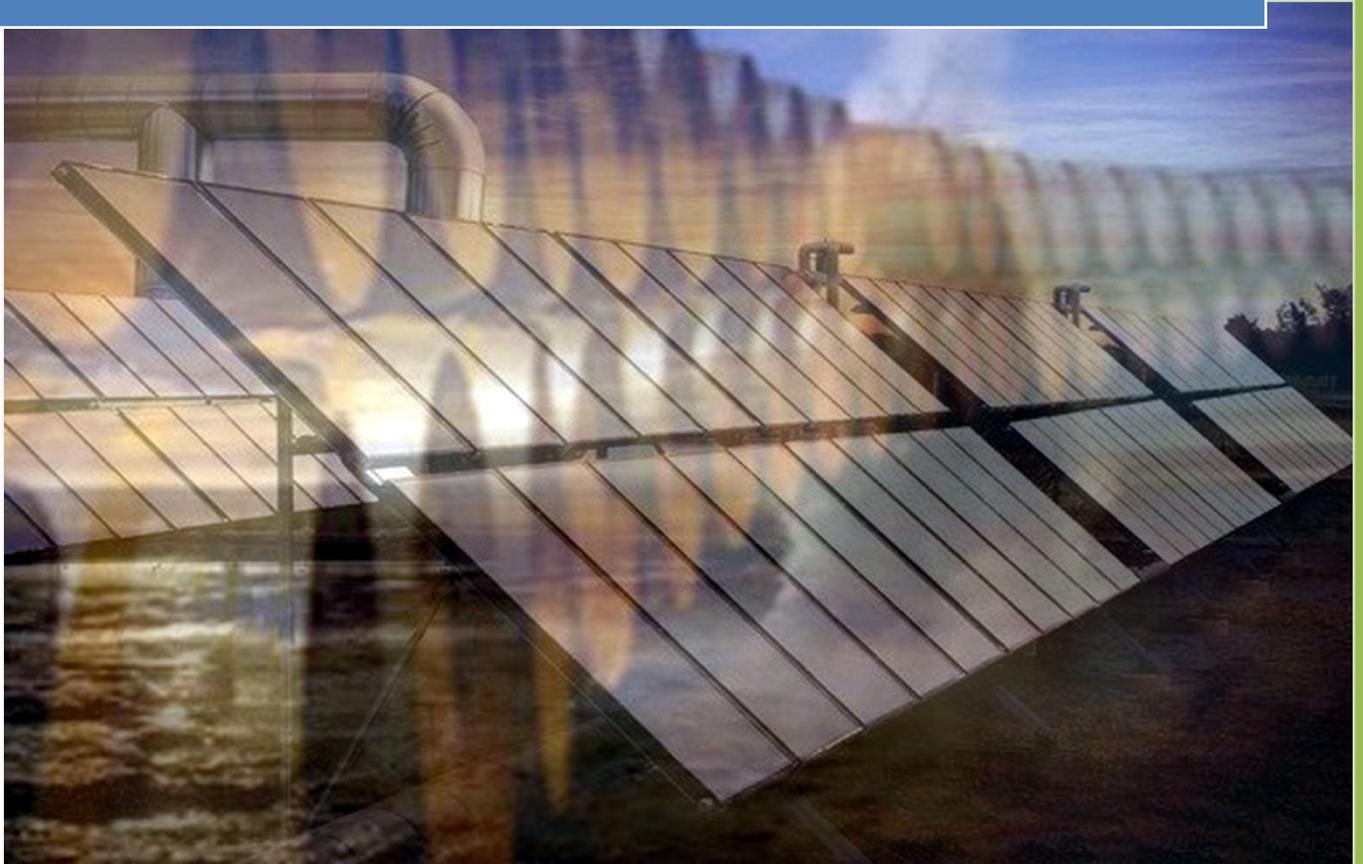


## Bodega “Fuente del Toro”.

*Generación de energía térmica con sistemas solares de baja temperatura y bomba de calor geotérmica.*



Castaño Suárez, Paúl  
Franco Pérez, Justo  
Gabot González, Angélica M.  
Gallardo Desnos, Lorenzo

TUTOR: Vicente Gallardo

## ÍNDICE.

1	OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO. ....	4
2	CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO.....	4
3	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO. ....	5
3.1	POBLACIÓN.....	5
3.2	DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS. ....	5
4	CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	6
5	APORTE ENERGÉTICO CON ENERGÍA RENOVABLE. ....	11
5.1	APORTE CON SISTEMA SOLAR TÉRMICO.....	11
5.1.1	ELECCIÓN DE LA FRACCIÓN SOLAR ANUAL. ....	11
5.1.2	MÉTODO DE CÁLCULO PARA LA APORTACIÓN SOLAR.....	12
5.1.3	SELECCIÓN DEL NÚMERO DE CAPTADORES NECESARIO.....	15
5.1.4	FRACCIÓN SOLAR ANUAL CUBIERTA PARA EL PROCESO. ....	17
5.1.5	AHORRO DE ENERGÍA CONVENCIONAL.....	24
5.2	APORTE CON SISTEMA GEOTÉRMICO.....	24
5.2.1	FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA. ....	24
5.2.2	PROCESO DE DIMENSIONADO DEL APORTE CON SISTEMA GEOTÉRMICO.....	26
5.2.3	CÁLCULO DEL APORTE ENERGÉTICO CON BOMBA DE CALOR. ....	27
6	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR. ....	37
6.1	DISTRIBUCIÓN.....	37
6.2	ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN. ....	38
7	SISTEMA DE CAPTACIÓN SOLAR. ....	39
7.1	EL CAPTADOR SOLAR. ....	39
7.2	EL RENDIMIENTO DE UN CAPTADOR SOLAR.....	40
7.3	ELECCIÓN TIPO DE CAPTADOR. ....	41
8	CIRCUITO PRIMARIO. ....	44
8.1	UBICACIÓN DE LOS CAPTADORES.....	44
8.1.1	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN. ....	44
8.1.2	IMPLANTACIÓN DE LOS CAPTADORES. ....	44
8.1.3	SEPARACIÓN ENTRE FILAS.....	44
8.1.4	CONEXIÓN DE LOS CAPTADORES.....	44
8.2	FLUIDO CALOPORTADOR.....	45
8.3	CAUDAL DEL CIRCUITO PRIMARIO SOLAR. ....	46
8.4	TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO. ....	46
8.5	PÉRDIDAS DE CARGA. ....	47



8.6	BOMBA.....	49
8.7	VASO DE EXPANSIÓN.....	51
8.8	PURGADORES.....	53
8.9	OTROS ELEMENTOS INSTALADOS EN EL CIRCUITO PRIMARIO.....	53
9	CIRCUITO SECUNDARIO SOLAR.....	53
9.1	FLUIDO DE TRABAJO.....	53
9.2	VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO.....	54
9.3	TUBERÍAS Y PÉRDIDAS DE CARGA DEL SECUNDARIO SOLAR.....	55
9.4	INTERCAMBIADORES.....	56
9.5	BOMBAS DEL SECUNDARIO SOLAR.....	58
10	SISTEMA AUXILIAR.....	62
11	SISTEMAS DE CONTROL DEL SISTEMA SOLAR TERMICO.....	63
11.1	ESQUEMA & CONEXIONADO.....	64
12	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	66
12.1	AYUDAS Y SUBVENCIONES.....	66
12.2	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA SOLAR.....	67
12.2.1	DATOS DE PARTIDA.....	67
12.2.2	EVALUACIÓN DE INVERSIÓN DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICA.....	67
12.3	ANÁLISIS ECONÓMICO INSTALACIÓN GEOTÉRMICA.....	69
12.3.1	PAY BACK.....	69
12.3.2	VAN.....	70
12.3.3	TIR.....	70
12.3.4	IR.....	70
12.4	RESUMEN DE DATOS DE INVERSIÓN PARA SISTEMA TÉRMICO Y GEOTÉRMICO.....	71
13	BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES.....	71
14	CONCLUSIONES.....	72

## **1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.**

El objetivo del proyecto es un estudio económico comparativo del proceso de generación de energía térmica con sistemas solares de baja temperatura y bomba de calor geotérmica, para cubrir un porcentaje de la demanda energética en las bodegas “Fuente del Toro” de Seseña, Toledo, con la consecuente disminución del consumo de combustible fósil y el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>.

La energía renovable generada por los captadores o bomba de calor será utilizada en el sistema de agua caliente para duchas, proceso de esterilización y limpieza de botellas de la bodega. Aunque en este último proceso será menor la aportación solar necesaria, porque se dispone de un recuperador de calor que precalienta la corriente de salida de la esterilización a la de entrada de limpieza.

El alcance del proyecto incluye:

- Dimensionado del sistema solar térmico, donde se incluye el aporte con sistema solar térmico, cálculo del número de captadores necesario, volúmenes de acumulación, así como el diseño de los circuitos primario y secundario solar, especificando las bombas, intercambiadores y recuperador de calor, y red de tuberías.
- Dimensionado del sistema geotérmico de baja temperatura para la generación de energía térmica, viendo su viabilidad para cada una de las aplicaciones.
- Optimización del aporte energético en función del período de retorno de la inversión en ambos sistemas.
- Determinación de las cantidades de gases contaminantes que dejan de emitirse a la atmósfera en función del sistema de apoyo elegido.

## **2 CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO.**

La nave de La Fuente del Toro tiene unas dimensiones de 35 m x 22 m con una cubierta del 10 % de pendiente a dos aguas.

La nave consta de las siguientes dependencias<sup>1</sup>:

- Zona Almacén Enológico.
- Zona Sala juntas.
- Zona Oficina.
- Zona Laboratorio.
- Zona Vestuarios.
- Zona Vacíos.
- Zona Llenos.
- Zona de Embotellado.
- Zona Elaboración.
- Zona Recepción.

---

<sup>1</sup> Ver Plano “Situación Actual”



### 3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

La instalación se encuentra en Seseña (Toledo), en la **ilustración 1** se muestra su ubicación.



**Ilustración 1.** Localización.

#### 3.1 POBLACIÓN.

La población de Seseña, asciende a 14.523 habitantes.

#### 3.2 DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS.

En **tabla 1** se muestran datos geográficos y climatológicos.

PARÁMETRO	VALOR	
ALTITUD	609 m. sobre el nivel del mar	
EXTENSIÓN	71,60 km <sup>2</sup>	
SITUACIÓN	40° 06' 14" Latitud Norte – 3° 41' 45 " Longitud Oeste	
CLIMATOLOGÍA	Temperatura media anual	14 °C
	Temperatura media del mes más frío	4,8 °C
	Temperatura media mes más cálido	26 °C
	Días con temperatura inferior a 0 °C	53
	Precipitación media anual	477 mm.
	Viento dominante	SO

**Tabla 1.** Datos generales de Seseña, Toledo.

Debido a la proximidad respecto a la estación meteorológica se pueden emplear los datos de radiación media diaria mensual proporcionados por la instalación meteorológica de Aranjuez<sup>2</sup>, que se encuentra a 16 km del proyecto en estudio.

Para mayor fiabilidad Se ha calculado la media de cinco años consecutivos (2004-2008),. También se han obtenido datos de las medias diarias mensuales de horas de Sol y de las medias diarias mensuales de temperatura ambiente. Los datos obtenidos se muestran en la **tabla 2**.

Mes	Radiación media (kJ/m <sup>2</sup> )	Horas Sol (h)	Temperaturas medias (°C)
Enero	7.578,00	7,01	4,35
Febrero	10.154,00	8,26	6,18
Marzo	15.596,00	10,11	9,52
Abril	19.612,00	11,37	13,00
Mayo	21.946,00	12,16	16,89
Junio	26.190,00	13,07	22,91
Julio	27.184,00	13,15	25,44
Agosto	23.652,00	12,21	24,05
Septiembre	18.600,00	10,90	20,16
Octubre	11.928,00	8,71	14,62
Noviembre	8.706,00	7,70	7,33
Diciembre	6.730,00	6,69	4,21
<b>Promedio</b>	<b>16.489,67</b>	<b>10,11</b>	<b>14,06</b>

**Tabla 2.** Datos Climáticos de Seseña.

## 4 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.

El sistema de energía actual para los procesos de la bodega es gas natural.

En función de los datos de partida iniciales se procede a calcular las demandas de cada una de las aplicaciones que requiere el proceso,

- ✓ Agua caliente sanitaria (ACS).
- ✓ Esterilización.
- ✓ Limpieza.

<sup>2</sup> A través de <http://www.mapa.es/siar/Informacion.asp> se obtienen diferentes datos de las condiciones climáticas de Seseña.

✓ **Agua caliente sanitaria (ACS).**

Para determinar la demanda de ACS, se tiene en cuenta que son 200 empleados que tomarán una ducha diaria, y según el CTE, para una fábrica de estas características, se necesitan 15 (l) por persona y día de ACS a 60 °C, como se muestra en la **ilustración 2**.

**Demanda de referencia a 60°C(CTE)**

Demanda	l/día	por
Viviendas unifamiliares	30	x persona
Viviendas multifamiliares	22	x persona
Hospitales y clínicas	55	x cama
Hoteles ****	70	x cama
Hoteles ***	55	x cama
Hoteles ** / Hostales	40	x cama
Hostal/Pensión	35	x cama
Residencias	55	x cama
Camping	40	x emplazo
Vestuarios/Duchas	15	x servicio
Escuelas	3	x alumno
Cuarteles	20	x persona
Fábricas/talleres	15	x persona
Oficinas	3	x persona
Gimnasios	20 a 25	x usuario
Lavanderías	3 a 5	x kilo ropa
Restaurantes	5 a 10	x comida
Cafeterías	1	x almuerzo

**Ilustración 2.** Código Técnico de Edificación.

Conocido este dato, el criterio de dimensionado empleado será el mismo para todas las aplicaciones, según el cual, la **Demanda energética** de ACS a abastecer en la instalación por mes (**E**) se determina mediante la ecuación siguiente,

$$E = D (T_m - T_f) C_e n$$

Donde:

- **Volumen demandado (D):** en m<sup>3</sup>, que para ACS será de:  
(200 pers/ducha\*15l/d\*ducha) = 3 (m<sup>3</sup>/d).
- **Calor específico del fluido agua (Ce):** en kcal/h °C; sabiendo que el del el agua es 1 kcal/kg°C, que equivale a 1,16 (kWh/m<sup>3</sup>°C).
- **Temperatura de uso (Tm):** en °C; para esta aplicación se va a considerar la temperatura de uso del ACS a 60°C, siendo su almacenamiento a esa misma temperatura.
- **Temperatura de entrada del agua (Tf):** °C; la temperatura de entrada dependerá de la temperatura media de red de cada mes (En este caso la fuente de datos ha sido CENSOLAR).
- **Número de días del mes (n),** que al funcionar la planta de lunes a viernes, tendrá un índice de ocupación del 71%.

Conocidos estos datos, se calcula la demanda de ACS de cada mes y la anual necesaria, equivalente a **44.658,8 (kWh)**. La **tabla 3** muestra los parámetros referentes a ACS.



ACS.	
Nº empleados ducha diaria L-V (l/ducha)	200
Temperatura de uso °C	60
Demanda de referencia CTE a 60°C (l/d)	15
Consumo agua (m <sup>3</sup> /d)	3

Tabla 3. Parámetros de ACS.

La tabla 4 muestra la demanda energética para ACS.

Demanda Energética ACS.						
Mes	Días	T <sub>inicial</sub> =T <sub>red</sub> (°C)	T <sub>amb</sub> (°C)	Consumo a 60°C (m <sup>3</sup> /d)	T <sub>uso</sub> (°C)	Demanda energética (kWh)
Enero	22	6	4,35	3	60	4.134,2
Febrero	20	7	6,18	3	60	3.688,8
Marzo	22	9	9,52	3	60	3.904,6
Abril	21	11	13,00	3	60	3.580,9
Mayo	22	12	16,90	3	60	3.674,9
Junio	21	13	22,91	3	60	3.434,8
Julio	22	14	25,45	3	60	3.521,8
Agosto	22	13	24,05	3	60	3.598,3
Septiembre	21	12	20,16	3	60	3.507,8
Octubre	22	11	14,63	3	60	3.751,4
Noviembre	21	9	7,33	3	60	3727,1
Diciembre	22	6	4,21	3	60	4.134,2
<b>Total</b>	<b>258</b>	-	-	-	-	<b>44.658,8</b>

Tabla 4. Demanda Energética de ACS.

✓ Esterilización.

Para el proceso de esterilización de las botellas, se utiliza el mismo criterio de dimensionado de ACS, se tiene en cuenta que aunque la temperatura de uso requerida sea de 90 °C, con el sistema solar sólo se va a llegar a los 75 °C, y el resto de calor se aportará con el sistema de apoyo auxiliar.

Este proceso funciona únicamente durante una hora al día, de 4:00 a 5:00 horas, luego requerirá de un sistema de almacenamiento con capacidad para los 2.000 (l) necesarios, calentados con el sistema solar hasta los 75 °C. La tabla 5 muestra los parámetros referentes al proceso de Esterilización de Botellas.

Esterilización de Botellas.	
T <sub>uso</sub> en almacenamiento (°C)	75
T <sub>final</sub> uso de esterilización °C)	90
T <sub>final</sub> proceso (°C)	75
T <sub>inicial</sub> = T <sub>red</sub>	-
Tiempo de uso, L-V (h/d)	1
Consumo agua caliente (m <sup>3</sup> /h)	2

Tabla 5. Parámetros de Esterilización de Botellas.

✓ Limpeza.

Igualmente, para el **proceso de limpieza de botellas**, se tienen los datos de partida, con la salvedad de que se requiere un mayor caudal de trabajo de 3.500 (l/h), y que estos van a ser precalentados con la corriente de salida de 2.000 (l/h) a 75 °C del proceso de esterilización, mediante un recuperador de calor de placas, siendo la temperatura inicial, la correspondiente para cada mes en función de la temperatura de entrada de la red. La **tabla 6** muestra los parámetros referentes a Limpieza de Botellas.

Limpieza de Botellas.	
<b>T<sub>uso</sub> (°C)</b>	65
<b>T<sub>inicial</sub> (°C)</b>	Variable
<b>Tiempo de uso, L-V (h/d)</b>	1
<b>Consumo agua caliente (m<sup>3</sup>/h)</b>	3,5

**Tabla 6.** Parámetros de Limpieza de Botellas.

En el recuperador de calor, se considera que la temperatura de desagüe va a ser siempre igual a la de red, para así no alterar la temperatura del agua del río donde se vierta. Según esto, la temperatura de la corriente de salida de este recuperador de calor, que es a su vez la de entrada al proceso de limpieza, variará en función de la temperatura de red existente en el mes. Así se consigue una menor necesidad de calor en este último proceso, puesto que la corriente de agua ya ha sido precalentada.

Para el cálculo de las temperaturas mensuales de esta corriente de entrada al proceso de limpieza, se considera que en el recuperador de calor no hay pérdidas y que el calor cedido por la corriente de salida de esterilización a 75 °C hasta la temperatura de vertido de red, es totalmente absorbido por la corriente de entrada al proceso de limpieza, que viene también a temperatura de red y se precalienta hasta 45-50 °C según sea la temperatura de la red del mes correspondiente.

$$(-Q_{ced \text{ por esterilización}}) = Q_{abs \text{ en limpieza}}$$

La **tabla 7** muestra la demanda energética del proceso Limpieza de Botellas.

Demanda Energética de Limpieza de Botellas.						
Mes	Días	T <sub>inicial</sub> =T <sub>red</sub> (°C)	Consumo a 65°C (m <sup>3</sup> /d)	T <sub>uso</sub> (°C)	T <sub>entrada</sub> (°C)	Demanda energética (kWh)
Enero	22	6	3,50	65	45,4	1.748,1
Febrero	20	7	3,50	65	45,9	1.554,4
Marzo	22	9	3,50	65	46,7	1.633,3
Abril	21	11	3,50	65	47,6	1.486,0
Mayo	22	12	3,50	65	48,0	1.518,4
Junio	21	13	3,50	65	48,4	1.412,9
Julio	22	14	3,50	65	48,9	1.441,9
Agosto	22	13	3,50	65	48,4	1.480,2
Septiembre	21	12	3,50	65	48,0	1.449,4
Octubre	22	11	3,50	65	47,6	1.556,7
Noviembre	21	9	3,50	65	46,7	1.559,0
Diciembre	22	6	3,50	65	45,4	1.748,1
<b>Total</b>	<b>258</b>	-	-	-	-	<b>18.588,4</b>

**Tabla 7.** Demanda Energética de Limpieza de Botellas.



Los resultados obtenidos para cada una de las tres aplicaciones de la bodega se resumen en la tabla 8.

Demandas Energéticas Totales (kWh).				
Mes	ACS	Esterilización	Limpieza	Demanda Total
Enero	4.134,24	3.521,8	1.748,1	9.404,1
Febrero	3.688,8	3.155,2	1.554,4	8.398,4
Marzo	3.904,56	3.368,6	1.633,3	8.906,5
Abril	3.580,92	3.118,1	1.486,0	8.185,0
Mayo	3.674,88	3.215,5	1.518,4	8.408,8
Junio	3.434,76	3.020,6	1.412,9	7.868,3
Julio	3.521,76	3.113,4	1.441,9	8.077,1
Agosto	3.598,32	3.164,5	1.480,2	8.243,0
Septiembre	3.507,84	3.069,4	1.449,4	8.026,6
Octubre	3.751,44	3.266,6	1.556,7	8.574,7
Noviembre	3.727,08	3.215,5	1.559,0	8.501,6
Diciembre	4.134,24	3.521,8	1.748,1	9.404,1
<b>Total</b>	<b>44.658,84</b>	<b>38.751,0</b>	<b>18.588,4</b>	<b>101.998,2</b>

Tabla 8. Demandas Energéticas Totales.

El gráfico 1 presenta las demandas energéticas de los procesos.

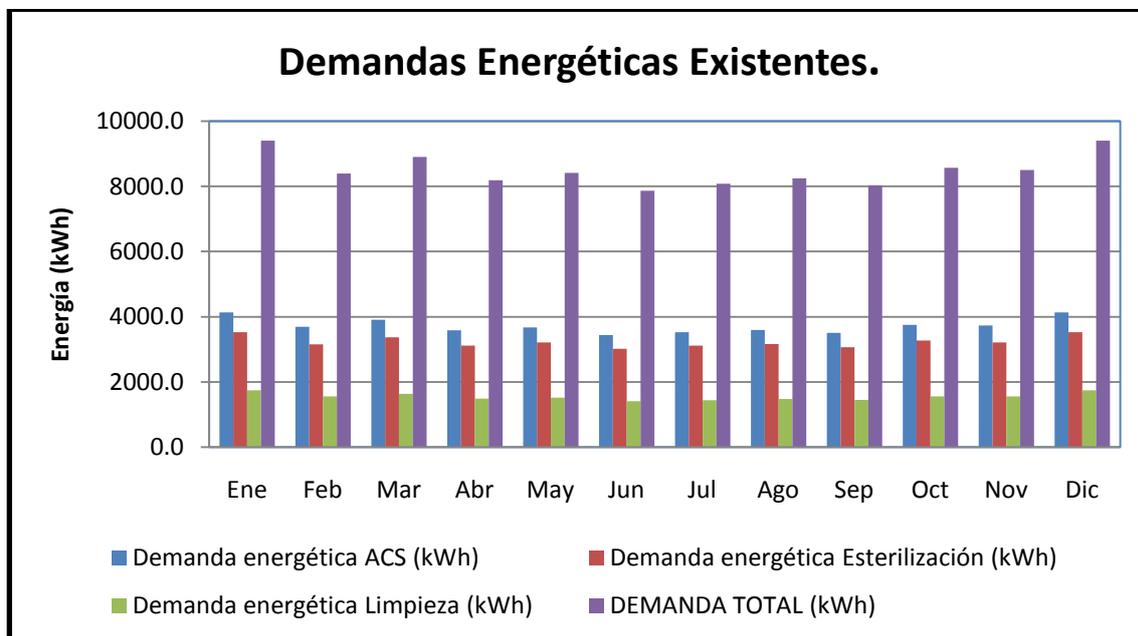


Gráfico 1. Demandas Energéticas de los procesos.



## 5 APORTE ENERGÉTICO CON ENERGÍA RENOVABLE.

### 5.1 APORTE CON SISTEMA SOLAR TÉRMICO.

La demanda energética requerida por el proceso en estudio, va a ser cubierta mediante el aprovechamiento de la energía del sol, es decir, mediante la transformación de la radiación solar en energía térmica.

#### 5.1.1 ELECCIÓN DE LA FRACCIÓN SOLAR ANUAL.

Según el Código Técnico de la Edificación (CTE), se consideran cinco zonas climáticas dentro de España, como se aprecia en la **ilustración 3**, con diferentes exigencias sobre fracciones solares mínimas de la demanda que deben ser cubiertas con la energía procedente de los captadores.



**Ilustración 3.** Mapa de Zonas Climáticas.

La bodega objeto de estudio pertenece a la zona climática IV, según la cual se debe cubrir un mínimo para ACS del 60%, según nuestra demanda inferior a 5.000 (l/d), como se puede comprobar en la **ilustración 4**.

Demanda Total a.c.s (l/d)	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
50-5000	30	30	50	60	70
5000-6000	30	30	55	65	70
6000-7000	30	35	61	70	70
7000-8000	30	45	63	70	70
8000-9000	30	52	65	70	70
9000-10000	30	55	70	70	70
10000-12500	30	65	70	70	70
12500-15000	30	70	70	70	70
15000-17500	35	70	70	70	70
17500-20000	45	70	70	70	70
>20000	52	70	70	70	70

**Ilustración 4.** Contribución solar mínima en %, en función de la zona climática.

La cuantificación de las exigencias según el CTE, indican que, en ningún mes del año se podrá superar el 110% de la energía producida y en no más de tres meses el 100%. Además, en caso de sobrepasar los límites marcados hay que dotar a la instalación de un mecanismo de disipación de energía.

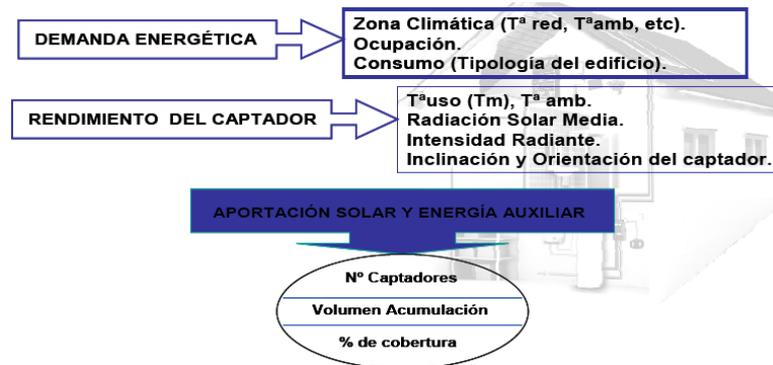
### 5.1.2 MÉTODO DE CÁLCULO PARA LA APORTACIÓN SOLAR.

Puesto que se dispone de terreno suficiente y sin limitaciones de obstáculos, los captadores se situarán de forma vertical sobre una superficie plana anexa a la bodega, y estarán orientados totalmente al Sur, y por tanto no tendrán pérdidas por desorientación.

Respecto a la inclinación, se van a instalar con la inclinación óptima de 40°, ya que la latitud del lugar es de 40°, y no se primará el uso estival o invernal puesto que la planta opera durante todo el año. Tampoco se van a considerar pérdidas por sombras.

Una vez evaluada la necesidad energética es necesario conocer la cantidad de energía que aporta el Sol, para poder obtener datos de la cobertura solar frente a la demanda. Se conocen las características de la zona, tales como, zona climática, temperatura red, temperatura ambiente, porcentaje de ocupación, tipo de consumo, radiación solar media existente, intensidad radiante, y la inclinación y orientación de los captadores; se puede calcular el rendimiento del captador y con este la aportación solar media dada por un captador.

Comparando la demanda con la aportación solar, se determina la superficie solar necesaria y el número de captadores necesarios para cubrir el % de la demanda impuesto por la zona climática correspondiente, así como el volumen de acumulación y el % de cobertura finalmente obtenido, el proceso se muestra en la **ilustración 5**.



**Ilustración 5.** Proceso de cálculo de la Aportación Solar.

Para la determinación de la energía disponible procedente del Sol se ha realizado un procedimiento de cálculo con los pasos siguientes:

- Los datos de **Radiación Solar Media**, (**H**, cantidad de energía por unidad de superficie horizontal), están evaluados por provincias o estaciones meteorológicas estratégicas repartidas a lo largo de la geografía española, y ésta depende de la latitud del lugar y aportan datos de la radiación media diaria existente en la zona.

- **Corrección de la Radiación Solar Media:** Para el caso de una superficie plana, esta primera corrección varía en función de la calidad del aire. La calidad del aire se evalúa mediante datos aportados por el Instituto Nacional de Meteorología, según el cual:

- $H_{\text{corregida}} = 1,05 H$  (Aire Limpio).
- $H_{\text{corregida}} = 0,95 H$  (Aire con Polución).

- **Radiación Solar Efectiva o Energía Útil ( $E_u$ ):** Es la energía que realmente llega al captador teniendo en cuenta la inclinación de éste sin tener en cuenta su rendimiento. El término de 0,94 permite hablar de radiación efectiva debido a que a primera hora de la mañana y a última hora de la tarde la intensidad de radiación es menor que en el mediodía solar, y en ocasiones se compensaría la intensidad recibida por las pérdidas generadas.

$$E_u = 0,94 * K * H_{\text{corregida}}$$

Siendo **K**, un factor correctivo que depende de la latitud del lugar donde se ubica la instalación y de la inclinación del captador.

Para nuestro caso el factor **K**, está calculado para 40° de latitud y 40° de inclinación.

Por tanto, se han considerado los factores de:

- **Factor corrección Radiación efectiva: 0,94.**
- **H, Aire Limpio: 1,05.**

- **Aporte de Energía Solar ( $E_p$ ):** A continuación hay que considerar el rendimiento del captador ( $\eta$ ), que depende de la temperatura ambiente y de la temperatura media del fluido caloportador. Se ha estimado 10% en pérdidas generadas en todos los elementos de la instalación, debidas fundamentalmente al aislamiento, de ahí el término del 0,9.

$$E_p \text{ (kWh/m}^2\text{)} = 0,9 * \mu * E_u$$

En la **tabla 9** se resumen las características de la instalación.

