

**Universidad  
de La Laguna**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA: SECCIÓN DE  
INGENIERÍA AGRARIA**

**GRADUADO EN INGENIERÍA AGRICOLA Y DEL MEDIO RURAL**

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA CON ENERGÍA  
RENOVABLE PARA LA FERMENTACIÓN DEL YOGUR**

**Daniel Felipe Lorenzo**

**La Laguna, Septiembre de 2014**



IMPRESO P04

**AUTORIZACIÓN DEL PROYECTO/TRABAJO FIN DE  
GRADO POR SUS DIRECTORES**

**CURSO 2013/2014**

DIRECTOR – COORDINADOR: Valerio. L. Gutiérrez Afonso

DIRECTOR: – María Rosa Medina González

DIRECTOR: –

como Director/es/ de la alumno: **Daniel Felipe Lorenzo**

en el PTFC titulado: **Estudio de eficiencia energética con energía renovable para la fermentación del yogur**

nº de Ref.....

doy/damos mi/nuestra autorización para la presentación y defensa de dicho PTFC, a la vez que confirmo/confirmamos que el alumno ha cumplido con los objetivos generales y particulares que lleva consigo la elaboración del mismo y las normas del Reglamento de Régimen Interno para la realización de PTFC de la E.P.S.I. – Sección de Ingeniería Agraria.

La Laguna, a 1 de septiembre de 2014

Fdo: Valerio. L. Gutiérrez Afonso

María Rosa Medina González



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi directora Doña María Rosa Medina González, por su predisposición e implicación desde un principio en este trabajo, sintiéndome asesorado y respaldado a lo largo de la elaboración del mismo, y aprendiendo de ella mucho más que como se lleva a cabo la elaboración del yogur.

A mi director Don Valerio L. Gutiérrez Afonso por su colaboración y asesoramiento.

A Don Moisés Arvelo Rodríguez por enseñarme en persona el proceso de fabricación del yogur, además de resolverme las dudas en cualquier momento que me puse en contacto con él, destacando siempre su buen trato.

A toda mi familia, especialmente a aquellos que se han preocupado y me han apoyado hasta el último momento, destacando por encima de todos a mis padres.

A mi tío Paco por asesorarme y ayudarme con todo lo que tiene que ver con los sistemas productores de calor.

A todos mis compañeros de clase que pusieron su granito de arena ayudándome en cualquier cosa, destacando a: Alba González González , Nelson Fernández Pérez, Juan José Pérez Fernández, Ana Belén González Reyes y a Roció Gallardo Barroso.

A Natalia Cabrera Francisco por apoyarme desde el primer día que inicie el trabajo hasta el día de su lectura.



## **“Estudio de la eficiencia energética con energía renovable para la fermentación del yogur”**

**Autores:** Felipe Lorenzo, D., Gutiérrez Afonso, V.L. y Medina González, M.R.

### **Resumen**

En el estudio se especificaron los diferentes pasos y fases a ejecutar en la fabricación del yogur firme. Se procedió a realizar una descripción de las distintas técnicas de producción de calor a través de las cuales se mantiene constante la temperatura en la cámara de incubación donde se lleva a cabo la fermentación láctica, fase fundamental en la elaboración del producto. Se comparó la eficiencia energética del procedimiento tradicional basado en la generación de calor por medio de resistencias eléctricas, frente a energías renovables, como son las bombas de calor y la energía solar térmica. Los resultados manifiestan que el sistema más rentable energéticamente y económicamente es el método con bombas de calor.

**Palabras claves:** yogur, fermentación láctica, cámara de incubación, energía renovable, bomba de calor, energía solar térmica, estudio de eficiencia energética.

## **“Study of energy efficiency with renewable energy by the fermentation of yogurt”**

**Authors:** Felipe Lorenzo, D., Medina González, M.R. y Gutiérrez Afonso, V.L.

### **Abstract**

The study specifies various steps and stages in the production of yogurt. It proceeded to make a description of different techniques of heat production through which temperature is kept constant in incubation chamber where it performed lactic fermentation, key stage in development of the product. Energy efficiency is a traditional method based on the generation of heat by means of electric resistances. On the other hand, renewable energy was analyzed such as heat pumps and solar thermal. This renewable method and traditional method were compared. The results showed that heat pumps are more efficient and economic than other methods analyzed.

**Keywords:** yogurt, lactic fermentation, incubation chamber, renewable energy, heat pumps, solar thermal, energy efficiency.



# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	17
3. PROCESO PRODUCTIVO DE FABRICACIÓN DE YOGUR .....	19
3.1. La leche como materia prima .Composición y propiedades .....	21
3.1.1. Lípidos y consecuencias de la homogeneización en la fabricación del yogur .....	23
3.1.2. Proteínas y efecto de los tratamientos térmicos en la elaboración de las leches fermentadas .....	25
3.1.3. Lactosa y su papel en la transformación del yogur.....	31
4. INCUBACIÓN-FERMENTACIÓN .....	35
4.1. Definición .....	35
4.2. Bacterias ácido-lácticas (BAL).....	35
4.2.1. Características y parámetros de actuación .....	36
4.2.2. Asociación de las especies empleadas en el yogur y efectos de los antibióticos.....	38
4.3. Influencias de las bacterias lácticas en la modificación de la lactosa. ....	41
5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL YOGUR.....	45
6. DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO PARA LA FABRICACIÓN DE YOGUR .....	51
7. ANÁLISIS DE PELIGRO Y PUNTOS DE CONTROL CRÍTICOS .....	55
7.1. Introducción .....	55
7.2. Fundamentos del sistema de APPCC.....	56
7.2.1. Principios generales de los sistemas APPCC .....	56
7.2.2. Fases de implantación del sistema APPCC.....	57
7.3. Aplicación del sistema APPC al proceso .....	63
7.3.1. Descripción del producto.....	63
7.3.2. Análisis de peligro .....	64
7.3.4. Cuadros de gestión de APPCC.....	67
7.4. Plan de limpieza y desinfección .....	73
7.5. Plan de higiene personal .....	75
7.5.1. Formación del personal.....	75
7.5.2. Buenas prácticas de manipulación e higiene.....	75
7.5.3. Control de enfermedades.....	75
7.6. Plan de desratización y desinsectación .....	77
7.7. Control del agua potable.....	78

7.8. Registros .....	79
7.9. Verificación .....	80
<b>8. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA DE INCUBACIÓN Y DEL MÉTODO TRADICIONAL DE PRODUCCIÓN DE CALOR .....</b>	<b>83</b>
8.1. Introducción .....	83
8.2. Propiedades de la cámara de incubación.....	83
8.3. Método de producción de calor del sistema tradicional.....	83
8.4. Parámetros a considerar .....	84
8.4.1. Estudio del volumen de yogur .....	84
8.4.2. Estudio del espesor de las paredes .....	85
8.5. Estudio de las necesidades de calor .....	86
8.5.1. Cálculo de las pérdidas por conducción de paredes, techo y suelo ( $Q_C$ )....	86
8.5.2. Cálculo del calor absorbido por los productos entrantes ( $Q_A$ ).....	87
8.5.3. Cálculo de las pérdidas por renovación del aire ( $Q_R$ ).....	90
8.6. Selección del equipo del sistema generador de calor tradicional .....	92
8.6.1. Ventiladores.....	93
8.6.2. Resistencias .....	94
8.6.3. Conductos de aire .....	95
<b>9. DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)99</b>	<b>99</b>
9.1. Energía solar .....	99
9.2. Energía incidente anual y horas de sol anuales en España.....	101
9.3. Situación en Canarias .....	102
9.4. Energía solar térmica .....	103
9.4.1. Tipos de instalaciones de energía solar térmica .....	103
9.4.2. Producción de agua caliente sanitaria (ACS) .....	104
9.4.3. Funcionamiento de una instalación solar .....	104
9.4.4. Componentes característicos de una instalación.....	106
9.4.5. Proyecto y cálculo de la instalación.....	122
<b>10. DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN AEROTÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE YOGUR .....</b>	<b>153</b>
10.1. Componentes de una instalación de aerotermia .....	154
10.2. Principio de funcionamiento.....	156
10.3. Tipos de bombas de calor .....	158
10.4. Rendimiento de una bomba de calor .....	159

10.5. Requisitos para que una bomba de calor sea considerada energía renovable .....	159
10.6. Sistema aerotérmico seleccionado.....	162
10.6.1. Bomba de calor.....	162
10.6.3. Radiador .....	168
10.6.4. Conducciones hidráulicas .....	169
11. ESTUDIO COMPARATIVO ECONÓMICO Y DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA TECNOLOGÍA EMPLEADA EN LA INCUBACIÓN DEL YOGUR .....	175
11.1. Presupuestos de las instalaciones .....	175
11.1.1. Presupuesto del sistema tradicional.....	175
11.1.2. Presupuesto del sistema solar térmico.....	176
11.1.3. Presupuesto del sistema aerotérmico.....	177
11.2. Consumo eléctrico de las instalaciones.....	177
11.2.1. Consumo eléctrico del sistema tradicional.....	178
11.2.2. Consumo eléctrico de la instalación de energía solar térmica.....	179
11.2.3. Consumo eléctrico del sistema aerotérmico .....	181
11.3. Comparación energética entre los sistemas planteados .....	183
11.3.1. Comparativa energética entre el sistema de resistencias eléctricas y la energía solar térmica .....	183
11.3.2. Comparación energética entre el sistema tradicional y el aerotérmico ....	187
12. CONCLUSIONES .....	191
13. BIBLIOGRAFÍA .....	193
14. PLANOS.....	203
14.1. Diseño del sistema tradicional de generación de calor.....	205
14.2. Diseño en planta de la instalación solar térmica. ....	206
14.3. Diseño hidráulico del sistema solar térmico.....	207
14.4. Diseño hidráulico del sistema aerotérmico.....	208

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfico 1.</b> Distribución de la producción mundial de leche en 2011 .....	1
<b>Gráfico 2.</b> Producción continental de leche de vaca.....	2
<b>Gráfico 3.</b> Variación del censo de ganado bovino en España. ....	4
<b>Gráfico 4.</b> Evolución del rendimiento por vaca en España. ....	5
<b>Gráfico 5.</b> Porcentaje de producción de leche según la especie, en 2011. ....	6
<b>Gráfico 6.</b> Producción de leche de vaca en las Comunidades Autónomas. ....	7
<b>Gráfico 7.</b> Distribución del consumo de derivados lácteos en España en 2011. ....	9
<b>Gráfico 8.</b> Evolución del consumo de yogurt por persona en España.....	10
<b>Gráfico 9.</b> Distribución del valor de la producción de leche en Canarias. ....	11
<b>Gráfico 10.</b> Distribución del valor de la producción ganadera en Canarias .....	12
<b>Gráfico 11.</b> Distribución del valor de las producciones agrarias en Canarias. ....	13
<b>Gráfico 12.</b> Utilización de la leche de vaca en Canarias.....	14
<b>Gráfico 13.</b> Comportamiento de cepas puras y mixtas de cultivos de yogurt.....	39
<b>Gráfico 14.</b> Factores que determinan el crecimiento simbiótico de <i>Streptococcus thermophilus</i> y <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> .....	40
<b>Gráfica 15.</b> Irradiación diaria media mensual en el municipio del Puerto de la Cruz. ....	102
<b>Gráfico 16.</b> Curva característica altura manométrica – caudal UPS 40-185 F.....	138
<b>Gráfico 17.</b> Curva característica de potencia-cauda UPS 40-185 F. ....	138
<b>Gráfico 18.</b> Curva característica altura manométrica-caudal UPS 50-180 F B. ....	148
<b>Gráfico 19.</b> Curva característica de potencia-caudal UPS 50-180 F B.....	148
<b>Gráfica 20.</b> Serie histórica de 1995-2010 de temperatura diurna media mensual.....	164
<b>Gráfica 21.</b> Temperatura máxima de condensación de la bomba de calor en función de la temperatura del aire exterior. ....	165
<b>Gráfico 22.</b> Curva característica altura manométrica-caudal UPS 32-120 F B.....	172
<b>Gráfico 23.</b> Curva característica de potencia-caudal UPS 32-120 F B. ....	172
<b>Gráfico 24.</b> Consumo eléctrico del sistema tradicional a lo largo del año.....	178
<b>Gráfico 25.</b> Curvas energéticas del sistema solar térmico .....	181
<b>Gráfico 26.</b> Consumo de kWh del sistema aerotérmico.....	182
<b>Gráfica 27.</b> Comparativa energética de los distintos tipos de calefacción. ....	183

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Producción mundial de leche .....	1
<b>Tabla 2.</b> Distribución de la producción láctea de ganado vacuno en el mundo .....	2
<b>Tabla 3.</b> Producción de leche de vaca en los principales países de la UE.....	3
<b>Tabla 4.</b> Censo de ganado Bovino en España, en 2011.....	4
<b>Tabla 5.</b> Serie histórica de vacas de ordeño, rendimiento y producción. ....	5
<b>Tabla 6.</b> Consumo en hogares de leche y productos lácteos para el año 2011 .....	8
<b>Tabla 7.</b> Consumo en hogares de los principales derivados lácteos en 2011. ....	8
<b>Tabla 8.</b> Valor de la producción de leche en Canarias.....	10
<b>Tabla 9.</b> Valor de la producción ganadera en Canarias en 2011 .....	11
<b>Tabla 10.</b> Destino de la leche de vaca en Canarias en año 2011 .....	13
<b>Tabla 11.</b> Composición media de la leche de vaca por cada 100 gramos.....	21
<b>Tabla 12.</b> Ejemplo formulario.....	58
<b>Tabla 13:</b> Ficha control de enfermedades.....	77
<b>Tabla 14.</b> Ficha control desratización y desinsectación. ....	78
<b>Tabla 15.</b> Determinación del tiempo total de incubación de un día.....	89
<b>Tabla 16.</b> Valores de entalpías y volumen específico del aire. ....	91
<b>Tabla 17.</b> Características técnicas del ventilador centrífugo seleccionado.....	93
<b>Tabla 18.</b> Propiedades de las resistencias eléctricas.....	94
<b>Tabla 19.</b> Datos geográficos y climatológicos. ....	122
<b>Tabla 20.</b> Datos de consumo.....	122
<b>Tabla 21.</b> Datos de la contribución solar mínima .....	123
<b>Tabla 22.</b> Cálculo de la demanda mensual por consumo de ACS.....	124
<b>Tabla 23.</b> Características técnicas del captador.....	124
<b>Tabla 24.</b> Energía solar mensual incidente.....	126
<b>Tabla 25.</b> Datos sobre los captadores. ....	128
<b>Tabla 26.</b> Cálculo del parámetro $D_1$ . ....	128
<b>Tabla 27.</b> Cálculo del parámetro $D_2$ . ....	130
<b>Tabla 28.</b> Cálculo de la fracción energética mensual $f$ .....	130
<b>Tabla 29.</b> Cálculo de la fracción solar anual $F$ .....	131
<b>Tabla 30.</b> Pérdidas límite.....	132
<b>Tabla 31.</b> Datos de pérdida por orientación e inclinación. ....	133
<b>Tabla 32.</b> Datos del sistema de acumulación de la instalación de energía solar térmica.....	133

<b>Tabla 33.</b> Dimensionamiento del circuito primario de la instalación de energía solar térmica.....	135
<b>Tabla 34.</b> Espesor mínimo de aislamiento de tuberías y accesorios.....	136
<b>Tabla 35.</b> Características técnicas de la bomba circuladora del circuito primario UPS 40-185 F.....	137
<b>Tabla 36.</b> Datos relativos al dimensionamiento del vaso de expansión del sistema solar térmico. ....	140
<b>Tabla 37.</b> Características técnicas del vaso de expansión del circuito primario Logafix MAG.....	140
<b>Tabla 38.</b> Características técnicas del interacumulador Polywarm.....	141
<b>Tabla 39.</b> Dimensiones del aerotermo. ....	143
<b>Tabla 40.</b> Características técnicas del radiador de la instalación solar térmica.....	143
<b>Tabla 41.</b> Características del circuito secundario de la instalación solar térmica. ....	145
<b>Tabla 42.</b> Dimensionamiento del circuito secundario del sistema solar térmica. ....	147
<b>Tabla 43.</b> Características técnicas de la bomba circuladora del circuito secundario UPS 50-180 F B.....	147
<b>Tabla 44.</b> Características técnicas del calentador eléctrico instantáneo del sistema solar térmico. ....	151
<b>Tabla 45.</b> Factor de ponderación (FP) para sistemas de Calefacción y/o ACS con bombas de calor en función de las fuentes energéticas, según la zona climática....	161
<b>Tabla 46.</b> Factores de corrección (FC) en función de las temperaturas de condensación, según la temperatura de ensayo del COP.....	161
<b>Tabla 47.</b> Características técnicas de la bomba de calor. ....	163
<b>Tabla 48.</b> Serie histórica de 1995-2010 de temperatura diurna media mensual. ....	165
<b>Tabla 49.</b> Características técnicas del acumulador del sistema aerotérmico.....	167
<b>Tabla 50.</b> Dimensiones del radiador junker.....	168
<b>Tabla 51.</b> Características técnicas del aerotermo.....	168
<b>Tabla 52.</b> Propiedades de los circuitos que conforman el sistema aerotérmico. ....	169
<b>Tabla 53.</b> Dimensionamiento de las conducciones de la instalación aerotérmica....	170
<b>Tabla 54.</b> Características técnicas de la bomba circuladora de la instalación de aerotermia UPS 32-120 F B.....	171
<b>Tabla 55.</b> Datos para el dimensionamiento del vaso de expansión del sistema aerotérmico.....	173
<b>Tabla 56.</b> Características técnicas del vaso de expansión del sistema aerotérmico. ....	174
<b>Tabla 57.</b> Presupuesto del sistema productor de calor tradicional.....	175
<b>Tabla 58.</b> Presupuesto de la instalación de energía solar térmica.....	176

<b>Tabla 59.</b> Presupuesto del sistema aerotermico.....	177
<b>Tabla 60.</b> Cálculo del gasto energético del método tradicional. ....	178
<b>Tabla 61.</b> Consumo eléctrico producido por la instalación solar térmica. ....	179
<b>Tabla 62.</b> kWh aportados por el calentador instantáneo en el sistema solar térmico al mes. ....	180
<b>Tabla 63.</b> Coste energético anual del sistema solar térmico.....	180
<b>Tabla 64.</b> Determinación del coste energético anual del sistema aerotérmico. ....	181
<b>Tabla 65.</b> Coste total anual que se produce en el sistema de calefacción tradicional en 25 años. ....	184
<b>Tabla 66.</b> Coste total anual que se produce en el sistema de energía solar térmica en 25 años.....	185
<b>Tabla 67.</b> Amortización del sistema solar térmico frente a la instalación tradicional en 25 años.....	186
<b>Tabla 68.</b> Coste total anual que se produce en el sistema de la bomba de calor en 25 años. ....	188
<b>Tabla 69.</b> Amortización del sistema aerotérmico frente a la instalación tradicional en 25 años.....	189

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Modelo esquemático de una micela de caseína.....	26
<b>Figura 2.</b> Fórmula estructural de la lactosa. ....	32
<b>Figura 3.</b> Fórmula plana de la lactosa.....	32
<b>Figura 4.</b> <i>Streptococcus thermophilus</i> . ....	36
<b>Figura 5.</b> <i>Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus</i> .....	37
<b>Figura 6.</b> Etapas de fabricación de yogur.....	45
<b>Figura 7.</b> APPCC en etapas de elaboración del yogur.....	66
<b>Figura 8.</b> Medidas preventivas a aplicar en las distintas fases de elaboración del yogur.....	71
<b>Figura 9.</b> Límites críticos para cada medida preventiva.....	72
<b>Figura 10.</b> Vigilancia de los límites críticos de cada PCC.....	72
<b>Figura 11.</b> Acciones correctivas y verificación de las mismas. ....	73
<b>Figura 12.</b> Ventilador centrífugo.....	93
<b>Figura 13.</b> Resistencia eléctrica de aletas.....	95
<b>Figura 14.</b> Conducto rectangular galvanizado .....	96
<b>Figura 15.</b> Tipos de radiación solar .....	100
<b>Figura 17.</b> Esquema básico de una instalación de energía solar térmica.....	105
<b>Figura 18.</b> Esquema de componentes de un panel solar.....	109
<b>Figura 19.</b> Instalación solar con sistema de intercambio solar y de consumo.....	114
<b>Figura 20.</b> Interacumulador con serpentín.....	115
<b>Figura 21.</b> Interacumulador con doble envolvente. ....	115
<b>Figura 22.</b> Colector solar Logasol SKS 4.0. ....	125
<b>Figura 23.</b> Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.....	132
<b>Figura 24.</b> Diseño de los captadores.....	135
<b>Figura 26.</b> Aerotermo. ....	143
<b>Figura 27.</b> Forma de distribuir el calor del aerotermo.....	144
<b>Figura 28.</b> Pérdida de carga del radiador. ....	146
<b>Figura 29.</b> Sistema de regulación Logomatic SC 20.....	150
<b>Figura 30.</b> Porcentajes de energía renovable extraída y energía eléctrica empleada por la bomba de calor. ....	154
<b>Figura 31.</b> Ciclo termodinámico de una bomba de calor.....	157
<b>Figura 32.</b> Bomba de calor Logatherm.....	163
<b>Figura 32.</b> Acumulador Logalux S 500 W.....	167

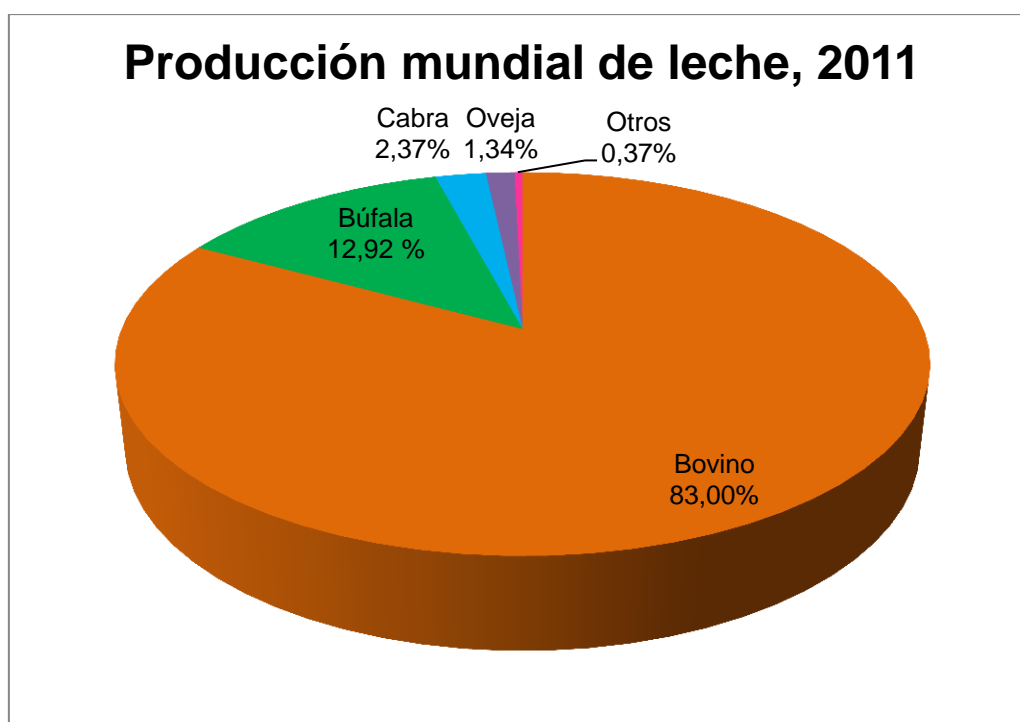


## 1. INTRODUCCIÓN

La producción mundial total de leche en el año 2011 fue de 738.991.340 toneladas, según datos de la FAO, mostrándose éstos en la tabla 1.