Características de la Instalación.	
Zona climática IV: Cobertura mínima	60%
Latitud	40°
Inclinación	40°
Orientación	0°
Rendimiento instalación	90%
Tipo de colector	<b>VFK 145 V</b>
Curva de rendimiento	$\eta=0,79-2,41(T_m-T_a)/I$
Área de apertura /colector (m <sup>2</sup> )	2,35
Temperatura media de uso ACS (°C)	58
Temperatura media de uso esterilización (°C)	62,5
Temperatura media de uso limpieza botellas (°C)	71,2

**Tabla 9.** Características de la Instalación.

El captador seleccionado ha sido el **VFK 145 V** de la marca comercial **VAILLANT**, el método de elección del captador será desarrollado en el **punto 8**.

La temperatura media de uso del fluido caloportador que circula por los captadores se ha calculado como una media de las corrientes de entrada y salida a los intercambiadores del circuito primario.

Se ha considerado una temperatura de salida de los captadores de 90 °C, y un retorno de temperatura equivalente a la media de la salida del intercambiador para el mejor y el peor mes del año, o sea, de 25 °C para el ACS, de 35 °C para el proceso de esterilización y de 52 °C aproximadamente para el proceso de limpieza. Ésta se usa para el cálculo del rendimiento del captador.

El rendimiento del captador, aparte de depender también de los propios elementos constructivos del propio captador, depende de la Intensidad Radiante (I). Esta Intensidad Radiante se obtiene dividiendo la Energía Útil captada por el número de horas expuesto al Sol.

Con estas consideraciones se ha obtenido el Aporte de Energía Solar el cual se muestra en la **tabla 10**.

Aporte de Energía Solar.							
MES	Días	T <sub>amb</sub> (°C)	(H) (kJ/m <sup>2</sup> /d)	K	Eu (kWh/m <sup>2</sup> *d)	H (h)	Irradiancia media (W/m <sup>2</sup> )
<b>Enero</b>	22	4,4	7.578	1,39	2,89	7,01	412,0
<b>Febrero</b>	20	6,2	10.154	1,29	3,59	8,26	434,6
<b>Marzo</b>	22	9,5	15.596	1,16	4,96	10,11	490,5
<b>Abril</b>	21	13,0	19.612	1,04	5,59	11,37	491,8
<b>Mayo</b>	22	16,9	21.946	0,95	5,72	12,16	470,0
<b>Junio</b>	21	22,9	26.190	0,92	6,61	13,07	505,4
<b>Julio</b>	22	25,4	27.184	0,95	7,08	13,15	538,6
<b>Agosto</b>	22	24,1	23.652	1,05	6,81	12,21	557,5
<b>Septiembre</b>	21	20,2	18.600	1,21	6,17	10,90	565,9
<b>Octubre</b>	22	14,6	11.928	1,39	4,55	8,71	522,0
<b>Noviembre</b>	21	7,3	8.706	1,52	3,63	7,70	471,3
<b>Diciembre</b>	22	4,2	6.730	1,48	2,73	6,69	408,2

**Tabla 10.** Aporte de Energía Solar.

En la **tabla 11** se muestran los resultados para cada una de las tres aplicaciones de la planta.

MES	ACS.			ESTERILIZACIÓN.			LIMPIEZA.		
	$T_m - T_a / I$ (°C/W/ m <sup>2</sup> )	$\eta$ (%)	$E_p$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$T_m - T_a / I$ (°C/W/ m <sup>2</sup> )	$\eta$ (%)	$E_p$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$T_m - T_a / I$ (°C/W/ m <sup>2</sup> )	$\eta$ (%)	$E_p$ (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	0,129	48	27,32	0,141	45	25,63	0,162	40	22,70
Febrero	0,118	50	32,59	0,130	48	30,79	0,150	43	27,65
Marzo	0,098	55	54,35	0,108	53	51,92	0,126	49	47,70
Abril	0,090	57	60,37	0,101	55	57,77	0,118	50	53,23
Mayo	0,086	58	65,77	0,097	56	62,85	0,116	51	57,77
Junio	0,068	62	77,98	0,078	60	74,99	0,096	56	69,78
Julio	0,060	65	90,58	0,069	62	87,43	0,085	58	81,95
Agosto	0,060	64	86,95	0,069	62	84,03	0,085	59	78,93
Septiembre	0,066	63	73,53	0,075	61	71,04	0,090	57	66,69
Octubre	0,082	59	53,23	0,092	57	51,14	0,108	53	47,51
Noviembre	0,106	53	36,51	0,117	51	34,75	0,136	46	31,68
Diciembre	0,131	47	25,63	0,143	44	24,02	0,164	39	21,22
<b>Total</b>	-	-	<b>684,82</b>	-	-	<b>656,36</b>	-	-	<b>606,82</b>

**Tabla 11.** Aporte de Energía Solar para cada aplicación.

### 5.1.3 SELECCIÓN DEL NÚMERO DE CAPTADORES NECESARIO.

- Número de Captadores:** Para definir el número de captadores que necesita la instalación hay que seguir el método aportado por el CTE, en caso de instalaciones de ACS (se consideran las tres aplicaciones como tal), aunque es conveniente saber que la superficie total de captación ( $S_{cap}$ ) se obtiene de la comparativa de la energía demandada anual y la energía anual aportada por el Sol por unidad de superficie como se detalla a continuación:

$$S_{cap} = \frac{E_{nec. \text{ anual (kWh)}}}{E_p \text{ anual } \left( \frac{kWh}{m^2} \right)} * \text{Cobertura deseada}$$

El número de captadores una vez conocida la superficie de captación necesaria, no es más que dividir dicha superficie por la superficie útil del tipo de captador elegido:

$$N^{\circ} \text{ Captadores} = S_{cap} / S_{\text{útil}}$$

Hasta ahora se han determinado valores de energía por m<sup>2</sup> de superficie de captación, se puede hablar de términos absolutos de energía aportada una vez conocida la superficie real de captación, incluyendo en la expresión anterior el término de superficie de captación.

$$E_p \text{ (kWh)} = 0,9 * \mu * E_u * S_{cap}$$

- **Energía Auxiliar:** Ya se ha mencionado que en las instalaciones solares térmicas siempre habrá un déficit energético puesto que es imposible cubrir el 100% de la demanda de todos los meses. Por ello, hay que calcular también la energía no cubierta en cada mes por la aportación solar y que por lo tanto tendrá que ser aportada por un sistema de energía auxiliar convencional.

$$\text{Energía auxiliar} = E_{\text{demandada}} \text{ (kWh)} - E_p \text{ (kWh)}$$

- **Cobertura Solar:** Por último, se recalcula la fracción de cobertura solar que realmente se consigue finalmente, es decir, la fracción del consumo energético que satisface la radiación solar. Se obtiene como:

$$\% \text{ Cobertura} = [E_{\text{aportada}} \text{ (kWh)} / E_{\text{necesaria}} \text{ (kWh)}] \times 100$$

Cabe mencionar que en el presente estudio, una vez calculada la superficie mínima necesaria de captadores, el número de captadores a instalar se ha optimizado tanteando el número de estos para cubrir el máximo porcentaje de demanda posible sin sobrepasar en más de tres meses el 100% y en ninguno el 110% de la demanda energética existente.

Estos han sido los resultados obtenidos totales para cada una de las aplicaciones y el sistema global como se muestra en la **tabla 12**.

RESULTADOS FINALES.	
Superficie de captación duchas ACS (m <sup>2</sup> )	42,3
Número captadores para duchas ACS	18
Superficie de captación proceso Esterilización (m <sup>2</sup> )	37,6
Número captadores proceso Esterilización	16
Superficie de captación proceso limpieza (m <sup>2</sup> )	18,8
Número captadores sistema limpieza ACS	8
<b>SUPERFICIE DE CAPTACIÓN TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>	<b>98,7</b>
Número total de captadores del sistema	42

**Tabla 12.** Resultados Finales

Con este número de captadores total se cubre más de la cobertura mínima exigida, por lo que se cumple con el CTE.



### 5.1.4 FRACCIÓN SOLAR ANUAL CUBIERTA PARA EL PROCESO.

A continuación se muestran cada aplicación por separado:

➤ **SISTEMA DE DUCHAS DE ACS.**

Los resultados analíticos se muestran en la **tabla 13**.

Mes	Demanda energética ACS (kWh)	Aporte Solar ACS ( $E_p$ ) (kWh)	Cobertura Solar Real	Cobertura Solar Teórico	Energía auxiliar (kWh)
Enero	4.134,2	1.155,6	28,0%	28,0%	2.978,6
Febrero	3.688,8	1.378,7	37,4%	37,4%	2.310,1
Marzo	3.904,6	2.299,0	58,9%	58,9%	1.605,6
Abril	3.580,9	2.553,6	71,3%	71,3%	1.027,3
Mayo	3.674,9	2.781,9	75,7%	75,7%	893,0
Junio	3.434,8	3.298,6	96,0%	96,0%	136,2
Julio	3.521,8	3.831,7	100,0%	108,8%	0
Agosto	3.598,3	3.678,1	100,0%	102,2%	0
Septiembre	3.507,8	3.110,3	88,7%	88,7%	397,5
Octubre	3.751,4	2.251,6	60,0%	60,0%	1.499,8
Noviembre	3.727,1	1.544,5	41,4%	41,4%	2.182,6
Diciembre	4.134,2	1.084,2	26,2%	26,2%	3.050,0
Anual	<b>44.658,8</b>	<b>28.967,9</b>	<b>64,9%</b>	<b>64,9%</b>	<b>16.080,7</b>

Tabla 13. Resultados Sistema ACS.

El **gráfico 2** muestra la demanda frente a la aportación solar para ACS.

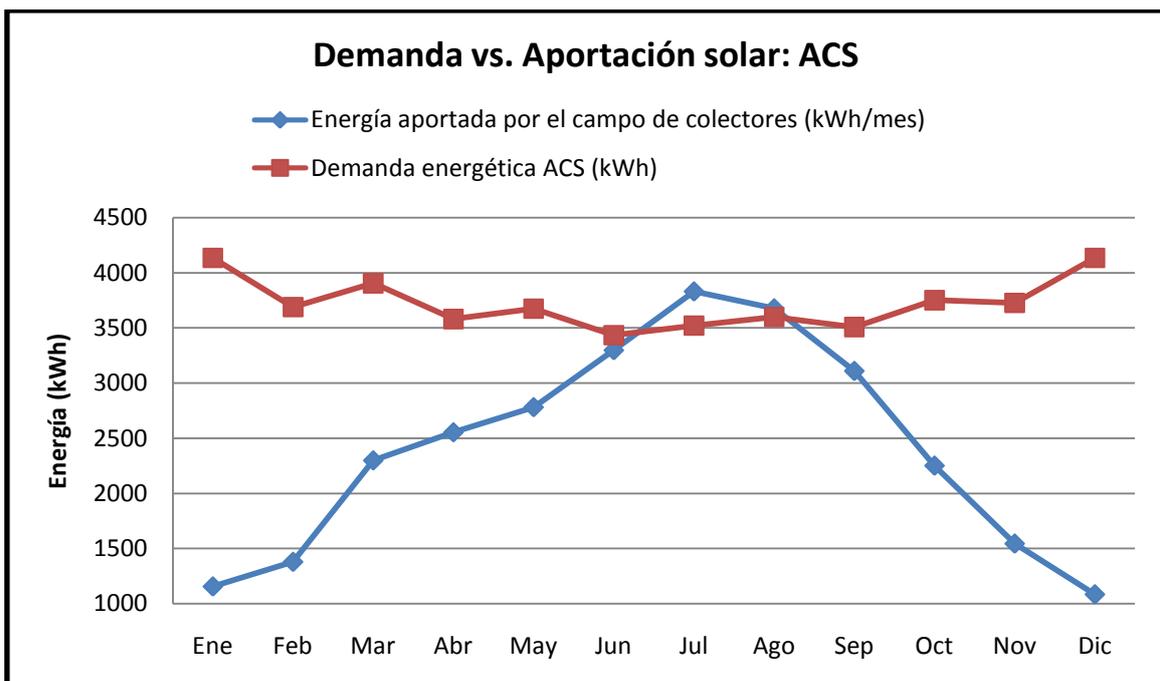
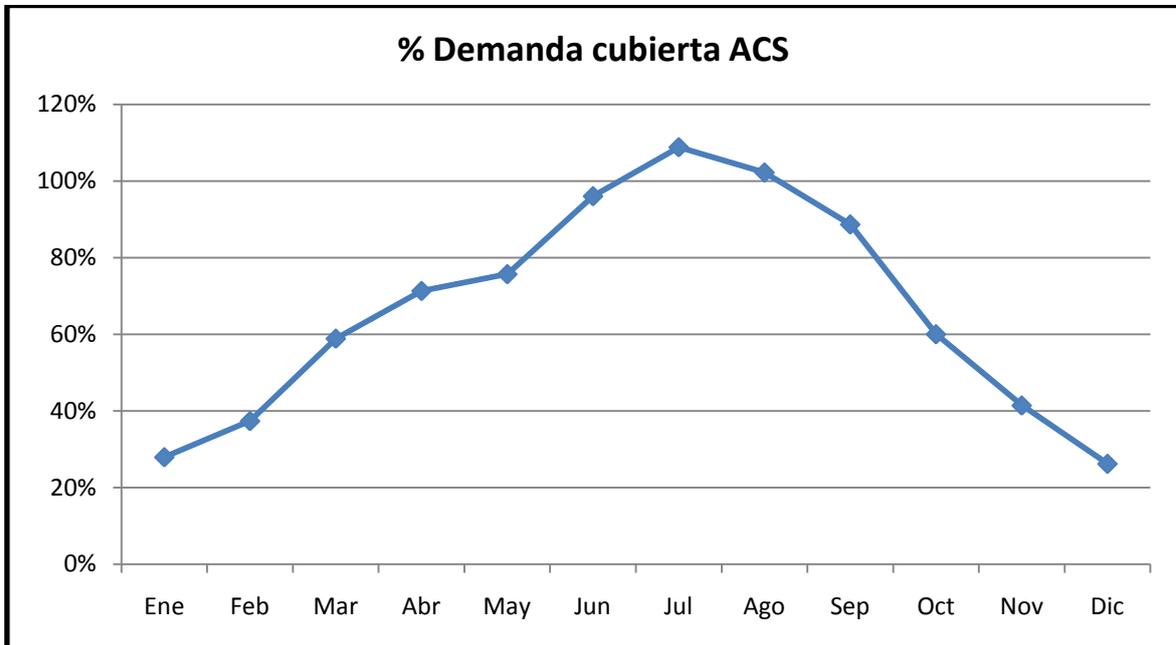


Gráfico 2. Demanda vs. Aportación Solar para ACS.



El **gráfico 3** representa el porcentaje de demanda cubierta para ACS por la aportación del sistema solar térmico.



**Gráfico 3.** Porcentaje de Demanda ACS cubierta por sistema solar térmico.



➤ **PROCESO DE ESTERILIZACIÓN DE BOTELLAS.**

Los resultados analíticos se muestran en la **tabla 14**.

Mes	Demanda energética Esterilización (kWh)	Aporte Solar Esterilización ( $E_p$ ) (kWh)	Cobertura Solar Real	Cobertura Solar Teórico	Energía auxiliar (kWh)
Enero	3.521,8	963,9	27,4%	27,4%	2.557,9
Febrero	3.155,2	1.157,7	36,7%	36,7%	1.997,5
Marzo	3.368,6	1.952,3	58,0%	58,0%	1.416,3
Abril	3.118,1	2.172,0	69,7%	69,7%	946,1
Mayo	3.215,5	2.363,1	73,5%	73,5%	852,4
Junio	3.020,6	2.819,6	93,3%	93,3%	201,0
Julio	3.113,4	3.287,6	100,0%	105,6%	0,0
Agosto	3.164,5	3.159,4	100,0%	99,8%	5,1
Septiembre	3.069,4	2.670,9	87,0%	87,0%	398,4
Octubre	3.266,6	1.922,9	58,9%	58,9%	1.343,7
Noviembre	3.215,5	1.306,6	40,6%	40,6%	1.909,0
Diciembre	3.521,8	903,3	25,6%	25,6%	2.618,5
Anual	<b>38.751,0</b>	<b>24.679,2</b>	<b>63,7%</b>	<b>63,7%</b>	<b>14.245,9</b>

Tabla 14. Resultados Proceso de Esterilización de Botellas.

El **gráfico 4** muestra la demanda frente a la aportación solar para Esterilización.

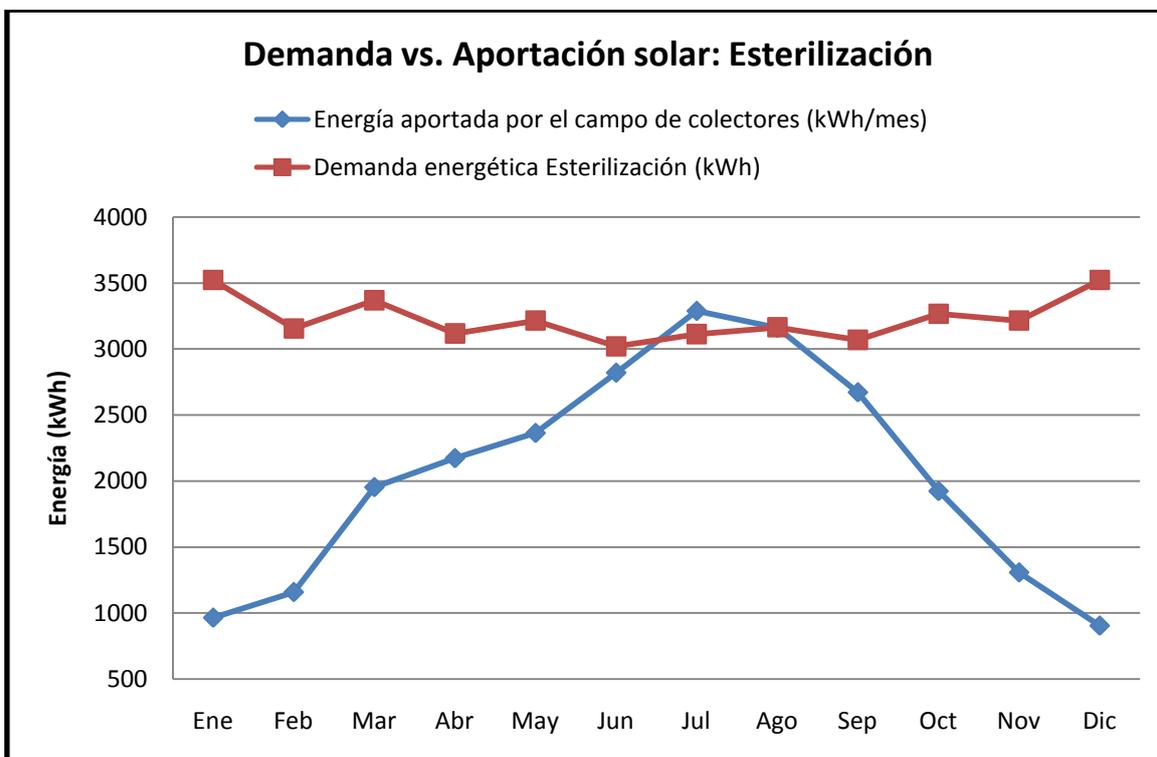


Gráfico 4. Demanda & Aportación solar, Esterilización de Botellas.



El gráfico 5 muestra el porcentaje de demanda cubierta para Esterilización.

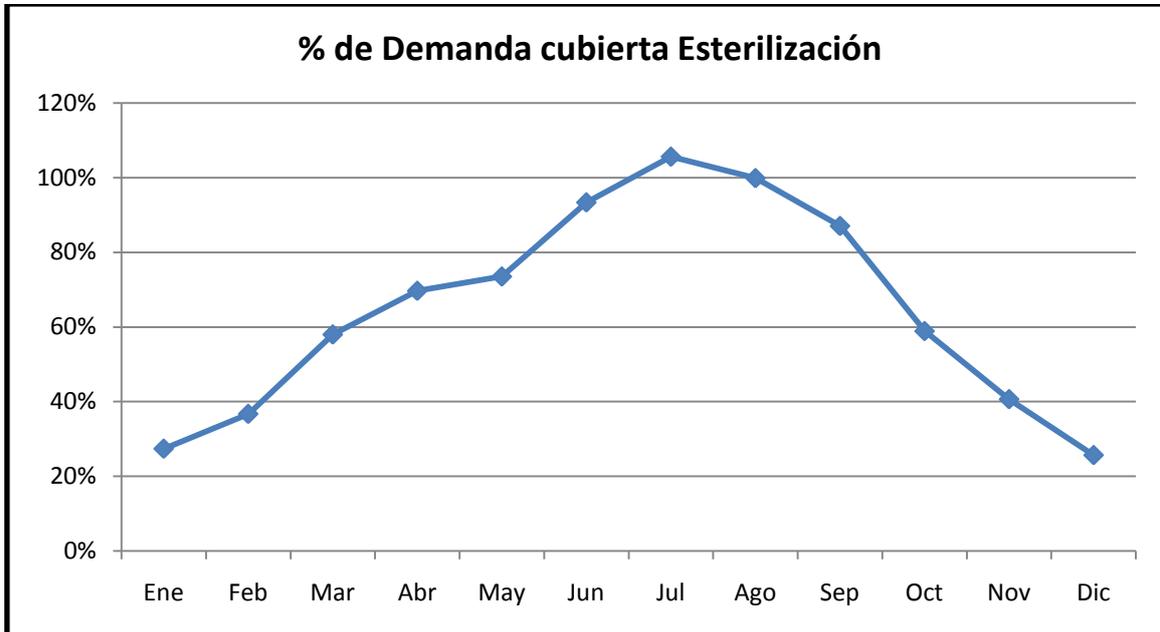


Gráfico 5. Porcentaje de demanda del proceso de Esterilización cubierta por sistema solar.

➤ PROCESO DE LIMPIEZA DE BOTELLAS.

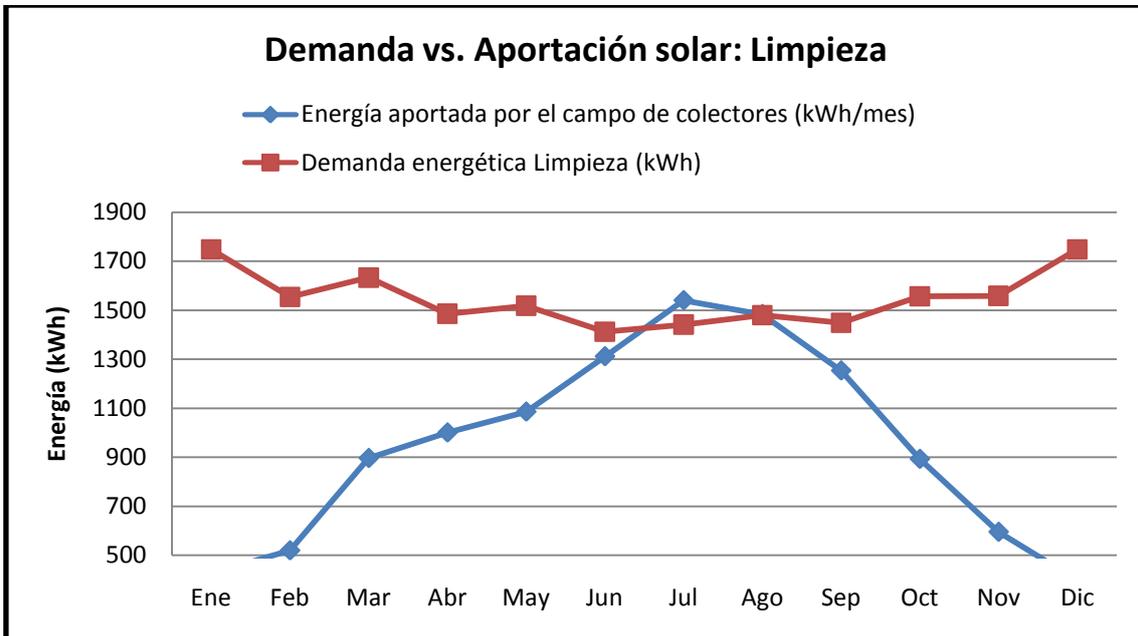
Los resultados analíticos se muestran en la tabla 15.

Mes	Demanda energética Limpieza (kWh)	Aporte Solar Limpieza ( $E_p$ ) (kWh)	Cobertura Solar Real	Cobertura Solar Teórico	Energía auxiliar (kWh)
<b>Enero</b>	1.748,1	426,8	24,4%	24,4%	1.321,3
<b>Febrero</b>	1.554,4	519,8	33,4%	33,4%	1.034,6
<b>Marzo</b>	1.633,3	896,7	54,9%	54,9%	736,5
<b>Abril</b>	1.486,0	1.000,8	67,3%	67,3%	485,2
<b>Mayo</b>	1.518,4	1.086,0	71,5%	71,5%	432,4
<b>Junio</b>	1.412,9	1.311,9	92,9%	92,9%	101,0
<b>Julio</b>	1.441,9	1.540,7	100,0%	106,9%	0,0
<b>Agosto</b>	1.480,2	1.483,9	100,0%	100,3%	0,0
<b>Septiembre</b>	1.449,4	1.253,8	86,5%	86,5%	195,6
<b>Octubre</b>	1.556,7	893,1	57,4%	57,4%	663,6
<b>Noviembre</b>	1.559,0	595,5	38,2%	38,2%	963,5
<b>Diciembre</b>	1.748,1	399,0	22,8%	22,8%	1.349,1
<b>Anual</b>	<b>18.588,4</b>	<b>11.408,1</b>	<b>61,4%</b>	<b>61,4%</b>	<b>7282,8</b>

Tabla 15. Resultados Proceso de Limpieza de Botellas.

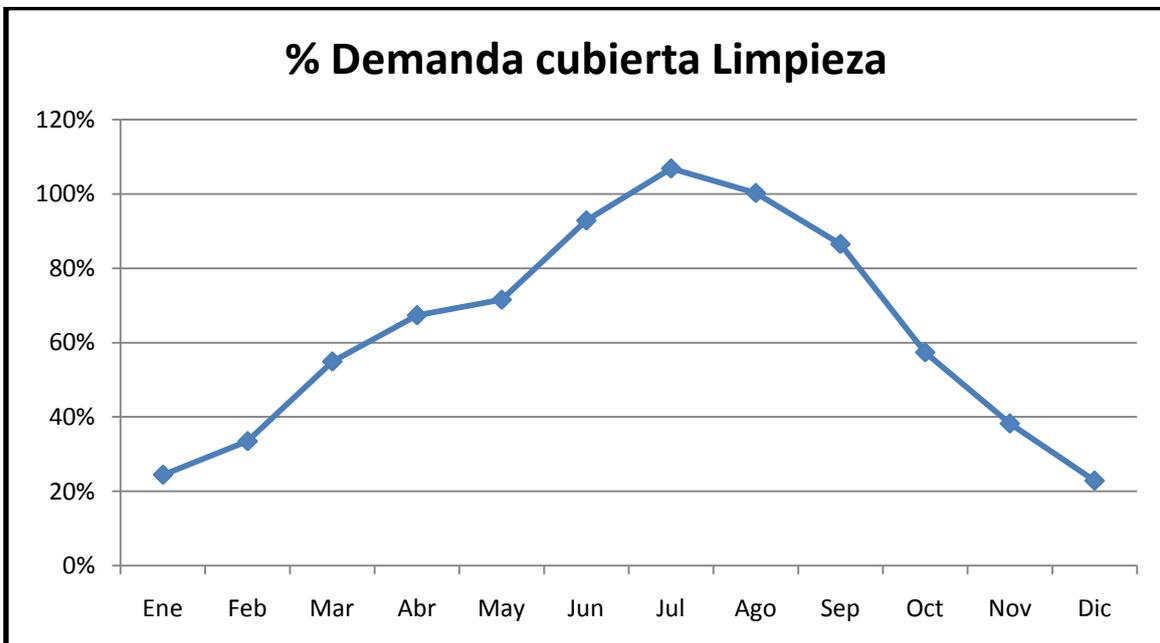


El **gráfico 6** muestra la demanda frente a la aportación solar para Limpieza.



**Gráfico 6.** Demanda & Aportación solar, Limpieza de Botellas.

El **gráfico 7** muestra el porcentaje de demanda cubierta para Limpieza.



**Gráfico 7.** Porcentaje de Demanda del proceso de Limpieza de Botellas cubierta por el sistema solar.



➤ **RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN GLOBAL.**

La **tabla 16** muestra los resultados de la instalación global.

Mes	Demanda Total (kWh)	$E_p$ (kWh)	Cobertura Solar Real	Cobertura Solar Teórico	Energía auxiliar (kWh)
Enero	9.404,1	2.546,2	27,1%	27,1%	6.857,9
Febrero	8.398,4	3.056,2	36,4%	36,4%	5.342,2
Marzo	8.906,5	5.148,1	57,8%	57,8%	3.758,4
Abril	8.185,0	5.726,4	70,0%	70,0%	2.458,5
Mayo	8.408,8	6.231,0	74,1%	74,1%	2.177,9
Junio	7.868,3	7.430,1	94,4%	94,4%	438,2
Julio	8.077,1	8.660,0	100,0%	107,2%	0,0
Agosto	8.243,0	8.321,4	100,0%	101,0%	0,0
Septiembre	8.026,6	7.035,1	87,6%	87,6%	991,5
Octubre	8.574,7	5.067,6	59,1%	59,1%	3.507,1
Noviembre	8.501,6	3.446,6	40,5%	40,5%	5.055,1
Diciembre	9.404,1	2.386,5	25,4%	25,4%	7.017,6
Anual	<b>101.998,2</b>	<b>65.055,2</b>	<b>63,1%</b>	<b>63,8%</b>	<b>37.604,3</b>

Tabla 16. Resultados de la Instalación Global.

El **gráfico 8** muestra la demanda frente a la aportación solar para el sistema total.