**Tabla 1.** Producción mundial de leche (FAO, 2011)

	Producción (Toneladas)	Porcentaje (%)
<b>Leche total</b>	738.991.340	100,00
<b>Leche de vaca</b>	612.773.765,02	82,92
<b>Leche de búfala</b>	95.674.354,60	12,95
<b>Leche de cabra</b>	17.695.426,90	2,39
<b>Leche de oveja</b>	9.930.800,30	1,34
<b>Otros</b>	2.916.993,00	0,39



**Gráfico 1.** Distribución de la producción mundial de leche en 2011 (FAO, 2011)

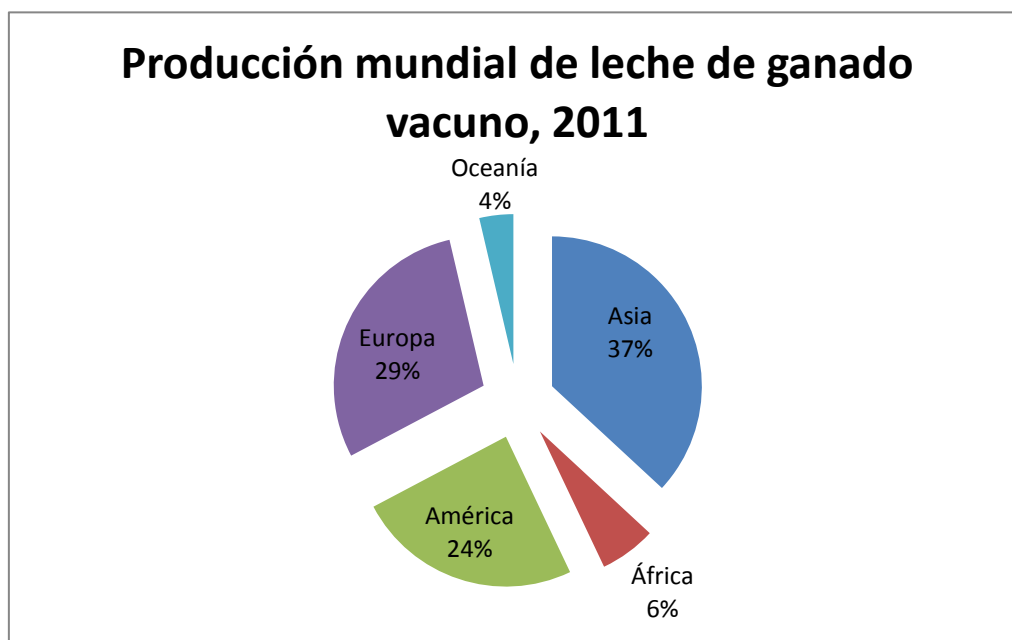
Se puede observar que del total de leche producida ocupa el primer lugar la obtenida por el ganado bovino, pues representa el 83%, seguida por la alcanzada por los rebaños de búfalas, con un 12,92%, teniendo un valor poco significativo las procedentes de las explotaciones caprinas, 2,37%, y ovinas,

1,34%. Destaca pues, que la leche de vaca es la fuente principal, y de gran importancia, del sector alimentario.

Seguidamente, se estudiará la producción de leche de vacuno y su distribución debido a la importancia económica que desempeña en algunos países dentro de la Unión Europea (UE), concretamente en España, y específicamente en Canarias.

**Tabla 2.** Distribución de la producción láctea de ganado vacuno en el mundo (FAO, 2011)

Continentes	Censo bovino(cabezas)	Producción (toneladas)	Porcentaje
Mundo	1.471.870.014	738.991.340	100
Asia	509.616.594	272.604.135	36,9
África	292.700.064	44.782.128	6,1
América	509.969.193	179.705.060	24,3
Europa	121.317.422	214.835.605	29,1
Oceanía	39.266.741	27.064.413	3,7



**Gráfico 2.** Producción continental de leche de vaca (FAO, 2011)

En la tabla 2, se apercibe que el mayor número de cabezas de vacas se encuentran en los continentes de Asia y América. A pesar de ello, destaca el fuerte componente lechero del ganado vacuno de la UE, ya que con el 8,24% del censo produce el 29,1% de la producción total de leche de vaca del mundo.

En efecto, Europa es una de las grandes potencias en producción de leche debido al nivel de selección del ganado, su buen estado sanitario, buenas instalaciones y manejo.

**Tabla 3.** Producción de leche de vaca en los principales países de la UE (FAO, 2011).

País	Producción de leche	Porcentaje	Producción leche/vaca/año(l.)
Alemania	30.323.465,00	14,11	7.060,39
Francia	24.361.095,00	11,34	6.486,34
Reino Unido	13.849.000,00	6,45	7.444,20
Polonia	12.413.796,00	5,78	4.896,98
Países Bajos	11.641.718,00	5,42	7.361,76
Ucrania	10.804.000,00	5,03	4.073,17
Italia	10.479.053,00	4,88	5.815,41
Bielorrusia	6.485.200,00	3,02	4.280,49
España	6.522.000,00	3,04	7.974,63
Irlanda	5.536.650,00	2,58	4.836,29
Dinamarca	4.880.500,00	2,27	8.425,76
Rumania	4.526.563,00	2,11	3.683,80
Bélgica	3.101.050,00	1,44	6.199,61
Austria	3.307.130,00	1,54	6.075,02

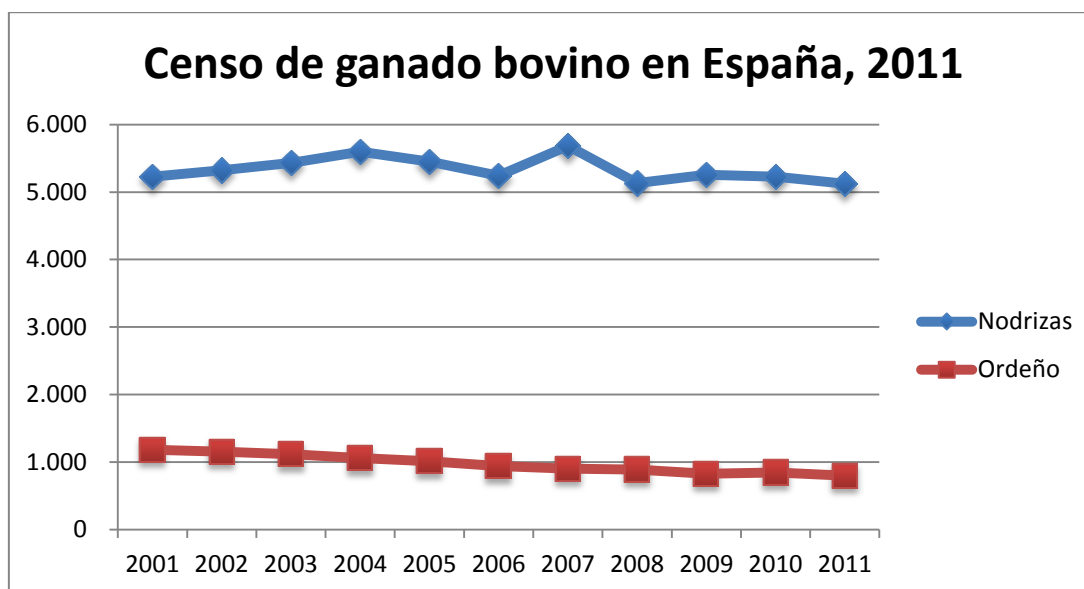
Los países con mayor producción láctea son Alemania, Francia, Reino Unido, Polonia, los Países Bajos, Ucrania e Italia, pero de ellos los más competitivos, con grandes explotaciones y con un elevado rendimiento de los animales destacan Dinamarca, Francia, Reino Unido y los Países Bajos. España, con un 3%, ocupa el 9º puesto en lo referente al rendimiento de la producción total de la UE.

A continuación se representa el censo del ganado bovino en España, donde se aprecia un aumento constante del mismo hasta el año 2004, para perder posteriormente más de 800.000 cabezas en el intervalo comprendido entre ese año y 2011.

**Tabla 4.** Censo de ganado Bovino en España, en 2011. (Miles de animales)

Años	Total de animales	Animales de carne	Animales de leche
2001	6.411	5.229	1.182
2002	6.478	5.324	1.154
2003	6.548	5.431	1.118
2004	6.653	5.596	1.057
2005	6.463	5.451	1.013
2006	6.184	5.242	942
2007	6.585	5.682	903
2008	6.020	5.132	888
2009	6.082	5.254	828
2010	6.075	5.230	845
2011	5.923	5.125	798

Fuente: Anuario de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (M.A.A.A.), 2011.

**Gráfico 3.** Variación del censo de ganado bovino en España. (miles de animales)

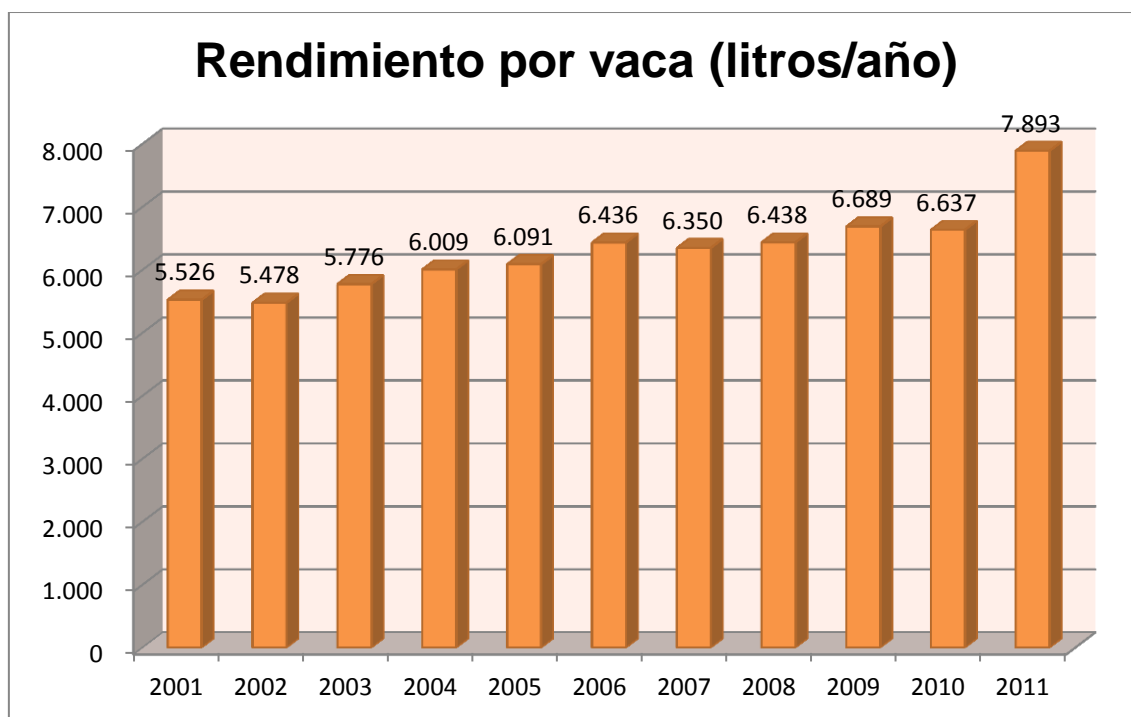
Fuente: Anuario de Estadística Agraria del M.A.A.A., 2011.

En cuanto al tipo de ganado, el censo de vacas para carne (vacas nodrizas) se ha mantenido entorno a los 5.000.000, destacándose un máximo en 2007, mientras que el número de vacas de ordeño ha ido descendiendo poco a poco a lo largo de los años, disminuyendo el 32% desde 2001.

**Tabla 5.** Serie histórica de vacas de ordeño, rendimiento y producción.

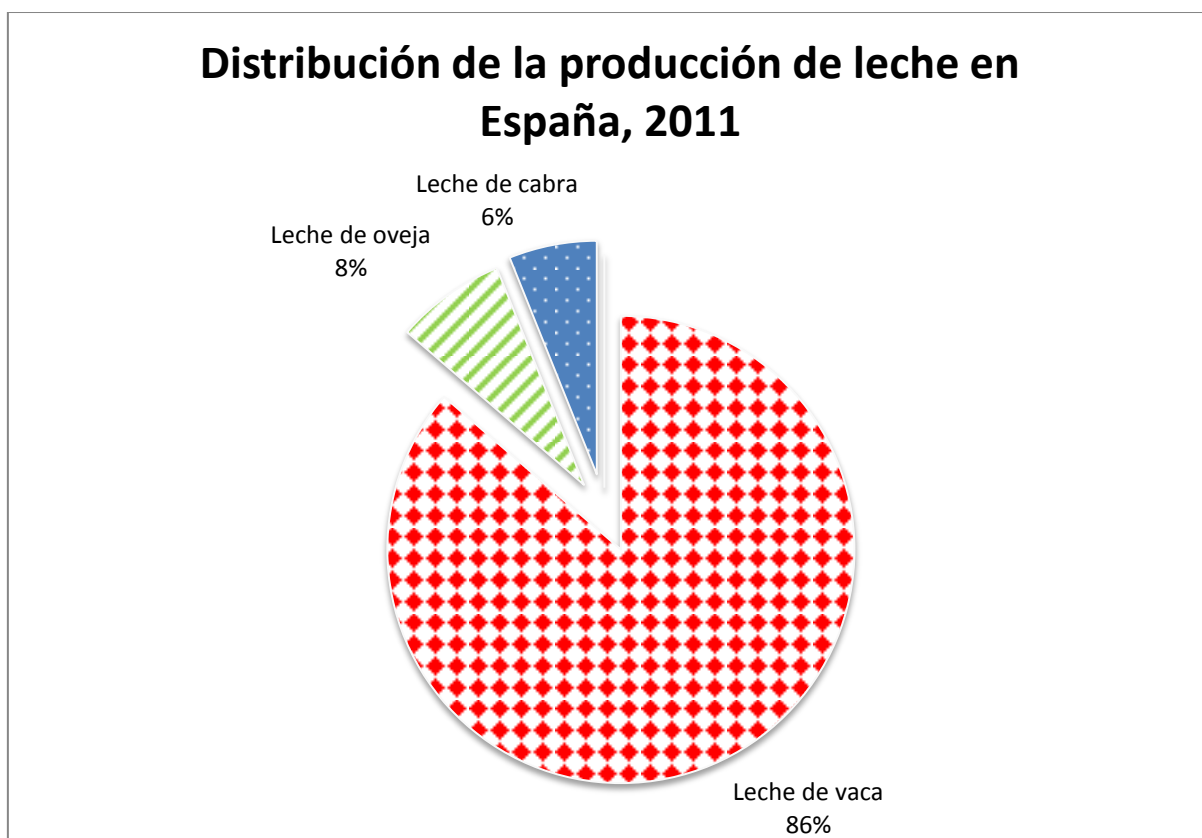
Años	Vacas de ordeño (miles)	Rendimiento por vaca (litros/año)	Producción total (millones de litros)
2001	1.146	5.526	6.330,4
2002	1.172	5.478	6.417,9
2003	1.116	5.776	6.443,3
2004	1.063	6.009	6.384,1
2005	1.046	6.091	6.370,2
2006	962	6.436	6.191,7
2007	967	6.350	6.143,1
2008	956	6.438	6.157,2
2009	907	6.689	6.069,4
2010	930	6.637	6.171,9
2011	798	7.893	6.298,5

Fuente: Anuario de Estadística Agraria del M.A.A.A

**Gráfico 4.** Evolución del rendimiento por vaca en España.

Fuente: Anuario de Estadística Agraria del M.A.A.A

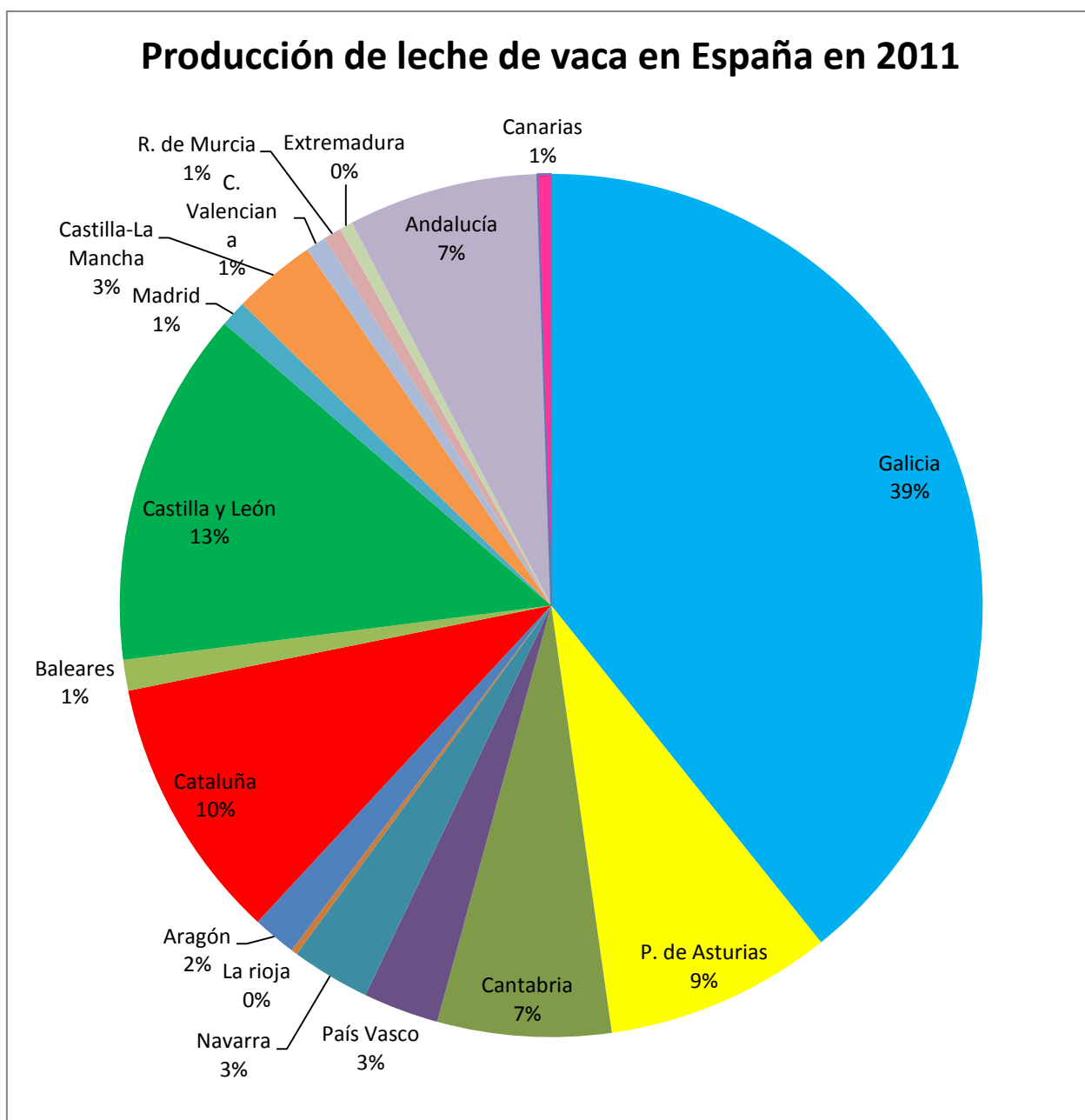
Como se ha comentado anteriormente, la población de animales ha ido decreciendo paulatinamente y, a pesar de ello, la producción total de leche en España se ha ido manteniendo de una forma casi constante. Debido a que el rendimiento por vaca ha incrementado considerablemente más del 30% desde 2001.



**Gráfico 5.** Porcentaje de producción de leche según la especie, en 2011.

**Fuente:** Anuario de Estadística Agraria del M.A.A.A.

Según Sánchez (2007), en este país, la mayor parte de la leche originada en las explotaciones procede del ganado bovino, representando en el 2011 el 86% de la producción total y, su uso es destinado a las industrias para la elaboración de leches de consumo pasterizadas o esterilizadas o como materia prima para la producción de leches fermentadas, mientras que la leche que proviene del ganado caprino y ovino se emplea, casi en su totalidad, para abastecer a la industria quesera.



**Gráfico 6.** Producción de leche de vaca en las Comunidades Autónomas.

**Fuente:** Anuario de Estadística Agraria del M.A.A.A., 2011.

En España, las Comunidades Autónomas Galicia (39%), Castilla y León (13%), Cataluña (10%), P. de Asturias (9%), Andalucía (8%) y Cantabria (6%), ocupan los primeros lugares en producciones lecheras.

El consumo de la leche líquida en el total de las comunidades es casi el doble que el de productos lácteos, aunque hay que señalar, que el valor

económico de estos alimentos es muy superior al de la leche de consumo, de ahí su gran importancia y justificación de éste trabajo.

**Tabla 6.** Consumo en hogares de leche y productos lácteos para el año 2011

	Volumen (miles de Kg)	Valor (miles de €)	Precio medio por Kg (€)	Consumo per cápita (kg)	Gasto per cápita
Leche líquida	3.418.900,68	2.368.746,58	0,69	74,51	51,62
Otras leches	32.446,61	267.395,56	8,24	0,71	5,82
Productos Lácteos	1.618.032,95	5.720.829,22	3,54	35,24	124,67

**Fuente:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

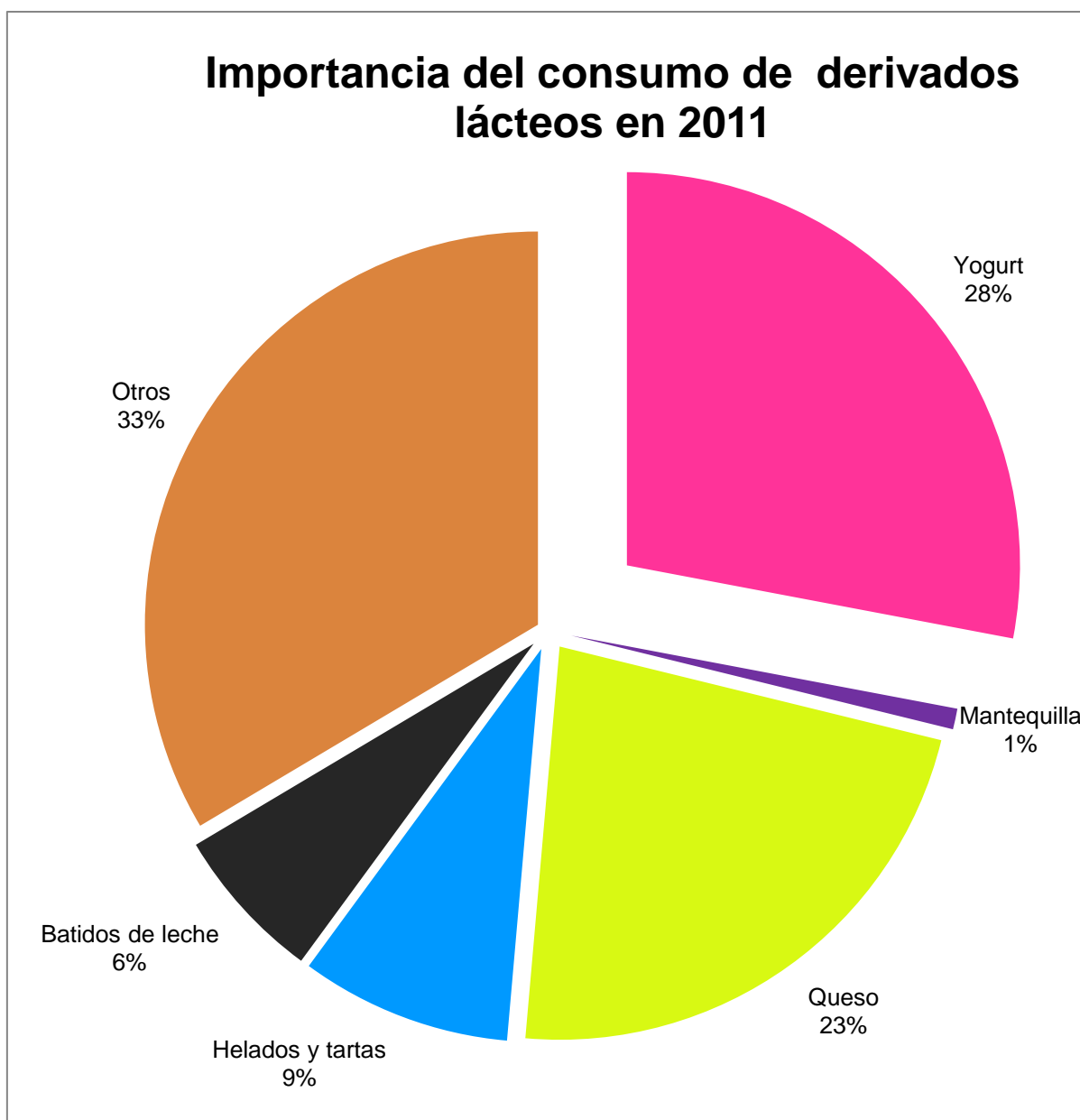
El gasto en relación al volumen de los diferentes derivados lácteos se sitúa de la siguiente forma: yogurt 28%, queso 23%, helados y tartas 9%, batidos de leche 6%, mantequilla 1% y otros 33%. Se comprueba pues el papel destacado del yogurt, que aunque tenga un valor económico inferior al del queso, es el más consumido.

**Tabla 7.** Consumo en hogares de los principales derivados lácteos en 2011.

	Volumen (miles de Kg)	Valor (miles de €)	Precio medio por Kg (€)	Consumo per cápita (kg)	Gasto per cápita
Yogurt	457.513,39	879.807,53	1,92	9,95	19,17
Mantequilla	12.219,45	71.418,73	5,84	0,27	1,55
Queso	368.070,00	2.587.406,90	7,03	8,03	56,36
Helados y tartas	132.374,16	477.665,69	3,61	2,87	10,41
Batidos de leche	103.278,34	133.924,43	1,30	2,25	2,90
Otros	538.411,32	1.484.014,23	-	11,78	31,87

**Fuente:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

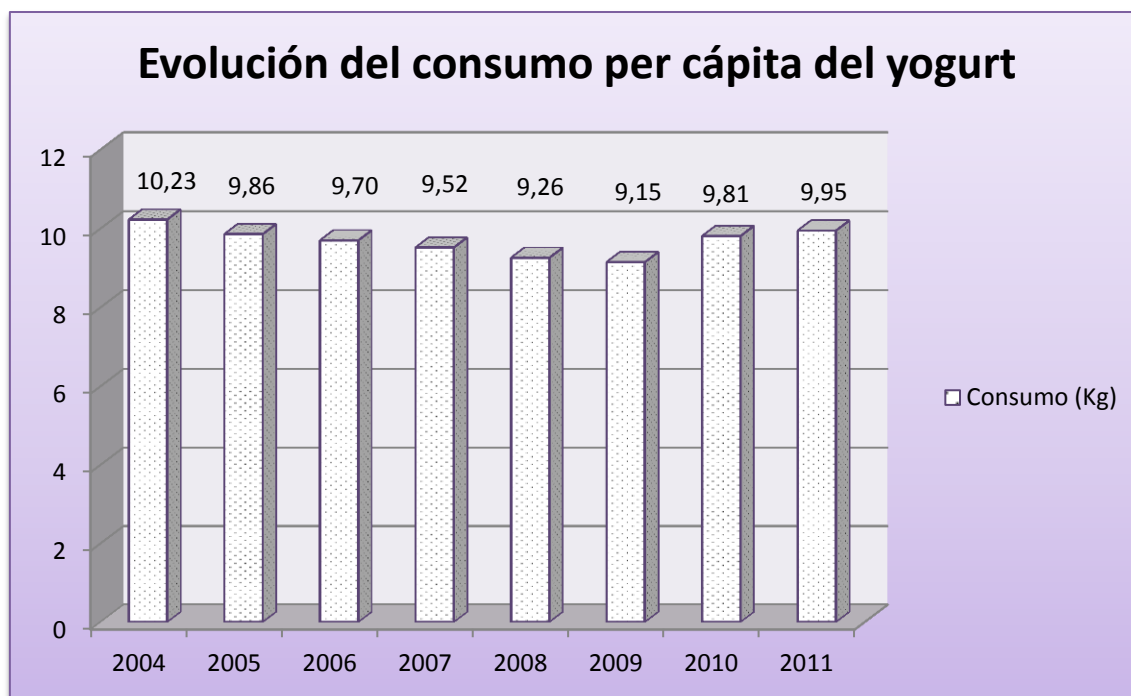




**Gráfico 7.** Distribución del consumo de derivados lácteos en España en 2011.

**Fuente:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El consumo de yogur en España desde el año 2004, donde alcanzó un máximo de 10,23 kg/persona, fue descendiendo hasta el 2009 con valores de 9,15 kg/persona. A partir de ese año, ha ido ascendiendo hasta 2011, que alcanzó la cifra de 9.95 kg/persona.



**Gráfico 8.** Evolución del consumo de yogurt por persona en España

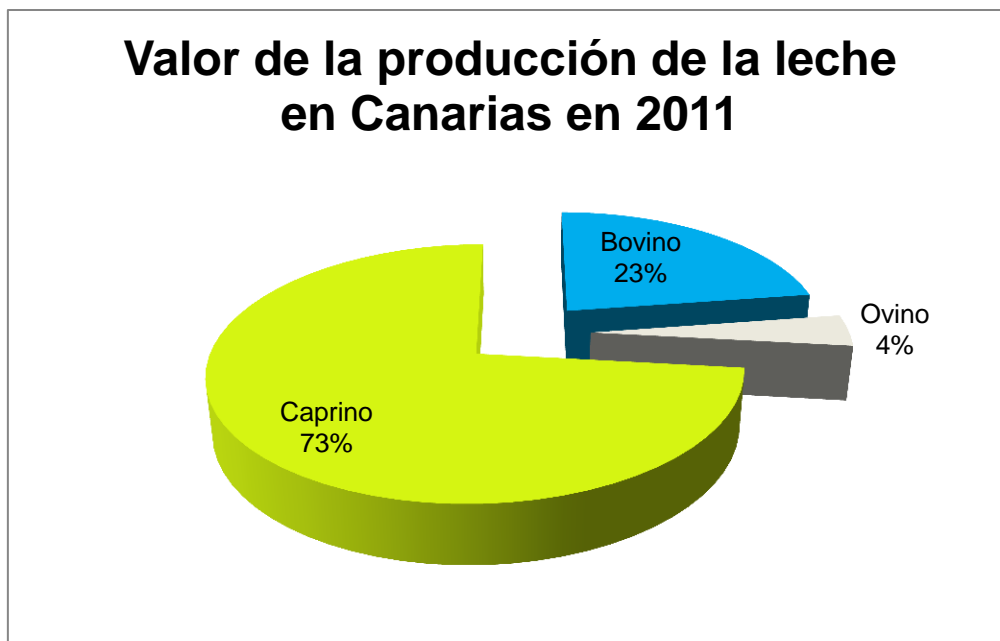
**Fuente:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

En el caso de Canarias, la producción de leche de cabra es la que mayor valor económico aportó, debido a que consiguió el 73,26% del total generado por las diferentes especies, siendo así ésta la de mayor importancia dentro del subsector ganadero. Aunque la leche procedente del ganado vacuno tenga un valor económico inferior, representando el 22,67% del total producido, se realizará un estudio de la misma.

**Tabla 8.** Valor de la producción de leche en Canarias

	Animales en ordeño	Producción (miles de l)	Valor (miles de €)	Porcentaje
Bovino	6.970	32.457	14.676	22,67
Ovino	23.782	3.672	2.631	4,06
Caprino	236.120	87.638	47.426	73,26
<b>Total</b>			<b>64.733</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** Servicio de Estadística de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2011.



**Gráfico 9.** Distribución del valor de la producción de leche en Canarias.

**Fuente:** Servicio de Estadística de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2011.

En el valor económico de la producción ganadera por orden decreciente, el subsector lácteo (37,26%), se ha situado en las islas en primer lugar, seguido de los subsectores: cárnico (36,05%), avícola (huevos) (24,41%) y otros (2,28%). Se puede subrayar, de acuerdo a lo observado, que el subsector lácteo junto con el cárnico, son de los que más han contribuido a los ingresos tributados por las producciones ganaderas.

**Tabla 9.** Valor de la producción ganadera en Canarias en 2011 (miles de €)

	Las Palmas		S/c Tenerife		Canarias	
	Valor	Porcentaje	Valor	Porcentaje	Valor	Porcentaje
Carne	28.716	32,19	33.906	40,1	62.622	36,05
Leche	41.758	46,80	22.976	27,2	64.734	37,26
Huevos	18.109	20,30	24.295	28,7	42.404	24,41
Otros	638	0,72	3.331	3,9	3.969	2,28
<b>Total</b>	<b>89.221</b>	<b>100,00</b>	<b>84.508</b>	<b>100,00</b>	<b>173.729</b>	<b>100,00</b>

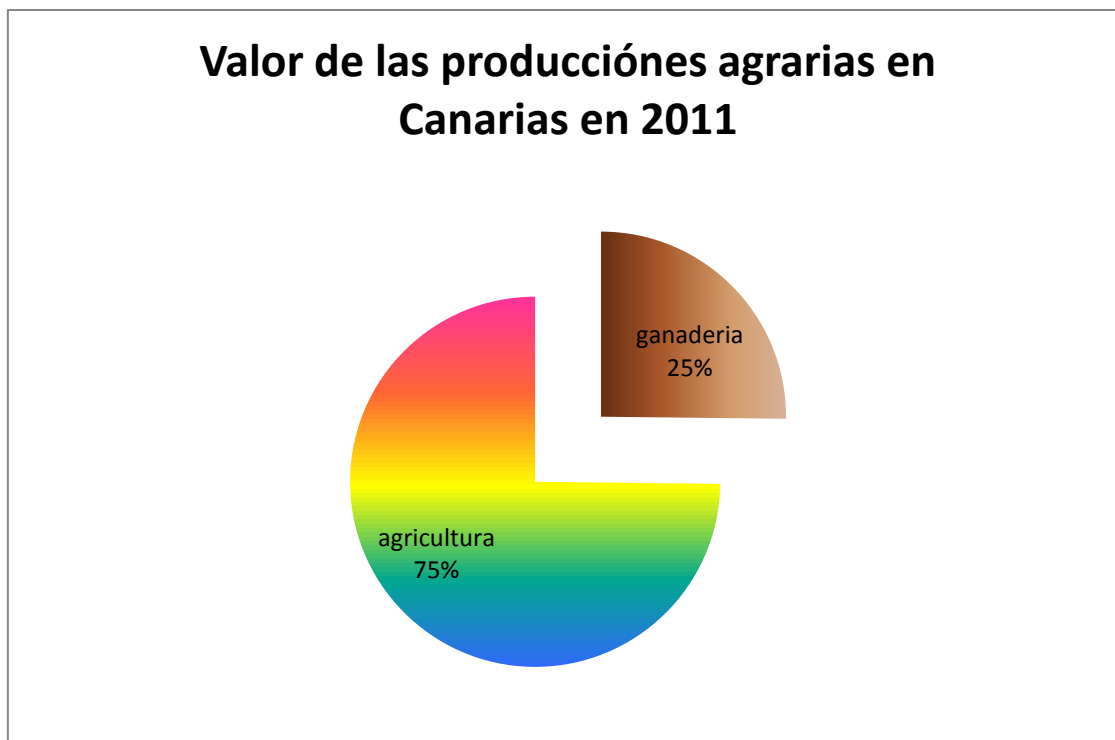
**Fuente:** Servicio de Estadística de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2011.



**Gráfico 10.** Distribución del valor de la producción ganadera en Canarias

**Fuente:** Servicio de Estadística de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2011.

Los datos estadísticos anteriormente citados singularizan la importancia que tiene la producción de leche en Canarias. No obstante, no debe olvidarse que el subsector ganadero representa, dentro del valor económico de las producciones agrarias, el 25% frente al subsector agrícola (75%), con significado: el plátano (38,94%), los tomates (10,60%), las frutas (10,10%), las ornamentales y flores (13,47%), las papas (5,57%), los viñedos (2,42%) y otros (18,90%).



**Gráfico 11.** Distribución del valor de las producciones agrarias en Canarias.

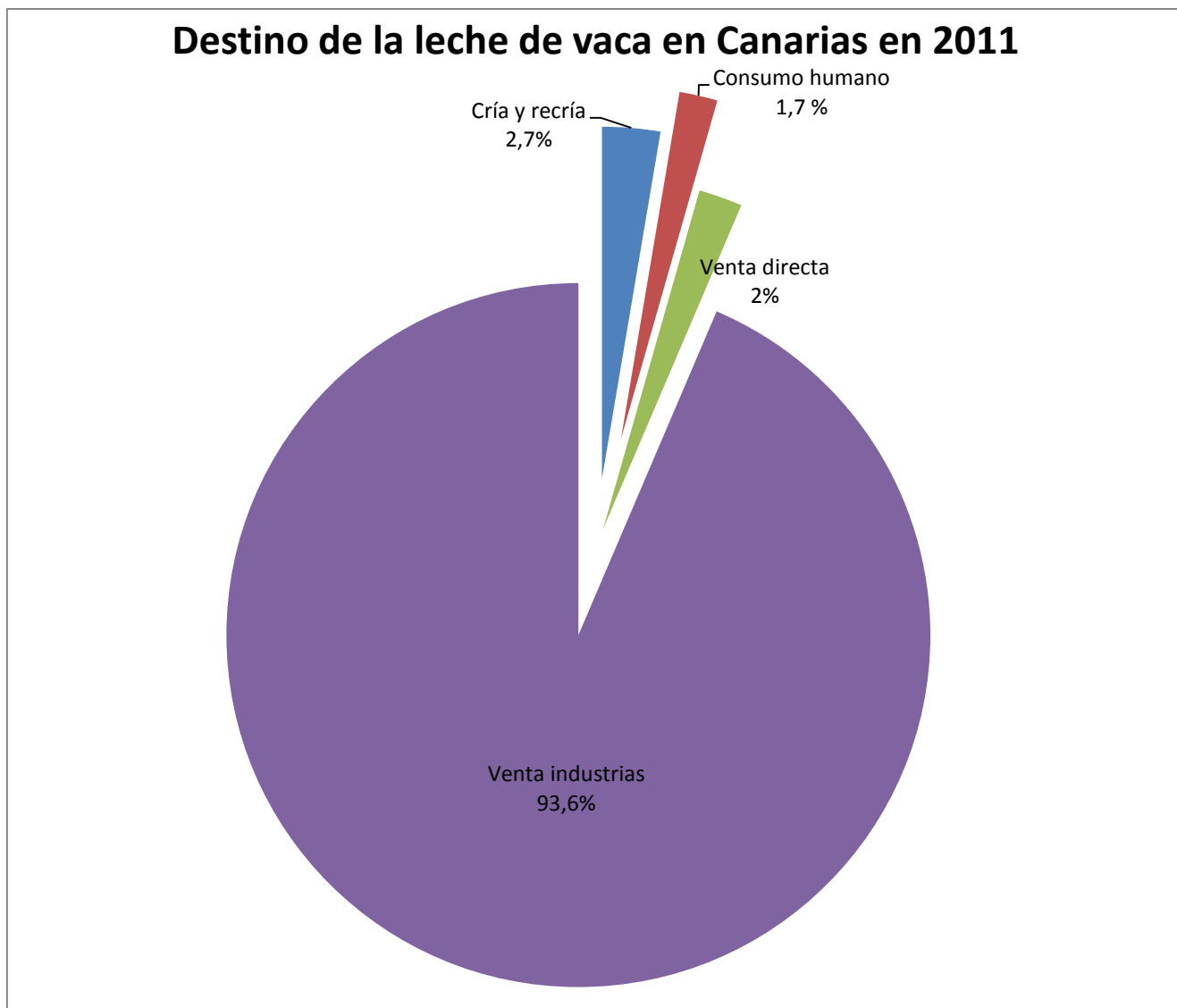
**Fuente:** Servicio de Estadística de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2011.

El mayor porcentaje de la leche de vaca en el archipiélago, concretamente el 93,6 % de la total producida, se utilizó para elaborar leche pasteurizada y como materia prima para la fabricación de productos lácteos en las industrias; 6,4% restante tuvo distintos destinos: 2,7% se dedicó a la alimentación de los animales en cría y recría en la explotación; 1,7% al consumo humano; y, por último, el otro 2% se empleó en la venta directa.

**Tabla 10.** Destino de la leche de vaca en Canarias en año 2011. (Miles de litros)

	Total	Explotacion		Comercializada	
		Cría y recría	Consumo humano	Venta directa	Venta industrias
Canarias	32.456	865	569	651	30.371
Las Palmas	25.495	510	255	510	24.220
S/C Tenerife	6.961	355	314	141	6.151

**Fuente:** .Anuario de Estadística Agroalimentaria del M.A.A.A, 2011.



**Gráfico 12.** Utilización de la leche de vaca en Canarias.

**Fuente:** Anuario de Estadística Agroalimentaria del M.A.A.A, 2011.

En conclusión, los datos estadísticos citados demuestran la significación económica que tiene el subsector lechero y la notabilidad de la industria láctea en España y en Canarias. Se ha optado por la utilización de la leche de vaca como materia prima para la elaboración del yogur ya que, destinarla a la industria para elaborar leche esterilizada de consumo se enfrenta a un difícil mercado, pues tiene que competir en la misma zona con la leche subvencionada por el Régimen Especial de Abastecimiento (REA) del que dispone las islas Canarias al formar parte de las regiones ultraperiféricas (RUP) y, dado lo gravoso que cuesta obtenerla cruda como producción local, está en desigualdad con la importada por su menor precio. Dicha situación y, teniendo

en cuenta que el producto lácteo “yogur” carece de compensaciones, se ha tomado tal decisión al gozar éste de una mejor y beneficiosa venta y, al estar en parecidas condiciones de oferta que el de la competencia.





## 2. OBJETIVOS

La meta del presente estudio es la comparación de diferentes sistemas energéticos aplicados en la fase de incubación, etapa fundamental en la elaboración del yogur. Los propósitos principales del estudio son:

- ✓ Describir los diferentes pasos y fases a ejecutar en la fabricación de yogur firme, alimento que se obtendrá mediante coagulación ácida de la leche, de cuya desnaturalización son responsables las bacterias lácticas *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*.
- ✓ Estudiar el método tradicional aplicado para mantener constante la temperatura de incubación.
- ✓ Diseñar una instalación solar térmica para sostener la temperatura de fermentación del yogurt.
- ✓ Plantear un sistema con bombas de calor para conseguir perdurar los 42°C necesarios para que las bacterias lácticas transformen la lactosa en ácido láctico y tenga lugar la coagulación de la leche.
- ✓ Realizar un estudio económico para determinar cuál de los tres sistemas observados se manifiesta más rentable, teniendo en cuenta la eficiencia energética que presenta cada uno de ellos.



### 3. PROCESO PRODUCTIVO DE FABRICACIÓN DE YOGUR

La leche es la materia prima utilizada en la elaboración del yogur, y según el Real Decreto de 1679/1994 de 22 de julio, por el que se establecen las condiciones sanitarias aplicables a la producción y comercialización de leche cruda, leche tratada térmicamente y productos lácteos, se la define como:

“La producida por la secreción de la glándula mamaria de vacas, ovejas, cabras o búfalas, que no haya sido calentada a una temperatura superior a 40°C ni sometida a un tratamiento de efecto equivalente.”

El capítulo IV del R. D. de 1679/1994 concreta que, la leche cruda de vaca destinada a la producción de leche de consumo tratada térmicamente, de leche fermentada, cuajada, gelificada o aromatizada y de natas cumplirá las siguientes normas:

- **Contenido en gérmenes a 30°C  $\leq$  100.000 gérmenes/ml.** Media geométrica observada durante un periodo de dos meses, con al menos dos muestras tomadas al mes.
- **Contenido en células somáticas  $\leq$  400.000 células/ml.** Media geométrica observada durante un periodo de tres meses, con un mínimo de dos muestras mensuales.

La FAO, (Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), en una resolución de 1977, distingue al producto lácteo denominado yogur como:

“El obtenido por fermentaciones ácido-lácticas a través de la acción de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, de leche (pasterizada o concentrada), con o sin agregados opcionales (leche entera o descremada en polvo, suero en polvo, etc.). Los microorganismos en el producto final deben ser viables y abundantes”.

También existen diferentes especificaciones según la legislación de los distintos países. En España, en la Norma de Calidad para el yogur aprobada en

el Real Decreto 179/2003 (BOE 42, de 18 de Febrero de 2003) y en el Real Decreto 271/2014 (BOE 102, de 28 de Abril de 2014), se especifica como:

“Se entiende por «yogur» o «yoghourt» el producto de leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* a partir de leche pasteurizada, leche concentrada pasteurizada, leche total o parcialmente desnatada pasteurizada, leche concentrada pasteurizada total o parcialmente desnatada, con o sin adición de nata pasteurizada, leche en polvo entera, semidesnatada o desnatada, suero en polvo, proteínas de leche y/u otros productos procedentes del fraccionamiento de la leche.

Los microorganismos productores de la fermentación láctica deben ser viables y estar presentes en el producto terminado en cantidad mínima de 1 por  $10^7$  colonias por gramo o mililitro.”

La norma de calidad expone una serie de características que el yogur deberá cumplir tanto en la tecnología de fabricación, como en las propiedades que adquiera el producto final, destacando las siguientes:

- pH igual o inferior a 4,6.
- Un contenido mínimo, en su parte láctea, de extracto seco magro de 8,5% m/m
- El contenido mínimo de materia grasa, en su parte láctea, será de 2% m/m, salvo para los yogures semidesnatados, siendo inferior a 2 y superior a 0,5% m/m, y para los desnatados, (menor a 0,5% m/m).
- Adiciones esenciales. Únicamente cultivos de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, y estando presentes ambos.