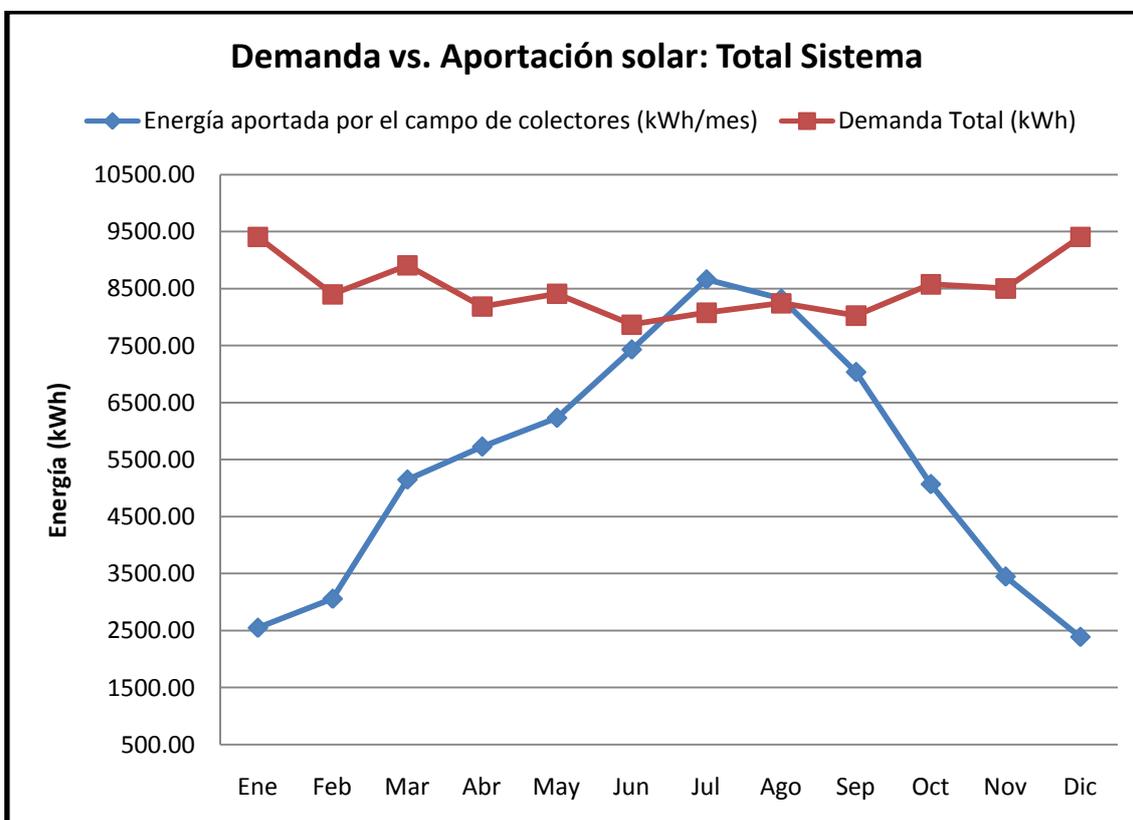
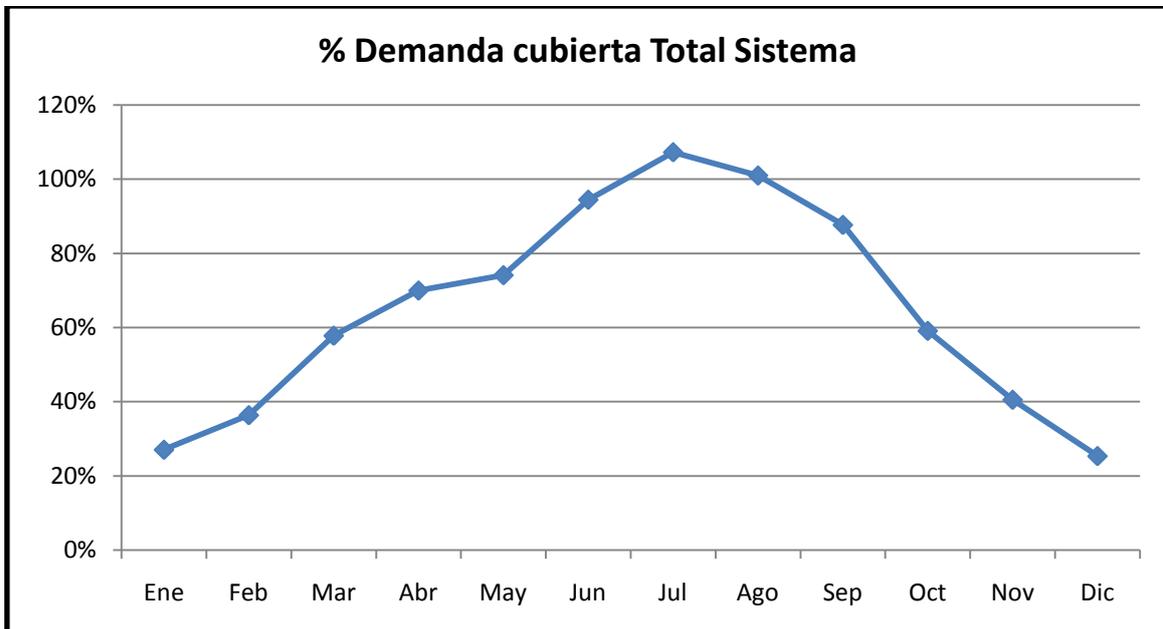


Gráfico 8. Demanda total del sistema & Aportación solar.

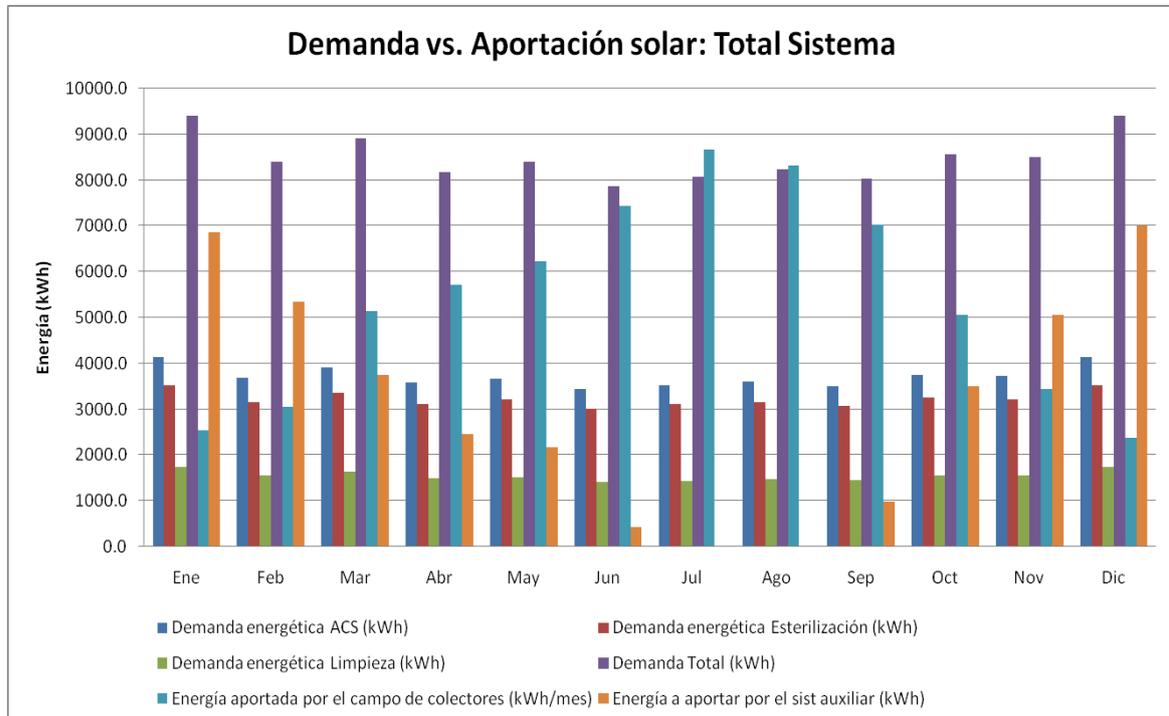


El **gráfico 9** muestra el porcentaje de demanda cubierta para el sistema total.



**Gráfico 9.** Porcentaje de Demanda total cubierta por el sistema solar.

El **gráfico 10** muestra la demanda total del sistema frente a la aportación solar.



**Gráfico 10.** Demanda Total y Aportación solar.

Con la colocación de los 42 paneles modelo VFK 145 V de la marca VAILLANT se cubre un 63,8% de la demanda energética anual global inicial, luego toda esta energía, aunque el sistema auxiliar sea imprescindible, supondrá un ahorro en combustible de gas natural de más de un 50% para la planta estudiada.

Por otro lado, se ve que en los meses de Julio y Agosto la demanda es cubierta por el sistema solar en más de un 100%, resultado teórico que lógicamente no será real quedándose siempre como un 100% como máximo, para así normalizar y que al año la aportación solar anual coincida con el consumo anual.

Al ser superada la demanda en sólo un 7% como máximo en el mes de mayor radiación (Julio), no es necesario disponer de sistemas de disipación de calor al existir sistemas de acumulación en las tres aplicaciones, considerándose estos como capaces de absorber el exceso de energía, y controlándolo mediante el sistema de control.

### 5.1.5 AHORRO DE ENERGÍA CONVENCIONAL.

En la **tabla 17** muestra el abastecimiento y ahorro energético total de la Bodega.

<b>Abastecimiento Energético de la Bodega.</b>	
<b>Energía Total Generada (kWh/año)</b>	101.998
<b>Energía Auxiliar Total (kWh/año)</b>	37.609
<b>Energía Total Ahorrada (kWh/año)</b>	<b>64.389</b>

**Tabla 17.** Abastecimiento Energético de la Bodega.

## 5.2 APORTE CON SISTEMA GEOTÉRMICO.

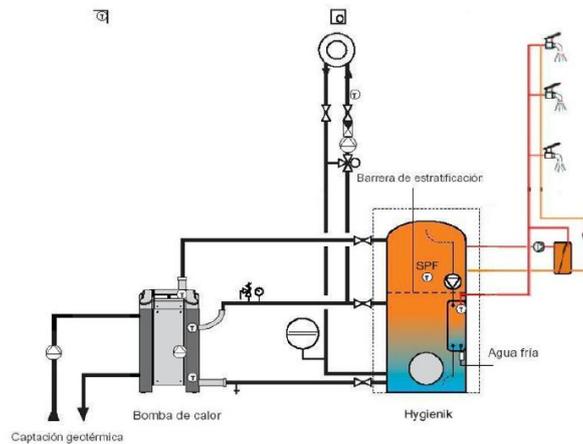
Como segunda opción del presente estudio, la demanda energética requerida por el proceso en estudio, va a ser cubierta mediante el aprovechamiento de la energía de la tierra, es decir por la transferencia de la energía calorífica del suelo al proceso, mediante el sistema geotérmico de bomba de calor.

### 5.2.1 FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.

El aprovechamiento de la energía geotérmica de baja temperatura, basa su principio en que la tierra tiene una temperatura más constante que el aire exterior. Cuanto mayor sea la profundidad a que se mida la temperatura, menos fluctuaciones se observarán. Debido a la diferencia de temperaturas entre el ambiente y el terreno (en invierno el suelo está más caliente que el ambiente y en verano a la inversa, más frío que el ambiente), con la ayuda de una Bomba de Calor Geotérmica (BCG) podemos climatizar un edificio con una eficiencia mayor a los sistemas actuales.

Los intercambiadores de calor enterrados, elemento fundamental de las BCG, están constituidos por una tubería plástica (generalmente polietileno) de alta resistencia y gran duración que se entierra debajo de la superficie del suelo a una cierta profundidad. El líquido (preferentemente agua o una solución con anticongelante) circula a través de la tubería, normalmente en circuito cerrado. Se produce un intercambio de energía térmica entre el líquido que circula por las tuberías enterradas y el suelo de forma que pueden acondicionarse recintos con una enorme eficiencia y ahorro energético.

En la **ilustración 6**, se muestra el esquema básico del sistema geotérmico de bomba de calor.



**Ilustración 6.** Esquema básico de sistema geotérmico de bomba de calor.

### 5.2.1.1 VENTAJAS DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS.

Los sistemas de bombas de calor geotérmicas en comparación con los sistemas tradicionales, tienen las siguientes ventajas:

- Ahorro energético significativo.
- 40-60% comparado con sistema de bomba de calor agua-agua o aire agua.
- 75% comparado con sistemas de radiadores eléctricos.
- 60% comparado con sistemas de Gas Natural.
- 70% comparado con sistemas que usen otros combustibles.
- Maximizan la vida útil de la instalación.
- Reduce coste de mantenimiento, operación y potencia contratada.
- Mayor fiabilidad y comodidad.
- Flexibilidad de ampliación o modificación cuando las necesidades del edificio cambian.
- Flexibilidad en la ubicación.
- Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Disminuyen el ruido.
- Elimina el riesgo de contagio por legionela.

### 5.2.1.2 TIPO DE INSTALACIONES CON BOMBA DE CALOR.

Existen diferentes configuraciones de intercambiadores enterrados acoplados a bombas de calor geotérmicas que se aplican dependiendo de las características concretas de cada proyecto.

La configuración de **intercambiador horizontal** permite una buena relación coste-prestaciones, su instalación es sencilla (1,5 m de profundidad), y se utiliza en edificios con disponibilidad de una superficie terreno suficiente.

Otra configuración horizontal es la denominada Slinky (tubería enrollada en forma de espiral) la cual permite intercambiador más energía en menos espacio, con material de relleno, y tiene una menor longitud de tubería.

**La configuración vertical**, recomendable cuando se tiene poca disponibilidad de espacio, pues minimiza el área afectada. Los pozos se suelen hacer típicamente de entre 50 y 150 m de profundidad.

La **configuración en Bucle abierto** es la que tiene una relación coste eficiencia más alta, se utilizan en aquellas zonas donde existe agua subterránea y es la instalación más sencilla existente.

Por último cabe destacar la **configuración de intercambiadores sumergidos**. Esta opción es aplicable en aquellos casos donde exista una masa de agua, ya sean pozos abiertos, lagos, etc. Es una de las opciones más eficientes.

### **5.2.2 PROCESO DE DIMENSIONADO DEL APORTE CON SISTEMA GEOTÉRMICO.**

Se va a realizar un estudio de dimensionado para satisfacer con bomba de calor cada una de las tres aplicaciones demandantes de energía del proceso por separado, es decir, tanto para el ACS de las duchas, proceso de esterilización y la limpieza de botellas. Una vez hecho este estudio se podrá comparar con los resultados obtenidos en el dimensionado del sistema solar térmico, estando así en condiciones de llegar al objetivo final del proyecto de comparar los dos sistemas alternativos de energía renovable.

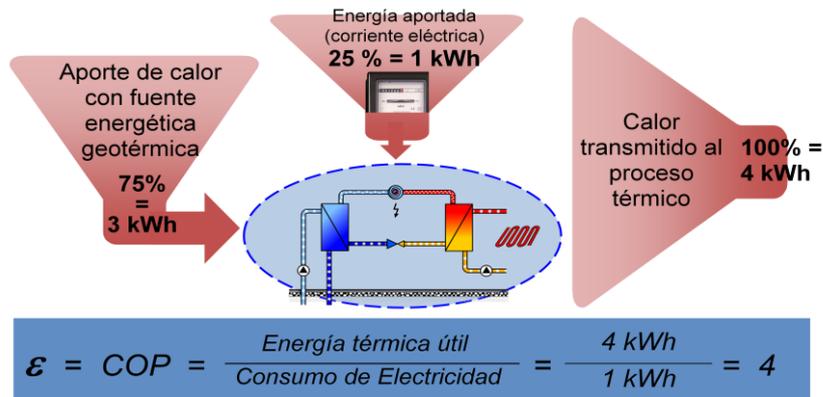
Se va trabajar con una bomba de configuración vertical, para así minimizar las áreas afectadas y facilitar la obra civil de instalación.

Para el dimensionado y elección de la bomba de calor necesaria para cada una de las aplicaciones, se tiene en cuenta que ésta sólo alcanza a satisfacer demandas térmicas hasta los 50°C. Por ello, como en las tres aplicaciones estudiadas se requieren temperaturas de uso mayores, el calor geotérmico calentará el agua de proceso hasta los 50°C, siendo el resto de la energía necesaria aportada por resistencias eléctricas.

Teniendo en cuenta esto último, el análisis económico del sistema geotérmico, estará compuesto por cuatro términos:

- Consumo de energía de la bomba de calor.
- Precio de venta de la bomba de calor.
- Precio de los kWh eléctricos proporcionados por la resistencia eléctrica.
- Precio de la perforación.

Otro factor que hay que tener en cuenta es el denominado COP (Coefficient of Performance Ratio) de la bomba de calor, que indica la relación entre la energía producida por la bomba de calor y la que necesita para su propio consumo. A continuación se muestra un ejemplo del cálculo del COP en la **ilustración 7**.



**Ilustración 7.** Cálculo del COP típico para bomba de calor.

### 5.2.3 CÁLCULO DEL APOORTE ENERGÉTICO CON BOMBA DE CALOR.

Mediante la herramienta de cálculo del fabricante CIATESA, hemos obtenido un tipo de bomba recomendado para cada aplicación con un COP determinado, en función de los cuales se ha evaluado el estudio geotérmico económicamente. Esto se ha hecho para el mes de peor radiación, Diciembre, considerando aporte energético hasta los 50°C, y analizando el resultado económico obtenido.

El proceso de cálculo es el mismo para las tres aplicaciones (ACS, Esterilización y Limpieza), por esto detallamos sólo el cálculo de la bomba de geotermia para la aplicación de ACS, y las demás, se presentan los resultados.

Para determinar la potencia necesaria de la bomba de geotermia hay que tener en cuenta que se dimensiona para el mes de mayor demanda, Diciembre, y se determina dicha potencia mediante el empleo de la siguiente ecuación,

$$P = \frac{\text{Demanda Energética(kWh)}}{N^{\circ} \text{ Días} \times t \text{ (h/d)}}$$

La demanda energética para el ACS corresponde a incrementar la Tª de red hasta los 60°C de Tª de uso. Así, la bomba de calor cubrirá la demanda hasta los 50°C y el resto hasta los 60°C será aportado por la resistencia eléctrica.

El número de días corresponde a los días en operación del mes, mientras que “t” corresponde al número de horas de funcionamiento de la bomba al día, considerando 10 horas. Por tanto la potencia de la bomba de geotermia es de:

$$P = \frac{3.368,64 \text{ (kWh)}}{22 \text{ d} \times 10 \text{ (h/d)}} = 15,3 \text{ kW}$$

Se instala una bomba de 15,70 kW debido a que es la más próxima a la obtenida entre las existentes en el mercado, esta bomba seleccionada es la denominada **Bomba de calor geotérmica ZEH modelo IZE-80.** (Ver características en Anexo “BOMBA DE CALOR”)

Para determinar los metros de perforación a realizar se debe tener en cuenta que aproximadamente se obtienen 50 W por metro de perforación, por tanto como la potencia de la bomba de geotermia es de 15,7 kW se obtienen los siguientes metros a perforar,

$$\text{metros de perforación} = \frac{15.700 \text{ W}}{50 \text{ (W/m)}} = 314 \text{ m}$$

Se considera que se realizan perforaciones de 160 m por tanto el número de perforaciones a realizar se determina de la siguiente manera,

$$N^{\circ} \text{ de perforaciones} = \frac{314 \text{ m}}{160 \text{ m}} = 1,96$$

Por tanto se opta por realizar 2 perforaciones de 160 m cada una de ellas.

Para determinar el COP (Coeficiente de Rendimiento) se emplea el programa de cálculo “Geociatesa” y se introducen los siguientes datos:

- ✓ Configuración de la perforación.
- ✓ Materiales de la instalación.
- ✓ Características del clima y suelo de la localización de la instalación.
- ✓ Pérdidas de carga de los accesorios.

El COP que nos indica el programa para este caso es 2,73.

Para determinar la energía consumida para hacer funcionar el compresor se opera de la siguiente manera,

$$COP = \frac{\text{Energía útil}}{\text{Energía consumida}}$$

$$\text{Energía consumida por la bomba de calor} = \frac{3.368,64 \text{ kWh}}{2,73} = 1.233,90 \text{ kWh}$$

A partir de dicha energía consumida se puede obtener el coste de esa energía puesto que el precio de la electricidad es de 0,14775 €, con lo cual el coste obtenido es de 182,31 €/mes.

Para calcular el coste de la resistencia eléctrica, en función de la electricidad consumida para aportar los 10°C restantes para satisfacer la demanda total de ACS, se emplea la siguiente expresión,

$$E = D \times (\Delta T) \times C_e \times N$$

Donde se obtiene,

$$E = 3 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \times (60 - 50) \times 1,16 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) \times 22 = 765,6 \text{ kWh}$$

El coste de la resistencia eléctrica es de 1.010,60 € / año.

Una vez conocido el consumo de la bomba, de la resistencia eléctrica, los metros de perforación necesarios y el precio de la bomba de calor, ya se puede comparar con el sistema solar térmico.

Los resultados de las bombas de calor elegidas para cada aplicación junto con los costes estimados se presentan en la **tabla 18**:

CONCEPTO	ACS	ESTERILIZACIÓN	LIMPIEZA
Demanda con geotermia mes peor (kWh)	3.368,64	2.245,76	401,94
Potencia necesaria (kW)	15,31	10,21	1,83
Potencia Bomba Elegida (kW)	15,70	11,40	5,30
Modelo Bomba Elegida	IZE-80	IZE-60	IZE-20
Coste Bomba elegida (€)	<b>6.826</b>	<b>6.346</b>	<b>3.073</b>
Metros de perforación necesarios (m)	314	228	106
Nº perforaciones	2	2	1
Coste de Perforación (€)	<b>18.840,00</b>	<b>13.680,00</b>	<b>6.360,00</b>
COP	2,73	3,12	3,00
Precio de la energía eléctrica (€/kWh)	0,14775	0,14775	0,14775
Energía consumida por la bomba (kWh)	1.233,93	719,79	133,98
Coste Energía consumida por bomba (€/mes)	<b>182,31</b>	<b>106,35</b>	<b>19,80</b>
Demanda con resistencia eléctrica (kWh)	765,60	2.041,60	893,20
Coste Energía consumida por resistencia (€/mes)	<b>113,12</b>	<b>301,65</b>	<b>131,97</b>

**Tabla 18.** Resultados de las bombas de calor.

Las **tablas 19, 20 y 21** corresponden a cada aplicación y presentan el aporte geotérmico mensual, que es la energía que se aporta con la Bomba de Calor (hasta 50°C), el porcentaje de la demanda cubierta con respecto a la demanda total del proceso que se presentó anteriormente en la **tabla 8**. El ahorro de energía es el resultado de restar el aporte energético de la Bomba de Calor menos el consumo de ésta, el aporte de la resistencia es la energía auxiliar necesaria para suplir al 100% la demanda energética del proceso.

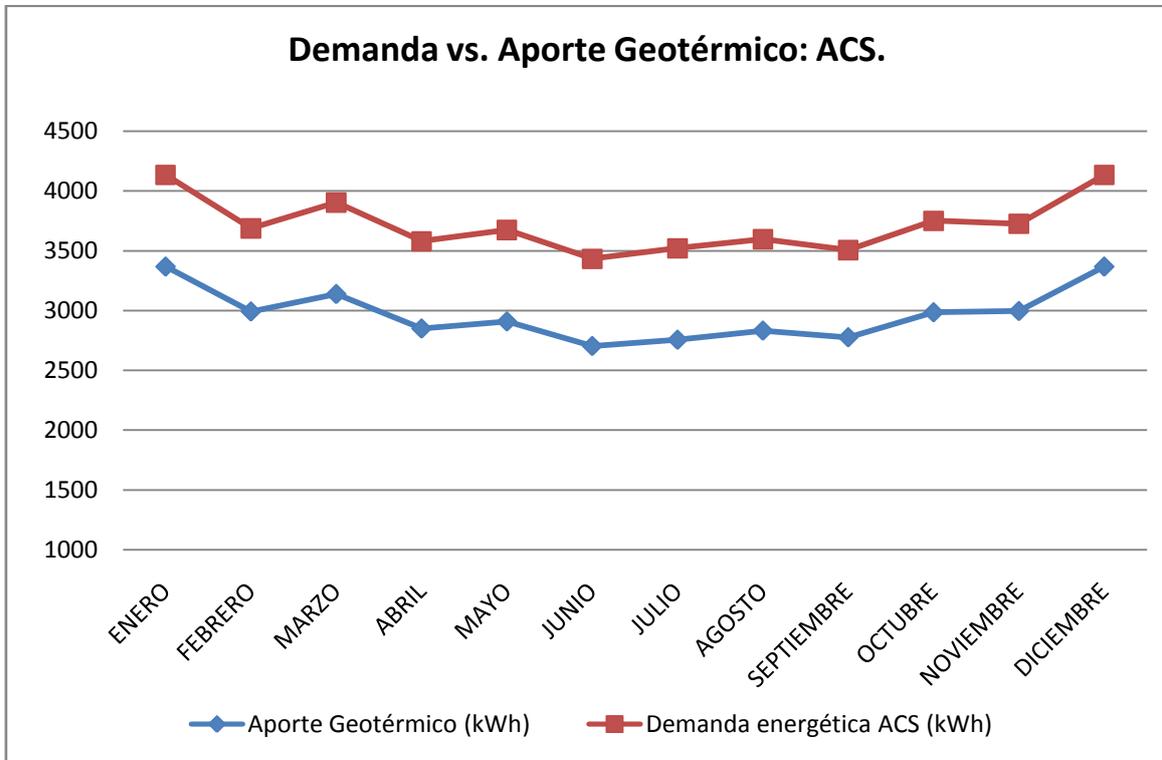
Se toma en cuenta en el proceso de Esterilización que las resistencias eléctricas aportan la energía necesaria hasta llegar a la temperatura de uso del proceso, 90 °C, a, diferencia de la presentada en la **tabla 8**, que es la energía demanda hasta 75 °C.

ACS (COP = 2,73)					
MES	Aporte Geotérmico (kWh)	% Demanda Cubierta	Consumo Bomba de Calor (kWh)	Ahorro energía (kWh)	Aporte por la resistencia (kWh)
<b>ENERO</b>	3.368,64	81%	1.233,93	2.134,71	765,6
<b>FEBRERO</b>	2.992,8	81%	1.096,26	1.896,54	765,6
<b>MARZO</b>	3.138,96	80%	1.149,80	1.989,16	765,6
<b>ABRIL</b>	2.850,12	80%	1.044,0	1.806,12	765,6
<b>MAYO</b>	2.909,28	79%	1.065,67	1.843,61	765,6
<b>JUNIO</b>	2.703,96	79%	990,46	1.713,50	765,6
<b>JULIO</b>	2.756,16	78%	1.009,58	1.746,58	765,6
<b>AGOSTO</b>	2.832,72	79%	1.037,62	1.795,09	765,6
<b>SEPTIEMBRE</b>	2.777,04	79%	1.017,23	1.759,80	765,6
<b>OCTUBRE</b>	2.985,84	80%	1.093,71	1.892,13	765,6
<b>NOVIEMBRE</b>	2.996,28	80%	1.097,53	1.898,74	765,6
<b>DICIEMBRE</b>	3.368,64	81%	1.233,93	2.134,71	765,6
<b>TOTAL</b>	<b>35.680,44</b>	<b>80%</b>	<b>13.09,76</b>	<b>22.610,68</b>	<b>9.187,2</b>

**Tabla 19.** Energía Abastecida por sistema geotérmico, ACS.

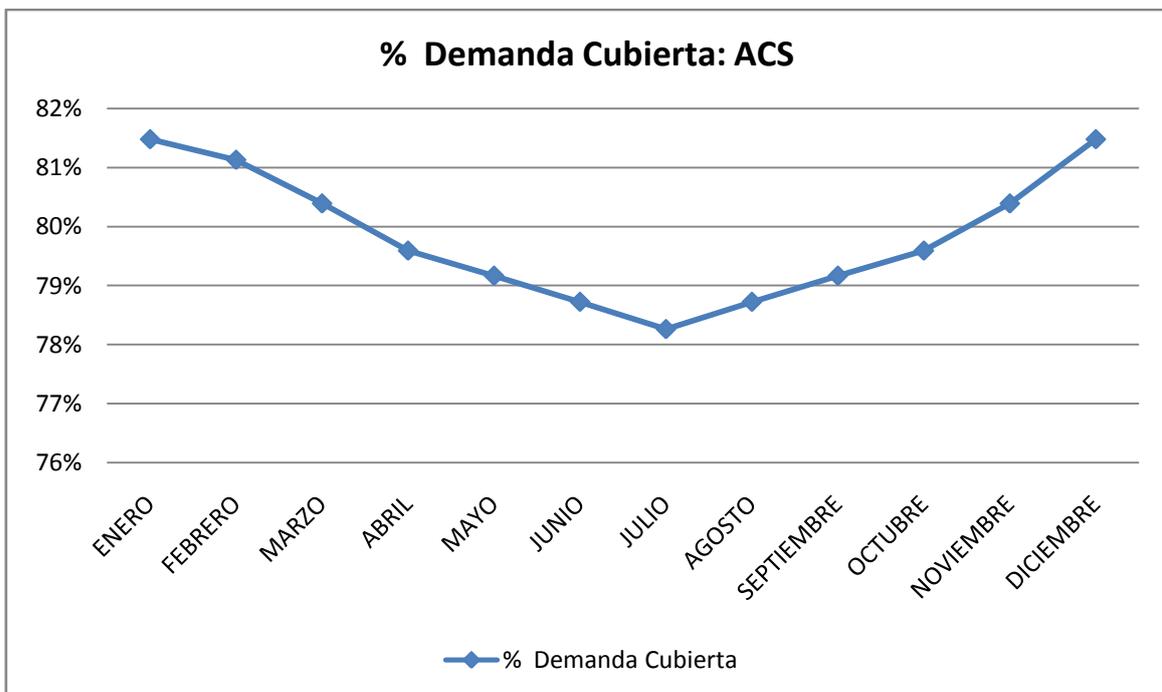


El **gráfico 11** muestra la demanda frente al aporte geotérmico para ACS.



**Gráfico 11.** Demanda & Aporte Geotérmico: ACS.

El **gráfico 12** representa % de demanda cubierta de ACS mediante geotermia.