Para la producción de yogur se puede utilizar leche de distintas especies animales y, dependiendo de cuál se use, la calidad el yogur puede presentar variaciones. Por un lado, las leches que tengan un elevado contenido en grasa dan lugar a un yogur más rico y cremoso, en comparación con las que tengan una baja proporción de la misma o de leches desnatadas. Por otro lado, las

proteínas desempeñan un papel fundamental en la formación del coágulo, influyendo de esta manera en la consistencia y la viscosidad que va a tener el producto.

### 3.1. La leche como materia prima .Composición y propiedades

Los principales constituyentes de la leche son agua, grasa, proteínas, lactosa (azúcar de la leche) y sales minerales. El residuo que queda cuando el agua y los gases son eliminados se llama extracto seco total (EST, o materia seca) o contenido de sólidos totales de la leche (ST). La materia seca está suspendida o disuelta en agua y, dependiendo del tipo sólido de que se trate, existen diferentes sistemas de distribución del mismo en la fase acuosa.

Debido a que se utilizará la leche de vaca para la producción de yogur, se describirán las características más importantes de ella.

**Tabla 11.** Composición media de la leche de vaca por cada 100 gramos

Nutriente	Vaca
Agua (gr.)	87,0
Proteína (gr.)	4,0
Grasa (gr.)	3,5
Lactosa (gr.)	4,7
Minerales (gr.)	0,8
pH	6,6

Fuente: López y Madrid, 2003.

La composición de la leche fresca varía considerablemente en función de la raza de las hembras bovinas, del estado de lactancia, de la alimentación, de la época del año, de la edad del individuo, de las infecciones e, incluso, del tiempo transcurrido entre los ordeños.

Como se ha comentado anteriormente, los principales componentes de la leche son: agua, grasa, proteínas, lactosa, los cuales se tratarán de forma más concreta en apartados siguientes; y, enzimas, vitaminas y sales minerales que se comentarán a continuación.

La leche contiene enzimas definidas como un grupo de proteínas con la capacidad de provocar reacciones químicas, afectando el curso y la velocidad

de las mismas. Las enzimas de la leche a su vez se utilizan en controles de calidad de ésta. Entre las más importantes destacan:

- **Peroxidasa:** Tiene la capacidad de traspasar el oxígeno del peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) a otras sustancias para oxidarlas. Debido que se produce su inactivación cuando se calienta la leche a  $80^\circ C$  durante pocos segundos, se aprovecha tal hecho para demostrar si la pasterización ha superado dicha temperatura o no. Para ello, se realiza el test de la Peroxidasa de Storch, que se basa en comprobar la presencia o ausencia de la misma en la materia prima. En el caso de las leches pasterizadas para consumo, el resultado deberá ser positivo ( $72^\circ C$ , 15-20 seg.) y, en la utilizada para la elaboración de yogur tendrá que presentar una reacción negativa, demostrando de esta forma que la pasterización ha superado los  $80^\circ C$ .
- **Catalasa:** Se caracteriza por fraccionar el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno libre. Calculando la cantidad de oxígeno que la enzima es capaz de liberar en la leche, se puede determinar el porcentaje de catalasa. Esto es muy importante ya que se puede diagnosticar si dicha leche proviene de un animal con ubres sanas, o de ubres enfermas (mamitis), pues éstas últimas tienen un mayor contenido. Se destruye a altas temperaturas, a  $75^\circ C$  durante 60 segundos.
- **Fosfatasa:** Posee la habilidad de dividir algunos ésteres del ácido fosfórico en ácido fosfóricos y alcoholes. Esta enzima se destruye cuando se le aplica una pasterización de  $72^\circ C$  durante 15-20 segundos. Así, se puede hacer el test de la fosfatasa de Scharer para determinar si se ha pasterizado correctamente. La presencia de fosfatasa en la leche puede ser detectada mediante la adición de éster del ácido fosfórico y un reactivo que reacciona con el alcohol liberado. El cambio de color nos indica que la leche no tiene fosfatasa.

La leche está constituida por muchas vitaminas, entre las que destacamos la A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C y D. Las únicas que son solubles en grasa o

disolventes de la grasa son la A y D, mientras que el resto son solubles en agua.

También, está compuesta por una pequeña cantidad de minerales que representan el 1%. Estas se pueden encontrar en dos formas: formando compuestos con la caseína como es el caso del Ca, o disueltas en el suero. Los cationes principales son calcio, sodio y potasio y los aniones mayoritarios son fosfato, cloruro y citrato. Hay que tener en cuenta que un exceso de cloruro sódico le da a la leche un sabor salado, pudiendo deberse a que la leche procede de animales enfermos de mamitis.

### **3.1.1. Lípidos y consecuencias de la homogeneización en la fabricación del yogur**

El contenido y la composición de la materia grasa dependen de la cantidad y tipo de grasa presentes en la dieta de los animales. Por ello, aquellas raciones que sean ricas en forraje provocarán un aumento en su cantidad, mientras que una dosis demasiado alta en concentrados, que no estimulan la rumia en la vaca, puede resultar en una caída del porcentaje.

Los constituyentes de la materia grasa se dividen en dos grupos: la fracción insaponificable y la saponificable. La principal diferencia entre ellas estriba en que la segunda está formada por ésteres que se hidrolizan en medio alcalinos, dando lugar a la aparición de sustancias hidrosolubles (alcoholes, ácidos grasos, bases aminadas).

La fracción lipídica mayoritaria de la leche de vaca está constituida por triglicéridos que representan el 97-98% del total, y, por lo tanto, son los principales responsables de las propiedades de la grasa láctea. Estas características varían en función de la composición en ácidos grasos. También está conformada por pequeñas cantidades de di- y monoglicéridos, y otros componentes minoritarios.

La porción insaponificable representa el 0.5% de la materia grasa de la leche, agrupándose las sustancias solubles en disolventes apolares y no hidrolizables en medio alcalinos. Este grupo está formado mayoritariamente

por: el colesterol, carotenoides que le dan el color amarillento a la grasa y vitaminas liposolubles (A, D, y E).

La grasa se encuentra presente en la leche como pequeños glóbulos suspendidos en agua. Cada glóbulo se encuentra rodeado de una membrana que está formada principalmente de lipoproteínas y fosfolípidos que evitan que los glóbulos se aglutinen entre sí, repeliendo otros glóbulos de grasa y atrayendo agua. Siempre que esta estructura se encuentre intacta, la leche permanece como una emulsión.

La mayoría de los glóbulos de grasa se encuentran en la forma de triglicéridos formados por la unión de un glicerol con tres ácidos grasos, y como éstos no tienen que ser del mismo tipo, existen una gran variedad de glicéridos diferentes en la leche. Los cuatro ácidos grasos más abundantes de la leche son los ácidos mirístico, palmítico, esteárico y oleico

Los glóbulos de grasa son las partículas más grandes y ligeras de la leche, con una densidad de 0.93 g/cm<sup>3</sup> a 15.5°C, por lo que tienden a subir hacia la superficie cuando la leche se deja reposar, separándose de la fase acuosa que queda en la parte inferior de un recipiente.

Las proporciones de ácidos grasos de diferente largo determina el punto de fusión de la grasa y, por lo tanto, la consistencia. Cuanto menor es la longitud de la cadena y mayor el número de dobles enlaces, más bajo es el punto de fusión. Por tanto, una grasa con un contenido elevado de ácidos grasos de alto punto de fusión, como es el caso del ácido palmítico, será dura; mientras que una grasa con gran cantidad de ácido oleico que poseen un bajo punto de fusión da lugar a una grasa blanda.

Cuando la leche es sometida a la homogeneización, proceso que consiste en hacer pasar la leche de forma forzada a través de un pequeño paso a alta velocidad, produce una serie de efectos sobre la grasa:

- Provoca la disrupción o rotura de los glóbulos de grasa en otros de menor tamaño, y por tanto, aumenta el número de ellos, disminuyendo así la tendencia a aglutinarse, y evitando de este modo la coalescencia.



- El menor diámetro de los glóbulos nuevos y la adquisición de una nueva capa superficial, debido a que los nuevos glóbulos grasos están parcialmente recubiertos de caseína, participan en la agregación de las micelas de caseína. Este hecho, origina un aumento de la estabilidad del coágulo, de la capacidad de retención de agua y de la viscosidad, debido a las interacciones proteína-proteína y proteína-grasa.
- El aumento del número de glóbulos grasos, aumenta la reflexión y dispersión de la luz, dándole a la leche un color más blanco.
- Tiene lugar un aumento de la concentración de fosfolípidos en la fase acuosa de la leche, debido a la incorporación de material de membrana, y el bombeo de la misma puede dar lugar a la formación de espuma en los tanques de incubación.

### **3.1.2. Proteínas y efecto de los tratamientos térmicos en la elaboración de las leches fermentadas**

Las proteínas son moléculas gigantes formadas por unidades más pequeñas, denominadas aminoácidos. Una molécula de proteína está formada por una o más cadenas de aminoácidos dispuestos en un orden específico, y que se entrelazan entre sí. Normalmente, las moléculas de proteínas están constituidas por unos 100-200 aminoácidos. El número de aminoácidos en la caseína de la leche varía de 199 a 209.

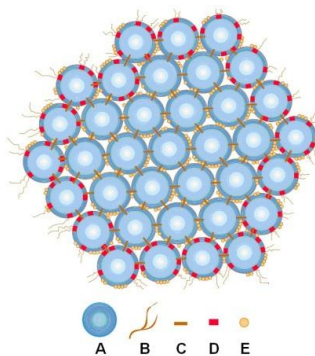
Los aminoácidos son los bloques que construyen a todas las proteínas, y se caracterizan por la presencia en su molécula de un grupo amino ligeramente básico (-NH<sub>2</sub>) y un grupo carboxílico ligeramente ácido (-COOH). Así, los aminoácidos tienen la capacidad de que pueden emitir iones hidronio en soluciones alcalinas y absorber iones hidronio en soluciones ácidas. Existen 20 aminoácidos que se encuentran comúnmente en las proteínas, 18 de los cuales se encuentran en la leche. Desde el punto de vista nutricional, hay que tener en cuenta que 8 de estos 20 aminoácidos no pueden ser sintetizados por

el cuerpo humano y tienen que ser necesariamente ingeridos por medio de la alimentación.

Se distinguen principalmente tres grupos de proteínas de la leche que se clasifican en relación a sus diferencias de forma y comportamiento:

- Caseínas.
- Proteínas del lactosuero o seroproteínas:
  - o  $\alpha$ -Lactoalbúmina.
  - o  $\beta$ -Lactoglobulina.
  - o Albúmina sérica.
  - o Inmunoglobulinas.
  - o Proteasas-peptonas.
- Materias nitrogenadas no proteicas (N.N.P.).

Según López y Madrid (2003), la caseína es la principal proteína de la leche y se encuentra dispersa como un gran número de partículas sólidas tan pequeñas que no sedimentan y permanecen en suspensión. Estas partículas se llaman micelas, son esféricas y están formadas por las distintas fracciones de caseínas ( $\alpha_{s1}$ -caseína,  $\alpha_{s2}$ -caseína,  $\beta$ -caseína y  $\kappa$ -caseína), de algunos fragmentos peptídicos (caseína- $\gamma$ ; que son el resultado de la proteólisis de la  $\beta$ -caseína) y, de componentes salinos, siendo los más importantes el P y el Ca y, en menor grado citratos y Mg, que juegan un papel importante en la unión de las micelas. La dispersión de éstas en la leche se llama suspensión coloidal. Las micelas tienen una estructura porosa, muy voluminosa y fuertemente hidratada. A continuación se puede observar cómo está formada:



**Figura 1. Modelo esquemático de una micela de caseína:** A: una sub-micela, B: cadena sobresaliente, C: fosfato de calcio, D: k-caseína, E: grupos fosfatos. **Fuente:** López y Madrid, 2003.

Las micelas son partículas que tienen forma más o menos esférica, con un tamaño variable entre 20 y 200 nm, aunque normalmente tienen un diámetro medio de 80-100 nm. Según el modelo propuesto por Schmidt, la micela estaría formada por un conjunto de subunidades (submicela) compuestas por los cuatro tipos de caseína, en proporción variable, con presencia de Ca en cada grupo fosfato asociadas unas a otras a través de fosfato cálcico coloidal:  $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$ .

Las submicelas están formadas por dos regiones: una constituida por los residuos hidrofóbicos y otra por polares. La agrupación de ambos en regiones separadas sugiere la formación de distintos dominios de naturaleza polar e hidrofóbica, generando una estructura anfipática.

Por un lado, están las caseínas sensibles al calcio ( $\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s2}$  y  $\beta$ ) que presentan grupos fosfatos esterificados en residuos de serina específicos, conteniendo 8, 10-13 y 5 grupos fosfatos respectivamente. Por tanto, son los dominios polares de estas fracciones de caseína las que aportan al pH de la leche una gran carga negativa.

Y, por otro lado, la  $\kappa$ -caseína que es insensible al calcio, es también muy anfipática por la presencia de distintos dominios individuales hidrofóbicos y polares pero, sin embargo, el dominio polar de esta caseína no contiene ningún agrupamiento aniónico. Por ello, la estructura de la submicela no es uniforme, debido a que su interior de naturaleza hidrofóbica está formado por las partes apolares de las fracciones de caseína, y el exterior, está constituido por una cubierta polar, que se compone por los residuos de fosfoserina de las caseínas  $\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s2}$  y  $\beta$  y por la cadena  $-\text{COOH}$  terminal de la  $\kappa$ -caseína.

La agregación de las submicelas en unidades más grandes se produce a través del  $\text{Ca}^{++}$  y el fosfato mineral, dando lugar a la formación de las micelas. Las uniones entre las submicelas tienen lugar por medio de los radicales de serina que se localizan en su exterior, que uniéndose al ácido fosfórico a través de un enlace éster, forman grupos de fosfoserina que se asocian al calcio y al fosfato de calcio, debido a su gran afinidad. Además, en la unión entre dos submicelas se encuentra presente una sal de trifosfato de calcio ( $\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6$ ). Dichas agregaciones tienen lugar ya que la deposición del fosfato cálcico en las

submicelas neutraliza su gran carga negativa, permitiendo así que desaparezcan las fuerzas de repulsión existentes, provocando así, que se atraigan y se unan entre ellas.

Las submicelas se organizan en función del contenido de  $\kappa$ -caseína que tengan, ocupado una posición u otra en la micela. Las que tengan un bajo contenido en  $\kappa$ -caseína, o que carezcan de ella, se localiza en el interior de la micela, mientras que las ricas en  $\kappa$ -caseína se encuentran en el exterior de la micela. Por tanto, las micelas se organizan de forma que la mayor parte de la  $\kappa$ -caseína de las submicelas están localizadas hacia el exterior, es decir, en contacto con la fase acuosa, debido a que presentan un dominio polar inerte que no precipita en presencia de  $\text{Ca}^{++}$ . De esta forma, las caseínas más fosforiladas que son inestables en presencia de iones de  $\text{Ca}^{++}$ , quedan protegidas en el interior de la micela, formando una partícula compacta.

Las micelas de caseína, a pesar de ser agregados bastante densos de submicelas, presentan una gran estabilidad debida a dos factores:

- **Cargas eléctricas:** Las micelas están rodeadas por una especie de “cabellera”, formada por las cadenas hidrocarbonadas hidrófilas de las partes exteriores de la  $\kappa$ -caseína que contienen carbohidratos, proporcionándole una gran carga negativa a la estructura micelar. De esta forma, las micelas se ven sometidas a fuerzas de repulsión electrostáticas que contrarrestan las fuerzas de atracción y evitan la agregación.
- **Hidratación de las micelas:** Los extremos hidrófilos de la  $\kappa$ -caseína que se colocan fuera de la micela, establecen una unión entre el polo positivo del agua y la carga negativa de las micelas, quedándose el agua retenida y formando una corona de moléculas orientadas, participando de forma importante en el equilibrio de las micelas.

Esta estabilidad de las micelas se puede desequilibrar por numerosos factores. Así, dependiendo del producto que la industria láctea pretenda

conseguir, existen principalmente dos formas de provocar la precipitación de la caseína.

Por un lado, tenemos la precipitación enzimática, que es la base de la producción de quesos, y consiste en la acción de la enzima quimosina en el enlace 105-106 de la  $\kappa$ -caseína, separando la zona más hidrófila de la misma y eliminando la protección que esta caseína proporcionaba sobre la micela en presencia de  $\text{Ca}^{++}$  iónico. Debido a la eliminación de la parte hidrófila, se produce un desequilibrio entre las fuerzas intermoleculares, teniendo como consecuencia la formación del coágulo. De este modo, comienzan a formarse enlaces entre los puntos hidrófobos, y se refuerzan por enlaces de calcio que se van desarrollando conforme las moléculas de agua de las micelas empiezan a abandonar la estructura. Estos enlaces facilitarían entonces la expulsión del agua y la estructura finalmente se convertirá en una densa cuajada. Así se produce la coagulación enzimática.

Por otro lado, la precipitación de la caseína por el descenso del pH, es el que nos interesa, ya que la acidificación de la leche por la acción de las bacterias lácticas, es la base de la producción de yogur, ya que de esta forma de desestabiliza la estructura de la caseína.

En esta coagulación ácida las micelas pierden su estructura, tomando forma de flóculos o de coágulo compacto. Este cambio de estado es originado por las bacterias lácticas que metabolizan la lactosa en ácido láctico de forma progresiva, al mismo tiempo que va disminuyendo el pH.

A pH normal de la leche (pH=6,6), las moléculas de proteína tienen una carga neta negativa, y permanecen separadas debido a que poseen la misma carga y se repelen entre sí. Pero a medida que va descendiendo el pH, se produce un exceso de iones de hidrógenos en el medio que neutralizará las cargas negativas de las cadenas laterales de la caseína, con lo que se reducirán las fuerzas de repulsión entre las micelas, así como el efecto protector que proporciona la capa de moléculas de agua orientada que da estabilidad a las micelas de caseína en el medio acuoso. Dicho proceso alcanza un máximo al pH isoelectrico de 4,6, ya que es cuando la carga positiva de las proteínas es igual a la negativa.

Esta acidificación de la leche cumple dos objetivos: primero la obtención de un gel uniforme que engloba la fase acuosa y la grasa, y para ello la leche debe estar en reposo durante el descenso progresivo del pH; y segundo, el pH de 4,6 asegura al producto una vida más prolongada que en el caso de la leche, ya que para la mayoría de los microorganismos es un factor limitante en su desarrollo.

Dentro del sistema proteico de la leche se encuentran las proteínas del lactosuero, que son proteínas globulares y que se insolubilizan como resultado del calentamiento de la leche a temperaturas superiores a 80°C, teniendo como consecuencia su desnaturalización. Las más importantes son la  $\alpha$ -Lactoalbúmina y la  $\beta$ -Lactoglobulina que es la más abundante del suero lácteo.

En la leche fresca, estas proteínas están en solución y no participan en la estructura micelar. Pero cuando se le aplica a la leche un tratamiento térmico, se desnaturalizan, sobre todo la  $\beta$ -Lactoglobulina es la que más efectos sufre debido a que tiene un grupo sulfhidrilo libre, lo que le permite establecer puentes de disulfuro con otras proteínas.

De este modo, al pasteurizar la leche, la  $\beta$ -Lactoglobulina reacciona con la  $\kappa$ -caseína, que se encuentra en el exterior de las micelas de caseína. En esta reacción participan principalmente puentes de disulfuro, además de otros enlaces. Y el resultado es que las micelas de caseína se recubren con una capa de  $\beta$ -Lactoglobulina desnaturalizada, modificando la estructura superficial de la micela, y haciéndole adquirir una mayor estabilidad. El resto de las proteínas del lactosuero son similares y pueden asociarse entre sí o con las micelas de caseína.

En definitiva, la  $\beta$ -Lactoglobulina y  $\alpha$ -Lactoalbúmina pueden interaccionar entre ellas y a su vez con la caseína  $\kappa$  a través de los grupos SH formando puentes disulfuro, y protegiendo así las micelas de una posible desestabilización o ruptura, por lo que la red del gel queda formada por una estructura regular que atrapa en su interior agua y el resto de componentes de la leche.

También, hay que destacar que los grupos –SH libres de la  $\beta$ -Lactoglobulina son los responsables del sabor “cocido” de la leche sobretratada térmicamente, por lo que es importante controlar el tratamiento térmico al que es sometido la leche durante el proceso productivo del yogur.

### 3.1.3. Lactosa y su papel en la transformación del yogur

La lactosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) es el hidrato de carbono característico de la leche encontrándose en cantidades en torno a 45-50 gramos/litros. Además de este carbohidrato, también se hallan glucosa, galactosa, N-acetilglucosamina, N-acetilgalactosamina y ácido siálico. La lactosa, es el componente mayoritario de la materia seca de la leche, y es un disacárido formado por la unión a través de un enlace glucosídico de una molécula de  $\alpha$  o  $\beta$  glucosa y otra de  $\beta$  galactosa.

En la leche nativa, el porcentaje de glucosa es superior a la galactosa, mientras que en lactosuero sucede lo contrario. Por otro lado, en los productos lácteos fermentados y en los subproductos –sueros- se pueden localizar cantidades de glucosa y galactosa netamente superiores a la de la leche, consecuencia de que la presencia de las mismas está asociada a la metabolización de la lactosa por las bacterias lácticas.

El grupo aldehído de la galactosa está unido al grupo C-4 de la glucosa mediante un enlace glicosídico, y al formarse el enlace de los dos monosacáridos se desprende una molécula de agua. La fórmula estructural de la lactosa implica la existencia de dos isómeros:  $\alpha$  y  $\beta$  (distinta posición del –OH en el carbono 1 de la glucosa).

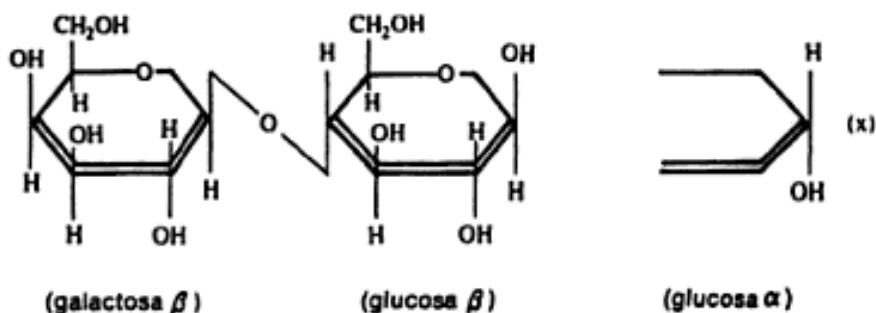


Figura 2. Fórmula estructural de la lactosa. Fuente: Alais, 2003.

Su estructura molecular imparte a la lactosa unas características especiales e importantes: por un lado, es un azúcar reductor puesto que el grupo aldehído de la galactosa está formando el enlace glucosídico y el de la glucosa está libre, y por otro lado, tiene capacidad de mutarrotación, es decir, cuando la lactosa está en disolución se produce la conversión de la lactosa  $\alpha$  en lactosa  $\beta$  y viceversa. Los dos isómeros de la lactosa tienen una solubilidad muy distinta y dependiente de la temperatura, siendo la lactosa  $\alpha$  mucho menos soluble que la lactosa  $\beta$ .

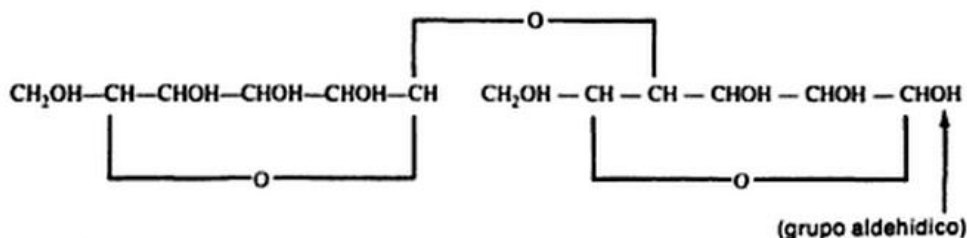


Figura 3. Fórmula plana de la lactosa. Fuente: Alais, 2003.

La lactosa es un azúcar sensible al calor. Entre 110° y 130°C la forma hidratada pierde su agua de cristalización, más allá de 150°C amarillea y hacia los 175°C se oscurece y carameliza. Pero, el oscurecimiento de la leche también aparece al calentar la leche con temperaturas más bajas, debido a la reacción de Maillard, que consiste en la aparición de compuestos oscuros y sabores amargos en la leche sometida a tratamiento térmico relativamente elevados, por la reacción del grupo aldehído libre de la lactosa con un grupo aminado de la lisina (aminoácido constitutivo de las proteínas) con formación de compuestos oscuros llamados melanoidinas. Este problema no es relevante



en la elaboración del yogur ya que la pasterización no alcanza la temperatura necesaria para que tenga lugar dicha reacción.

La lactosa puede ser hidrolizada con formación de los monosacáridos que la constituyen bien por vía química, o bien por vía enzimática:

- Por vía química:

Es bastante difícil ya que presenta una cierta estabilidad frente a los agentes químicos. Se precisa la acción de ácidos en caliente, así su hidrólisis ocurre en presencia de CIH a 90°C.

- Por vía enzimática:

Se lleva a cabo bajo la acción de una enzima, la lactasa, que puede ser de origen animal o microbiano. Se centrará la revisión en la hidrólisis que se lleva a cabo por medio de las bacterias lácticas para la elaboración de yogur.

Así, la lactosa es la principal fuente de energía para la mayor parte de las bacterias ácido-lácticas, y éstas actúan hidrolizándola en galactosa y glucosa. La glucosa es convertida en ácido láctico, mientras que las bacterias *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, no son capaces de metabolizar la galactosa. A medida que estos microorganismos van metabolizando la lactosa y produciendo ácido láctico, el pH de la leche va disminuyendo y tiene lugar la precipitación de la caseína cuando se llega al isoléctrico, teniendo como consecuencia la formación del gel sólido que caracteriza el “yogur”.



## 4. INCUBACIÓN-FERMENTACIÓN

### 4.1. Definición

La incubación es la etapa durante la cual se produce la fermentación láctica de la materia prima envasada, siendo el responsable de este proceso químico el cultivo inoculado y, el fin último perseguido, la formación del gel que determinará las características de acidez, sabor, aroma y consistencia del producto buscado. El desarrollo óptimo del fermento mixto añadido (*Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*) depende de dos factores: la temperatura y el tiempo. Estos factores estimulan la formación de ácido láctico a partir de la metabolización de la lactosa provocando la caída del pH, y dándole así, un efecto conservador al producto, al mismo tiempo que mejora su valor nutritivo y su digestibilidad.

### 4.2. Bacterias ácido-lácticas (BAL)

Las bacterias ácido-lácticas son los microorganismos utilizados en la producción de productos lácteos fermentados, siendo organismos unicelulares procariotas rodeados por una pared celular gruesa. Esta particularidad les otorga una determinada forma, por lo que, en los cultivos estarter del yogur, existen dos tipos: en forma de esfera (coccus) y en forma de bastoncillos (bacillus). La membrana citoplasmática se encuentra debajo de la pared, y es la que permite que pueda entrar la lactosa en el citoplasma para poder ser metabolizada. Además, este tipo de bacterias Gram positivas son anaerobias, debiendo realizarse la fermentación del yogur en ausencia de oxígeno.

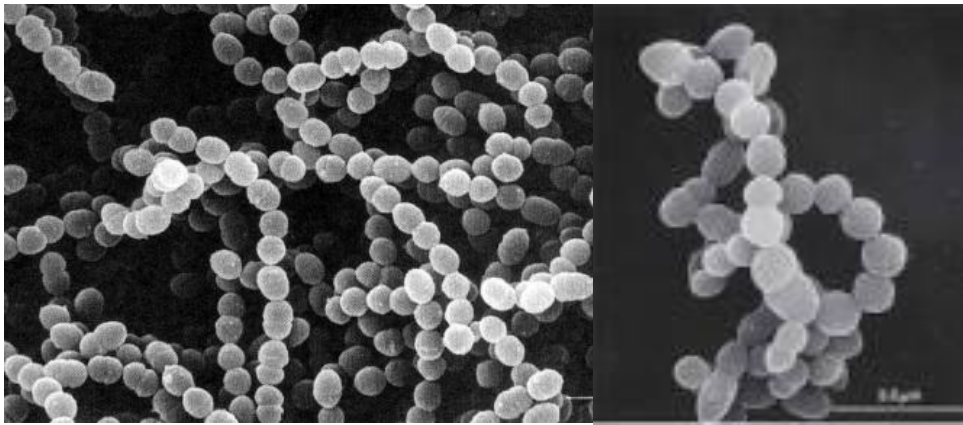
En la elaboración del yogur el cultivo utilizado estará formado por bacterias: termófilas, con una temperatura idónea de crecimiento de 40-45°C; homofermentativas, que hidrolizan las hexosas y producen cuatro moléculas de ácido láctico a partir de lactosa. (Robinson 1987).

#### 4.2.1. Características y parámetros de actuación

El inóculo empleado en la fermentación del yogur estará constituido por la simbiosis de dos géneros de bacterias de diferentes familias, el *Streptococcus* y el *Lactobacillus*, siendo las características más destacables de las dos especies manejadas, las siguientes:

##### ❖ *Streptococcus thermophilus*

Se presenta en forma ovoide o esférica, y puede estar conformando parejas o largas cadenas, según la temperatura de crecimiento y el medio de cultivo.



**Figura 4.** *Streptococcus thermophilus*. Fuente: datuopinion.com 2011.

Como se ha comentado, se trata de un tipo de bacteria homofermentativa, siendo capaz de producir hasta un 1% de ácido láctico L(+) y polisacáridos que forman mucílago, proporcionándole al yogur una mayor viscosidad. Además, en la leche tiene la capacidad de producir ácidos grasos volátiles, entre los que destaca el fórmico, debido a su importancia en el beneficio mutuo que tiene lugar entre los dos tipos de bacterias empleadas. También son importantes para el aroma del yogur las pequeñas cantidades de acetaldehído que generan.

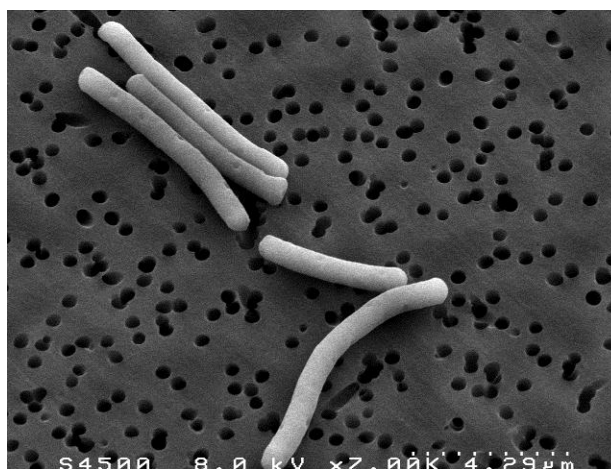
La actividad proteolítica de estas bacterias es muy pequeña en la leche, y los pocos aminoácidos liberados, se consumen durante la fase de crecimiento logarítmica.

Igualmente, estas bacterias son termófilas, por lo que tienen un crecimiento óptimo a 42-45°C, un mínimo a 10°C y un máximo a 50°C.

La *Streptococcus thermophilus* es sensible a multiplicarse en presencia de determinadas sustancias, entre las que destacan los antibióticos, ya que su crecimiento se ve obstaculizado por tan solo 0.01 U.I de penicilina o 5 µm de estreptomina por ml de leche. Además de los antibióticos, su desarrollo puede verse dificultado por la presencia de sal en la leche. Por tanto, no crece cuando existen cantidades de sal entre el 2 y el 4%, dependiendo de la cepa que se trate.

#### ❖ *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*

Tienen forma de bacilos alargados, de punta redondeada, y al igual que el *Streptococcus* pueden estar separados o formando una cadena.



**Figura 5.** *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*. Fuente: Abelado, M. (2011)

De la misma manera, se trata de una bacteria homofermentativa que se caracteriza por producir una gran cantidad de ácido láctico, aproximadamente un 1,7% de ácido láctico D(-). El papel principal en la producción de acetaldehído es atribuido a esta bacteria.

A diferencia de la *Streptococcus thermophilus*, presenta una actividad proteolítica mediana, que es muy importante por la liberación de aminoácidos

libres, siendo éste un factor trascendental en la asociación que se establece entre ellas.

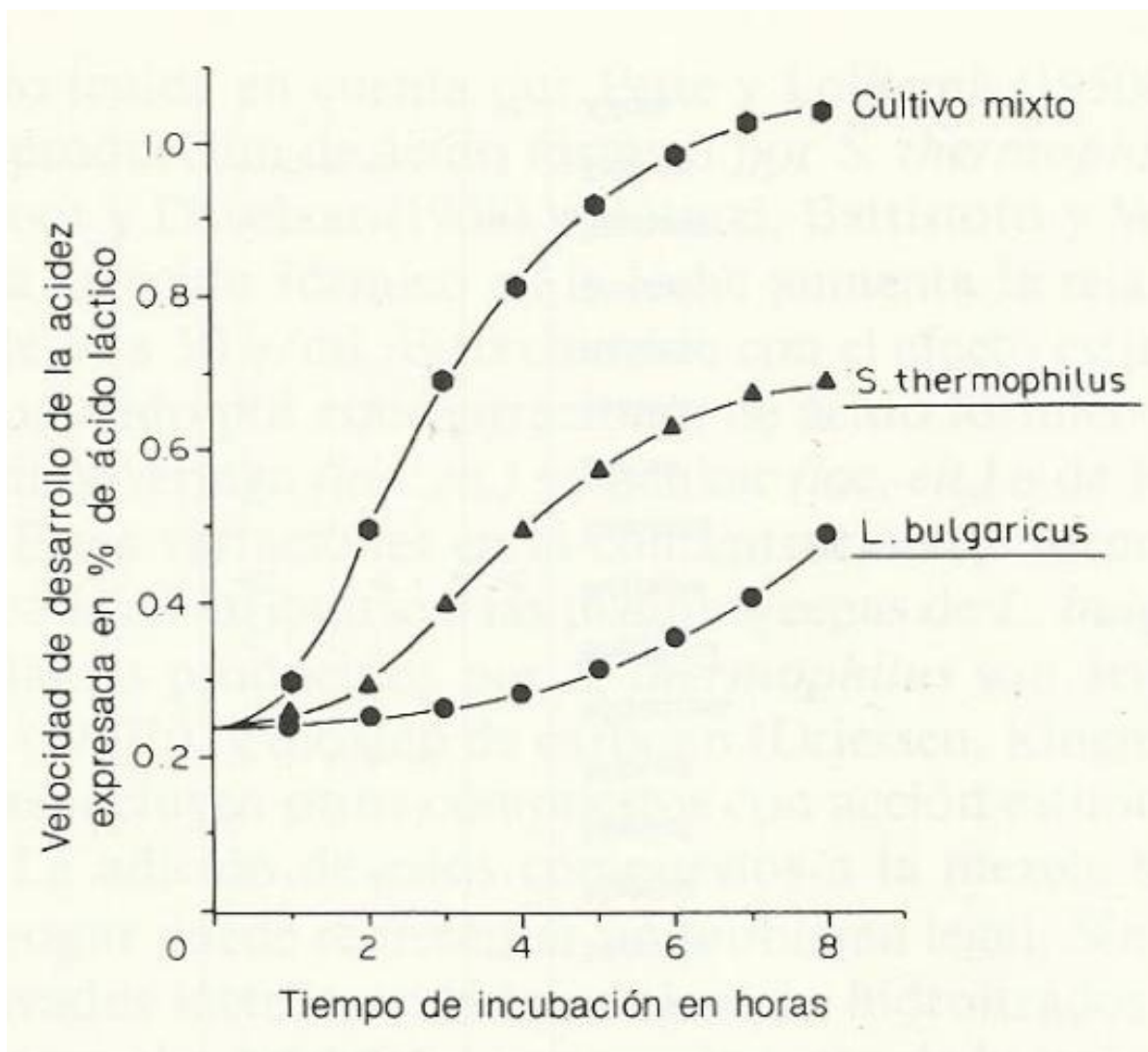
Posee una temperatura de crecimiento óptima más baja que la *S. thermophilus*, siendo de 40-43°C. La mínima a la cual se desarrollan es de 15°C y la máxima de 52°C.

Por otro lado, presenta una mayor resistencia a los antibióticos que *S. thermophilus*, soportando valores de hasta 0.3-0.6 U.I de penicilina. Sin embargo, en el caso de la sensibilidad a la sal, no se desarrolla si en la leche existen cantidades superiores o iguales a un 2%.

#### **4.2.2. Asociación de las especies empleadas en el yogur y efectos de los antibióticos**

Los cultivos iniciadores utilizados en la elaboración del yogur están formados por dos especies, *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, que se desarrollan conjuntamente en la leche. De esta forma, la producción de ácido láctico tiene lugar a una mayor velocidad que si se desarrollan cada una por separado. Esto es debido a que, entre ellas, se establece un fenómeno de mutua estimulación de crecimiento. Este fenómeno se conoce como simbiosis y se produce de la siguiente manera:

*Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus*, debido a su actividad proteolítica moderada, libera a partir de las proteínas lácteas pequeños péptidos y diversos aminoácidos como valina, que estimulan el crecimiento de *Streptococcus thermophilus*. A su vez, esta bacteria produce ácido fórmico a partir de ácido pirúvico durante el metabolismo de la lactosa y dióxido de carbono a partir de la urea presente en la leche. Ambos metabolitos estimulan el desarrollo del lactobacilo. De este modo, cuando estas dos bacterias colaboran una con la otra durante el crecimiento en la leche, se produce una cantidad mayor de ácido láctico en un periodo de tiempo más corto, que si ambos microorganismos se cultivasen individualmente. (López y Madrid, 2003)

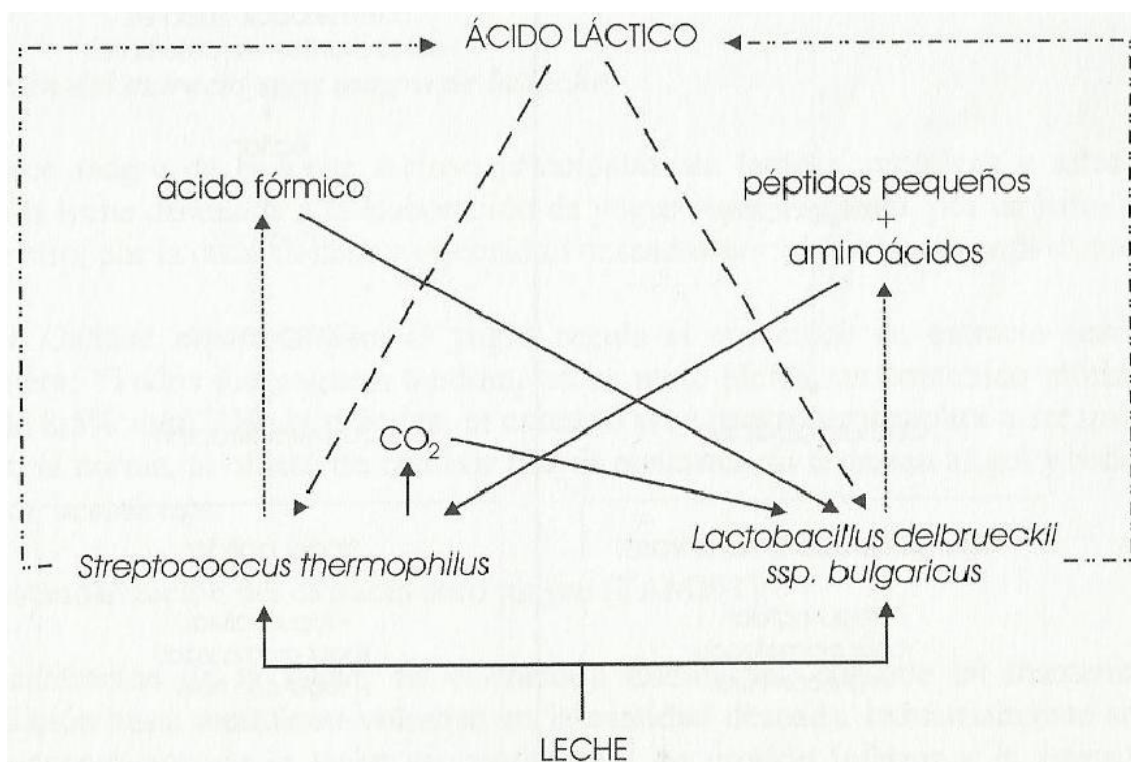


**Gráfico 13.** Comportamiento de cepas puras y mixtas de cultivos de yogur. **Fuente:** Tamine y Robinson, 1991.

Además de la valina, *St. thermophilus*, se ha investigado que necesita otros aminoácidos para su óptimo desarrollo en la leche. Los investigadores Pette y Lolkema en 1950 postularon que, debido a las variaciones de la composición química de la leche durante las distintas épocas del año producidas porque la alimentación del ganado era diferente de una a otra, existía déficit de algunos aminoácidos. De esta manera, en primavera requería: leucina, lisina, cisteína, ácido aspártico, histidina y valina, mientras que durante el otoño e invierno los aminoácidos requeridos son: glicina, isoleucina, tirosina, ácido glutámico y metionina, además de los seis nombrados anteriormente. Posteriormente, se confirmó la necesidad de todos estos aminoácidos para el

correcto desarrollo del *St. thermophilus*, destacándose que el principal aminoácido para su crecimiento es la valina.

La cantidad de *St. thermophilus* y *L. Bulgaricus* dependerá de las cepas con la que se está trabajando pero normalmente es de 1:1, pero esto durante la fermentación, va variando. Por tanto, inicialmente los estreptococos crecen más rápido debido a que los lactobacilos sintetizan los aminoácidos que necesitan para desarrollarse, además que estos factores de crecimiento pueden ser añadidos con el inóculo. De forma paralela, los lactobacilos se ven estimulados por los factores de crecimiento ( $\text{CO}_2$  y ácido fórmico) producidos por los estreptococos, y comienzan a crecer más rápido. Una vez se vuelve a establecerse la proporción inicial, el yogur debería de haber alcanzado la acidez deseable. Además, nunca se ha de permitir que los bacilos tengan una proporción superior en el ratio cocos/bacilos, ya que el sabor sería entonces demasiado ácido.



**Gráfico 14.** Factores que determinan el crecimiento simbiótico de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*. Fuente: Walstra et al., 2001.



Debido a que las dos bacterias tienen una temperatura óptima de crecimiento diferente, De Tamine en 1977, investigó qué cantidad de bacterias se formaban a distintas temperaturas. A una temperatura de 42°C el recuento de bacterias entre las dos cepas era mayor. Por tanto, la temperatura óptima de inoculación (y también de incubación) en la elaboración de yogur es de 42°C para conseguir un ratio de cocos/bacilos 1:1, con una dosis de inoculación del 2 al 3% y un tiempo de incubación aproximado de 4 horas.

Es imprescindible controlar las condiciones de la fermentación durante la incubación, ya que cualquier alteración provoca un cambio entre los bacilos y los cocos. Por un lado, si el tiempo de incubación es insuficiente, la acidificación será menor y habrá un aumento relativo de estreptococos, mientras que los tiempos largos provocarán todo lo contrario, desequilibrando la población de bacterias a favor de los lactobacilos. Por otro lado, si aumentamos la cantidad de inóculo, la acidificación se producirá más rápido, alcanzándose antes el nivel de acidez que detiene el crecimiento de los estreptococos, aumentando el número de lactobacilos. Además, si el porcentaje de inóculo es menor, el equilibrio se desplazará a favor de los estreptococos.

Por último, es significativo destacar que el principal efecto de la presencia de residuos de antibióticos en la leche destinada a la elaboración de yogur, es la desaparición de la asociación simbiótica entre *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* o un enlentecimiento de la producción de ácido láctico, o lo que es lo mismo, la necesidad de un tiempo superior para el proceso de elaboración, lo que a su vez puede dar lugar a la sinéresis o desuerado.

#### **4.3. Influencias de las bacterias lácticas en la modificación de la lactosa.**

Según Romero y Mestres (2004), el metabolismo de la lactosa implica el transporte del azúcar hasta el interior de las células bacterianas y su hidrólisis posterior. Por tanto, las fases que tienen lugar son las siguientes:

Primero, se produce la captación de la lactosa por la célula bacteriana y la formación de monofosfatos de hexosas. Durante el crecimiento de las

bacterias en la leche, la lactosa debe ser transportada a través de la membrana celular. Existen para ello varios posibles mecanismos:

a) El sistema fosfoenol-piruvato fosfotransferasa dependiente (PEP/PTS):

La lactosa es transformada en lactosa-P y, de esta manera, es transportada al interior de la célula, allí una fosfo- $\beta$ -galactosidasa (P- $\beta$ -gal) hidroliza la lactosa-P en glucosa y galactosa-6-P, después la glucosa pasa a glucosa 6-P, y ambos azúcares son metabolizados posteriormente.

b) El sistema permeasa ATP-dependiente:

La lactosa es transportada directamente a través de la membrana e hidrolizada en glucosa y galactosa por una  $\beta$ -galactosidasa ( $\beta$ -gal o lactasa). La glucosa es, a su vez, convertida en glucosa 6-P. Las bacterias fermentadoras de galactosa forman también glucosa-6P a partir de la galactosa por la ruta de Leloir.

En general, las bacterias lácticas tienen ambos mecanismos de transporte, pero la importancia relativa de cada uno de ellos es muy variable. En este estudio, se utilizarán bacterias homofermentativas térmofilas, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, las cuales emplearán el mecanismo de la permeasa, y no poseen las enzimas de la ruta de Leloir. Por lo tanto, la galactosa no se hidroliza, siendo excretada o transformada en polisacáridos, contribuyendo de esta forma a la textura cremosa del yogur.

El metabolismo que tiene lugar posteriormente es la fermentación, teniendo rutas diferentes dependiendo de si las bacterias son homofermentativas o heterofermentativas. En cada una de las vías suceden reacciones constitutivas que están catalizadas por diversas enzimas. La energía liberada por la transformación de las moléculas más complejas en otras más sencillas, se transforma en ATP, que es la energía que utiliza las bacterias para desarrollarse en la leche.