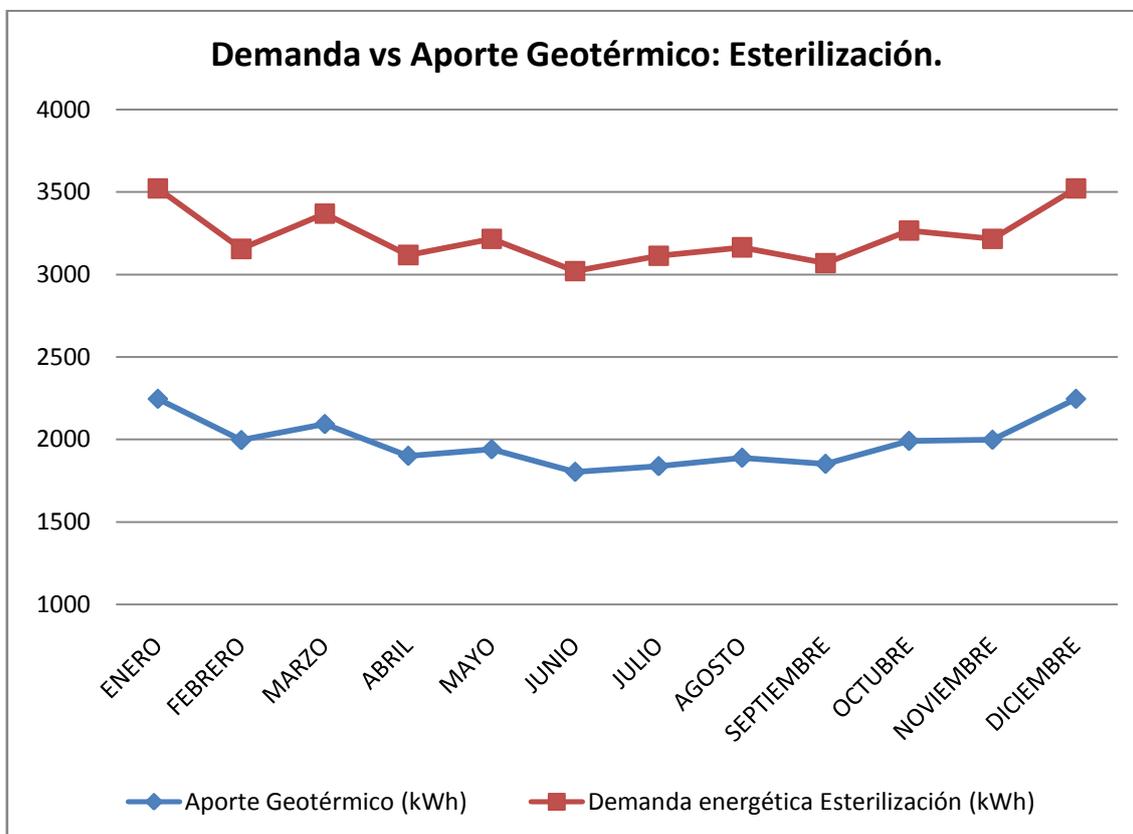
**Gráfico 12.** Porcentaje de Demanda cubierta por el sistema geotérmico, ACS

La **tabla 20** muestra los datos referentes al proceso de Esterilización.

ESTERILIZACION (COP = 3,12)					
MES	Aporte Geotérmico (kWh)	%Demanda Cubierta	Consumo Bomba de Calor (kWh)	Ahorro energía (kWh)	Aporte por la resistencia (kWh)
<b>ENERO</b>	2.245,76	64%	719,79	1.525,97	2.041,6
<b>FEBRERO</b>	1.995,20	63%	639,49	1.355,71	1.856,0
<b>MARZO</b>	2.092,64	62%	670,72	1.421,92	2.041,6
<b>ABRIL</b>	1.900,08	61%	609,00	1.291,08	1.948,8
<b>MAYO</b>	1.939,52	60%	621,64	1.317,88	2.041,6
<b>JUNIO</b>	1.802,64	60%	577,77	1.224,87	1.948,8
<b>JULIO</b>	1.837,44	59%	588,92	1.248,52	2.041,6
<b>AGOSTO</b>	1.888,48	60%	605,28	1.283,20	2.041,6
<b>SEPTIEMBRE</b>	1.851,36	60%	593,38	1.257,98	1.948,8
<b>OCTUBRE</b>	1.990,56	61%	638,00	1.352,56	2.041,6
<b>NOVIEMBRE</b>	1.997,52	62%	640,23	1.357,29	1.948,8
<b>DICIEMBRE</b>	2.245,76	64%	719,79	1.525,97	2.041,6
<b>TOTAL</b>	<b>23.786,96</b>	<b>61%</b>	<b>7.624,02</b>	<b>16.162,93</b>	<b>23.942,4</b>

**Tabla 20.** Energía Abastecida por sistema geotérmico, Esterilización.

El **gráfico 13** muestra la demanda frente al aporte geotérmico para Esterilización.



**Gráfico 13.** Demanda & Aporte Geotérmico: Esterilización.



El gráfico 14 representa % de demanda cubierta de ACS mediante geotermia.

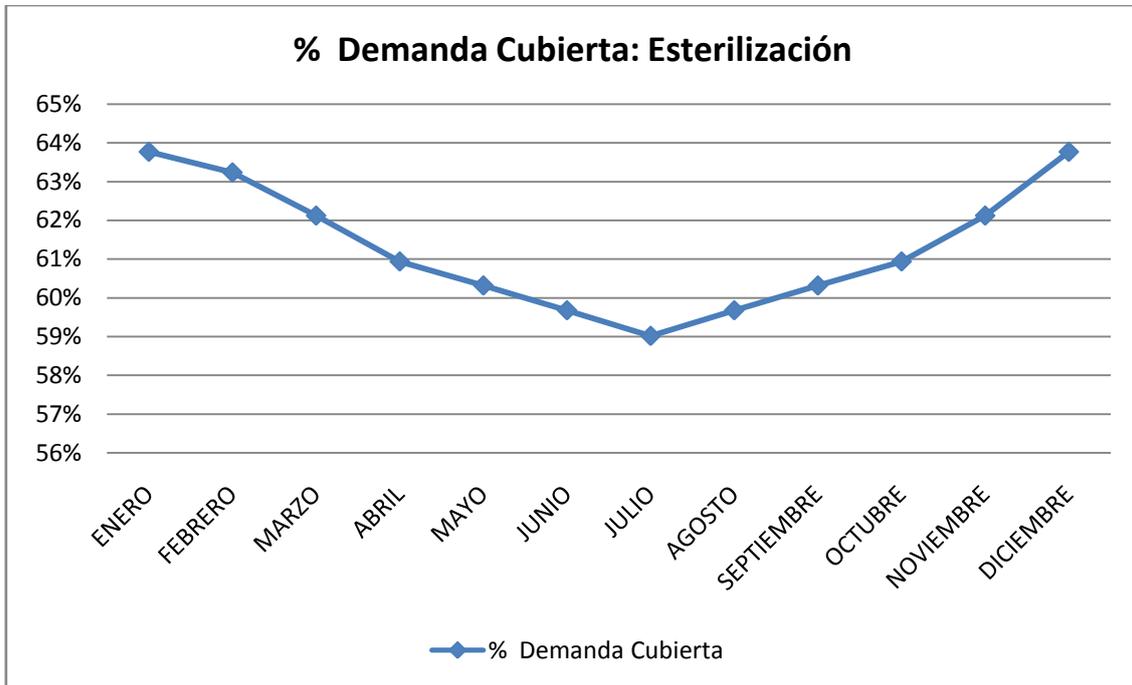


Gráfico 14. Porcentaje de Demanda cubierta por el sistema geotérmico, Esterilización.

La tabla 21 muestra los datos referentes al proceso de limpieza.

LIMPIEZA (COP = 3,00)					
MES	Aporte Geotérmico (kWh)	% Demanda Cubierta	Consumo Bomba de Calor (kWh)	Ahorro energía (kWh)	Aporte por la resistencia (kWh)
ENERO	408,32	23%	136,11	272,21	1.339,80
FEBRERO	336,4	22%	112,13	224,27	1.218,00
MARZO	293,48	18%	97,83	195,65	1.339,80
ABRIL	207,06	14%	69,02	138,04	1.278,90
MAYO	178,64	12%	59,55	119,09	1.339,80
JUNIO	133,98	9%	44,66	89,32	1.278,90
JULIO	102,08	7%	34,03	68,05	1.339,80
AGOSTO	140,36	9%	46,79	93,57	1.339,80
SEPTIEMBRE	170,52	12%	56,84	113,68	1.278,90
OCTUBRE	216,92	14%	72,31	144,61	1.339,80
NOVIEMBRE	280,14	18%	93,38	186,76	1.278,90
DICIEMBRE	408,32	23%	136,11	272,21	1.339,80
<b>TOTAL</b>	<b>2.876,2</b>	<b>15%</b>	<b>958,7</b>	<b>1.917,5</b>	<b>15.712,20</b>

Tabla 21. Energía Abastecida por sistema geotérmico, Limpieza.



El gráfico 15 muestra la demanda frente al aporte geotérmico para Esterilización.

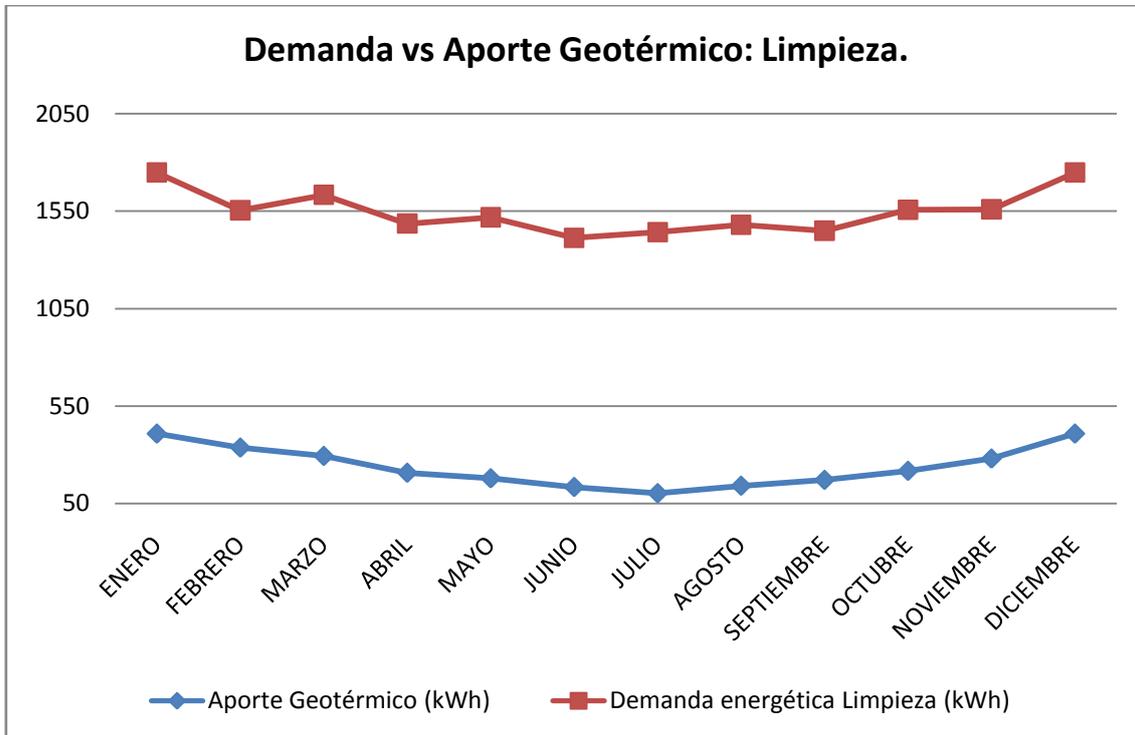


Gráfico 15. Demanda vs Aporte Geotérmico: Limpieza.

El gráfico 16 representa % de demanda cubierta de ACS mediante geotermia.

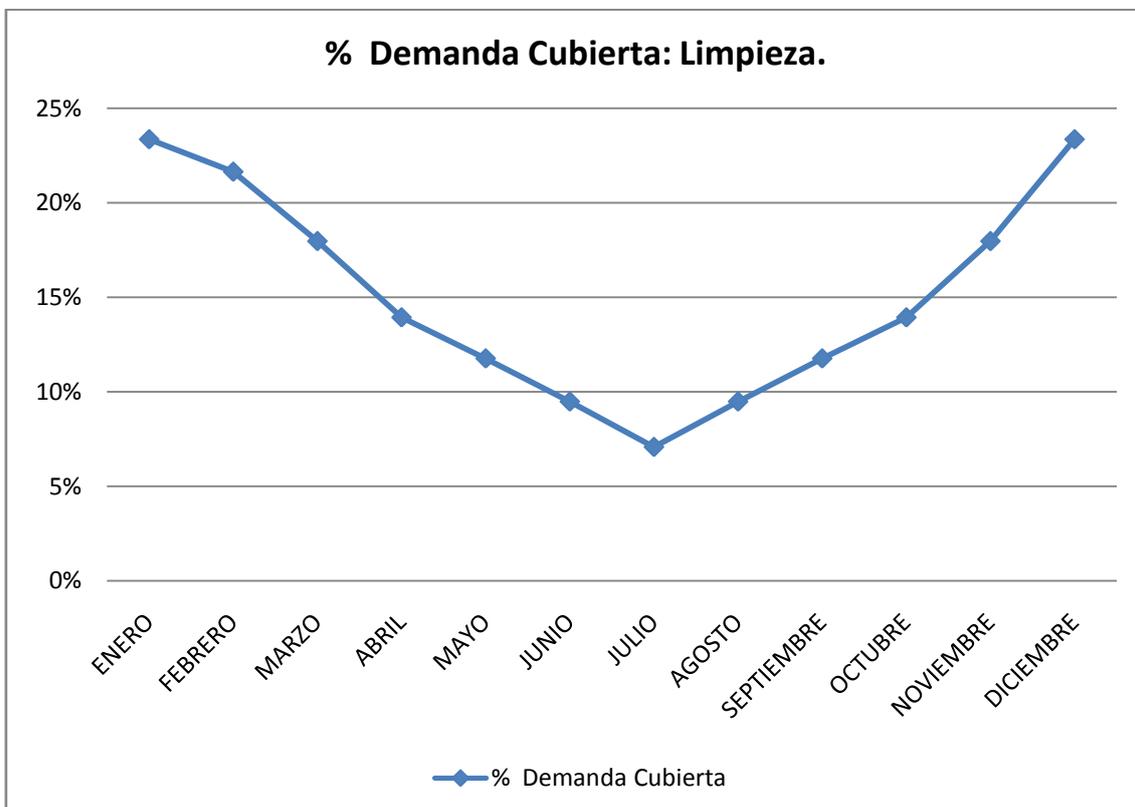


Gráfico 16. Porcentaje de Demanda cubierta por el sistema geotérmico, Limpieza.

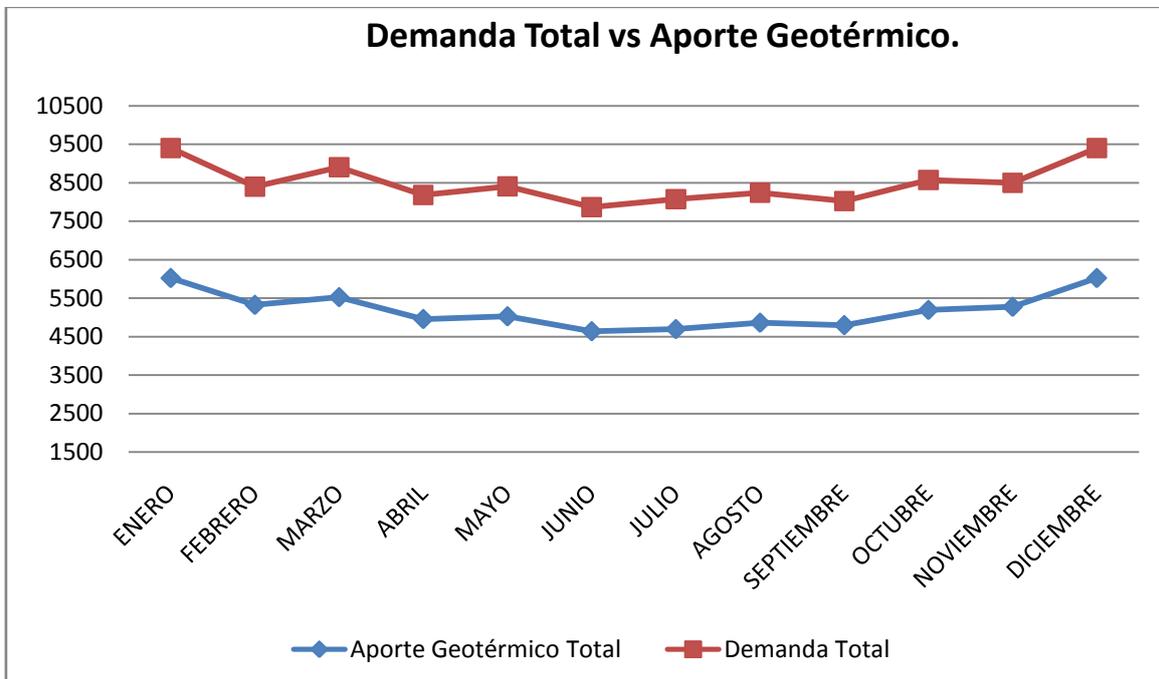


La **tabla 22** muestra la energía total abastecida por el sistema geotérmico.

Mes	Demanda Total (kWh)	Aporte Geotérmico Total (kWh)	Cobertura Geotérmica	Sistema Auxiliar (kWh)
<b>ENERO</b>	9.404,12	6.022,72	64,04%	3.381,40
<b>FEBRERO</b>	8.398,40	5.324,40	63,40%	3.074,00
<b>MARZO</b>	8.906,48	5.525,08	62,03%	3.381,40
<b>ABRIL</b>	8.184,96	4.957,26	60,57%	3.227,70
<b>MAYO</b>	8.408,84	5.027,44	59,79%	3.381,40
<b>JUNIO</b>	7.868,28	4.640,58	58,98%	3.227,70
<b>JULIO</b>	8.077,08	4.695,68	58,14%	3.381,40
<b>AGOSTO</b>	8.242,96	4.861,56	58,98%	3.381,40
<b>SEPTIEMBRE</b>	8.026,62	4.798,92	59,79%	3.227,70
<b>OCTUBRE</b>	8.574,72	5.193,32	60,57%	3.381,40
<b>NOVIEMBRE</b>	8.501,64	5.273,94	62,03%	3.227,70
<b>DICIEMBRE</b>	9.404,12	6.022,72	64,04%	3.381,40
<b>TOTAL</b>	<b>101.998,22</b>	<b>62.343,62</b>	<b>61,12%</b>	<b>39.654,60</b>

**Tabla 22.** Energía Total abastecida por el sistema geotérmico.

El **gráfico 17** representa la demanda total frente al aporte geotérmico.



**Gráfico 17.** Demanda Total & Aporte de sistema geotérmico.



El gráfico 18 muestra la cobertura total mediante energía geotérmica.

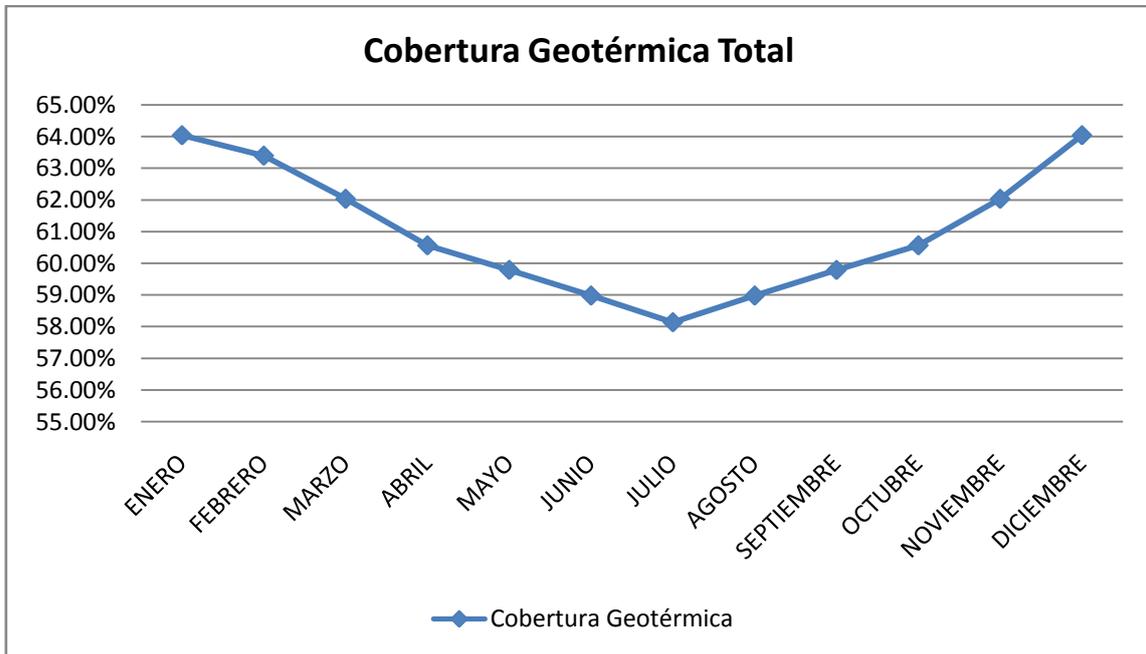


Gráfico 18. Cobertura Geotérmica Total.

El gráfico 19 muestra la demanda total del sistema frente a la aportación total del sistema.

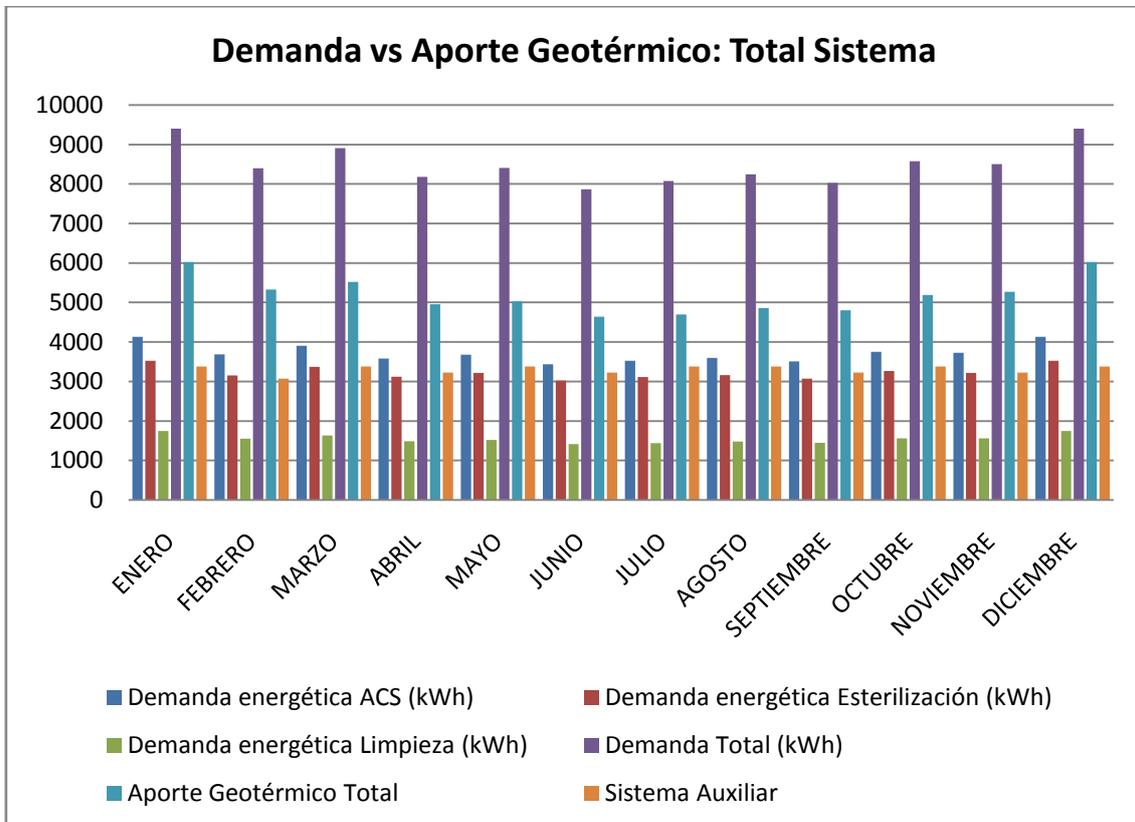


Gráfico 19. Demanda & Aporte geotérmico al sistema total.

De las cuatro partidas de costes principales de cada bomba de calor, hay que destacar que tanto el coste de adquisición de la bomba como el coste de la perforación, son costes constantes iniciales y no mantenidos a lo largo del tiempo, siendo sin embargo los costes de consumo de la bomba y de la resistencia eléctrica continuos durante cada mes. Teniendo en cuenta esto, los costes anuales de cada aplicación se representan en la **tabla 23**.

CONCEPTO	ACS	ESTERILIZACIÓN	LIMPIEZA
Demanda con geotermia anual (kWh)	35.680,4	23.787,0	2.876,2
Coste Bomba elegida (€)	6.826,0	63.46,0	3.073,0
Coste de Perforación (€/año)	18.840,0	13.680,0	6.360,0
Coste Energía consumida por bomba (€/año)	1.931,1	1.126,4	141,7
Demanda con resistencia eléctrica (kWh)	8.978,4	23.942,4	15.712,2
Coste Energía consumida por resistencia (€/año)	1.326,6	3.537,5	2.321,5
<b>Costes Total Año (€/año)</b>	<b>28.923,6</b>	<b>24.689,9</b>	<b>11.896,1</b>

**Tabla 23.** Costes de Sistema Geotérmico.

Se observa cómo el coste del consumo de la resistencia eléctrica es mucho mayor para la esterilización por tener que subir un gradiente térmico de 40 °C, mientras que el de ACS es el menor al necesitar bajo gradiente térmico (10 °C).

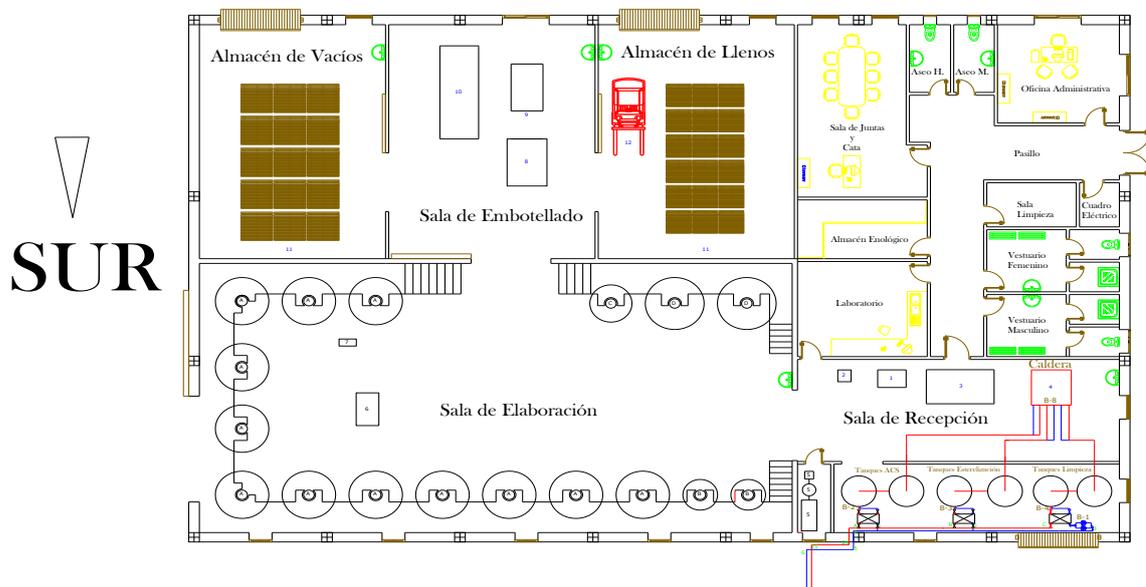
## 6 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

### 6.1 DISTRIBUCIÓN.

La distribución de los captadores se realiza en una finca cercana a la nave, el circuito secundario se instalará en una parte de la zona de recepción de unos 30 m<sup>2</sup>, donde estarán los depósitos de ACS, de esterilización y de limpieza, junto con las correspondientes bombas del circuito secundario solar, los intercambiadores, y la bomba del circuito primario.

La caldera, las bombas secundario de la instalación, y el intercambiador de recuperación de calor del proceso de esterilización que será utilizado para la limpieza; formarán parte de la antigua sala de recepción.

En el siguiente esquema se ve claramente la planta de distribución y la nueva zona que estará ocupada por la nueva instalación.



**Ilustración 8.** Vista en Planta de la Bodega.

En nuestra configuración la instalación solar cederá el calor mediante tres intercambiadores de placas a los procesos de ACS, esterilización y limpieza para almacenarlo en los depósitos de acumulación. Tanto para el proceso de ACS como para el de esterilización el agua que absorbe la energía del circuito primario mediante el intercambiador es agua de red. En cambio el agua del proceso de limpieza que intercambia con el sistema solar proviene de un cuarto intercambiador, donde aquí, si es el agua de red la que intercambiar con el fluido residual del proceso de esterilización.

Los tres acumuladores anteriormente explicados están conectados en serie cada uno de ellos a un interacumuladores de serpentín. Que es un acumulador de agua caliente cuyo intercambiador de calor está formado por un tubo curvado en espiral o serpentín, por el interior del cual circula el agua caliente procedente en nuestro caso de la caldera de gas natural.



## 6.2 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN.

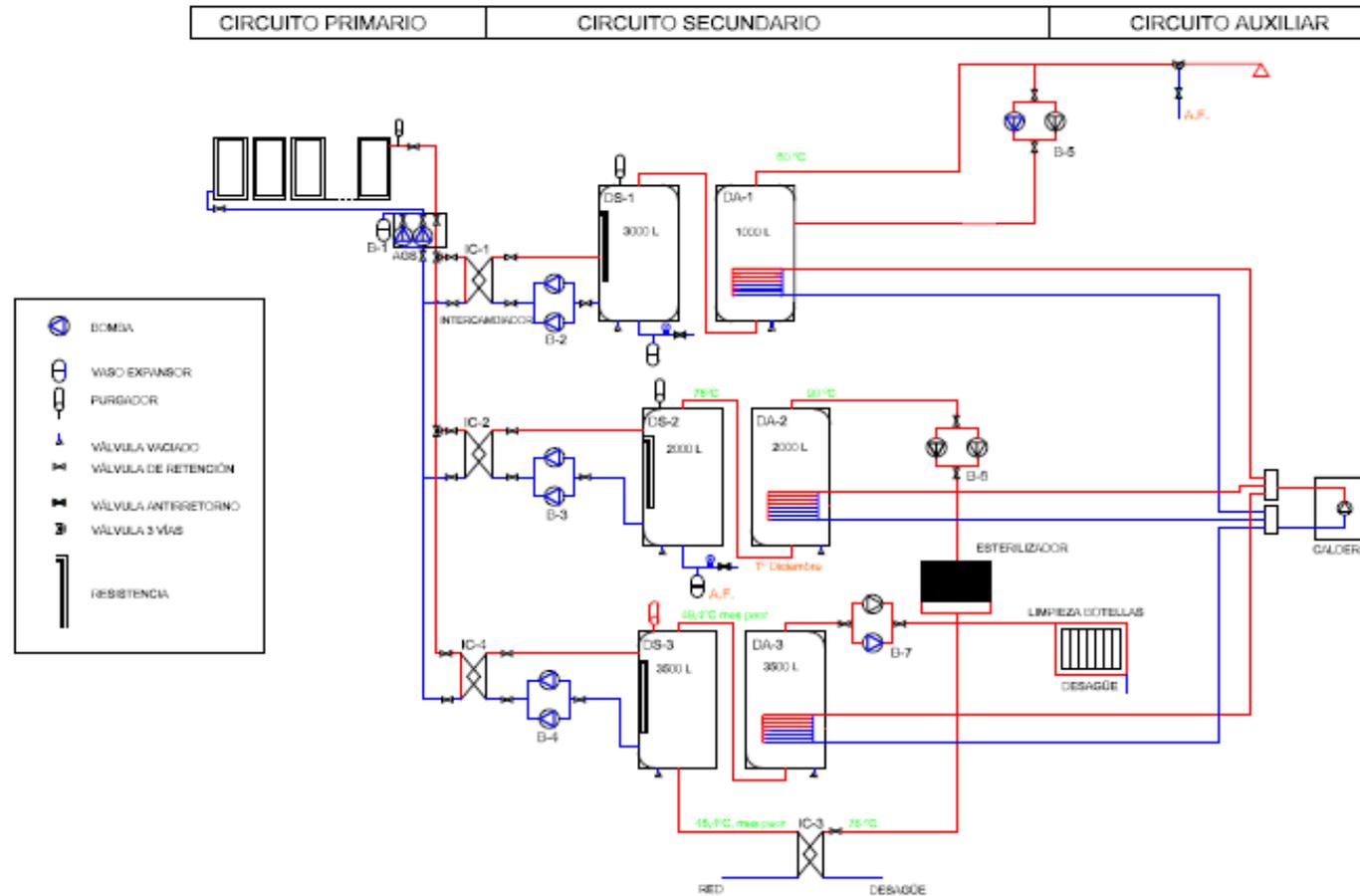


Ilustración 9. Esquema de la Instalación solar.