En definitiva, las bacterias realizarán una fermentación láctica homofermentativa, en la que la glucosa se metaboliza por la vía glicolítica o ruta de Embden-Meyerhof y la galactosa-6P entra por la ruta de la tagatosa. Las principales enzimas en el proceso de fermentación son:

- a. Aldolasas responsables del paso de las hexosas difosfato a gliceraldehido-3P.
- b. Piruvato kinasa (PK), esencial para la formación del piruvato.
- c. Lactato deshidrogenasa (LDH), que cataliza el paso de piruvato a ácido láctico.

La actividad de las diferentes enzimas que intervienen en las vías metabólicas y la formación de los metabolitos correspondientes, regulan la captación de lactosa por parte de la bacteria hasta que la acidez desarrollada frena la multiplicación de las bacterias lácticas.

El metabolismo homofermentativo se puede resumir en la siguiente reacción:



De esta forma, a medida que las bacterias lácticas van formando ácido láctico, el pH disminuye, y se comienzan a desestabilizar los complejos de caseína-proteínas del lactosuero desnaturalizadas por solubilización del fosfato cálcico y de los citratos. De este modo, los agregados de micelas de caseína y/o las micelas aisladas se van asociando parcialmente a medida que el pH se aproxima a su punto isoeléctrico (pH=4,6), formando un gel compacto que es el yogur.



5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL YOGUR

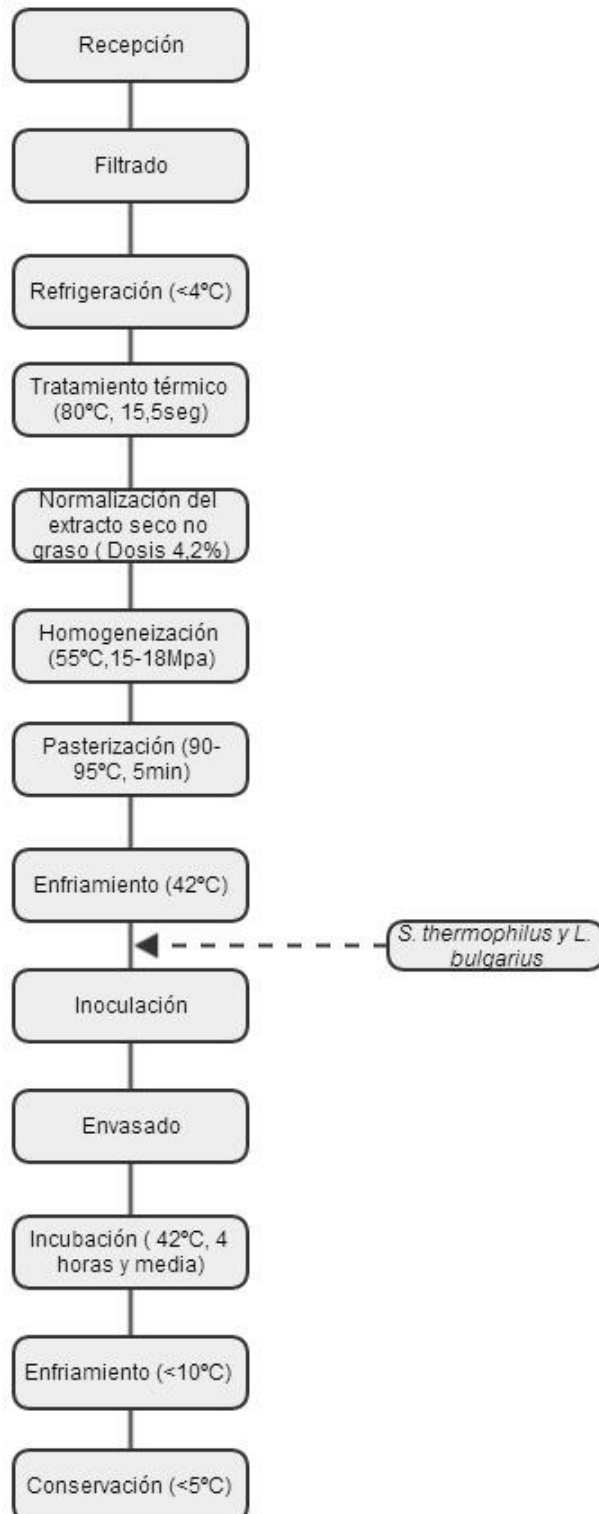


Figura 6. Etapas de fabricación de yogur.

### **Recepción de la leche**

La leche recibida en la industria debe tener unas características higiénicas excelentes y, para comprobarlo, se realiza un control de calidad con distintas pruebas que darán unos resultados, en función de los cuales se aceptará o rechazará.

### **Filtrado**

Se llevará a cabo un filtrado para evitar la entrada de partículas gruesas al proceso.

### **Refrigeración**

La leche llega a la industria en cántaras o en camiones cisternas, e independientemente del sistema, durante el transporte es inevitable un ligero incremento de la temperatura por encima de +4°C. Por ello, hay que enfriar la leche por debajo de la misma con un refrigerador, antes de almacenarse en los silos.

### **Tratamiento térmico**

Antes de la estandarización del extracto seco no graso, la leche se somete a una pasterización de 80°C durante 15,5 segundos.

### **Estandarización**

La materia seca se normalizará mediante la adición de leche en polvo desnatada. La dosis utilizada del extracto seco no graso será de 4.2%.

Para llevar a cabo esta fase, se empleará un tanque de enriquecimiento, que cuenta con un mezclador tipo “anchorage”, conectado con una tolva, a través de la cual se añadirá la cantidad de leche desnatada. Ambos elementos

forman un sistema en la que se produce la recirculación de la leche, para que la leche en polvo y la leche líquida formen un producto homogéneo.

### **Homogeneización**

Este proceso provoca la rotura de los glóbulos grasos transformándolos en otros de diámetros más pequeños, disminuyéndose así la tendencia a la separación de la nata.

Una vez la leche ya está estandarizada, pasa al intercambiador de calor de placas donde se precalienta a unos 55°C para poder ser homogeneizada,) haciéndose pasar forzosamente a través de un pequeño orificio a una presión aproximadamente de 15-18 Mpa.

### **Pasterización**

El proceso térmico aplicado es una pasterización para la eliminación de toda la flora patógena. De esta forma se facilita el crecimiento de las bacterias que posteriormente se inocularán para fermentar la leche.

De forma que en el intercambiador de calor la leche es calentada a unos 90-95°C. A continuación, pasa a una sección de mantenimiento dimensionada para un tiempo de residencia de 5 minutos, donde la leche irá cogiendo viscosidad.

### **Enfriamiento**

La leche es enfriada después de ser pasteurizada, haciéndola pasar de nuevo por el intercambiador de placas, saliendo de él a una temperatura aproximada de 42°C.

## Inoculación

La leche se envía al tanque intermedio, que previamente ha sido esterilizado con vapor a 90°C y, al mismo tiempo, se calienta la camisa de agua que está en las paredes del tanque a una temperatura aproximada de 42°C, siendo la óptima para la siembra del cultivo.

En el tanque se hace una siembra directa con un cultivo liofilado formado por las bacterias *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. Dicho cultivo viene en sobres preparados para la inoculación de 1.000 litros de leche.

Se utiliza un cultivo estárter mixto, ya que se produce una simbiosis entre las dos bacterias, es decir, la *Streptococcus thermophilus* es capaz de producir ácido fórmico que necesita la *L. bulgaricus*, y ésta tiene la capacidad de hacer los péptidos más pequeños, lo que resulta beneficioso para la *S. thermophilus*. Todo esto provoca una mayor formación de ácido láctico, y la consecuente acidificación del pH.

## Envasado

La leche cuando ya ha sido inoculada es envasada. Para ello, se utilizará una envasadora que realiza tres funciones:

- Forma los envases a partir de una lámina de material termoplástico (propileno).
- Llenado de los recipientes.
- Cierre por termosellado.

La capacidad de los yogures será de 125 gramos cada uno y formarán packs de 4.

El Real Decreto 271/2014, de 11 de Abril, por el que se aprueba la Norma de Calidad para el yogur o yoghurt, afianza los requisitos de etiquetado, al eliminar los apartados sobre la fecha de caducidad del yogur, así como el límite



de venta de veintiocho días desde su fecha de fabricación, exigidos anteriormente en la norma de 2003.

De esta forma, el etiquetado de fechas del yogur, como ocurre con la generalidad de los productos alimenticios, se rige por la normativa horizontal europea sobre higiene de los alimentos y, de acuerdo con la misma, son las industrias alimentarias quienes deben determinar la fecha preferente de consumo.

### **Incubación**

Los yogures envasados son llevados por medio de carretillas elevadoras en cajas con grandes alveolos a la cámara de incubación, la cual se encuentra a una temperatura de 42°C, donde permanecerán cuatro horas y media aproximadamente, hasta que alcancen un pH cerca de 4,7, ya que hasta que el yogur tenga una temperatura inferior a 20°C seguirá produciendo ácido láctico, por lo que durante el enfriamiento adquiere el pH óptimo de 4,6.

Las cajas en las cual se transporta los yogures tienen que ser lo más abiertas posible, y tener pocos obstáculos, para que el aire caliente pueda llegar a cada envase individual.

### **Enfriamiento**

El yogur con pH 4,7 se deben enfriar por debajo de 10°C para evitar que las bacterias sigan metabolizando lactosa y produciendo ácido láctico, dando lugar a un producto no apto para la comercialización por su bajo pH. Por ello, en la zona de enfriamiento se realiza una refrigeración a 20°C que se alcanza después de horas.

### **Conservación**

El enfriamiento final, normalmente hasta menos de 5°C, tiene lugar en la cámara de almacenamiento refrigerado, donde se mantienen los productos en espera en la distribución.



## 6. DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO PARA LA FABRICACIÓN DE YOGUR

### **Recepción**

En esta zona se recibe la leche en camiones cisternas o en cántaras. Se toma una muestra para ser analizada en el laboratorio y comprobar su calidad.

La primera operación que se realiza es el filtrado para evitar la entrada de partículas gruesas que puedan provocar daños en la maquinaria o afectar a la calidad del yogurt.

Antes de que la leche llegue a los tanques de almacenamiento, pasa por un refrigerador para disminuir su temperatura por debajo de 4°C.

En este sector se encuentra el refrigerador y el tanque de almacenamiento.

### **Zona de elaboración**

Una vez se ha comprobado que la leche tiene unas características higiénicas y de calidad apta, se lleva al área de procesado.

Del tanque de almacenamiento va al pasteurizador donde es precalentada a 80°C. Seguidamente, pasa a un tanque de mezcla con el que, conectado a una tolva, se adiciona la leche en polvo para la normalización del extracto seco no graso. De esta manera, ambos elementos se encuentran conectados formando un circuito para la recirculación de la leche. La tolva se encuentra en un cuarto separado del resto de la zona de elaboración para que el higiene a la hora de añadir la leche en polvo sea la máxima posible.

Estandarizada la leche, se calienta a unos 55°C en el intercambiador de calor, y se conduce al homogeneizador, en el cual se hace pasar a través de un pequeño orificio a una presión aproximada de 15-18MPa.

A continuación, se produce la pasteurización a uno 90-95°C durante 5 minutos. Después, se enfría a 42°C, siendo la temperatura de inoculación, y

pasa al tanque de mezcla. En dicho tanque se lleva a cabo la inoculación con el cultivo industrial. Por último, la leche llega a la envasadora.

Por lo tanto, en esta área de la industria encontramos el intercambiador de calor de placas, la sección de mantenimiento, el homogeneizador, dos tanques de mezcla y la envasadora. Dentro de la misma zona de la elaboración, se sitúa en un cuarto la tolva de adición de la leche en polvo.

### **Cámara de incubación**

Una vez llenos, los envases son colocados en bandejas y éstas, a su vez, se van poniendo en un carro, en el cual quedan a una cierta distancia unas de otras para que el aire caliente de la cámara de incubación pueda llegar a cada envase individual.

Los carros se van llevando a la cámara dónde se mantendrá una temperatura de 42°C durante 4 horas y media.

### **Zona de enfriamiento**

Pasado este tiempo, el yogur ya tiene una determinada consistencia y un pH de 4,7, por lo que tiene que ser enfriado por debajo de 10°C para evitar que las bacterias sigan metabolizando lactosa y disminuyendo el pH. Para ello, los carros con las bandejas son transportados a esta zona, dónde alcanzarán una temperatura de 18-20°C, relativamente en poco tiempo.

### **Cámara de conservación**

En esta zona, tendrá lugar el enfriamiento final y la conservación de los yogures a temperaturas por debajo de los 5°C, a la espera de su distribución.

### **Zona de expedición**

En ésta área se preparan los diferentes pedidos y se mantienen a la espera de su recogida.

### **Almacén**

Sirve para el almacenamiento de todos los materiales necesarios para la elaboración del yogurt, tantos los de embalaje como los que intervienen en el proceso productivo.

### **Laboratorio**

Se realizarán todas las pruebas necesarias para determinar la calidad higiénica de la leche que se recibe. También, se harán pruebas tanto del producto dentro de las distintas fases que tienen lugar en la zona de elaboración, como del yogurt terminado.

### **Servicios**

Habrá un baño para hombres y otro para mujeres, donde todos los trabajadores podrán mantener su higiene.



## 7. ANÁLISIS DE PELIGRO Y PUNTOS DE CONTROL CRÍTICOS

### 7.1. Introducción

La calidad es uno de los factores más importantes y básicos para obtener un producto apto para poder ser comercializado. Por tanto, cualquier industria tiene como normal general que en los proceso de fabricación se trate de obtener un producto de máxima calidad, uniforme y que se mantenga homogéneo en todas las partidas a lo largo del tiempo.

Los productos alimenticios tendrán más o menos calidad para el consumidor en función de las cualidades percibidas por los sentidos: sabor, olor, color, textura, forma y experiencia, así como las higiénicas y químicas.

De este modo, para elaborar productos alimenticios, se debe realizar un análisis de los puntos críticos de las diferentes fases de la elaboración, el cual garantizará un producto elaborado correctamente y con las normas de higiene adecuada.

Según Rodríguez et al.(2006),el Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC), conocido internacionalmente por sus siglas inglesas HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), fueron los pioneros del mismo la compañía Pillsbury junto con la NASA y laboratorios de la Armada de los Estados Unidos, desarrollando un programa para la producción de alimentos inocuos para el programa espacial americano.

En las industrias para generalizar la implantación de este sistema ha comenzado a exigirse el cumplimiento de una determinada legislación. De esta forma, el Reglamento 852/2004 derogó expresamente la Directiva 93/43/CEE del consejo, de 14 de junio de 1993, relativa a la higiene de los productos alimenticios, en la cual se impone la obligación de disponer de sistemas de autocontrol basados en el APPCC no sólo a toda la industria de elaboración o transformación de la Unión Europea, sino también a las empresas de distribución (mayoristas y minoristas), restauración, etc. La legislación Española viene determinada por el R.D. 640/2006, de 26 de Mayo, por el que

se regulan determinadas condiciones de aplicación de las disposiciones comunitarias en materia de higiene, de la producción y comercialización de los productos alimenticios.

Por tanto, el objetivo del sistema HACCP es identificar los peligros relacionados con la seguridad del consumidor que puedan ocurrir en la cadena alimentaria, estableciendo los procesos de control para garantizar la inocuidad del producto. La APPCC se aplica de forma eficaz tanto para problemas microbiológicos como de otro tipo, como pueden ser físicos, químicos, biológicos, etc., por lo que es una herramienta muy útil en el control de la calidad en general. El Comité del Codex Alimentarius, desde 1986, recomienda a las empresas alimenticias la aplicación de los sistemas de autocontrol basados en la metodología APPCC.


Un aspecto muy importante del sistema es que centra todos sus esfuerzos en intentar paliar los primeros defectos o fallos más destacables (aquellos que son causa de alteración de los alimentos y de enfermedades del consumidor) dejando en un segundo plano aquellos aspectos que tienen que ver más con los accesorios o lo estético.

## **7.2. Fundamentos del sistema de APPCC**

Es un sistema preventivo de control de los alimentos que intenta garantizar la seguridad de los mismos, identificando los peligros especificados que pueden generarse en cada una de las fases desde la producción al consumo de dicho alimento y definiendo las medidas preventivas para su control.

### **7.2.1. Principios generales de los sistemas APPCC**

El sistema APPCC está basado en siete principios que se enuncian a continuación de modo esquemático y secuencial:

 **Principio 1:** Realizar un análisis de peligros e identificar las medidas preventivas respectivas. Se distinguen los peligros potenciales (físicos, químicos y biológicos) asociados con la producción del alimento en sí, desde



el principio hasta el final, evaluando la posibilidad que se produzca este hecho, y especificando las medidas preventivas para su control.

✚ **Principio 2:** Determinar los Puntos Críticos de Control (PCC). Para realizar la determinación de los PCC, se deben tener en cuenta la probabilidad, severidad y persistencia de actuación para cada riesgo.

✚ **Principio 3:** Establecer límites críticos. Se deben fijar para cada PCC los límites críticos de las medidas de control, que indicarán la diferencia entre lo seguro y lo que no lo es. Cuando un valor aparece fuera de los límites el proceso está fuera de control, por lo que puede resultar peligroso para el consumidor.

✚ **Principio 4:** Instaurar un sistema de control para monitorear cada uno de los PCC.

✚ **Principio 5:** Asentamiento de las medidas correctoras que deberán llevarse a cabo cuando un PCC sobrepase el límite de aceptación o el límite crítico.

✚ **Principio 6:** Instalación de un sistema de verificación para confirmar que el sistema APPCC función de forma correcta.

✚ **Principio 7:** Implantar documentación para todos los procedimientos y registros apropiados a esos principios y su aplicación.

### 7.2.2. Fases de implantación del sistema APPCC

Para implantar el sistema APPCC es necesario aplicar los siete principios anteriormente citados siguiendo una secuencia lógica de 12 etapas.

#### 1. Selección del equipo de trabajo APPCC y definición del ámbito de aplicación:

El equipo de trabajo debe ser multidisciplinar, y tener conocimiento y experiencia del producto en cuestión para la formulación de un plan del sistema APPCC. El equipo comprenderá:

- Un jefe de equipo que convoque el grupo y dirija sus actividades asegurándose de que se aplica correctamente el concepto. Esta persona debe conocer la técnica, ser un buen oyente y permitir la contribución de todos los participantes.

- Un especialista con amplios conocimientos del sistema del producto. Este especialista desempeñará una función primordial en la elaboración de los diagramas de flujo del producto.
- Diversos especialistas, cada uno de los cuales conozca determinados peligros y los riesgos que lo acompañan; por ejemplo, un microbiólogo, un químico, un micotoxicólogo, un toxicólogo, un responsable del control de la calidad.
- Pueden incorporarse al equipo de forma temporal, para que proporcionen los conocimientos pertinentes, personas que intervienen en el proceso y lo conocen de forma práctica, como especialistas de envasado, compradores de materias primas y personal de distribución o de producción.
- Un secretario técnico deberá dejar constancia de los procesos del equipo y los resultados del análisis.

Si se produce alguna modificación de la composición o de los procedimientos operativos, el plan de APPCC deberá evaluarse de nuevo teniendo en cuenta los cambios realizados.

La primera actividad que deberá realizar el equipo es indicar el ámbito de aplicación del estudio. Por ejemplo, deberá determinar si se abarcará la totalidad del sistema del producto o sólo algunos componentes seleccionados.

**2. Descripción del producto:** Debe realizarse una descripción completa del producto, incluidas las especificaciones del cliente, utilizando un formulario como el siguiente:

Tabla 12. Ejemplo formulario.

<b>Nombre producto</b>	
<b>Ingredientes</b>	
<b>Especificaciones del cliente</b>	
<b>Condiciones de almacenamiento y distribución</b>	
<b>Vida útil</b>	
<b>Envasado y formatos</b>	

<b>Instrucciones en la etiqueta</b>	
<b>Consumidores previstos</b>	
<b>Recomendaciones con respecto a la elaboración ulterior necesaria antes del consumo</b>	
<b>Uso al que se destina el producto</b>	

La descripción deberá incluir información pertinente para la inocuidad, composición, propiedades físicas y químicas de las materias primas y del producto final, el pH, etc. También deberá tenerse en cuenta la información sobre como deberá envasarse, almacenarse y transportarse el producto, así como datos sobre su vida útil y las temperaturas recomendadas para el almacenamiento. Cuando proceda, deberá incluirse información sobre el etiquetado y un ejemplo de la etiqueta. Esta información ayudará al equipo de APPCC a identificar los peligros reales que acompañan al proceso.

**3. Identificar el uso esperado del producto:** Es preciso definir el uso probable por parte del consumidor y/o grupos a los que se dirige el producto.

**4. Elaborar el diagrama de flujo del producto:** El diagrama de flujo deberá ser elaborado por el equipo de trabajo. Describirá todas las fases del proceso incluidas en el ámbito de aplicación definido anteriormente.

**5. Verificación “in situ” del diagrama de flujo:** Aquí se verifica si lo realizado en el diagrama de flujo, corresponde con lo realizado en la empresa, de otro modo se deberá rectificar en el momento.

**6. Identificar y analizar el peligro o peligros (Principio 1):** Para asegurar el éxito de un plan APPCC es fundamental identificar y analizar los peligros de

manera satisfactoria. Deberán tenerse en cuenta todos los peligros efectivos o potenciales que puedan darse en cada uno de los ingredientes y en cada una de las fases del proceso productivo. En los programas APPCC, los peligros para la inocuidad de los alimentos se han clasificado en los tres tipos siguientes:

- Biológicos: pueden estar presentes en la leche en origen (animales enfermos o portadores, contaminación durante el ordeño...) o incorporarse en la industria por contaminación cruzadas. Los más frecuentes son *Salmonella spp*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*. También se pueden encontrar algunos mohos.
- Químicos: residuos de medicamentos administrados a los animales (antibióticos), contaminantes ambientales como dioxinas, restos de detergentes o desinfectantes, aditivos no autorizados o en dosis excesivas, etc.
- Físico: contaminantes, como trozos de vidrio, fragmentos metálicos, insectos o piedras.

Se llama riesgo a la probabilidad de que se produzca un peligro. El riesgo puede tener un valor de cero a uno, según el grado de certeza en cuanto a si se producirá o no el peligro. Tras la identificación del peligro, éste deberá analizarse para comprender el riesgo relativo que supone para la salud de las personas o animales. Se trata de una forma de organizar y analizar la información científica disponible acerca de la naturaleza y magnitud del riesgo que ese peligro representa para la salud. Puede ser necesario evaluar el riesgo de forma subjetiva y clasificarlo simplemente como bajo, medio o alto. Únicamente se trasladan a la Etapa 7, aquellos peligros que en opinión del equipo de APPCC presenta un riesgo inaceptable de que se produzcan.

Una vez que se ha identificado un peligro para la inocuidad de los alimentos, deberá estudiarse las medidas de control pertinentes. Estas medidas consisten en cualquier acción o actividad que pueda utilizarse para controlar el peligro identificado, e manera que se prevenga, se eliminen o se reduzca a un nivel aceptable.