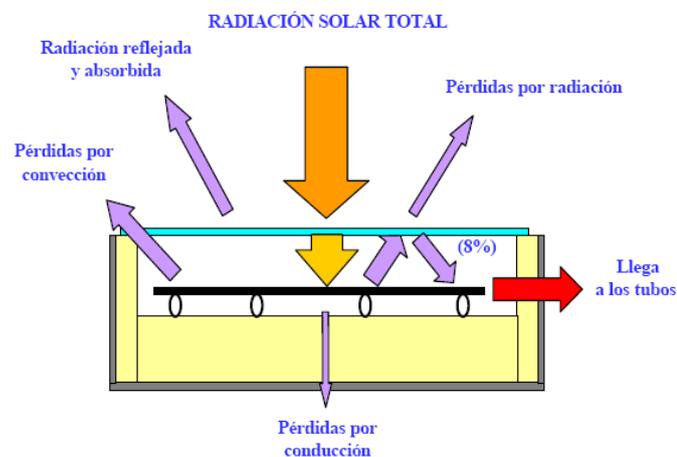
## 7 SISTEMA DE CAPTACIÓN SOLAR.

Por sistema de captación solar se entiende el conjunto de elementos encargados de recibir la radiación procedente del Sol, transformarla en energía calorífica y hacerla llegar al sistema de intercambio y acumulación.

### 7.1 EL CAPTADOR SOLAR.

El captador solar es el elemento característico de una instalación de aprovechamiento de la energía solar térmica.

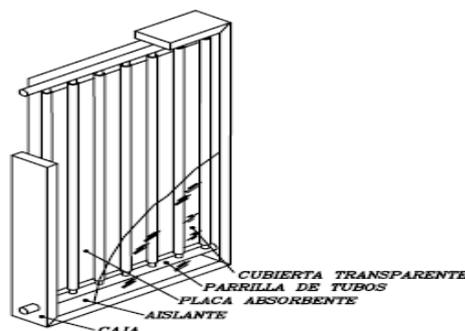
El tipo de captador solar utilizado es captador solar plano de alto rendimiento. Su funcionamiento se basa en el efecto invernadero consistente en retener en su interior la energía solar recibida, transformándola en energía térmica e impidiendo su salida al exterior, como se observa en la **ilustración 10**.



**Ilustración 10.** Pérdidas en un captador.

Se compone básicamente de los elementos que aparecen en la **ilustración 11**.

- Una caja exterior, con aislamiento en los laterales y en el fondo.
- Una cubierta transparente situada en la cara frontal del captador.
- Un absorbedor metálico, encargado de transformar la radiación solar en energía térmica y transmitirla al fluido caloportador que circula por su interior.



**Ilustración 11.** Componentes básicos de un captador.

El absorbedor se encuentra compuesto por una placa metálica negra, de cobre en la mayoría de los casos, unida a una parrilla de tubos también de cobre por los que circula el fluido caloportador. La superficie frontal del absorbedor puede ser objeto de un tratamiento especial para mejorar su comportamiento energético. Los

denominados tratamientos selectivos logran mantener una alta capacidad para captar la energía procedente de la radiación solar incidente y un bajo coeficiente de emisión de energía al exterior.

La cubierta transparente y el aislamiento contribuyen a reducir las pérdidas de calor y aumentar el rendimiento energético del captador, provocando el efecto invernadero en el interior.

La mayoría de captadores solares presentes en el mercado español tienen una superficie comprendida entre 1,5 y 2,5 m<sup>2</sup>. Definiciones existentes para el área de un captador solar:

- La superficie del absorbedor es el área máxima del captador por la que penetra la radiación solar perpendicular al captador.
- La superficie de apertura es el área máxima del captador por la que penetra la radiación solar perpendicular al captador.
- La superficie total es el área máxima de proyección del captador completo, sin incluir los soportes y tubos de conexión hidráulica.

## 7.2 El rendimiento de un captador solar.

El rendimiento de un captador solar se define como el cociente entre la cantidad de energía que se obtiene (es decir, el calentamiento que experimenta el agua o fluido caloportador que circula por su interior) y la cantidad de energía recibida (es decir, la radiación solar incidente sobre el captador).

El rendimiento de un captador solar se puede expresar mediante la siguiente expresión,

$$\eta = A \cdot U \left( \frac{T_m - T_a}{I} \right)$$

Donde:

- **$\eta$** : rendimiento del captador solar.
- **A**: factor de ganancia o eficiencia óptica.
- **U**: coeficiente global de pérdidas (W / m<sup>2</sup> K).
- **T<sub>m</sub>**: temperatura media del fluido caloportador (K).
- **T<sub>a</sub>**: temperatura ambiente (K).
- **I**: intensidad de la radiación solar incidente en el plano del captador (W/m<sup>2</sup>).

Para un mismo captador solar los coeficientes característicos son diferentes si se encuentran referidos a la superficie de apertura, del absorbedor o la superficie total. Normalmente se usa la superficie de apertura, como referencia para la obtención de los coeficientes característicos del captador solar. Para obtener un mayor rendimiento, es importante que los captadores trabajen a la temperatura más baja posible, siempre en relación con la temperatura de utilización.

Se define temperatura de estancación cuando el rendimiento es igual a 0. Esta temperatura es indicativa de la temperatura máxima que puede llegar a alcanzar la instalación solar.

### 7.3 ELECCIÓN TIPO DE CAPTADOR.

Para la elección del tipo de captador, se ha decidido emplear una comparación entre varios captadores entre su rendimiento y su precio.

Se ha recopilado información sobre los siguientes captadores solares planos, que se muestran en **tabla 24**.

COMERCIALIZADOR	MODELO
JUNKERS	FKT-1-S
	FKT-1-S
SOLARIS	CP1
COINTRA	SEDNA
	IXION
ECOINNOVA	CALA C222-I
IBERSOLAR	OP-V210
	OPS-V210
	OPS-V250
SOLARSAIVA	SOLEVER-100V
THERMOMAX	STC-2500
WOLSS-SUNRAIN	WS-P7300
ECOESFERA	W2020Mi
PROINSO	ROTH F2
	ROTH F3 64
VAILLANT	VFK 145 V
	VFK 125 V

**Tabla 24.** Modelos de captadores solares planos.

La selección del tipo de captador a instalar, se ha realizado en función de las siguientes consignas:

- 1) Rendimiento del captador.
- 2) Precio del captador.

#### 1) Rendimiento del captador.

El **gráfico 20** muestra los diferentes rendimientos que presentan los distintos captadores.

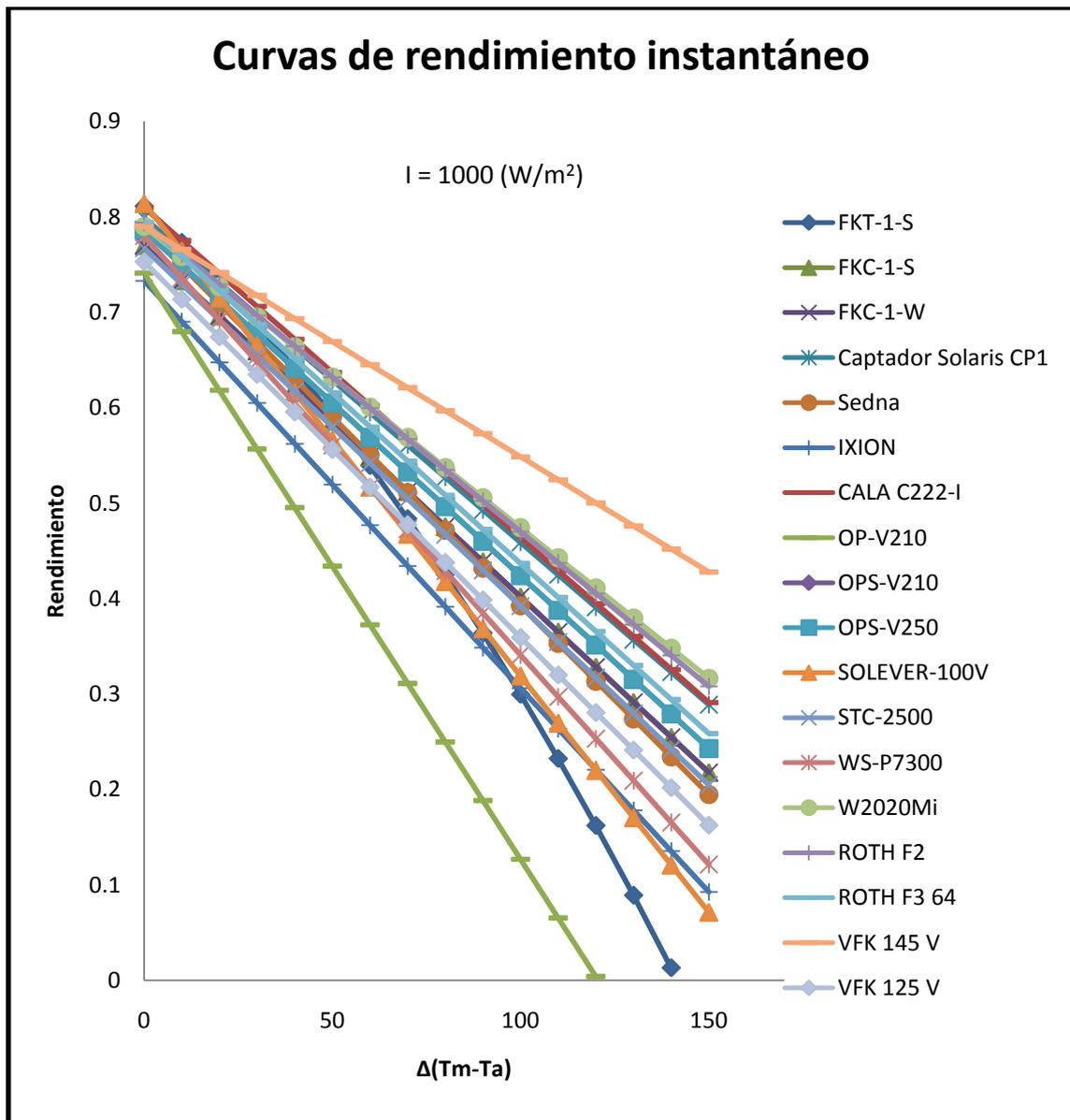


Gráfico 20. Curva de rendimiento instantáneo de captadores solares planos.

Con la información que presenta dicho gráfico se seleccionan varios captadores, aquellos que disponen de mejor curva de rendimiento, los cuales se muestran en el gráfico 21.

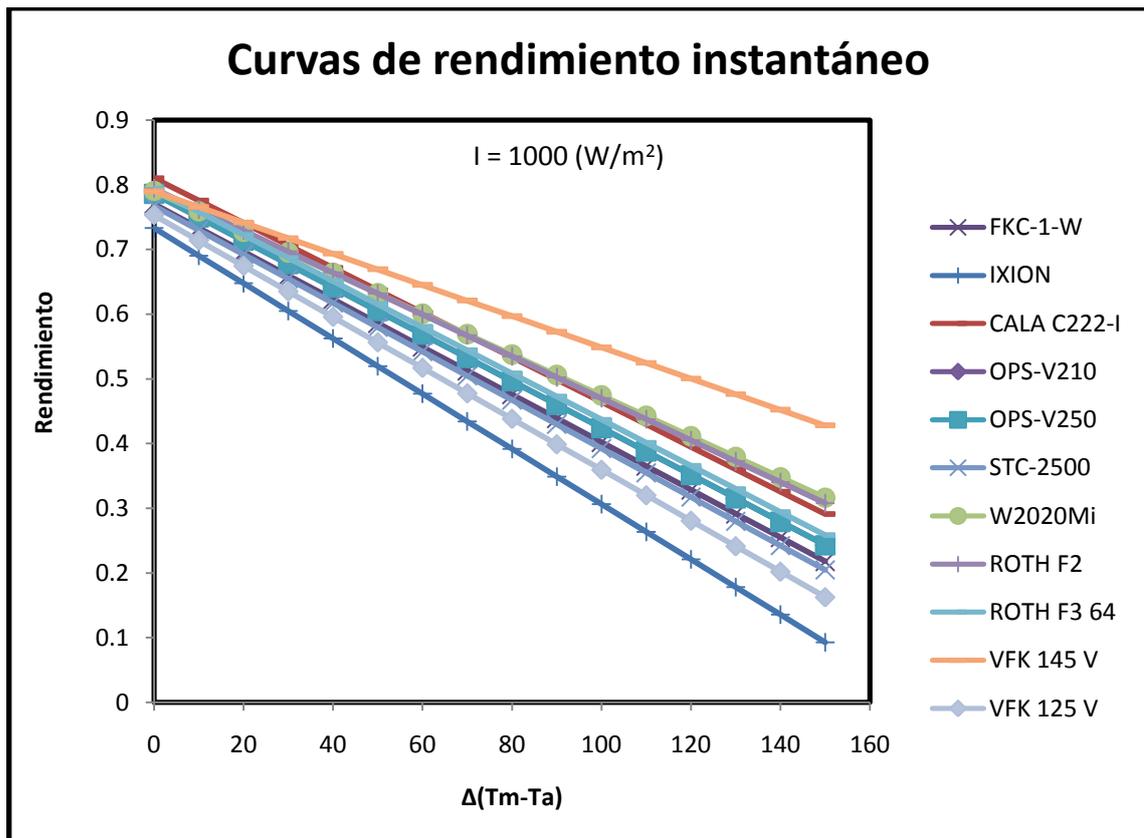


Gráfico 21. Curvas de rendimiento de captadores solares planos.

## 2) Precio del captador.

En el gráfico 22 se muestra el precio de cada captador sometido a estudio para determinar su elección.

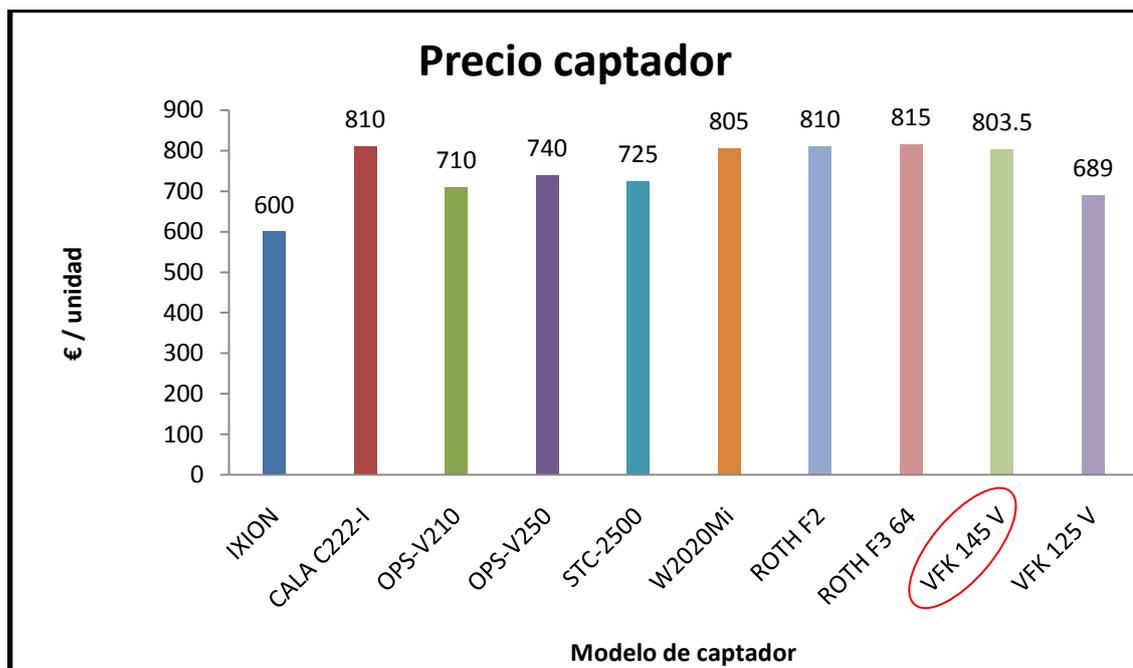


Gráfico 22. Precio de captadores solares planos.

Se decide instalar el captador VFK 145 V teniendo en cuenta los criterios anteriormente señalados, debido a que presenta la mejor curva de rendimiento y además su precio no es el más elevado.

## 8 CIRCUITO PRIMARIO.

### 8.1 UBICACIÓN DE LOS CAPTADORES.

Debido a los captadores se instalarán en una parcela adherida a la nave, de grandes dimensiones y libre de sombras, no hemos tenido complicaciones a la hora de ubicar los captadores solares y lograr aprovechar al máximo su rendimiento.

#### 8.1.1 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN.

La orientación elegida es Sur y en la parte de la parcela más cercana a la sala de máquinas que es donde se van a situar los componentes de la instalación.

La inclinación será de 40° para obtener el mayor aprovechamiento anual de la energía solar disponible.

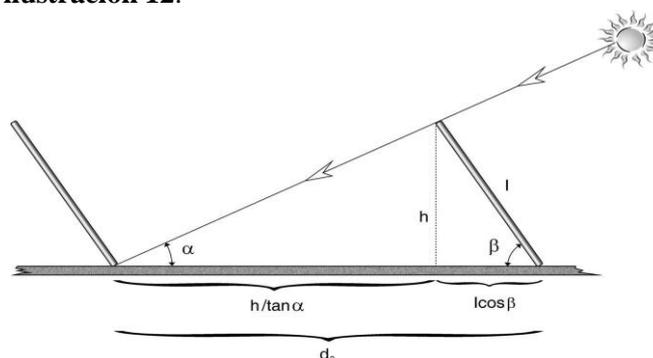
#### 8.1.2 IMPLANTACIÓN DE LOS CAPTADORES.

Los captadores se instalarán sobre estructuras de acero galvanizado, suministradas por el propio fabricante de los captadores solares, con una inclinación de 40° respecto a la horizontal. La tornillería necesaria para sujeción de los captadores a la estructura será de acero inoxidable.

La fijación de las estructuras metálicas se hará con bancadas de hormigón.

#### 8.1.3 SEPARACIÓN ENTRE FILAS

Hay que calcular la separación de los módulos en la finca para que la pérdida por sombras entre ellos sea la menor posible. En primer lugar se calcula la distancia necesaria existente entre cada uno de los módulos. Se establece un objetivo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno libres de sombra ( $-2 < \omega < 2$ ). La longitud de la sombra se calcula según la **ilustración 12**.



**Ilustración 12.** Parámetros para cálculos de longitud de sombra entre captadores.

$$d = K * h$$

Con inclinación a 40° obtenemos un valor de K de 1,87

$$h = \text{sen } \beta * L$$

$$h = 2 * \text{sen } 40^\circ = 1,286$$

$$d = K * h = 1,87 * 1,286 = 2,4 \text{ m}$$

#### 8.1.4 CONEXIÓN DE LOS CAPTADORES.

Se agrupan los 42 captadores en baterías de 7, obteniendo 6 filas, así se reduce el número de accesorios a utilizar por captador, con la consiguiente reducción de coste. En dicho campo solar todos los captadores están conectados en paralelo.

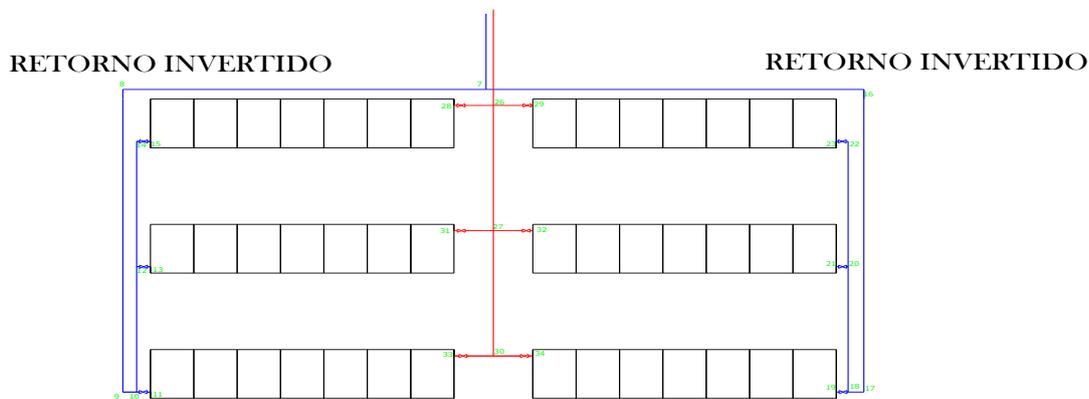
El fabricante de nuestro modelo impone un máximo de 10 captadores en batería, debido a que a partir de este número es posible que el caudal no se reparta homogéneamente por todos los captadores y, por tanto, se penalice la productividad energética del conjunto.

Se instalan válvulas de corte en la entrada y salida de los distintos grupos. Asimismo se debe prestar especial atención en la estanqueidad y durabilidad de las conexiones del captador y en asegurar que el circuito hidráulico de conexión entre los diferentes grupos esté equilibrado, es decir, que no existan recorridos preferentes que puedan originar que algunos grupos de captadores no reciban el caudal suficiente del fluido caloportador para su correcto funcionamiento.

En nuestro caso para lograr el equilibrio, realizaremos un adecuado diseño de los recorridos de tubería, con “retorno invertido”. Así, no tenemos recorridos de menor longitud y la pérdida de carga unitaria por metro de tubería no presenta grandes diferencias entre los diferentes tramos, el circuito queda equilibrado.

Según CTE, a cada grupo de captadores se le instalará un purgador para permitir la salida del aire de los captadores.

En la **ilustración 13** se representa el esquema de retorno invertido de la instalación en la Bodega.



**Ilustración 13.** Esquema del retorno invertido de la instalación.

## 8.2 FLUIDO CALOPORTADOR.

El fluido caloportador, es el encargado de transferir la energía térmica a la parte del sistema de aprovechamiento térmico (acumulador o interacumulador), absorbida en los captadores.

El fluido caloportador en el circuito primario debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Resistentes a la temperatura de trabajo.
- Ofrecer protección contra heladas.
- Poseer un calor específico elevado, así como una buena conductividad térmica, por medio de la cual se permita realizar de manera eficaz el transporte y la transferencia del calor generado en el captador.
- Tener una baja viscosidad, para mantener en un valor reducido las pérdidas de carga.

El fluido que cumple mayormente con las características más importantes necesarias, es el agua, con el único inconveniente de su vulnerabilidad frente a las heladas, por lo tanto se utiliza una mezcla de agua y un anticongelante, los anticongelantes son glicoles y los más usados son el etilenglicol y el propilenglicol. Pueden ser también aceites de silicona o líquidos orgánicos sintéticos.

El fluido del circuito primario será una mezcla de agua con un 30% de propilenglicol con una temperatura de congelación de  $-15^{\circ}\text{C}$ , que se estima suficiente para evitar la congelación del fluido en invierno dadas las temperaturas mínimas que se pueden dar en la zona de Seseña.

### 8.3 CAUDAL DEL CIRCUITO PRIMARIO SOLAR.

El caudal recomendado es de unos 50 litros/h por  $\text{m}^2$  de captación solar. En nuestro caso, al necesitar 42 colectores con una superficie unitaria de  $2,35 \text{ m}^2$ . El caudal del circuito primario se establece en 4.935 litros/h.

### 8.4 TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO.

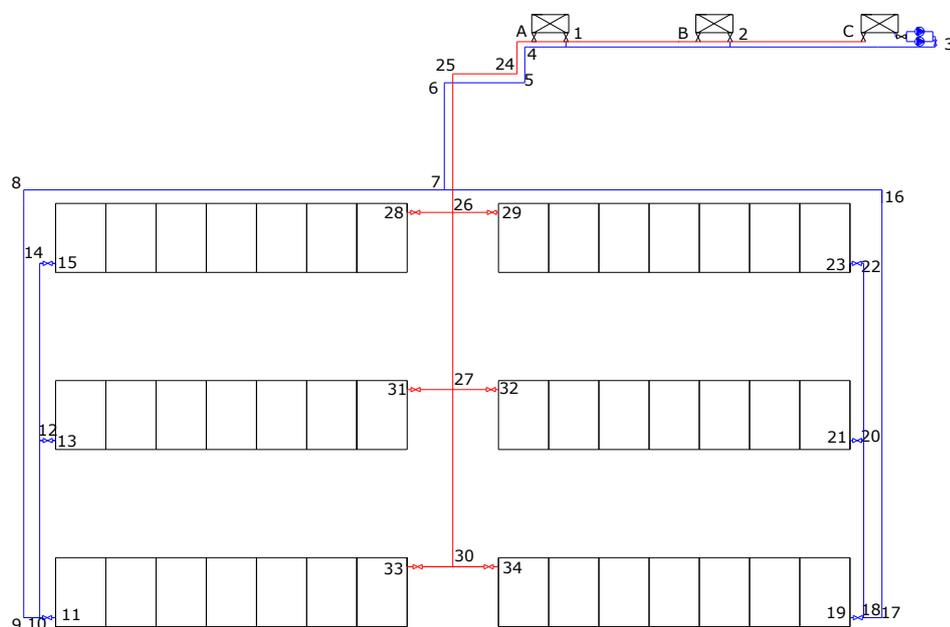
Las canalizaciones del circuito primario desde los captadores solares hasta el local en el que se ubica el depósito solar se realizarán con tubería de cobre.

Las tuberías de cobre son aptas para las instalaciones solares térmicas debido a sus importantes ventajas:

- Gran resistencia a la corrosión.
- Reducidas pérdidas de carga por su acabado interior liso.
- Facilidad de manipulación, instalación y mecanizado.
- Seguridad de funcionamiento, ya que sus empalmes son de gran calidad y durabilidad.
- Su costo, algo superior al de los materiales tradicionales compensa en muchas ocasiones al disminuir el tiempo empleado en mano de obra en su instalación y manipulación.

El diámetro de las tuberías se determinará a partir del caudal que debe circular por cada tramo.

En la **ilustración 14** se observa la distribución de las tuberías del circuito primario.



**Ilustración 14.** Esquema de distribución de tuberías del circuito primario.

Para el dimensionado del diámetro de las tuberías se debe tener en cuenta las recomendaciones de velocidad máxima y pérdida de carga unitaria.

- Pérdida de carga inferior a 40 mm.c.a. por metro

- Velocidad del fluido: En locales habitados < 2 m/s y al exterior o no habitados < 3 m/s.

Fórmulas a utilizar:

$$Pdc \text{ unit} = 378 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} < 40 \text{ (mmca/m)}$$

$$v = 0,354 \times \frac{Q}{D^2} < 2 \text{ (m/s)}$$

Se ha de tener en cuenta que el fluido escogido es agua con anticongelante, y por tanto, la pérdida de carga se ha de incrementar en un factor de 1,3. Se añaden 10 cm más al diámetro exterior de la tubería, por motivos de aislamiento térmico.

Luego de calcular buscamos el diámetro correspondiente en la tabla de referencia presentada en la **ilustración 15**.

Diámetro nominal (mm)	Espesor de pared (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (litros/h)
18	1,0	16	Hasta 500
22	1,0	20	Hasta 950
28	1,0	26	Hasta 1.900
35	1,0	33	Hasta 3.600
42	1,0	40	Hasta 6.200
54	1,0	51,6	Hasta 12.000

**Ilustración 15.** Tabla de referencia de Diámetro de tubería según caudal.

Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente, a continuación, se muestran los resultados de los diámetros para las tuberías de agua fría y de agua caliente en las **tablas 25** y **26** respectivamente.

Ramas	Longitud (m)	Nº Captadores tramo	Q (l/h)	DN (mm)	D interior (mm)	D externo (mm)
<b>3a7</b>	15,63	42	4.935,00	42	<b>40,00</b>	52,00
<b>7a10</b>	19,4	21	2.467,50	35	<b>33,00</b>	45,00
<b>10a12</b>	3,93	14	1.645,00	28	<b>26,00</b>	38,00
<b>10a11</b>	0,35	7	822,50	28	<b>26,00</b>	38,00
<b>12a13</b>	0,35	7	822,50	28	<b>26,00</b>	38,00
<b>12a14</b>	3,93	7	822,50	28	<b>26,00</b>	38,00
<b>14a15</b>	0,35	7	822,50	28	<b>26,00</b>	38,00

**Tabla 25.** Diámetro de tubería de agua fría.

Ramas	Longitud (m)	Nº Captadores tramo	Q (l/h)	DN (mm)	D interior (mm)	D externo (mm)
<b>Ca26</b>	12,76	42	4.935,00	42	<b>40,00</b>	52,00
<b>26a27</b>	3,93	21	2.467,50	35	<b>33,00</b>	45,00
<b>27a30</b>	3,93	14	1.645,00	28	<b>26,00</b>	38,00
<b>6 tramos</b>	13,86	7	822,50	28	<b>26,00</b>	38,00

**Tabla 26.** Diámetro de tubería de agua caliente.

## 8.5 PÉRDIDAS DE CARGA.

La pérdida de carga en tramos de tubería, depende de la pérdida producida por los tramos rectos de tubería y de las pérdidas singulares debidas a cambios de direcciones, derivaciones o elementos hidráulicos.

Para calcular las pérdidas de cargas en las tuberías nos basamos en las siguientes fórmulas:

$$Pdc (mca) = \frac{Pdcunit \times Ltotal}{1000}$$

$$Ltotal = Ltramos + Lsingulares$$

Para tomar en cuenta las pérdidas de carga singulares se evalúan según su longitud equivalente, presentadas en **ilustración 16**.

Diámetro nominal de la tubería	18	22	28	35	42	54
Curva de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Codo de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Curva de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducción	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Válvula retención	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

**Ilustración 16.** Pérdidas de cargas por tipo de singularidad.

En la **tabla 27** se recogen las pérdidas de carga lineales y equivalentes de las singularidades de cada tramo correspondiente a la tubería de agua fría.

Ramas	Pdc lineal (mmca/m)	v (m/s)	Singularidades	Nº singularidades	L <sub>equivalente</sub> (m)	L <sub>Total</sub> (m)	Pdc (mca)
3a7	35,07	1,092	Curva de 45°	7	4,9	27,65	0,970
			Curva de 90°	2	1,92		
			T (ese)	1	4,6		
			Válvula corte	3	0,6		
7a10	26,00	0,802	Curva de 45°	2	1,4	25,6	0,666
			T (ese)	1	4,6		
			Válvula corte	1	0,2		
			Nada	1	0		
10a12	39,68	0,861	Curva de 45°	2	1,4	10,13	0,402
			T (ese)	1	4,6		
			Válvula corte	1	0,2		
			Nada	1	0		
10a11	11,80	0,431	Curva de 45°	0	0	0,55	0,006
			T (ese)	0	0		
			Válvula corte	1	0,2		
			Nada	1	0		
12a13	11,80	0,431	T (ese)	0	0	0,55	0,006
			Válvula corte	1	0,2		
			Nada	1	0		
			Nada	1	0		
12a14	11,80	0,431	Curva de 45°	2	1,4	5,53	0,065
			Válvula corte	1	0,2		
			Nada	1	0		
			Nada	1	0		
14a15	11,80	0,431	Curva de 45°	0	0	0,55	0,006
			Válvula corte	1	0,2		
			Nada	1	0		
			Nada	1	0		
<b>Total</b>							<b>1,637<sup>3</sup></b>

**Tabla 27.** Pérdidas de carga en la tubería fría.

<sup>3</sup> El total de pérdidas de carga es de 3,274 m debido a que se ha calculado para una parte de la instalación y puesto que la instalación es simétrica se multiplica por dos.

En la **tabla 28** se recogen las pérdidas de carga lineales y equivalentes de las singularidades de cada tramo correspondiente a la tubería de agua caliente.

Ramas	Pdc lineal (mmca/m)	v (m/s)	Singularidades	Nº singularidades	L <sub>equivalente</sub> (m)	L <sub>Total</sub> (m)	Pdc (mca)
<b>Ca26</b>	<b>35,07</b>	<b>1,092</b>	Curva de 45°	4	2,8	33,16	1,163
			T (ese)	1	4,6		
			T (ese)	2	6		
			Válvula corte	5	1		
			IC	3	6		
<b>26a27</b>	<b>26,00</b>	<b>0,802</b>	T (ese)	4	18,4	22,33	0,581
			Válvula corte	0	0		
			Nada	1	0		
			Nada				
			Nada	1	0		
<b>27a30</b>	<b>39,68</b>	<b>0,861</b>	T (ese)	2	9,2	13,13	0,521
			Válvula corte	0	0		
			Nada	1	0		
			Nada				
			Nada	1	0		
<b>6 tramos</b>	<b>11,80</b>	<b>0,431</b>	Nada	0	0	30,9	0,365
			Válvula corte	6	1,2		
			Codo de 90°	12	15,84		
			Nada	1	0		
			Nada	1	0		
<b>Total</b>							<b>2,951</b>

**Tabla 28.** Pérdidas de carga en el circuito caliente.

La pérdida total de carga de la tubería en el circuito primario es de **6,225 m.c.a.**

## 8.6 BOMBA.

Una bomba es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve.

La circulación del fluido caloportador desde los captadores hasta el intercambiador o los acumuladores, se realiza mediante el uso de bombas de circulación.

El funcionamiento de una bomba de circulación viene determinado por su curva característica, que representa la relación entre la altura manométrica H, que proporciona la bomba y el caudal de circulación Q.

Recomendaciones a tener en cuenta con respecto a la instalación solar,

- Las tuberías situadas entre el campo de captadores y el acumulador se deben conectar a tierra para evitar diferencias de potencial.



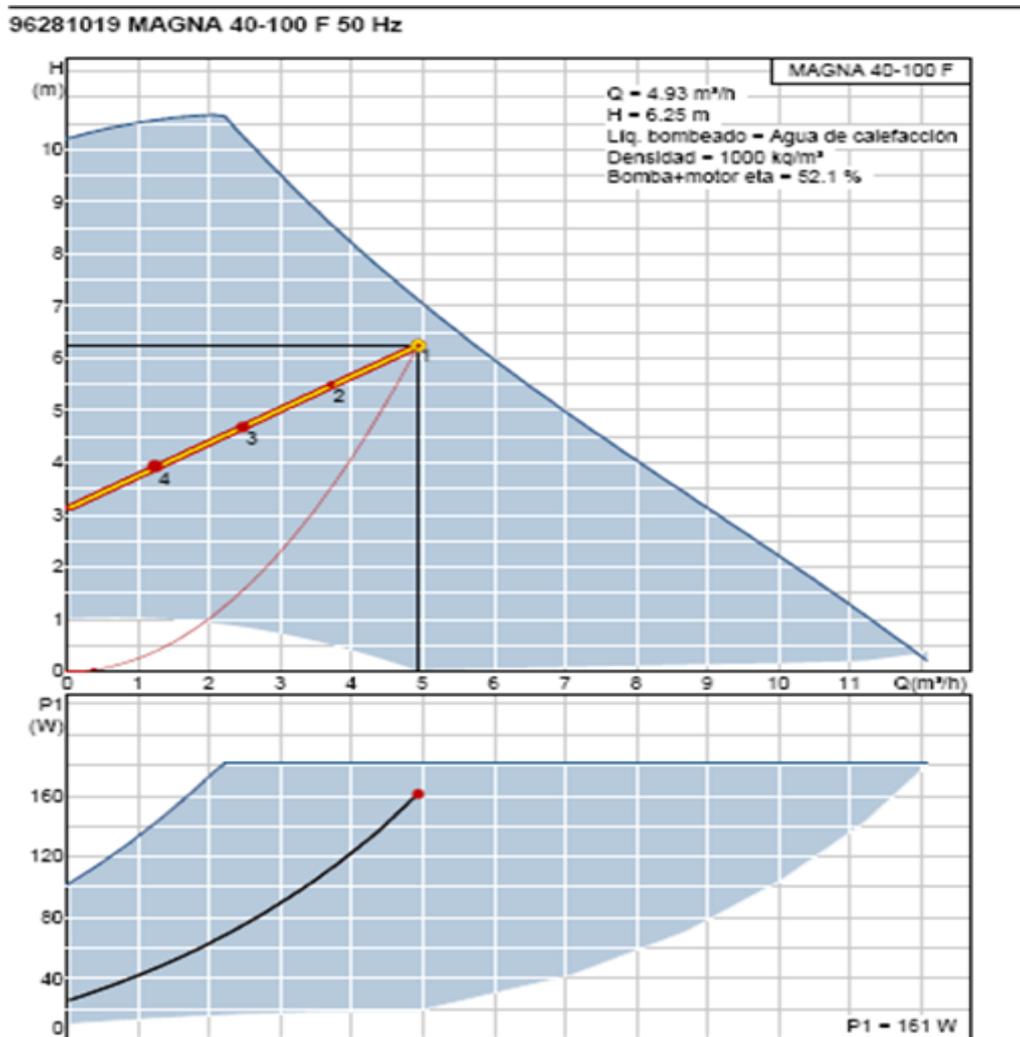
- Si la instalación es de más de 50 m<sup>2</sup> de captación el CTE fija que se monten dos bombas iguales en paralelo quedando una en reserva tanto en primario como en secundario.

La bomba que se requiere para el circuito primario se determina mediante la herramienta de diseño web caps del fabricante GRUNDFOS.

Para realizar el cálculo de la bomba, se debe indicar el caudal y la altura manométrica:

- Q= 3.000 l/h.
- H= 0,5 m.

Se selecciona una bomba de rotor encapsulado, es decir que la bomba y el motor constituyen una unidad integral sin cierre mecánico y con solamente dos juntas como cierre, cuya curva característica que se obtiene se muestra en la **ilustración 17**.



**Ilustración 17.** Curva Característica Bomba circuito primario.

Para ver las características completas de la bomba acudir al anexo “Bomba1”.

## 8.7 VASO DE EXPANSIÓN.

El vaso de expansión permite la absorción del aumento de volumen que es consecuencia del calentamiento del agua, evitando el incremento de la presión. A medida que se va expansionando el agua, ésta penetra en el vaso, comprimiendo el colchón de aire y aumentando su presión hasta el valor determinado en el cálculo.

El vaso de expansión ofrece un gran número de ventajas a la instalación,

- Economiza las calorías.
- Economiza el fluido.
- Alivia el grupo de seguridad (prácticamente no se producen fugas del fluido por goteo).
- Control unitario de la presión en fábrica.
- Reduce el consumo de la energía eléctrica.
- Evita el golpe de ariete. (Necesario en las entradas de agua fría proveniente de la red, en el circuito secundario).

En la **tabla 29**, se calcula el volumen del líquido del circuito primario para las tuberías de agua fría. Se suma el volumen de las tuberías, colectores e intercambiadores.

Ramas	Volumen tuberías (l)
<b>3a7</b>	19,641
<b>7a10</b>	16,593
<b>10a12</b>	2,087
<b>10a11</b>	0,110
<b>12a13</b>	0,110
<b>12a14</b>	2,087
<b>14a15</b>	0,186
<b>Total</b>	<b>40,814<sup>4</sup></b>

**Tabla 29.** Volumen de tuberías agua fría.

En la **tabla 30**, se calcula el volumen del líquido del circuito primario para las tuberías de agua caliente. Se suma el volumen de las tuberías, colectores e intercambiadores.

Ramas.	Volumen tuberías. (l)
<b>C a 26</b>	16,035
<b>26 a 27</b>	3,361
<b>27 a 30</b>	2,087
<b>6 tramos</b>	7,359
<b>Total</b>	<b>25,837</b>

**Tabla 30.** Volumen de tuberías de agua caliente.

En la **tabla 31** se muestra el volumen requerido para determinar el vaso de expansión.

<sup>4</sup> Se debe multiplicar por dos debido a que la instalación es simétrica para el caso de la tubería de agua fría, por tanto el volumen de tuberías de agua fría sería de 81,628 l.

VASO EXPANSIÓN.	
<b>Volumen</b>	(l)
<b>Tuberías</b>	110,47
<b>Captadores</b>	58,80 <sup>5</sup>
<b>Intercambiadores de Calor</b>	12,00
<b>Total</b>	181,57

**Tabla 31.** Resumen de la capacidad del vaso de expansión.

Para determinar la capacidad del vaso de expansión se dispone de la siguiente fórmula,

$$V_{\text{vaso}} = \frac{(V_{\text{circuito}} \times \varepsilon \times P_f)}{(P_f - P_i)}$$

Donde:

$V_{\text{vaso}}$  Volumen del vaso de expansión (l).

$V$  La cantidad de fluido caloportador de todo el circuito primario (l).

$\varepsilon$  El incremento de volumen del fluido caloportador desde 4°C hasta la temperatura máxima alcanzable por los captadores.

$P_f$  La presión absoluta final del vaso de expansión (Kg/cm<sup>2</sup>).

$P_i$  La presión absoluta inicia entre el vaso de expansión y los captadores (Kg/cm<sup>2</sup>).

En la **tabla 32** se muestran los datos requeridos para determinar el volumen del vaso de expansión.

Volumen del vaso de expansión.	
<b>Volumen circuito</b>	181,57
<b><math>\varepsilon</math></b>	0,08
<b><math>P_i</math> (Kg/cm<sup>2</sup>).</b>	2,635
<b><math>P_f</math> (Kg/cm<sup>2</sup>).</b>	4,5
<b><math>V_{\text{vaso}}</math> (l)</b>	23,25

**Tabla 32.** Determinación del volumen del vaso de expansión.

Se toma un vaso de expansión con una capacidad superior a la determinada. El vaso de expansión se instalará sin válvulas de corte, de manera que no exista la posibilidad de aislarlo accidentalmente del circuito primario al que protege.

El Modelo de vaso de expansión elegido es el 25 AMR-E-B, de Salvador Escoda, sus características principales están la **tabla 33**, ver más detalles en el anexo “Vaso de Expansión”.

Código	Tipo	Capacidad	Presión Máx.de Trabajo	Dimensiones	
				D(mm)	H(mm)
<b>AC 04 045</b>	25 AMR-E-B	24	8	350	410

**Tabla 33.** Características del Vaso de Expansión.

<sup>5</sup> Cada colector tiene un volumen de fluido de 1,4 litros.

## 8.8 PURGADORES.

Los purgadores son los elementos encargados de evacuar los gases contenidos en el fluido caloportador del circuito primario, que pueden impedir la correcta circulación del fluido y provocar corrosiones y puntos de elevadas temperaturas.

Estos se instalarán en los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático.

En el trazado de las tuberías deberá tratarse de evitar la formación de puntos altos que puedan provocar la formación de bolsas de aire que dificulten la circulación del fluido. Se instalarán 9 purgadores de aire, uno por cada grupo de captadores y los tres restantes en los depósitos de acumulación.

## 8.9 OTROS ELEMENTOS INSTALADOS EN EL CIRCUITO PRIMARIO.

- *Válvulas de corte:* La instalación de válvulas de corte, normalmente de esfera, permite interrumpir manualmente la circulación del fluido caloportador en los diferentes tramos del circuito, por ejemplo para proceder a reparaciones o acciones de mantenimiento.
- *Válvulas antirretorno:* La función de las válvulas antirretorno es impedir la circulación del fluido en sentido contrario al deseado. Se instalan generalmente en las tomas de llenado de la instalación y en el circuito primario solar para evitar la circulación del fluido caloportador en sentido inverso al trabajado. En el circuito primario se instalará una válvula antirretorno de capleta en la impulsión de la bomba de circulación, para evitar la eventual circulación inversa durante la noche. Este circuito también llevará una conexión para el llenado.
- *Válvulas de vaciado:* La instalación de válvulas de vaciado permitirá eliminar el agua de la instalación para facilitar los trabajos de reparación y sustitución. Deberá preverse de válvulas de vaciado en puntos bajos de la instalación, como por ejemplo en las columnas de distribución y en la parte inferior de los depósitos de acumulación.
- *Válvulas de seguridad:* Las válvulas de seguridad tienen por objetivo evitar que en los circuitos se puedan producir sobrepresiones excesivas que puedan perjudicar elementos de la instalación y de las personas que la manipulan o utilizan. Se instalará siempre una válvula de seguridad en el primario. Nuestro circuito primario cuenta con una válvula de seguridad con descarga conducida a desagüe. La presión de trabajo será de 3 Kg/cm<sup>2</sup>. Junto a la válvula de seguridad se instalará un manómetro que permita verificar la presión del circuito.
- *Filtros:* Las bombas y válvulas automáticas deberán protegerse mediante la instalación de filtros que retengan impurezas que puedan existir en el interior de las conducciones de la instalación.

## 9 CIRCUITO SECUNDARIO SOLAR.

### 9.1 FLUIDO DE TRABAJO.

En el circuito secundario incluye la acumulación de agua, el intercambio de calor y las canalizaciones de conexión de ambos, con sus accesorios, en este circuito el fluido de trabajo en el secundario es agua.

## 9.2 VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO.

Los volúmenes de almacenamiento serán acordes a cada aplicación y por separado, es decir, en función de sus consumos diarios correspondientes, así pues:

El volumen de los depósitos acumuladores  $V$  (l) se determina por la expresión:

$$0,8 M < V < M$$

Donde:

- $V$ , volumen del acumulador solar.
- $M$ , volumen total de acumulación de la aplicación.

Considerando  $V=M$  para todas la aplicaciones se requieren unos depósitos con las siguientes capacidades de almacenamiento que se recogen en la **tabla 34**.

Volumen de Almacenamiento	Total Necesario	Depósito Solar	Deposito Acumulación
ACS DUCHAS (m <sup>3</sup> )	3	3	1
ESTERILIZACION (m <sup>3</sup> )	2	2	2
LIMPIEZA (m <sup>3</sup> )	3,5	3,5	3,5

**Tabla 34.** Volumen de almacenamiento por aplicación.

Hay que mencionar que para el ACS se dispondrá de un primer depósito solar de 3.000 litros, y de un segundo depósito de acumulación conectado a la caldera auxiliar mediante un serpentín, el cual dispondrá de 1.000 l solamente, puesto que no es necesario calentar el caudal de las duchas ACS en una hora, sino que se consume a lo largo del día ya que sólo un tercio de la demanda ACS es de consumo instantáneo, y por ello el calentamiento de dicho volumen puede ser más prolongado. Sólo hace falta 1.000 l de depósito de acumulación puesto que si hay tres turnos de trabajo, en un momento de escasez de aporte solar, la caldera calentará los 1.000 litros suficientes para las duchas de un turno de trabajo.

Para el proceso de esterilización y limpieza, se dispondrá de un dos depósitos de sus capacidades correspondientes, uno solar y otro de acumulación con serpentín conectado a la caldera, puesto que estos procesos funcionan durante una hora al día y por tanto sus caudales tienen que estar siempre disponibles, sobre todo en caso de que no exista aporte solar y sea la caldera auxiliar quien tenga que aportar todo el calor necesario al agua de proceso.

Los tres depósitos de acumulación, dispondrán en su interior de unas resistencias eléctricas, necesarias para aportar el calor restante ante situaciones en las que no se llegue al aporte solar mínimo estimado, debido por ejemplo a nevadas inusuales durante el año, ya que el sistema auxiliar de apoyo está diseñado para alcanzar las temperaturas de proceso, sólo partiendo de la mínima aportación solar, y no desde la temperatura del agua de red. Además el uso de estas resistencias fuera de estas condiciones no es aconsejable puesto que es más caro.

El CTE marca la siguiente condición en cuanto la relación que se tiene que dar entre el volumen y el área de captación de cara a cubrir las necesidades de ACS (solamente para la aplicación de ACS en nuestro caso):

$$50 < V/A < 180$$

Definiendo como A, la superficie total de captadores en m<sup>2</sup> y V, el volumen del depósito que ha de coincidir con el consumo que se produce al día, en litros/día.

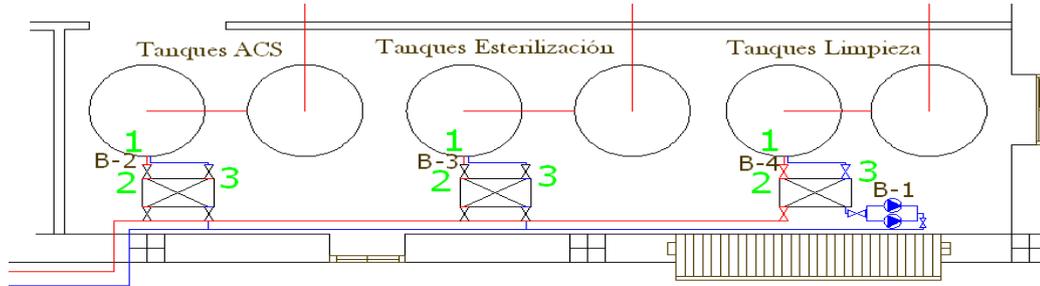
La relación solamente se calcula para la aplicación de ACS, siendo el resultado el siguiente:

**Relación V/A (según CTE) = 70,9.**

Lo que indica que los resultados obtenidos cumplen el criterio adoptado por el CTE.

### 9.3 TUBERÍAS Y PÉRDIDAS DE CARGA DEL SECUNDARIO SOLAR.

En la **ilustración 18** se observa la distribución de las tuberías del circuito secundario.



**Ilustración 18.** Esquema de distribución de las tuberías.

Se puede ver en el esquema la sencillez del circuito secundario solar, debido a que los acumuladores e intercambiadores están prácticamente unidos en una misma sala de la nave.

En la **tabla 35** se muestran los resultados de los diámetros de las tuberías, del circuito secundario solar.

Ramas	Longitud (m)	Q (l/h)	DN (mm)	D interior (mm)	D externo (mm)
<b>Depósito ACS</b>	1,3	3.000,00	35	<b>33,00</b>	45,00
<b>Depósito Esterilización</b>	1,3	2.000,00	35	<b>33,00</b>	45,00
<b>Depósito Limpieza</b>	1,3	3.500,00	42	<b>40,00</b>	52,00

**Tabla 35.** Diámetro de tuberías del circuito secundario solar.

En la **tabla 36** se muestran los resultados de la pérdida de carga para el circuito secundario solar.

Ramas	v (m/s)	Pdc lineal (mca/m)	Singularidades	Nº singularidades	L <sub>equivalente</sub> (m)	L <sub>Total</sub> (m)	Pdc (mca)
<b>Depósito ACS</b>	0,975	36,60	Válvula corte	2	0,4	6,34	0,232
			IC	1	2		
			Codo de 90°	2	2,64		
			Nada				
<b>Depósito Esterilización</b>	0,650	18,00	Válvula corte	2	0,4	6,34	0,114
			IC	1	2		
			Codo de 90°	2	2,64		
			Nada				
<b>Depósito Limpieza</b>	0,774	19,22	Válvula corte	2	0,4	6,34	0,122
			IC	1	2		
			Codo de 90°	2	2,64		
			Nada	1	0		

**Tabla 36.** Pérdidas de Cargas del circuito secundario solar.

## 9.4 INTERCAMBIADORES.

Los intercambiadores de calor sirven para transferir la energía térmica entre diferentes fluidos, que se mantienen separados entre sí.

Se dispone de tres intercambiadores de placas, se opta por emplear este tipo de intercambiadores debido a las características que presentan:

- Externo al depósito acumulador.
- Alto rendimiento de intercambio, por tanto sistema más eficiente.
- Superficie de intercambio muy elevada.
- Dimensiones reducidas.
- Mayor pérdida de carga.
- Diseño a medida de las necesidades.
- Necesidad de incorporar dos bombas en la instalación.

El empleo de intercambiadores de calor externos de placas para el calentamiento de depósitos centralizados permite adaptar la potencia de intercambio a las condiciones concretas de cada instalación y permiten una fácil limpieza tanto del acumulador como del propio intercambiador. La elección del modelo de intercambiador y del número de placas necesario se realiza a partir de los caudales y temperaturas nominales de diseño de la instalación.

Para el diseño de los intercambiadores de calor necesarios en el circuito primario, se han tenido en cuenta las especificaciones del CTE, según el cual, la potencia mínima del intercambiador de calor, se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup> y un rendimiento de la conversión de la energía solar a calor del 50%, cumpliéndose la relación:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Donde:

- P, potencia mínima del intercambiador (W).
- A, área de captadores (m<sup>2</sup>).

Además, en cada una de las tuberías de entrada y de salida de agua del intercambiador se instalará una válvula de cierre próxima al manguito correspondiente.

Para nuestra instalación elegimos tres intercambiadores de placas para el circuito primario, y otro intercambiador también de placas como sistema de recuperador de calor entre el proceso de esterilización y de limpieza. Estos, al disponer de 98,7 m<sup>2</sup> instalados de captación solar, se necesitan un mínimo de potencia de 49,35 kW, valor que se cumplirá para todos los intercambiadores instalados.

Para el diseño de estos usamos la aplicación informática que ofrece el fabricante DANFOSS. Para ello hemos tomado una serie de consideraciones según los datos de partida de los que disponíamos en cada caso. El programa marca fijar cuatro parámetros y en función de estos calcula el intercambiador más adecuado con el resto de los parámetros.

Para los tres intercambiadores del circuito primario, se hace una simulación inicial para obtener del programa de cálculo las temperaturas desconocidas de forma aproximada, entrando manualmente los datos conocidos:

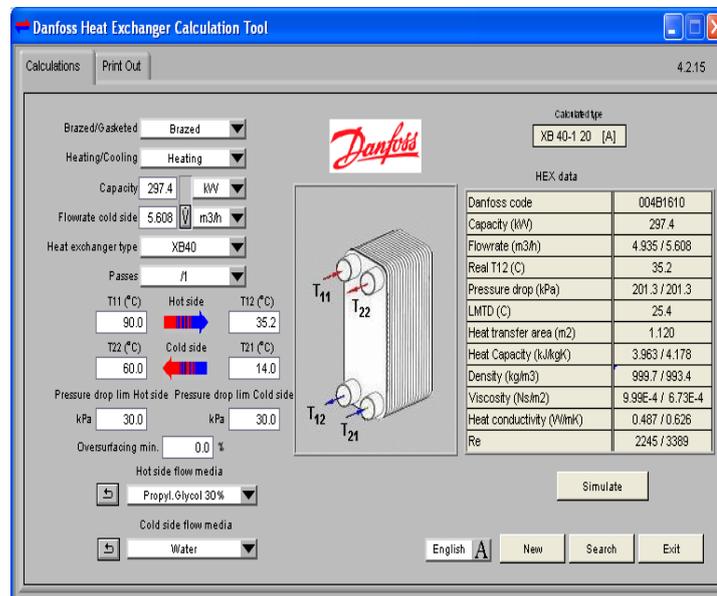
- Temperaturas de la corrientes de entrada del lado frío, se pone la temperatura de red del mes mejor porque son los únicos meses que se cubre el 100% de la demanda al haber mayor aportación solar, y por tanto donde van a trabajar a plena carga. Para los demás meses el intercambiador tendrá potencia suficiente.
- Temperaturas de salida de la corriente fría se fijan las temperatura de almacenamiento de uso de cada aplicación, o sea, de 60 °C para el ACS, de 75 °C para la esterilización (ya que el resto hasta los 90 °C lo dará la caldera auxiliar), y de 65 °C para la limpieza.
- Temperaturas de entrada de la corriente caliente (agua glicolada) se fija de 90 °C ya que es la que se considera que alcanza en los captadores de alto rendimiento.
- Caudal, se decide fijar el caudal de circulación del circuito primario en función del número de captadores instalados, puesto que este es un circuito cerrado y por tanto es un caudal constante.

Para el recuperador de calor IC-3 se simula entrando los siguientes parámetros:

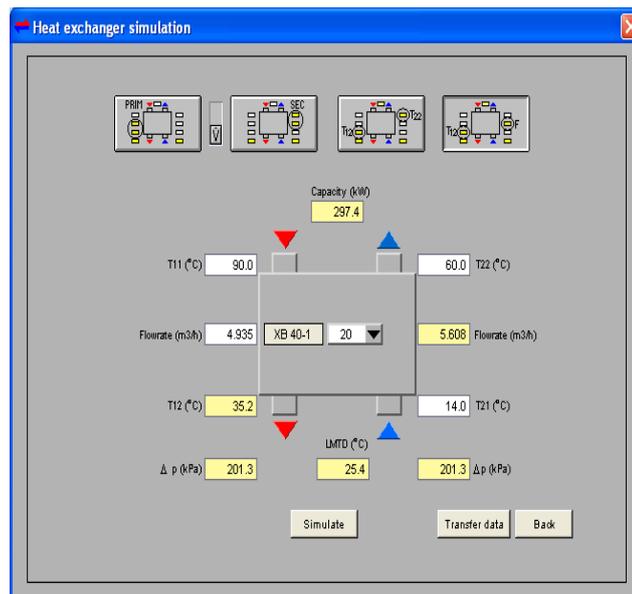
- La Temperatura salida de la corriente fría es de 48,9°C, equivalente a la de salida del mes de Julio, en función de la de entrada de red del mismo mes.
- El caudal de la corriente del lado caliente debe ser a 75°C y de 2 m<sup>3</sup>/h puesto que es el que se recircula del proceso de esterilización.

Sólo fijamos el caudal del circuito primario porque el del secundario se controlaría con una bomba de caudal de regulación hasta alcanzar el caudal necesario de cada aplicación.

A continuación se muestra en la **ilustración 19 y 20** un ejemplo del cálculo con el programa mencionado para el intercambiador de la parte de ACS del circuito primario.



**Ilustración 19.** Ejemplo de simulación de intercambiador.



**Ilustración 20**, Ejemplo de simulación de intercambiador.

Los resultados para estos tres intercambiadores se muestran en la **tabla 37**.

Intercambiador	Potencia (kW)
IC 1	297,40
IC 2	262,10
IC 3	119,50
IC 4	137,30

**Tabla 37**. Potencia de Intercambiadores.

Las características de los intercambiadores están en el anexo “INTERCAMBIADORES”.

## 9.5 BOMBAS DEL SECUNDARIO SOLAR.

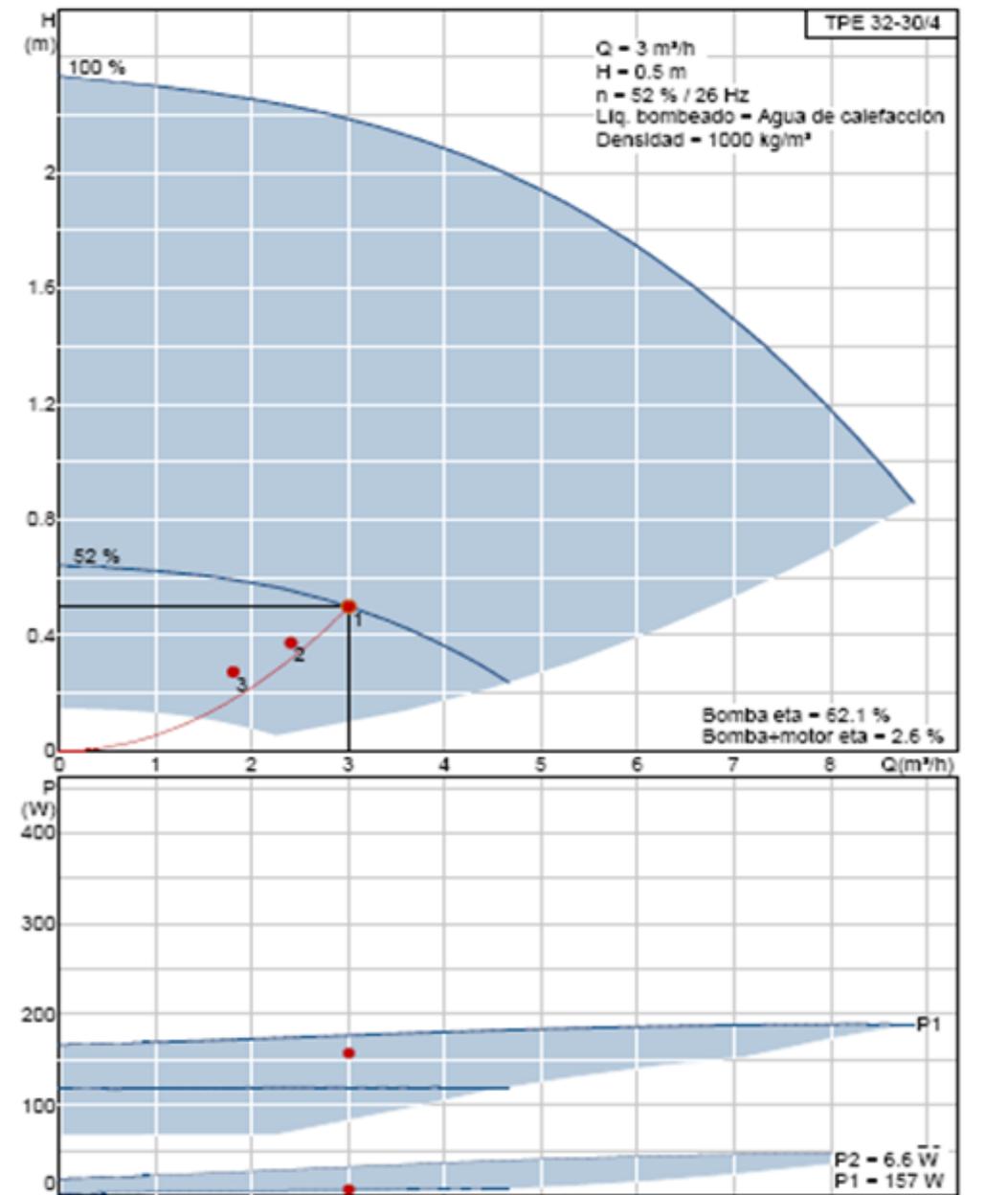
### Bomba ACS.