**7. Determinar los puntos críticos de control (Principio 2):** Deberán recorrerse una por una todas las etapas del diagrama de flujo del producto, dentro del ámbito de aplicación del estudio de APPCC, analizando la importancia de cada uno de los peligros identificados. También es importante en esta fase recordar el ámbito de aplicación declarado del análisis del sistema APPCC. El equipo deberá determinar si se puede producir peligro en esta fase y, en caso afirmativo, si existen medidas de control. Si el peligro puede controlarse adecuadamente (y no es preferible realizar ese control en otra fase) y es esencial para la inocuidad de los alimentos, entonces esta fase es un PCC para dicho peligro. Puede utilizarse un árbol de decisiones para determinar los PCC. Los principales factores para establecer un PCC son el buen juicio del equipo de APPCC, su experiencia y su conocimiento del proceso.

Si se identifica una fase en la que existe un peligro para la inocuidad de los alimentos, pero no pueden establecerse medidas de control adecuadas, ya sea en esa fase o más adelante, el producto no es apto para el consumo humano. Deberá suspenderse la producción hasta que se dispongan medidas de control y pueda introducirse un PCC.

**8. Establecer límites críticos para cada PCC (Principio 3):** Deberán especificarse y validarse los diferentes límites críticos para cada PCC. Entre los criterios aplicados suelen figurar las mediciones de temperatura, tiempo, contenido de humedad, pH, actividad de agua y parámetros sensoriales. Todos los límites críticos, y las correspondientes tolerancias admisibles, deberán documentarse en la hoja de trabajo del Plan APPCC e incluirse como especificaciones en los procedimientos operativos y las instrucciones.

**9. Establecer un procedimiento de vigilancia (Principio 4):** La vigilancia es el mecanismo utilizado para confirmar que se cumplen los límites críticos en cada PCC. El método de vigilancia elegido deberá ser sensible y producir resultados con rapidez, de manera que los operarios capacitados puedan detectar cualquier pérdida de control en cada operación. Esto es imprescindible

para poder adoptar cuanto antes una medida correctiva, de manera que se prevenga o se reduzca al mínimo la pérdida de producto.

La vigilancia puede realizarse mediante observaciones o mediciones de muestras tomadas de conformidad con un plan de muestreo basado en principio estadístico. La vigilancia mediante observaciones es simple pero proporciona resultados rápidos y permite actuar con rapidez.

**10. Establecer medidas correctoras (Principio 5):** Si la vigilancia determina que los límites críticos han sido superados, y que por tanto, el proceso está fuera de control, deberán adoptarse de inmediato medidas correctoras. Estas medidas deberán tener en cuenta la situación más desfavorable posible, pero también deberán basarse en la evaluación de los peligros, los riesgos y la gravedad, así como en el uso final del producto. Los operarios encargados de vigilar los PCC deberán conocer las medidas correctoras y haber recibido una formación adecuada sobre cuál es el mejor modo de aplicarlas.

Las medidas correctoras deberán asegurar que el PCC vuelve a estar bajo control, al mismo tiempo que pueden contemplar la eliminación adecuada de las materias primas o productos intermedios y/o finales afectados. Siempre que sea posible, deberá incluirse un sistema de alarma que se activará cuando la vigilancia indique que se está llegando al límite crítico. Podrán aplicarse entonces medidas correctoras para prevenir una desviación y prevenir así la necesidad de eliminar el producto.

**11. Verificar el plan de APPCC (Principio 6):** Una vez elaborado el plan APPCC y validados todos los PCC, deberá verificarse el plan en su totalidad. Cuando el plan esté aplicándose normalmente, deberá verificarse y examinarse de forma periódica. Se podrá así determinar la idoneidad de los PCC y las medidas de control y verificar la amplitud y eficacia de la vigilancia.

Para confirmar que el plan está bajo control y que el producto cumple las especificaciones de los clientes, podrán utilizarse pruebas microbiológicas, químicas o de ambos tipos. Una auditoría interna del sistema demostrará también el empeño constante por parte de la empresa en mantener actualizado el plan de APPCC, además de constituir una actividad esencial de verificación.

Para comprobar que el sistema funciona de forma correcta disponemos de los siguientes métodos:

- Tomando muestras para analizarlas mediante un método distinto del utilizado en la vigilancia.
- Interrogando al personal, especialmente a los encargados de vigilar los PCC.
- Observando las operaciones de los PCC
- Encargando una auditoría oficial a una persona independiente.

**12. Mantener registros (Principio 7):** El mantenimiento de registros es una parte esencial del proceso de APPCC, ya que con ello se demuestra que se han seguidos los procedimientos estipulados en el plan, desde el comienzo hasta el final del proceso. Deja constancia del cumplimiento de los límites críticos fijados y pueden utilizarse para identificar aspectos problemáticos.

### 7.3. Aplicación del sistema APPC al proceso

#### 7.3.1. Descripción del producto

La **leche** es el producto a partir del cual se obtiene el yogur. Y se entiende como leche al producto natural íntegro obtenido el ordeño de vacas sanas, que además debe cumplir con las siguientes características:

- ◆ Limpia y libre de impurezas
- ◆ Exenta de calostros, antibióticos, conservantes, etc., que puedan influir negativamente en la fabricación, calidad y estado sanitario del yogur.

- ◆ De acuerdo a la definición la leche no procederá de vacas que presentan trastorno visible del estado general de salud y, ni de las que padezcan enfermedades del aparato genital con flujo, inflamaciones perceptibles de la ubre, etc. En definitiva debe cumplir las siguientes normas:
  - Contenido en gérmenes a 30°C ≤ 100.000 gérmenes/ml.
  - Contenido en células somáticas ≤ 400.000 células/ml.

El **yogur** es el producto lácteo pasteurizado obtenido por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* a partir de leche entera y enriquecida con leche en polvo. Los microorganismos vivos presentes en el producto final deber ser de los tipos antes comentados y su concentración de por lo menos de 10<sup>7</sup>/g. Además debe contener un mínimo de 0,6 % de ácido láctico.

### 7.3.2. Análisis de peligro

A continuación se analizarán los principales peligros que se pueden presentar en el proceso objeto del proyecto:

- ◆ Infección por microorganismos.
- ◆ Contaminación por residuos de origen químico o físico.

La contaminación por microorganismos tanto insustanciales como patógenos, o sus toxinas, es la más preocupante no sólo porque alteran los caracteres organolépticos y hagan el producto rechazable, sino también existe el riesgo para la salud del consumidor. Las materias primas contienen, ya de por sí, microorganismos existiendo la posibilidad de infectarse durante su manipulación y conservación.

Existen factores o puntos críticos relacionados con la higiene que contribuyen en la aparición de las alteraciones organolépticas y de las toxiinfecciones alimentarias:



- Falta de higiene.
- Leche en mal estado.
- Peligro de contaminaciones cruzadas.
- La falta de cuidado en el control y almacenamiento de productos tóxicos como la lejía.

3.3. Diagrama de flujo en la elaboración de yogur firme

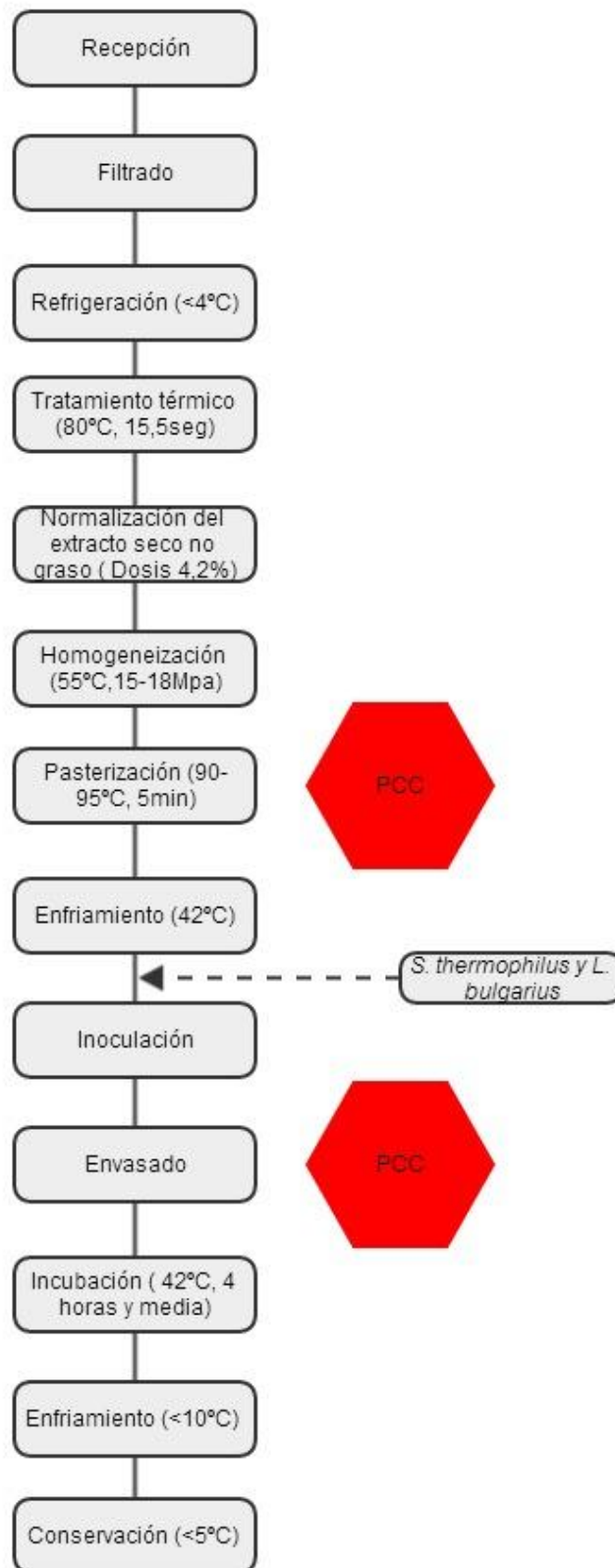


Figura 7. APPCC en etapas de elaboración del yogur.

#### **7.3.4. Cuadros de gestión de APPCC**

Una vez elaborado el diagrama de flujo, se ha estudiado cada operación del proceso, analizando sus posibles peligros y siendo estos el resultado del funcionamiento de los diferentes elementos a controlar, ya sean instalaciones, personal manipulador, etc.

La gestión de puntos críticos de control se realizará basándonos en la propuesta de Luisa, M.I., 2007, en la publicación “Implementación del sistema de análisis de riesgos y puntos críticos de control para yogur tipo II elaborado en la plan de lácteos de la hacienda Rumipamba”. A continuación se expone de manera esquemática.

Las hojas elaboradas contienen información sobre las fases en las que se han determinado puntos críticos de control, ya sea a nivel sanitario, de producción o cualquier otro.

Se recomienda mantener este tipo de hojas plastificadas y adheridas a una zona visible junto al puesto de trabajo, de modo que se pueda consultar su información cómodamente y en cualquier momento.

**Cuadro de gestión**

Fase del proceso	Riesgos potenciales	Posibilidad de presentación			Gravedad			Es un peligro significativo	Justificación de la decisión	Medidas preventivas
		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta			
Recepción y transporte de la leche	Presencia de microorganismos patógenos debido al insuficiente enfriamiento durante el ordeño y el transporte a la planta ( Riesgos microbiano)		X			X		NO	La leche debe llegar refrigerada a la planta	-Transporte refrigerado a temperatura de 4°C. -Aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM) en el ordeño de manera estricta y obligada. - Los bidones de leche deberán ser desinfectados. -Realizar un control de calidad periódico por el Técnico de producción.
	Presencia de antibióticos y plaguicidas (R. químicos)	X			X			NO	No se realiza ordeño a las vacas con tratamiento veterinario.	Aplicación de buenas prácticas agrícolas (BPA) y BPM en el ordeño de manera estricta y obligada.
	Insectos, tierra, pelos ( físicos)	X			X			NO	No existe la presencia de riesgos físicos.	
Filtrado de la leche	Presencia de partículas gruesas (R. físico)	X			X			NO	La leche no debe pasar a la zona de elaboración con partículas gruesas.	Aplicación de buenas prácticas de Manufacturas. Comprobar y limpiar el sistema de filtrado de forma periódica.

Tratamiento térmico a 80°C	Sobrevivencia de patógenos por un deficiente proceso térmico (R. microbiológico).	X	X	NO	Es significativo si no alcanza la Tº de 80°C ya que no se destruye la flora microbiana.	Controlar el proceso térmico. Asegurar que el equipo este limpio y en buenas condiciones.
Adición de la leche en polvo	Práctica de manipulación incorrecta (R. Microbiológico)	X	X	NO	Presencia de microorganismos por higiene incorrecta del personal.	Aplicación de las BPM.
	Determinar cantidades exactas de esencia (R. microbiológico)	X	X	NO	Utilización de cantidades incorrectas.	Control de la adición en cantidades de acuerdo al Real Decreto 179/2003
Homogeneización	Ninguno					
Pasterización a 95°C	Sobrevivencia de patógenos por un deficiente proceso térmico (R. microbiológico).	X	X	SI	Es significativo si no alcanza la Tº de 95°C ya que no se destruye la flora microbiana.	Controlar el proceso térmico. Asegurar que el equipo este limpio y en buenas condiciones.
Enfriamiento a 42°C	Inadecuadas temperaturas, inferior o superior a 42°C para poner el fermento (R. microbiológico)	X	X	NO	Se puede controlar la temperatura para poder inocular la leche.	Se debe controlar la temperatura perfecta.

Inoculación	Contaminación por el ambiente y mala limpieza de los utensilios (R. microbiológicos)	X	X	NO	Los microorganismos presentes en los equipos y en los operarios pueden ocasionar enfermedades de transmisión alimentaria.	Control del cultivo. Limpieza efectiva del tanque y de los utensilios empleados. Aplicar los procedimientos operativos de estandarización y saneamiento (POES).
Envasado	Higiene inadecuada del personal (R. microbiológico)	X	X	NO	No es significativo porque se puede controlar la higiene	La higiene del personal debe ser adecuada
	Mala limpieza de la envasadora ( R. microbiológico)	X	X	NO	No es significativo porque se puede aplicar POES.	Revisar antes de poner el yogur en la envasado y aplicar POES
	Presencia de microorganismos por medio del ambiente (R. Microbiológico)	X	X	Si	El envasado no es en un ambiente aséptico por lo que se puede contaminar.	La manipulación del producto en el periodo del envasado debe ser lo más rápido posible.
Incubación	Control del tiempo de incubación para que el producto no sea demasiado ácido convirtiéndose en un producto no comercial. (R. químico)	X	X	NO	Se puede controlar la temperatura y tiempo de coagulación.	Se debe controlar el tiempo de coagulación adecuada. Realizar medidas de pH. Mantener el procedimiento de operación estándar.

Enfriamiento a 10°C	Tiempo de enfriamiento demasiado largo y temperatura inadecuada, provocando que siga disminuyendo el pH.	X	X	NO	Se puede controlar la temperatura y tiempo de enfriamiento.	Se debe controlar la temperatura de enfriamiento, para que se haga en un periodo de tiempo adecuado.
Conservación a 5°C	Mala higiene de las cámaras frigoríficas (R. microbiológico)	X	X	NO	Se realiza una adecuada limpieza.	Limpieza de los frigoríficos.

**Figura 8.** Medidas preventivas a aplicar en las distintas fases de elaboración del yogur.

A continuación se establecen los límites críticos que se definen como un criterio que debe alcanzarse para cada medida preventiva. Puede haber una o más medidas preventivas para cada PCC y deben ser controladas adecuadamente, para garantizar la prevención, eliminación o reducción de riesgos a niveles aceptables.

Punto de control crítico.	Riesgo identificado	Límite crítico
Pasterización	Riesgo biológico: Sobrevivencia de patógenos por fallas en su eliminación.	Medida de temperatura y tiempo de pasterización. Temperatura de 95°C durante 5 minutos.
Envasado	Riesgos biológicos:	
	1) <b>Equipo:</b> la envasadora no tiene una adecuada limpieza y desinfección.	Equipo visiblemente sucio.
	2) <b>Láminas termoplásticas:</b> guardadas en el almacén y se contaminan por algún tipo de suciedad.	Láminas termoplásticas visiblemente sucias.

Figura 9. Límites críticos para cada medida preventiva.

También se establece una vigilancia mediante la observación, medición y análisis sistemático y periódico de los límites críticos de un PCC para asegurarse de la correcta aplicación de las medidas preventivas.

Punto de control crítico	MONITOREO			
	QUE	COMO	FRECUENCIA	QUIEN
Pasterización	Tiempo y temperatura de pasterización	Registrando temperatura y tiempo	En cada proceso	Supervisor de procesos
Envasado	Observar equipo	Registrando la presencia de suciedades y olores extraños	Constantemente	Técnico de producción
	Observar envases	Registrando manualmente las láminas una a una.	Cada lote	

Figura 10. Vigilancia de los límites críticos de cada PCC.



Por último, se determinan las acciones correctivas y su verificación.

Punto de control crítico	Límite crítico	Acciones correctivas	Verificación
Pasterización	Medida de temperatura y tiempo de pasterización T <sup>o</sup> 95°C	Detener el proceso térmico con T <sup>o</sup> < de 95°C y se debe aumentar la fuente de calor. T <sup>o</sup> > a 95°C se debe tener el procesos térmico.	Revisión de los registros diarios. Revisión del estado eficiente del termómetro.
Envasado	Equipo y láminas termoplásticas visiblemente limpias	Lavar y desinfectar el equipo y las láminas termoplásticas	Limpieza y desinfección adecuada de la envasadora y láminas termoplásticas.

Figura. 11. Acciones correctivas y verificación de las mismas.

#### 7.4. Plan de limpieza y desinfección

Con el fin de reducir los posibles peligros de contaminación que se puedan producir durante el procesado, la empresa ha de realizar un plan de limpieza y desinfección diseñado en base a las características del propio proceso. Será aplicable a todos los equipos, útiles e instalaciones implicados en la elaboración del producto.

El plan de limpieza y desinfección (plan LD) deberá especificar los tipos y la dosis de los productos a emplear, así como la frecuencia con la que se realizan las operaciones y el personal necesario.

El plan LD, desglosado por zonas, líneas de trabajo o secciones, junto con instrucciones claras, concretas y sencillas, deberán estar por escrito y accesible a los que deban llevar a cabo.

El proceso de limpieza consiste en eliminar los residuos de alimentos que suministran los nutrientes para el desarrollo de microorganismos.

La desinfección tiene como fin reducir a un número aceptable los gérmenes existentes sobre la superficie de instalaciones, equipos y ambientes que puedan contaminar los alimentos durante el proceso productivo.

El proceso de limpieza irá seguido por el de desinfección. No habrá desinfección si primero no hay limpieza. Se realizará combinando métodos físicos como cepillado y fregado seguidos de métodos químicos, con el uso de detergentes autorizados.

Los útiles deberán ser desmontados en la medida de lo posible para que todas las superficies queden perfectamente limpias.

La desinfección puede realizarse por la aplicación de calor o median desinfectantes químicos. Para que sea eficaz es esencial eliminar todos los residuos de los alimentos mediante una limpieza cuidadosa previa.

Las etapas de la limpieza-desinfección son las siguientes:

- ✓ **Eliminación de los residuos:** Suprimir de las superficies los residuos gruesos mediante cepillado, fregado, frotado, usando agua potable muy caliente.
- ✓ **Aplicación del detergente:** Se adiciona el detergente para desprender la capa de suciedad y mantenerla en solución o suspensión.
- ✓ **Aclarado:** Se aclararán las superficies con agua potable templada para eliminar la suciedad desprendida y el detergente residual.
- ✓ **Aplicación del desinfectante químico.**
- ✓ **Tiempo de contacto para que actúe.**
- ✓ **Aclarado:** Se aclararán con suficiente agua potable para eliminar los posibles residuos de desinfectantes.
- ✓ **Secado:** Es necesario realizar un secado de las superficies lavadas y desinfectadas puesto que, en caso contrario pueden multiplicarse los microorganismos en el agua. Para ello, se pueden usar toallas de papel o material absorbente siempre que se utilicen una sola vez.

## **7.5. Plan de higiene personal**

Para que el producto final tenga la calidad más alta posible, es necesario tener un buen plan de limpieza y desinfección. Sin embargo, dicho plan es inútil si los empleados no cumplen una serie de normas en cuanto a higiene. (Plan HP)

Las personas que manipulan alimentos son frecuentemente responsables de su contaminación microbiana, ya que los manipuladores infectados o portadores asintomáticos de agentes patógenos, pueden contaminar los alimentos o actuar como vehículos de transmisión de gérmenes.

### **7.5.1. Formación del personal**

La aplicación efectiva del sistema APPCC requiere que todo el personal esté implicado en su seguimiento. Las empresas deben garantizar, como paso previo a la implantación del sistema, la formación y motivación del personal en esta materia.

### **7.5.2. Buenas prácticas de manipulación e higiene**

Para definir claramente la forma de trabajar la empresa elaborará previamente un plan de buenas prácticas de higiene y estar siempre a la vista de los trabajadores, cerca de su puesto de trabajo.

Cada empleado debe saber qué debe hacer, cómo hacerlo y por qué, y a quién avisar en caso de que algo supere su capacidad de interpretación o de decisión. El personal responsable de los tratamientos de post-cosecha o de limpieza y desinfección deberá recibir una formación específica para tal fin.

### **7.5.3. Control de enfermedades**

La empresa deberá procurar que el personal se someta a revisiones médicas de manera periódica, por lo menos una vez al año. Los resultados de dichas revisiones se registrarán y archivarán.

En caso de que las revisiones revelen alguna patología se tomarán las medidas preventivas oportunas, con el fin de que no pueda afectar a la zona de producción. Se cumplimentará una hoja de registro cada vez que alguna de las personas que trabaja en la planta presente algún tipo de enfermedad o lesión.

Para que el personal tenga presente en todo momento las normas del Plan de Higiene, se colocarán carteles en lugares visibles que recuerden las prohibiciones.

Además de las prohibiciones citadas, el Plan de Higiene establece una serie de factores a controlar:

- Uniformes: será suministrado por la empresa. Está prohibido uso de ropa de calle en el puesto de trabajo.
- Cubre cabellos: necesario para todo el personal que esté en la zona de proceso.
- Mascarilla.
- Guantes: suministrados por la empresa, deben estar en perfecto estado.
- Zapatos: zapatos cerrados de suela antideslizante, preferentemente botas. En algunas zonas será necesario cubrirlos con redecillas protectoras.
- Limpieza de manos.
- Visitantes: Se tomarán precauciones para impedir que los visitantes contaminen los alimentos o productos en las zonas donde se procede a la manipulación de éstos.

Hoja de registro a cumplimentar por el responsable del plan.

**Tabla 13:** Ficha control de enfermedades

Fecha	Nombre	Puesto	Acción tomadas	Responsable
Observaciones:				

### 7.6. Plan de desratización y desinsectación

Los insectos y roedores constituyen un peligro sanitario, ya que actúan como vectores de microorganismos patógenos, como la *Salmonella*. La empresa dispondrá de un plan de control de insectos y roedores detallado, eficaz y continuo que corresponda a sus necesidades. Además, dicho plan debe especificar la identificación del equipo de trabajo, actividades, frecuencia de aplicación, material y productos que están siendo utilizados, método de aplicación, precauciones de seguridad, monitoreo y acciones correctivas.