La bomba que se requiere para ACS se determina mediante la herramienta de diseño web caps del fabricante GRUNDFOSS.

Para realizar el cálculo de la bomba, se debe indicar el caudal y la altura manométrica:

- Q= 3.000 l/h.
- H= 0,5 m.

Se selecciona una bomba sencilla centrífuga monocelular en línea, cuya curva característica que se obtiene se muestra en la **ilustración 21**.



**Ilustración 21.** Curvas características de Bomba para ACS.

Para ver las características completas de la bomba acudir al anexo “Bomba ACS”.

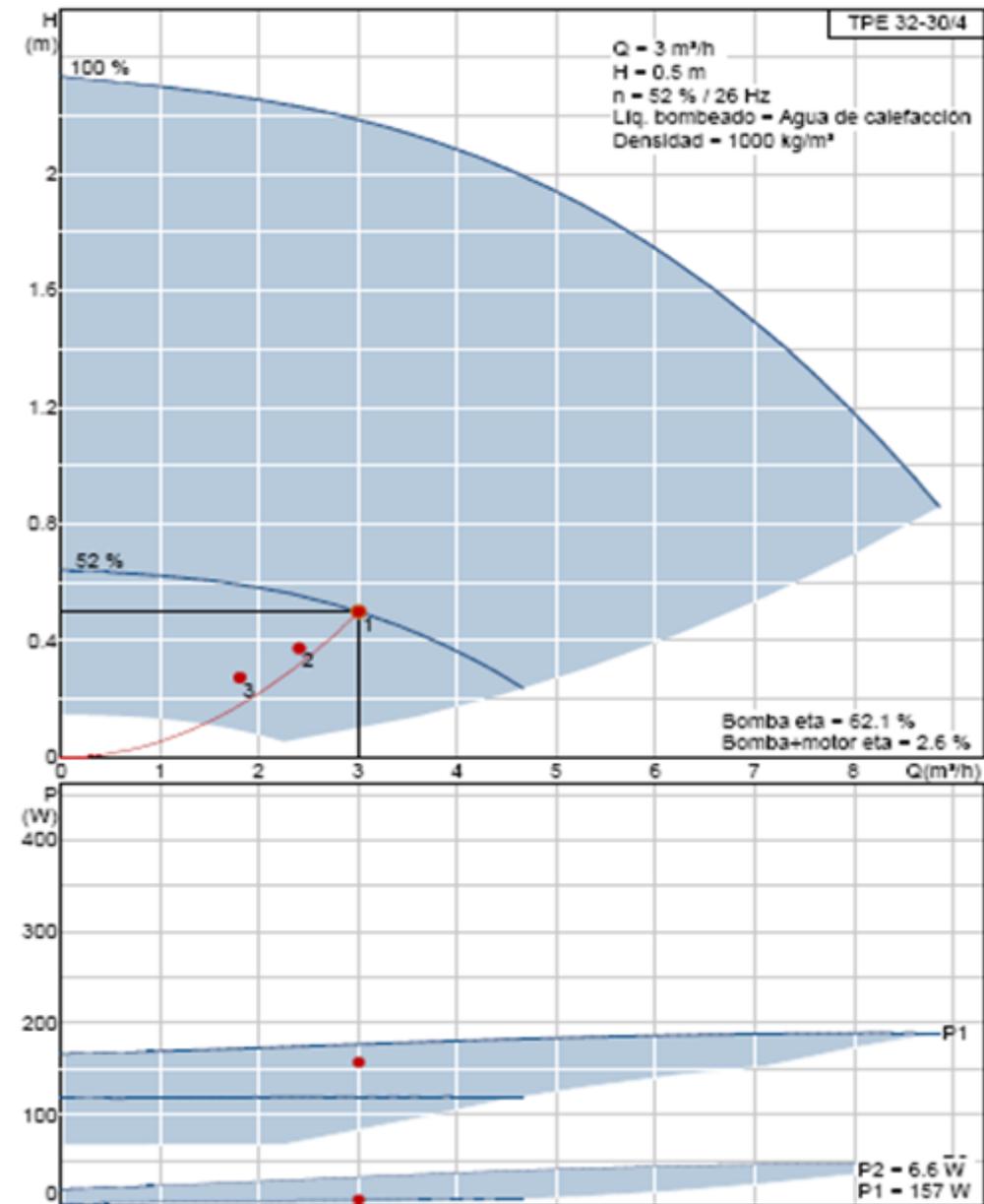
### Bomba Esterilización.

La bomba que se requiere para Esterilización se determina mediante la herramienta de diseño webcaps del fabricante GRUNDFOSS.

Para realizar el cálculo de la bomba, se debe indicar el caudal y la altura manométrica,

- $Q = 2.000 \text{ l/h}$ .
- $H = 0,5 \text{ m}$ .

Se selecciona una bomba sencilla centrífuga monocelular en línea, cuya curva característica que se obtiene se muestra en la **ilustración 22**.



**Ilustración 22.** Curvas características de Bomba para Esterilización.

Para ver las características completas de la bomba acudir al anexo “Bomba Esterilización”.

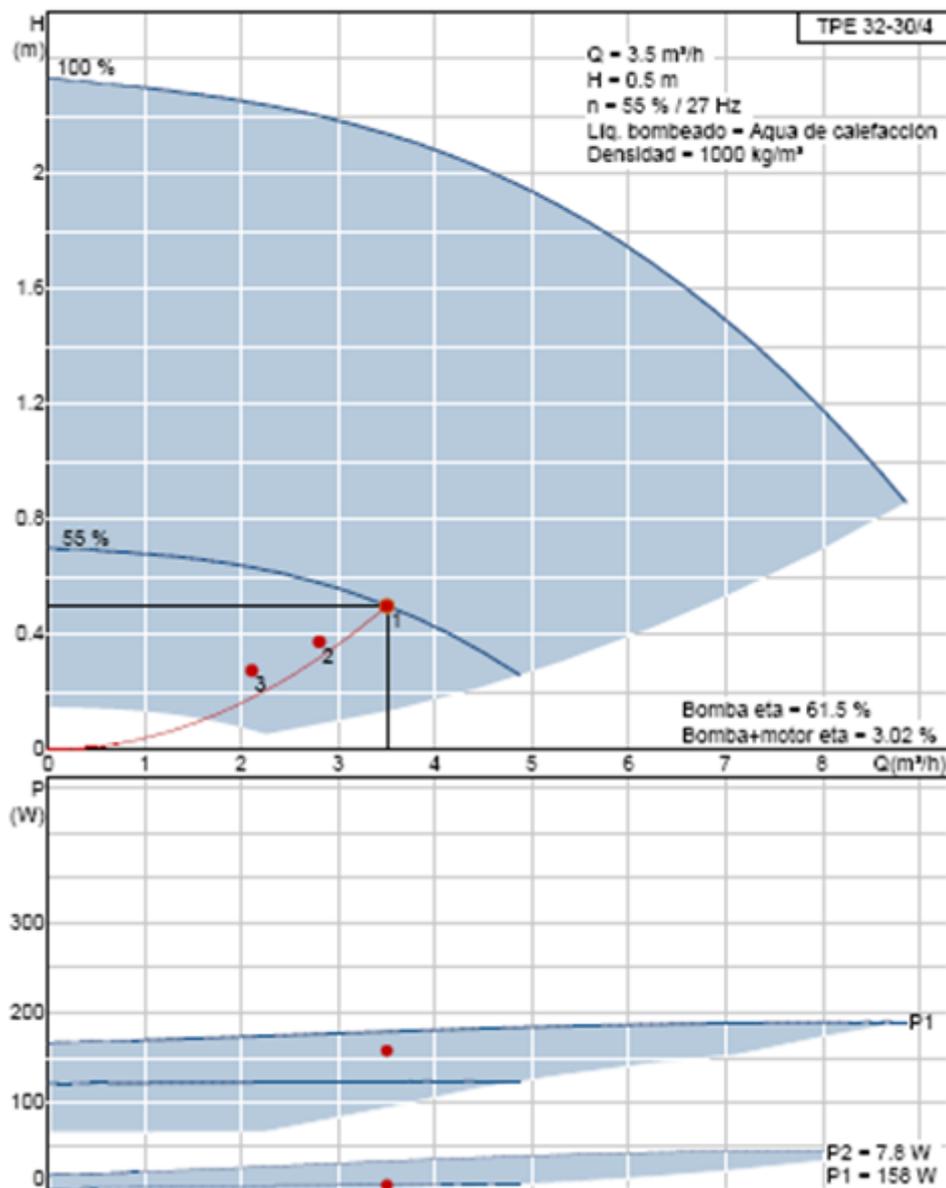
### Bomba Limpieza.

La bomba que se requiere para Esterilización se determina mediante la herramienta de diseño web caps del fabricante GRUNDFOS.

Para realizar el cálculo de la bomba, se debe indicar el caudal y la altura manométrica,

- $Q = 3.500 \text{ l/h}$ .
- $H = 0,5 \text{ m}$ .

Se selecciona una bomba sencilla centrífuga monocelular en línea, cuya curva característica que se obtiene se muestra en la **ilustración 23**.



**Ilustración 23.** Curvas características de Bomba para Limpieza

Para ver las características completas de la bomba acudir al anexo “Bomba Limpieza”.

## **10 SISTEMA AUXILIAR.**

Es imprescindible disponer de un sistema auxiliar ya que el Sol no puede cubrir completamente la demanda energética que se produce a lo largo del año. El objetivo es que el sistema solar entre en funcionamiento cuando sea de suma necesidad y que por lo tanto siempre sea prioritaria la aportación solar.

La caldera central está conectada con los depósitos acumuladores mediante un serpentín intercambiador de calor a través del cual transmitirá el calor restante al agua almacenada en ellos. Nunca se podrá conectar el sistema auxiliar directamente al depósito solar salvo en caso de prevención de legionela.

Para el cálculo de la potencia necesaria del sistema auxiliar, se considera que éste debe ser capaz de dar energía suficiente para subir desde las temperaturas alcanzadas por el fluido de trabajo en el mes de peor radiación, hasta las temperaturas de trabajo de cada aplicación. Como las tres demandas no funcionan simultáneamente, habrá que comparar primero la potencia necesaria para el proceso de duchas de ACS, y por otro los procesos de esterilización y limpieza, ya que estos funcionan a la misma hora y son dependientes al estar conectados por el recuperador de calor; y el que salga de mayor magnitud será la potencia elegida para la caldera.

En primer lugar, para el caso del ACS, se sabe que la energía aportada en un día por el campo de captadores correspondiente al mes peor, Diciembre, es de 49,30 kW, y que el caudal constante requerido es de 3 m<sup>3</sup>, por tanto, la corriente de entrada desde temperatura de red subirá hasta los 20,20 °C, según las leyes de transmisión de calor:

$$Q_{\text{mes peor}} = m \cdot C_p \cdot (T_{\text{min salida}} - T_{\text{red}})$$

Sabiendo esta temperatura mínima existente del año, la caldera deberá poder subirla hasta los 60 °C requeridos para las duchas de ACS, pero solamente 0,5 de los 3 m<sup>3</sup>, ya que hay que calentar 1.000 (l) pero en 2 horas, así que 500 (l/h), (3 turnos al día, de 66 personas, a 15 l por persona equivalen a 990 l, que además hay que mezclar con agua fría luego es agua suficiente), y por tanto, considerando un rendimiento de la caldera del 90%, sale una potencia necesaria según la expresión siguiente de:

$$\text{Potencia ACS} = \eta_{\text{caldera}} \cdot m \cdot C_p \cdot (T_{\text{sal(DA-1)}} - T_{\text{min mes peor}}) = 20,8 \text{ kW.}$$

En segundo lugar, siguiendo la misma metodología de cálculo para el proceso de esterilización, la aportación diaria de los captadores del mes peor es de 41,10 kW, obteniendo una temperatura mínima de 23,70 °C, la cual la caldera debe subir hasta los 90 °C requeridos en el proceso, obteniendo una potencia de 138,40 kW.

$$\text{Potencia ESTERILIZACIÓN} = 138,9 \text{ kW.}$$

Para la limpieza, los captadores sólo aportan 18,14 kW solares diarios, y como en Diciembre la corriente de red llega al depósito solar a 45,40 °C procedente del recuperador de calor, la energía solar la sube hasta los 49,90 °C, y de esta manera, la caldera necesita sólo una potencia suficiente para subirla hasta los 65 °C requeridos en la limpieza de botellas de:

$$\text{Potencia LIMPIEZA} = 55,2 \text{ kW.}$$

La **tabla 38** muestra los parámetros necesarios para el cálculo de la potencia de la caldera así como la potencia de la caldera que se requiere.

Parámetros	ACS	ESTERILIZACION	LIMPIEZA
$\eta$ caldera	0,9	0,9	0,9
q, Caudal (m3/día)	3,0	2,0	3,5
q, Caudal DA-1(m3/h)	0,5	-	-
Cp (kWh/m3*°C)	1,16	1,16	1,16
Aportación solar mes peor (kW/día)	49,3	41,1	18,1
T <sup>a</sup> red mes peor (°C)	6,0	6,0	45,4
T <sup>a</sup> min mes peor (°C)	20,2	23,7	49,9
T <sup>a</sup> uso (°C)	60,0	90,0	65,0
Potencia caldera (kW)	20,8	138,4	55,2

**Tabla 38.** Parámetros para cálculo de potencia de la caldera.

**Potencia ACS < Potencia ESTERILIZACIÓN + Potencia LIMPIEZA**

Según los resultados obtenidos, el sistema auxiliar o caldera deberá ser de tipo convencional para combustible de tipo gas natural, y de una potencia mínima de **193,6 kW**.

La caldera elegida es de 200 kW, modelo ecoCRAFT exclusiv VKK 2006/3, ya que es el modelo comercial de potencia más próxima a la requerida, los datos técnico en el anexo “CALDERA”.

## **11 SISTEMAS DE CONTROL DEL SISTEMA SOLAR TERMICO.**

El sistema de control de una instalación solar tiene como función regular los flujos de energía entre el campo de captadores, el acumulador y el consumo, para asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener el máximo aprovechamiento de la energía solar captada.

Para asegurar el abastecimiento de las demandas de ACS, el proceso de Esterilización y limpieza de botellas en la Bodega, y obtener los resultados energéticos esperados según el dimensionado inicial, se controlarán los aspectos más importantes del sistema, tomando en cuenta las normas del CTE.

Los componentes de un sistema de control son:

**El control del proceso de carga**, que tiene la misión de regular la conversión de la radiación solar en calor y transferirla al acumulador de manera eficaz.

**El control de proceso de descarga**, el cual garantiza la mejor transferencia de energía posible del acumulador hacia el consumo.

Requisitos más importantes que debe cumplir el control en una instalación solar:

- Las Temperaturas de circuito primario se deben mantener en un valor lo más bajo posible, con el objetivo de lograr un alto rendimiento de los captadores.
- Ser capaz de tener en cuenta rasgos característicos del sistema.
- Control de la instalación solar y el sistema auxiliar de calentamiento convencional, los cuales no deben repercutir negativamente en la operación de uno u otro.
- Los sensores se han de integrar en el sistema de tal manera que puedan ofrecer, en todo momento e independientemente del estado de operación, valores exactos de medida.
- La precisión de componentes del control deber ser suficientemente alta al fin de evitar errores de conexión y desconexión.

El control de carga de un sistema provisto de un intercambiador de calor externo consiste siempre en un control del circuito primario y otro de la transferencia de calor al acumulador.

El CTE dispone que en sistemas con circulación forzada el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial, y en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de batería de los captadores y la del depósito de acumulación.

Para tomar medidas con respecto a la temperatura del fluido caloportador en los captadores, se instalará un sensor de temperatura en la salida de la batería de los captadores (**S1**).

El sensor de la temperatura del depósito de acumulación, para cada aplicación, estará situado en la parte inferior de este, en una zona no influenciada por la circulación del circuito del secundario o por el calentamiento del intercambiador. (**S2-ACS**, **S3-Esterilización**, **S4-Limpieza**).

El sistema de control actuará y estará ajustado de tal manera que las bombas arranquen cuando la diferencia de temperatura entre la salida de captadores, y la parte inferior del acumulador década aplicación, sea **mayor a 7°C** ( $\Delta T > 7^\circ\text{C}$ ), y estarán apagadas cuando las diferencias de temperaturas sea **menor de 2°C** ( $\Delta T < 2^\circ\text{C}$ ).

Estas diferencias de temperaturas para la puesta el funcionamiento de las bombas, se establecen para compensar las posibles pérdidas energéticas en las canalizaciones del circuito primario y pueden ajustarse con la instalación en funcionamiento.

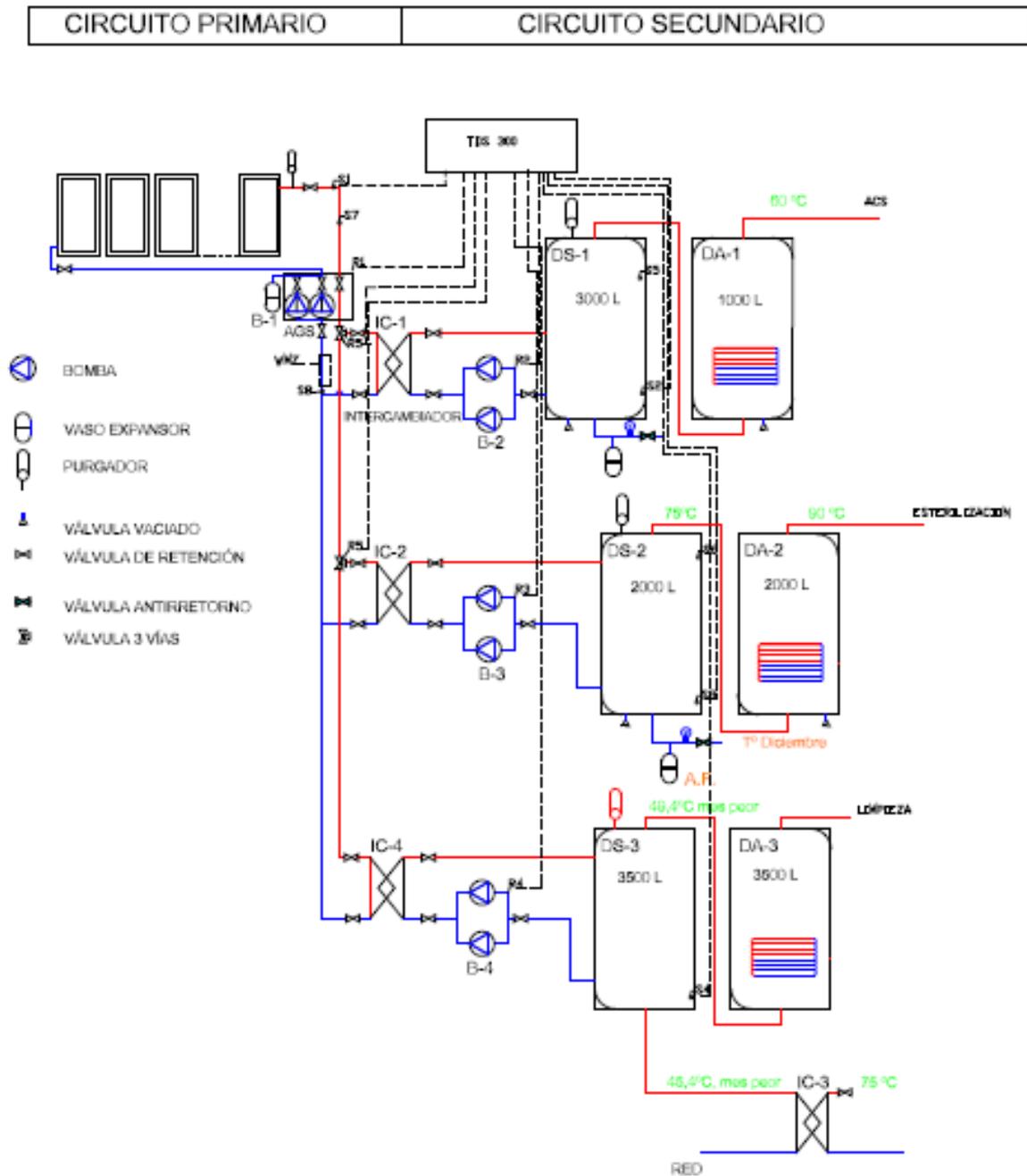
La bomba B1 estará en marcha si por lo menos un  $\Delta T > 7^\circ\text{C}$  con respecto a uno de los depósitos de acumulación, y asimismo la bomba correspondiente al depósito. (R2-ACS, R3-Esterilización, R4-Limpieza).

El CTE especifica, que a las instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup> se deberá disponer de medidas de temperatura de agua fría de red, temperatura de salida del acumulador solar y del caudal de agua fría de red. Con el objetivo de tener un registro de datos donde proporcione al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo. Esto se realizará con un contador, incluido en la centralita.

Para llevar a cabo el control se realizará a través de la centralita de regulación de Junkers, modelo TSD 300. Este modelo es capaz de control varias aplicaciones, para ello consta de ocho sondas de temperatura y cinco salidas para control de válvulas de vías. (Ver datos técnicos en anexo “Centralita de Regulación”).

## 11.1 Esquema & Conexionado.

En la **ilustración 24** se puede ver un esquema del sistema de control en el circuito solar.



**Ilustración 24.** Esquema de Sistema de Control en el circuito solar.

En la **ilustración 25** se puede observar un esquema de conexión del TDS 300.

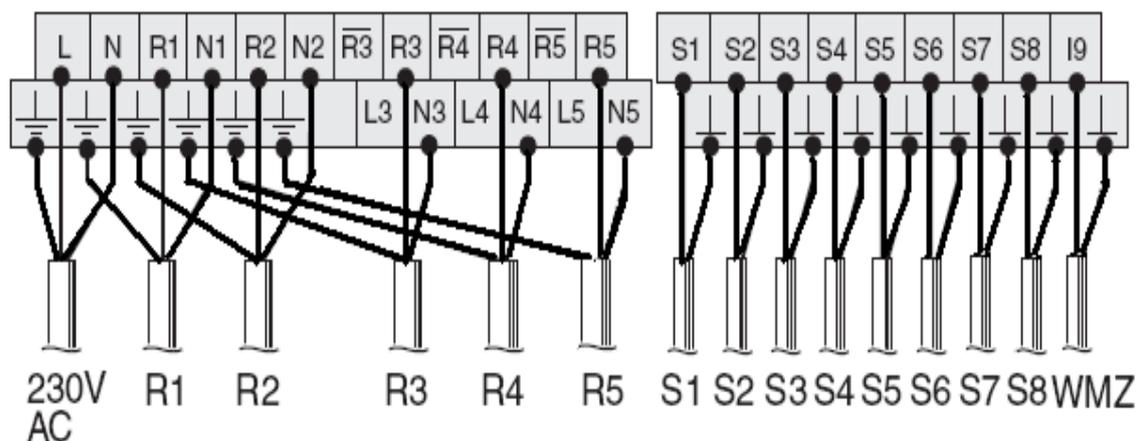


Ilustración 25. Esquema de conexión del TDS 300.

- R1, Bomba del circuito primario solar.
- R2, Bomba de B-2, ACS.
- R3, Bomba de B-3, Esterilización.
- R4, Bomba de B-4, Limpieza.
- R5, Válvulas de 3 vías.
- S1, Sonda de Temperatura salida de captadores.
- S2, Sonda de Temperatura acumulador solar ACS, abajo.
- S3, Sonda de Temperatura acumulador solar Esterilización, abajo.
- S4, Sonda de Temperatura acumulador solar Limpieza, abajo.
- S5, Sonda de Temperatura acumulador de ACS, arriba.
- S6, Sonda de Temperatura acumulador de Esterilización, arriba.
- S7, Sonda de Temperatura contador calorimétrico WMZ ida.
- S8, Sonda de Temperatura contador calorimétrico WMZ retorno.
- WMZ, Contador calorimétrico.

## 12 ANÁLISIS ECONÓMICO.

### 12.1 AYUDAS Y SUBVENCIONES.

**Orden de 16/02/2009, de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente por la que se modifica la Orden de 12/05/2008, de la consejería de Industria y Sociedad de la información, por la que se establecen las bases reguladores de las ayudas para la implantación de energías renovables de uso propio en Castilla – La Mancha.**

Las ayudas consistirán en subvenciones directas del 30% de la inversión subvencionable, aceptada y aprobada por la Dirección General competente en materia de energía, con un tope de 40.000 € para instalaciones solares térmicas y de 20.000 € para instalaciones de aprovechamiento de la energía del subsuelo.

## 12.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA SOLAR.

### 12.2.1 DATOS DE PARTIDA.

La **tabla 39** indica los datos de partida para realizar la evaluación económica.

IPC	Año	Inversión (€)	Precio energía (€/kWh)	Energía ahorrada (kWh)	Ingresos ahorro de energía (€)	Costes mantenimiento (€)
-1,00%	0	- 50.869,02500	0,11000	0,00	0,00	0,00
-0,70%	1	0,00	0,11077	64.388,78	7.132,35	0,00
-0,40%	2	0,00	0,11088	64.388,78	7.139,54	0,00
-0,10%	3	0,00	0,11033	64.388,78	7.104,04	0,00
0,20%	4	0,00	0,11088	64.388,78	7.139,60	0,00
0,50%	5	0,00	0,11278	64.388,78	7.261,62	711,83
0,80%	6	0,00	0,11539	64.388,78	7.429,61	728,30
1,10%	7	0,00	0,11875	64.388,78	7.646,47	749,56
1,40%	8	0,00	0,12294	64.388,78	7.916,01	775,98
1,70%	9	0,00	0,12802	64.388,78	8.243,12	808,05
2,00%	10	0,00	0,13409	64.388,78	8.633,85	846,35
2,30%	11	0,00	0,14126	64.388,78	9.095,67	891,62
2,60%	12	0,00	0,14968	64.388,78	9.637,65	944,75
2,90%	13	0,00	0,15951	64.388,78	10.270,76	1.006,81
3,00%	14	0,00	0,16638	64.388,78	10.713,32	1.050,19
3,00%	15	0,00	0,17138	64.388,78	11.034,72	1.081,70
3,00%	16	0,00	0,17652	64.388,78	11.365,76	1.114,15
3,00%	17	0,00	0,18181	64.388,78	11.706,73	1.147,57
3,00%	18	0,00	0,18727	64.388,78	12.057,94	1.182,00
3,00%	19	0,00	0,19289	64.388,78	12.419,67	1.217,46

**Tabla 39.** Datos de partida para la evaluación económica.

### 12.2.2 EVALUACIÓN DE INVERSIÓN DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICA.

Para analizar la rentabilidad de la inversión y poder comparar con la instalación de geotermia se determinarán las siguientes técnicas de valoración,

- Pay Back.
- VAN (Valor Actual Neto).
- TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).
- IR (Índice de Rentabilidad).



### 12.2.2.1 PAY BACK.

El Pay Back o período de recuperación, se define como el período de tiempo que necesita el proyecto para recuperar la inversión inicial.

En la **tabla 40** se muestran los valores referentes al caso de la instalación solar térmica.

Año	Inversión Inicial (€)	CF <sup>6</sup> (€)	CFA <sup>7</sup> (€)
0	- 54.243,77	0,00	0,00
1	0,00	7.132,35	7.132,35
2	0,00	7.139,54	14.271,89
3	0,00	7.104,04	21.375,92
4	0,00	7.139,60	28.515,52
5	0,00	6.705,48	35.221,00
6	0,00	6.860,61	42.081,61
7	0,00	7.060,86	49.142,47
8	0,00	7.309,76	56.452,24
9	0,00	7.611,81	64.064,05
10	0,00	7.972,62	72.036,67
11	0,00	8.399,08	80.435,75
12	0,00	8.899,55	89.335,30
13	0,00	9.484,17	98.819,47
14	0,00	9.892,83	108.712,30
15	0,00	10.189,62	118.901,92
16	0,00	10.495,31	129.397,23
17	0,00	10.810,17	140.207,40
18	0,00	11.134,47	151.341,87
19	0,00	11.468,51	162.810,37
20	0,00	11.812,56	174.622,93

**Tabla 40.** Tabla para calcular el Pay – Back.

El Pay - Back es de 7 años y 8 meses.

### 12.2.2.2 VAN.

El VAN de una inversión es igual al valor actualizado de todos los flujos de dinero esperados.

El VAN se determina mediante,

$$VAN = -A + \sum_{t=1}^n \frac{Qt}{(1 + K)^t}$$

Donde:

<sup>6</sup> CF: Cash Flow.

<sup>7</sup> CFA: Cash Flow Accumulated.

A: Inversión inicial, (€).  
n: Duración temporal del proyecto, (años).  
 $Q_t$ : Flujo neto de cada período, (€).  
K: Tipo de descuento o coste de capital de la empresa, (%).

El VAN obtenido para una tasa de descuento del 4% es de 59.573,13 €. Se obtiene un VAN positivo por lo tanto indica que ese es el exceso que se crea por encima de la tasa de descuento empleada.

### 12.2.2.3 TIR.

La TIR de una inversión es el tipo de descuento que anula el VAN de la misma, es decir, que lo hace igual a 0.

$$0 = -A + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+K)^t}$$

Los términos son los mismos que para la anterior ecuación, se obtiene una TIR del 13%.

### 12.2.2.4 IR.

El IR se emplea para saber qué proyecto aporta mayor valor a la empresa.

Se emplea la siguiente fórmula,

$$IR = \frac{VA}{A} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+K)^t}}{A}$$

Los datos requeridos para obtener el IR ya se encuentran citados anteriormente por tanto el IR que se obtiene es 3,51.

## 12.3 ANÁLISIS ECONÓMICO INSTALACIÓN GEOTÉRMICA.

Para analizar la rentabilidad de la inversión se determinaran las siguientes técnicas de valoración,

- Pay Back.
- VAN (Valor Actual Neto).
- TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).
- IR (Índice de Rentabilidad).

### 12.3.1 PAY BACK.

El Pay Back o período de recuperación, se define como el período de tiempo que necesita el proyecto para recuperar la inversión inicial.

En la **tabla 41** se muestran los valores referentes al caso de la instalación geotérmica.

IPC	Año	Inversión (€)	Precio energía (€/kWh)	Energía ahorrada (kWh)	Ingresos ahorro de energía (€)
-1,00%	0	- 64.861,40	0,11000	40691,10	4.476,02
-0,70%	1	0,00	0,10923	40691,10	4.444,69
-0,40%	2	0,00	0,10912	40691,10	4.440,28
-0,10%	3	0,00	0,10967	40691,10	4.462,61
0,20%	4	0,00	0,11088	40691,10	4.511,94
0,50%	5	0,00	0,11278	40691,10	4.589,05
0,80%	6	0,00	0,11539	40691,10	4.695,21
1,10%	7	0,00	0,11875	40691,10	4.832,26
1,40%	8	0,00	0,12294	40691,10	5.002,60
1,70%	9	0,00	0,12802	40691,10	5.209,32
2,00%	10	0,00	0,13409	40691,10	5.456,24
2,30%	11	0,00	0,14126	40691,10	5.748,10
2,60%	12	0,00	0,14968	40691,10	6.090,60
2,90%	13	0,00	0,15951	40691,10	6.490,71
3,00%	14	0,00	0,16638	40691,10	6.770,38
3,00%	15	0,00	0,17138	40691,10	6.973,49
3,00%	16	0,00	0,17652	40691,10	7.182,70
3,00%	17	0,00	0,18181	40691,10	7.398,18
3,00%	18	0,00	0,18727	40691,10	7.620,13
3,00%	19	0,00	0,19289	40691,10	7.848,73

**Tabla 41.** Datos de partida para la evaluación económica.

En este caso el Pay Back es de 12 años y 1 mes.

### 12.3.2 VAN.

En este caso se obtiene un VAN de 16.001,11 € para una tasa de descuento del 4%.

### 12.3.3 TIR.

Para el caso del sistema de geotermia se obtiene una TIR del 6%.

### 12.3.4 IR.

Los datos requeridos para obtener el IR ya se encuentran citados anteriormente por tanto el IR que se obtiene es 1,68.



## 12.4 RESUMEN DE DATOS DE INVERSIÓN PARA SISTEMA TÉRMICO Y GEOTÉRMICO.

A continuación se muestra en la tabla un resumen de las diferentes técnicas de valoración aplicadas a ambas inversiones.

	SISTEMA TÉRMICO	SISTEMA GEOTÉRMICO
<b>Pay - Back</b>	7 años y 8 meses	12 años y 1 mes
<b>VAN (€)</b>	59.573,13	16.001,11
<b>TIR (%)</b>	13	6
<b>IR</b>	3,51	1,68

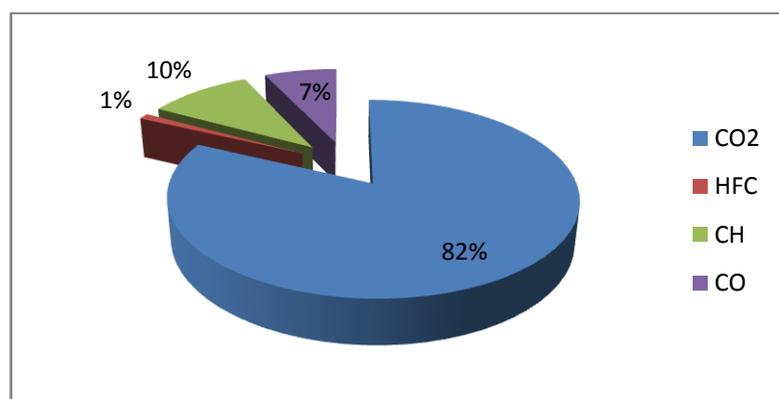
**Tabla 42.** Resumen de datos de inversión de los distintos sistemas energéticos.

## 13 BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES.

Los procesos de generación de energía constituyen una de las actividades de mayor impacto ambiental, ya que están asociados a las emisiones atmosféricas que provocan el calentamiento global, la contaminación de medios acuáticos, terrestres y la generación de residuos.

Ambos sistemas analizados en el presente estudio, demuestran un beneficio medioambiental, ya que a través de su aporte energético se evita generar electricidad con alguna otra fuente convencional que emite gases contaminantes para el ambiente.

Para hacer una estimación de los gases contaminantes evitados por cada sistema, nos basaremos en el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), debido a que es el principal gas causante del efecto invernadero, en la siguiente gráfica se muestra la proporción de gases que provocan el efecto invernadero.



**Gráfico 23.** Proporción de gases que provocan el efecto invernadero.

Realizaremos la comparación con el gas natural, ya que este es el combustible convencional que se utiliza en la Bodega, considerando que el gas natural emite **0,19235 tn CO<sub>2</sub> por cada kWh** producido.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Del libro de "Energía 2008" del Foro de la Industria Nuclear Española.

Representamos el ahorro de energía en cada sistema, como las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>, sabiendo que la instalación solar térmica evita el consumo energético de 64.389 kWh/año, esta instalación evitará la emisión de 12,385 tn de CO<sub>2</sub> por cada año de funcionamiento.

En el sistema geotérmico, solo se contabiliza como energía ahorrada, el aporte energético restado con el consumo de la bomba de calor. La energía ahorrada es de 40.691,10 kWh/año que equivalen a 7.826,93 tn de CO<sub>2</sub> por cada año

En la **tabla 43**, se muestra los dos sistemas energéticos estudiados y contabilizado el ahorro de energía a su equivalente de emisiones CO<sub>2</sub>

Tipo de Sistema Energético.	Energía Ahorrada (kWh / año)	Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas (tn / año)
<b>Sistema Solar Térmico</b>	64.389,78	12.385,18
<b>Sistema Geotérmico</b>	40.691,10	7.826,93

**Tabla 43** Emisiones evitadas por cada tipo de sistema.

## 14 CONCLUSIONES.

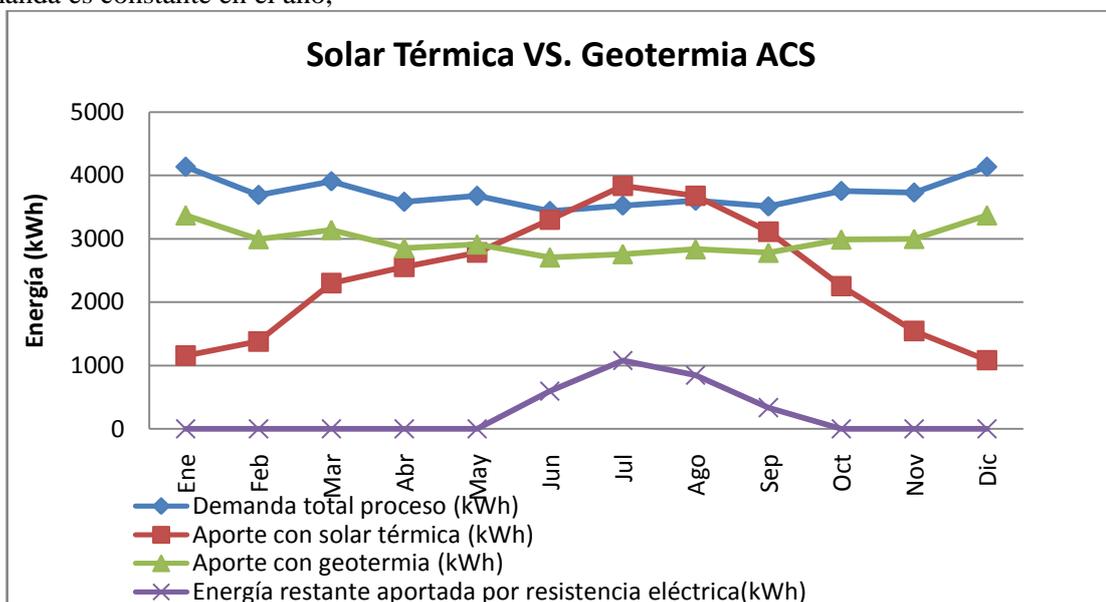
A la vista de los resultados económicos obtenidos se comprueba que el sistema solar térmico es más rentable que el sistema de geotermia.

A pesar de los resultados económicos, para llegar a una conclusión sobre cuál es el mejor sistema para satisfacer las demandas energéticas de la Bodega, se compararán los sistemas energéticos estudiados, solar térmico y geotérmico, por cada aplicación (ACS, Esterilización, Limpieza), y la demanda en conjunto de la Bodega.

La valoración positiva o negativa, dependerá del grado de compromiso entre el aspecto económico y la estabilidad de sistema de abastecimiento energético.

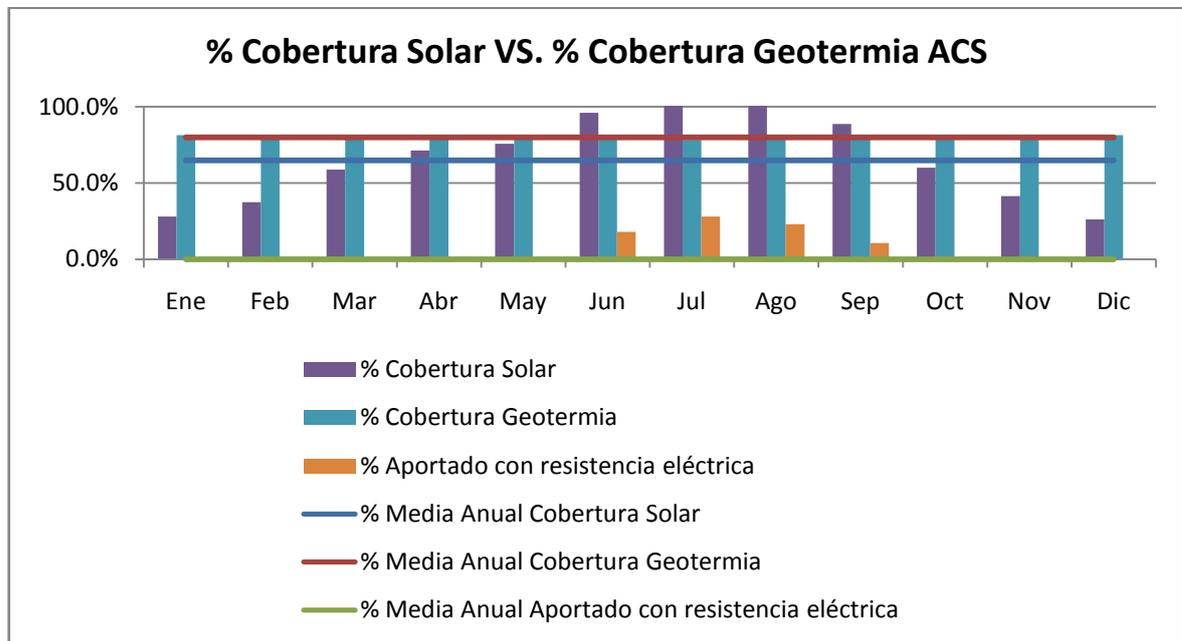
### ACS.

En el **gráfico 24**, se muestra la energía aportada por cada sistema frente a la demanda de ACS, el abastecimiento por parte del sistema geotérmico, es más constante a lo largo del año, aspecto muy interesante al tomar en cuenta que la demanda es constante en el año,



**Gráfico 24.** Aporte con sistemas solar térmico & Aporte geotermia, ACS.

El sistema solar térmico, debido a que depende de la radiación solar su curva tiene ese comportamiento, y en los meses de verano el aporte solar es mayor que el aporte geotérmico, como se puede ver en el **gráfico 25**.



**Gráfico 25.** Porcentaje Cobertura de ACS

Debido a que el sistema geotérmico, en todo el año aporta calor a 50°C, solo es necesaria la energía auxiliar para aumentar a 10°C, para llevar el agua a la temperatura de uso de aplicación, que es 60 °C. Se necesita menos energía auxiliar que en el sistema solar térmico, por la tanto se depende menos del combustible convencional, en este caso gas natural, y de su variabilidad en el precio a través de los años.

Tomando en cuenta únicamente ACS; es más recomendable el sistema geotérmico.

### ESTERILIZACIÓN.

Para el proceso de esterilización, tomando en cuenta la energía demanda solo para llevar el agua a 75 °C, y no 90 °C que es la temperatura de uso del proceso, podemos ver que el aporte solar a lo largo del año, tiende a ser mayor que el aporte geotérmico, y así mismo su cobertura Esto se representa en los **gráficos 26 y 27**.

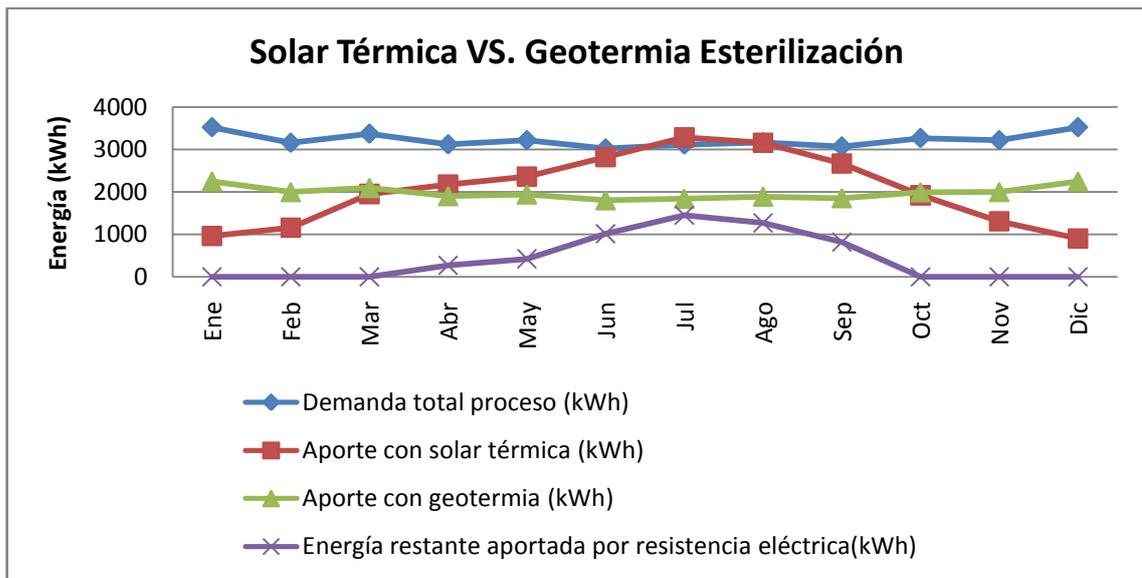


Gráfico 26. Aporte solar & Aporte geotérmico, Esterilización.

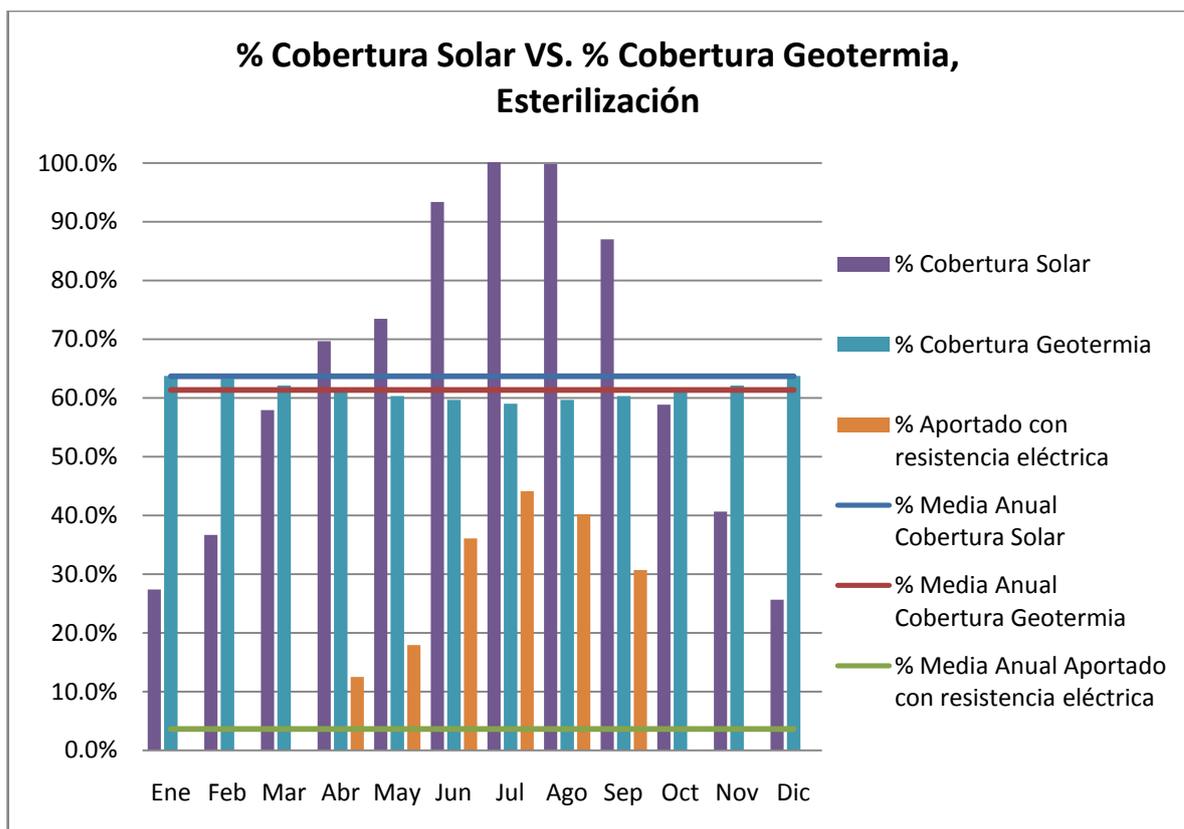


Gráfico 27. Porcentaje de cobertura de cada sistema, Esterilización.

Para este proceso de la bodega, se necesita más energía auxiliar en el transcurso del año en el sistema geotérmico, en el gráfico 27 se representa la energía restante para igualar el aporte solar térmico, a través de resistencia eléctricas en el sistema geotérmico.

Es más recomendable el aporte solar térmico, a pesar de que en algunos meses no cubre un porcentaje mayor que el sistema geotérmico.



## LIMPIEZA.

En el proceso de la limpieza, se presenta un caso similar al de Esterilización, podemos ver en los **gráficos 28 y 29**, que el aporte solar y el porcentaje de cobertura es mayor que el aporte geotérmico. Esto se debe a que la temperatura inicial del proceso de limpieza, debido a la recuperación de calor del proceso de esterilización por medio de intercambiador de placas, es cercana a 50°C, y el aporte geotérmico es poco. En cambio el sistema solar térmico, puede aportar energía hasta la temperatura de uso del proceso, que es 65°C, por lo tanto se considera más eficiente el sistema solar térmico

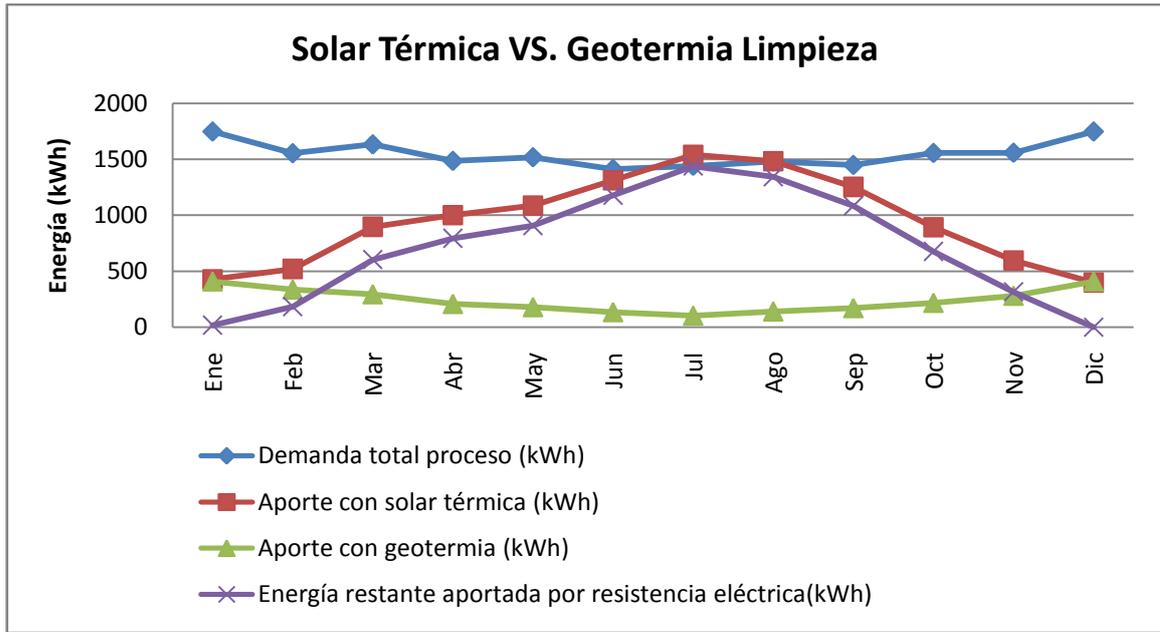


Gráfico 28. Aporte de solar térmica & Aporte geotermia, Limpieza.

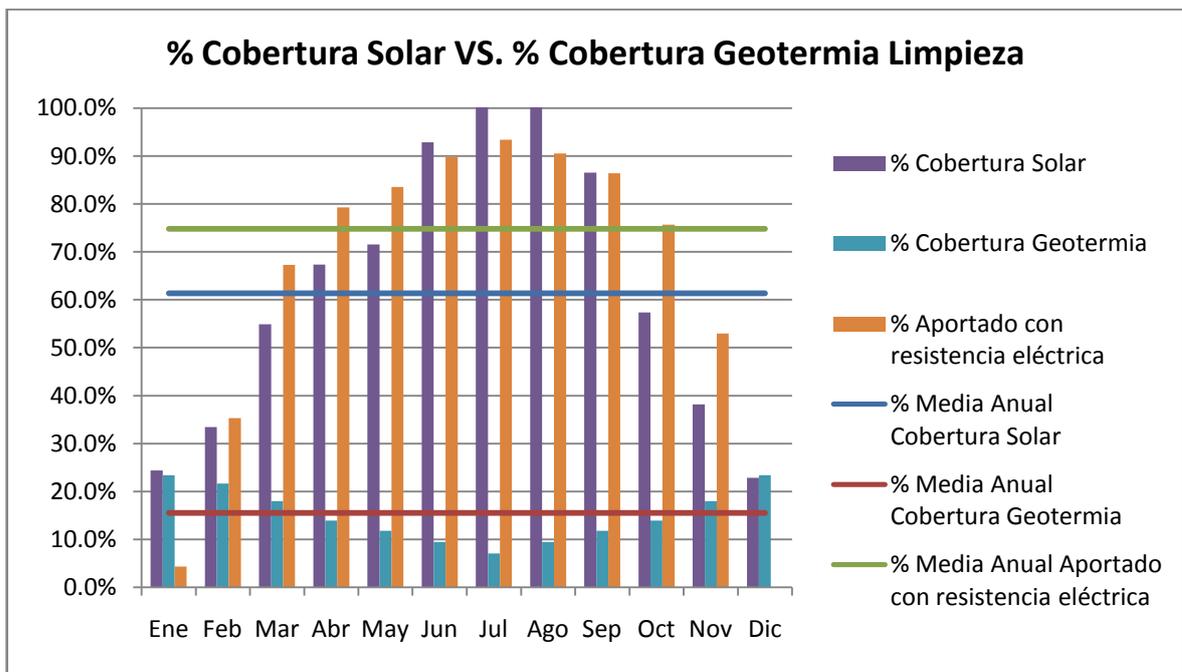


Gráfico 29. Porcentaje de cobertura, Limpieza.



## SISTEMA TOTAL.

Analizando el total de demanda de la Bodega, en el **gráfico 30** muestra que el aporte solar térmico es mayor que el aporte geotérmico, en una cantidad mayor de meses durante el año, por esto la media anual del porcentaje de cobertura del sistema solar térmico, es mayor que el de geotérmica, como se representa en el **gráfico 31**. Por esto, al considerar todas la demandas de la Bodega es más recomendable el sistema solar térmico, ya que existe mayor demanda de temperaturas mayor de 50 °C, que es la que puede aportar el sistema geotérmico, el resto de la energía necesaria hasta la temperatura de uso de las aplicaciones se aporta mediante una resistencia eléctrica, siendo una opción menos deseable económicamente.

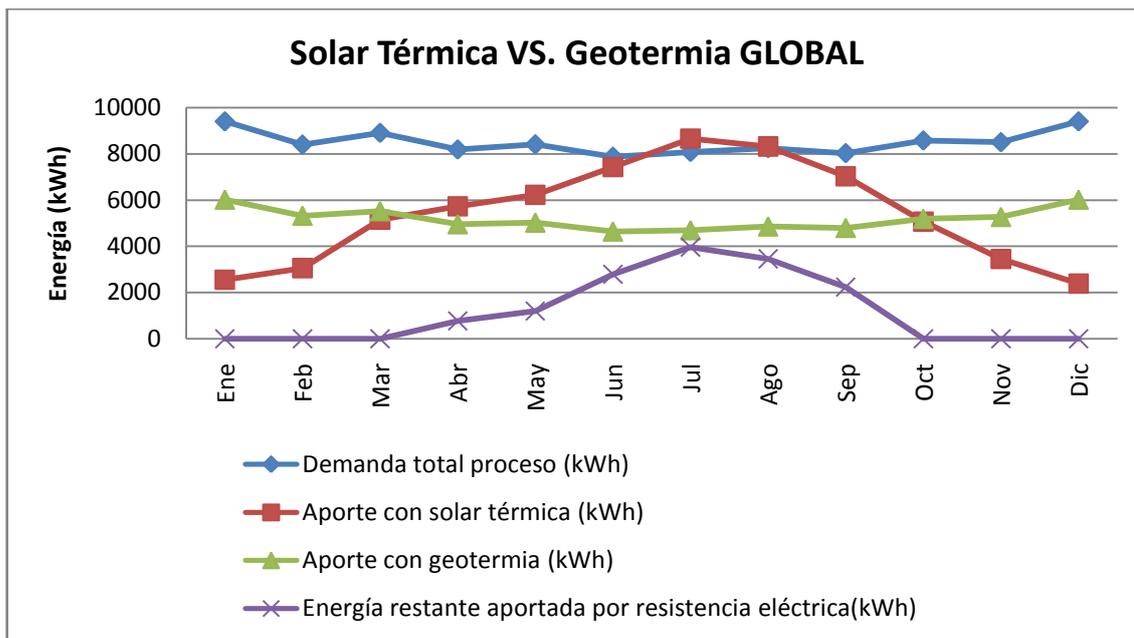


Gráfico 30. Aporte solar térmico & Aporte geotermia, Sistema Total.

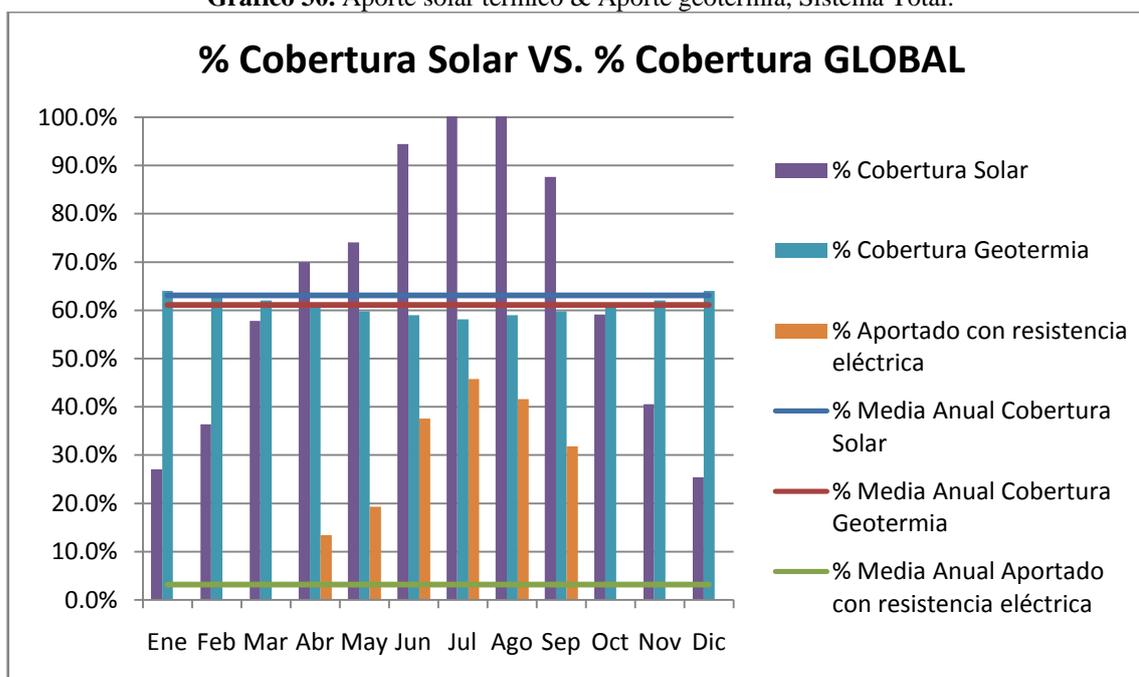


Gráfico 31. Porcentaje de cobertura, Sistema Total.

Hay que destacar también, que la aplicación geotérmica con Bomba de Calor podría tener una segunda aplicación adicional, mediante la climatización del edificio de oficinas de la bodega.