El uso de insecticida y/o rodenticidas se realizará de modo que no transmita contaminantes a las frutas, debiendo dichos agentes cumplir las normas vigentes y estar autorizados para su empleo en la industria alimentaria por el correspondiente registro sanitario.

A continuación, las diferentes medidas generales de prevención y control aplicables en la empresa:

- Eliminar los sitios en donde el insecto y roedores pueda anidar y/o poner huevos, así como alimentarse, mediante la eliminación de residuos de alimentos en las instalaciones, equipos y alrededores.
- Cuando se utilicen trampas luminosas eléctricas para insectos, estas no se situarán nunca sobre equipos y líneas de manipulado y envasado.
- Mantener cerrados los depósitos de basura y cuidar que siempre estén limpios y aseados. Periódicamente deben ser tratados con insecticida.
- Prohibir la entrada de cualquier tipo de animal en las instalaciones.
- Inspeccionar periódicamente todas las instalaciones para ver si hay señales de presencia de insectos, roedores, pájaros y otros animales o

contaminación por los mismos. Retirar rápidamente los pájaros, insectos roedores, etc. muertos o atrapados.

Al controlar las plagas se obtienen importantes beneficios, tales como:

- Se evitan pérdidas económicas, a veces muy graves:
  - o Previniendo daños a mercancías o estructuras de edificios.
  - o Previniendo contaminaciones.
  - o Previniendo deterioros de imagen y pérdida de prestigio
- Se evitan enfermedades que podrían ser transmitidas por roedores o insectos al hombre y animales domésticos.
- Se cumple con la legislación, ya que la ley establece que todos los establecimientos donde se produzcan, almacenen o vendan alimentos deben estar libres de roedores e insectos, y que los lugares de trabajo no deben presentar riesgo para la salud.

*Ficha control de Desinsectación y Desratización de Equipos*

**Tabla 14.** Ficha control desratización y desinsectación.

Fecha	Empresa	Zona	Método	Productos	Tipo de plaga	Eficacia	Firma
Observaciones							

**7.7. Control del agua potable**

Se deberán realizar análisis microbiológicos y físico-químicos del agua que se utilizará para asegurarse de la idoneidad de la misma. Si en los resultados de dichos controles se detectaran desviaciones con respecto a los valores de referencia establecidos en la legislación, se tomarán las medidas correctoras oportunas y se repetirán los análisis para confirmar la corrección del defecto detectado. Todos los controles realizados al agua, recogidos por el R.D: 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del

agua de consumo humano (B.O.E. nº 45, de 7 de febrero de 2003), y las medidas correctoras en caso de desviaciones (cortes de agua, rotura de tuberías e incidencias del sistema de desinfección), deben quedar documentados.

La frecuencia de análisis para los tres parámetros anteriormente expuestos será anual, mientras que dentro de los físico-químicos el cloro residual será diario siempre que se clore el agua en la propia explotación, anotándose de dichos controles.

## **7.8. Registros**

El sistema APPC es también un método documentado y verificable para la identificación de los riesgos o peligros, las medidas preventivas y los puntos de control críticos, y para la puesta en práctica de un sistema de monitorización o vigilancia. Todo esto nos obliga a registrar las actuaciones, tanto a nivel de procedimientos técnicos como para la comprobación y confirmación el sistema.

Mediante el empleo de listas de control para registrar las observaciones visuales, así como tablas o gráficos para registrar parámetros tales como la temperatura, tiempo y pH, será posible contemplar los resultados del reconocimiento con respecto a un determinado PCC sobre una base histórica. Tales registros estarán disponibles para ser revisados por el personal responsable de la garantía de la calidad, ya que es esencial un análisis de la tendencia mediante un estudio adecuado de los datos de inspección, ya que sin el mismo resulta imposible saber si un proceso o una fase del mismo están dejando de ser controlados. También son importantes estos registros para que sean revisados por las autoridades reguladoras. Para que el sistema APPCC sea un instrumento eficaz para la Administración, ésta debe tener acceso a todos estos registros de los resultados de la comprobación de los PCCs que tienen importancia directa sobre la inocuidad del alimento, junto con los registros de la acción tomada cuando se han superado los límites.

## 7.9. Verificación

Todo sistema de autocontrol una vez implantado debe ser sometido a una revisión o verificación para comprobar que funciona correctamente y, que la aplicación práctica responde a lo previsto en diseño teórico del sistema.

Esta verificación debe hacerse con una cierta periodicidad, especialmente cuando haya cambios de producción o similares, aunque la primera que se realice tras la introducción del sistema es la más importante, puesto que la va a dar el visto bueno.

Debe tenerse muy presente que el sistema descansa en la valoración de tres elementos fundamentales: el control eficaz de los puntos críticos, la veracidad y fiabilidad de los registros y la eficacia de las medidas preventivas y correctoras. Estos son los tres elementos que deben ser sometidos a la valoración más exhaustiva.

- ✚ **Valoración del control eficaz de los puntos críticos.** Debe observarse que no se presenta ninguna de las magnitudes asociadas a cada uno de los diferentes peligros. Pueden realizarse pruebas adicionales en cada PCC que se considere necesario, que serán de naturaleza más intensa o minuciosa y que no puedan ser adecuadas para un control rutinario por limitaciones de tiempo o económicas.
- ✚ **Comprobación de la validez de los registros.** Debe comprobarse que los registros constituyan una buena base documental que permita el control y la verificación del sistema, tanto por parte del personal de la explotación como por las autoridades sanitarias. Deben conformar además, el historial de un producto, al que habrá remitirse en caso de surgir algún problema con el fin de detectar posibles fallos en el proceso, en su control, o en la aplicación de las medidas correctoras. La búsqueda de tendencias de los datos históricos registrados para cada parámetro ha de utilizarse como herramienta para prever otros parámetros de determinación empírica, debe inspeccionarse que los registros se encuentren perfectamente localizados e identificados. Asimismo deberán contener la información requerida completa.



 **Evaluación de la eficacia de las medidas preventivas y correctoras.**

Ha de validarse que las medidas preventivas fueron aplicadas sistemáticamente y que su introducción redujo la incidencia de los peligros. Con respecto a las acciones correctoras, se valorará si fueron adecuadamente aplicadas, registradas y, principalmente, si fueron capaces de evitar el peligro.

Todos los defectos del sistema encontrados en la valoración de estos tres elementos deberán corregirse introduciendo mejoras en le mismo.

La verificación también debe contemplar que todos los trabajadores conocen las obligaciones que se derivan de la implantación del sistema y que las llevan a cabo. También han de tenerse en cuenta sus propuestas de mejora en la evaluación de las tareas propias de su trabajo y del sistema de autocontrol en general.

El proceso de verificación debe apoyarse en otra serie de actuaciones paralelas concretas, tales como entrevistas con el personal para evaluar su grado de comprensión, evaluación de quejas y sugerencias de los consumidores, etc. Este tipo de acciones se consideran muy recomendables para realizar una evaluación lo más objetiva y ajustada a la realidad posible.



## **8. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA DE INCUBACIÓN Y DEL MÉTODO TRADICIONAL DE PRODUCCIÓN DE CALOR**

### **8.1. Introducción**

La cámara de incubación tiene como objetivo fundamental mantener constante la temperatura de fermentación del yogur para que la coagulación del producto tenga lugar en unas características óptimas, pudiendo obtener un yogur con una firmeza adecuada, entre otras cualidades.

### **8.2. Propiedades de la cámara de incubación**

El equipo de producción de calor se compone por una batería de resistencias eléctricas que generan calor por el efecto Joule. El calor es recirculado de forma continua por toda la cámara mediante ventiladores que conducen el aire caliente por conductos de chapa galvanizada.

La cámara de fermentación se encuentra aislada térmicamente por materiales que cumple con la normativa. El material utilizado para el aislamiento, tanto para las paredes como para el techo, serán paneles sándwich de poliuretano inyectado, revestido por las dos superficies con recubrimiento de chapa electrogalvanizada y lacada. El suelo está constituido por hormigón armado fraguado y revestido con una pintura epóxidica.

La sala se compone por dos puertas isotérmicas que llevan un dispositivo que permite su apertura manual desde dentro sin necesidad de llave, aunque desde el exterior se puede cerrar con llave. El aislamiento de las puertas es similar al de las paredes y el techo. La temperatura su interior se controla por un termostato que mantiene la temperatura de fermentación lo más próxima a 42°C.

### **8.3. Método de producción de calor del sistema tradicional**

El funcionamiento está basado en la recirculación de aire caliente en el interior de la cámara por medio del uso de ventiladores colocados en esquinas

superiores opuestas. Uno de los ventiladores está conectado a una batería de resistencias eléctricas que producen el calentamiento del aire que las atraviesa, provocando el aumento de temperatura en el interior de la sala. Una vez se ha calentado el aire pasa por dentro de una conducción de chapa galvanizada que baja hasta la parte inferior y sale a la habitación a través de unas rejillas insertadas. Debido a que a mayor temperatura, el aire reduce su densidad y tiende a subir, la función del otro ventilador es coger ese aire caliente de la parte alta de la cámara y, por el mismo sistema de conducción anterior, lo emite a la parte inferior. De esta forma, se produce la recirculación de aire caliente dentro de la cámara que ayuda a mantener la temperatura uniforme en todo su volumen. (Ver PLANO 2)

#### **8.4. Parámetros a considerar**

##### **8.4.1. Estudio del volumen de yogur**

Teniendo en cuenta las siguientes características se ha calculado el volumen máximo de yogur que se puede introducir en la sala de fermentación:

- ❖ Superficie de la cámara de incubación:  $3 \times 6 \text{ m} = 18 \text{ m}^2$
- ❖ Palé europeo estándar:  $0,80 \times 1,20 = 0,96 \text{ m}^2$
- ❖ Las cestas en donde se depositan los envases de yogur podrán albergar un total de 48 unidades.
- ❖ El palé tiene capacidad para 8 cestas de base y 10 pisos de cestas, lo que hace un total de 80 cajas.
- ❖ Dentro de la cámara se pueden introducir un total de 12 palés, permitiendo maniobrar con ellos de una forma cómoda.
- ❖ El tamaño de los yogures es de 125 gramos.

Por lo tanto, el volumen total de yogur que se puede introducir en la cámara para llevar a cabo su fermentación es de:

$$\text{Volumen de yogurt} = 48 \frac{\text{yogures}}{\text{cesta}} \times 80 \frac{\text{cestas}}{\text{palé}} \times 12 \text{ palés} \times \frac{0,125\text{kg}}{\text{yogurt}} = \mathbf{5.760\text{kg}}$$

#### 8.4.2. Estudio del espesor de las paredes

El espesor óptimo del aislante de las paredes y el techo es muy importante para obtener un mínimo gasto económico del coste de material, de instalación y de mantenimiento y que, a su vez, cumpla el objetivo de que se pierda la menor cantidad posible de calor producido.

Como se ha comentado anteriormente, las paredes y el techo de la cámara van a estar aisladas por paneles sándwich de poliuretano inyectado, con una densidad de 35-40 Kg/m<sup>3</sup> y un coeficiente de conductividad térmica en torno a 0,023 W/m·K. El material con el tiempo sufre envejecimiento, por lo que es recomendable aumentar la conductividad térmica que nos proporciona el fabricante en un 15-20% y, esto se traduce en un valor de 0,0279 W/m·°C.

Antes de realizar el cálculo del espesor de aislante se procede a fijar el flujo de calor máximo permisible en el cerramiento. Por razones de economía energética se va a fijar las pérdidas por metro cuadrado de cerramiento en un máximo de 9,304 Wh.

La temperatura del interior de la cámara estará a 44°C aproximadamente, mientras que la exterior en torno a 20°C. Por tanto, el salto térmico ( $\Delta T$ ) entre ambas superficies es de 24°C.

Una vez conocemos todos los datos, aplicaremos la siguiente fórmula para obtener el espesor del aislante:

$$e = \frac{\lambda \times \Delta T}{q} = \frac{0,0279 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right) \times 24(^{\circ}C)}{9,304(W \cdot h)} = 0,072 m = \mathbf{72 mm}$$

El espesor óptimo es de 72 mm pero para evitar pérdidas de calor a través de las paredes y el techo, emplearemos el espesor comercial de **75 mm**.

## 8.5. Estudio de las necesidades de calor

La carga térmica total o necesidades totales (NT) se obtienen como suma de distintas cargas  $Q_i$  que a continuación se exponen, es decir,  $NT = \sum_i Q_i$ . (González 2013)

### 8.5.1. Cálculo de las pérdidas por conducción de paredes, techo y suelo ( $Q_c$ )

La determinación de la pérdida de calor por conducción a través de paredes, techo y suelo, se genera por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, debido al flujo de transmisión de calor que tiene lugar a través del cerramiento del recinto.

Para realizar el cálculo hace falta conocer las dimensiones de la cámara, superficie de transmisión y características del cerramiento.

Por tanto, partiendo de que las paredes y el techo se constituyen por paneles tipo sándwich con poliuretano inyectado y que la cantidad máxima de pérdidas por metro cuadrado del cerramiento se fijó en un máximo de 9,304 Wh, las pérdidas de calor que se originan son:

$$Q_{PT} = (4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ paredes} + 4 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \times 2 \text{ paredes} + 6 \text{ m} \times 3 \text{ m}) \times \frac{9,304 \text{ Wh}}{m^2}$$
$$= 837,4 \text{ Wh}$$

Por otro lado, para la realización del cálculo de las pérdidas que tienen lugar a través del suelo es necesario conocer el coeficiente de transmisión de calor del hormigón en masa y la temperatura aproximada del suelo. Por tanto, según el Código Técnico de la Edificación, el coeficiente de transmisión de calor del hormigón en masa, con una densidad de 2.300 – 2.600 kg/m<sup>3</sup>, es de 2,058 W/m·°C. Además, para conocer la temperatura del suelo aproximada, se ha utilizado lo expuesto por la Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyectos (ATECYR 2010), ya que debido que en muchas ocasiones no se dispone de la temperatura del terreno a 20 cm, se emplea la correlación siguiente:

$$T_{\text{terreno}} = 0,0068 \times T_{\text{amb}} + 0,963 \times T_{\text{amb}} + 0,6865$$

Según la Agencia Estatal de Meteorología, la temperatura media de Canarias a lo largo del año es de 21,2°C. Por consiguiente, la temperatura del terreno aplicando la anterior correlación es de 21,24°C.

Una vez se conocen todos los datos, se aplica la fórmula que responde al flujo de calor a través de una superficie plana en régimen estacionario:

$$Q_S = \lambda \times S \times \Delta T = 2,058 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right) \times (6 \text{ m} \times 3 \text{ m}) \times 44 - 21,24(^{\circ}C) = 843,36 \text{ Wh}$$

De este modo, las pérdidas totales que se producen son:

$$Q_C = Q_{PT} + Q_S = 837,4 + 843,36 = \mathbf{1.606,65 \text{ Wh}}$$

### 8.5.2. Cálculo del calor absorbido por los productos entrantes (Q<sub>A</sub>)

El producto introducido en la cámara llega en unas condiciones diferentes a las que existe en su interior, debido a que es necesario aumentar la temperatura de la mercancía recibida para proporcionarle a las bacterias lácticas la temperatura óptima para su desarrollo. Para el cálculo de este concepto se utilizará la fórmula siguiente:

$$Q_A = m \times C_e \times (T_{EN} - T_{INT})$$

m: Masa del producto introducido diariamente (kg)

C<sub>e</sub>: Calor específico del producto introducido (kJ/kg·°C)

T<sub>EN</sub>: Temperatura de entrada del producto (°C)

T<sub>INT</sub>: Temperatura del interior (°C)

Por tanto la cantidad de calor absorbido por los productos es de:

$$Q_A = 5.760 \text{ (kg)} \times 0,93 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ C \right) \cdot 44 - 42(^{\circ}C) = 10.713,6 \text{ kcal.}$$

El valor de la cantidad de calor absorbido corresponde al total de yogures que se incuban en un día, por lo que es necesario calcular el número de horas que se tarda en la fermentación de todos ellos, para obtener la cantidad de energía que se necesita por hora. A continuación se puede observar el tiempo total dedicado:



**Tabla 15.** Determinación del tiempo total de incubación de un día.

Numero de palé	Tiempo (min)															
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
1	█	█	█	█	█	█	█									
2		█	█	█	█	█	█	█								
3			█	█	█	█	█	█								
4				█	█	█	█	█	█							
5					█	█	█	█	█	█						
6							█	█	█	█	█	█				
7								█	█	█	█	█	█			
8									█	█	█	█	█	█		
9										█	█	█	█	█		
10											█	█	█	█	█	
11													█	█	█	█
12															█	█
															Total	7,75 horas

Una vez se sabe que el tiempo total es de 7,75, se obtiene que las pérdidas por el calor absorbido por los yogures es:

$$Q_A = \frac{10.713,6Kcal}{7,75horas} = 1.382,4 \frac{kcal}{hora} = 1.607,8 Wh$$

### 8.5.3. Cálculo de las pérdidas por renovación del aire ( $Q_R$ )

El tráfico de mercancías que se produce en la cámara genera entradas de aire a distintas temperaturas y humedades, asociadas a la apertura de puertas de la cámara. Como consecuencia de estas infiltraciones de aire, se genera una nueva pérdida de calor a contrarrestar con el sistema calorífico.

La cantidad de energía necesaria por este concepto dependerá de las condiciones del aire exterior y las condiciones del aire interior que se renuevan (temperatura y humedad relativa). Por tanto, en este cálculo interviene la diferencia de entalpías entre el aire exterior e interior de la cámara, la densidad del aire y el número de renovaciones de aire que se producen.

La expresión empleada es la siguiente:

$$Q_r = \frac{[V \times N \times (H_{INT} - H_{EXT})]}{v}$$

V: volumen aire de la cámara ( $m^3$ )

N: Renovaciones de aire diarias consideradas

$H_{EXT}$ : Entalpía del aire exterior kcal/kg

$H_{INT}$ : Entalpía del aire interior kcal/kg

v: volumen específico del aire ambiente exterior  $m^3/kg$

Según las dimensiones de la cámara: 4 m de alto, 3 m de ancho y 6 m de largo; tenemos que el volumen de la cámara es de  $72 m^3$ . A este volumen hay que restarle el que ocupan los yogures, y para ello, utilizamos la densidad de la leche a  $42 ^\circ C$ , que posee un valor de  $1.025 kg/m^3$ .

$$V = \text{volumen de la cámara} - \left( \frac{\text{Kg yogurt}}{\rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} \right) = 72 \text{ m}^3 - \left( \frac{5.760 \text{ kg}}{1.025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) = 66,5 \text{ m}^3$$

En la cámara, la temperatura de incubación se mantendrá a 42°C. Los yogures una vez son envasados se deben introducir en la cámara en el menor tiempo posible. Por ello, cada vez que se carga totalmente un palé con sus 80 cestas con capacidad para 48 yogures cada una, se ha de introducir en la sala de fermentación. Por lo tanto, las puertas se van abrir 2 para cada palé, una vez para entrarlo y otra vez para sacarlo hacia la zona de refrigeración. Además, es necesario realizar 2 comprobaciones de pH por palé para saber cuándo es el momento que el yogur alcanza el pH de 4,6, y transportarlo al sector de enfriamiento.

Por ello, para saber el número de renovaciones de aire se ha establecido la siguiente hipótesis: a las 4 horas que se introduce el primer palé, cada 15 minutos se abre la puerta, ya sea para meter un nuevo palé o para sacar uno que ha alcanzado el pH deseado, y considerando que las comprobaciones de pH se realizan a la vez que se producen las operaciones anteriores. Así, el número total de veces que se abren las puertas en 1 hora se ha razonado que es 5.

Para el cálculo de la diferencia de entalpías y de la densidad del aire se ha aceptado la hipótesis de que la humedad relativa en el exterior de la cámara es de 70% y la temperatura de 20°C, y en el interior de la cámara, la humedad relativa es del 60% con una temperatura de 44°C. Los datos obtenidos se representan a continuación:

**Tabla 16.** Valores de entalpías y volumen específico del aire.

	Entalpías (kcal/kg)	Volumen específico del aire (m <sup>3</sup> /kg de aire seco)
Exterior (HR 70%; T <sup>a</sup> 20°C)	10,99	0,84
Interior (HR 60%; T <sup>a</sup> 44°C)	32,42	-

Fuente: Millán 2001.

Según los datos considerados el resultado obtenido es:

$$Q_R = \frac{[72 \text{ m}^3 \times 5 \times (32,42 \text{ kcal/kg} - 10,99 \text{ kcal/kg})]}{0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{kg aire seco}}} = 9.184,28 \frac{\text{kcal}}{\text{hora}}$$
$$= \mathbf{10.681,79 \text{ Wh}}$$

Una vez se conocen las distintas pérdidas de calor que se producen en la cámara, se calcula las necesidades totales:

$$Q_T = Q_C + Q_A + Q_R = 1.606,65 + 1.607,8 + 10.681,79 = \mathbf{13.896,24 \text{ W}}$$

### **8.6. Selección del equipo del sistema generador de calor tradicional**

En este apartado se procederá a la elección de los componentes del sistema tradicional que realizarán el trabajo de producción de calor en la cámara de incubación.

Se seleccionará de los catálogos de los fabricantes, el equipo o equipos cuyas características se aproximen más a las exigencias de la cámara. De este modo, el sistema estará basado en las necesidades totales de calor calculadas y del volumen de aire útil del interior de la sala.

El sistema generador de aire caliente que se ha escogido, corresponde a un dispositivo formado por una batería de resistencias eléctricas que producen calor por el efecto Joule, y que son las responsables de aumentar la temperatura al aire cuando es impulsado a través de ellas. Dicha batería se encuentra acoplada a un ventilador tipo centrífugo, alojándose ambos en el interior de una carcasa metálica y que a su vez está conectada a los conductos de aire por medio de los cuales el aire caliente es impulsado al interior de la sala de incubación. A continuación, se exponen las propiedades de cada uno de los elementos que conforman el sistema.

### 8.6.1. Ventiladores

Para la elección de los ventiladores se ha utilizado el catálogo **SODECA**. Dicha selección se ha hecho basándose en que el caudal de aire que se va a mover en el interior de la cámara es de 66,5 m<sup>3</sup>/h.

Los modelos CBD son ventiladores centrífugos de doble aspiración con motor directo y turbina con álabes hacia delante. Los ventiladores tienen las siguientes características:

- ❖ Envolvente en chapa de acero galvanizado.
- ❖ Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado.
- ❖ Se suministra con pies soporte PSB.

El motor del ventilador presenta las siguientes propiedades:

- ❖ Son motores cerrados con protector térmico incorporado.
- ❖ Monofásicos 220-240V-50Hz, y Trifásico 220-240/380-415V-50Hz.
- ❖ Temperatura máxima del aire a transportar: de -20°C a +60°C



**Figura 12.** Ventilador centrífugo. **Fuente.** Sodeca 2012.

**Tabla 17.** Características técnicas del ventilador centrífugo seleccionado.

<b>Modelo</b>	CBD-1919-6M 1/10
<b>Velocidad máxima (r/min)</b>	820
<b>Intensidad máxima admisible (A)</b>	0,85
<b>Potencia instalada (kW)</b>	0,08
<b>Caudal máximo (m<sup>3</sup>/h)</b>	1.230
<b>Nivel sonoro dB (A)</b>	53
<b>Peso aproximado (kg)</b>	7

**Fuente.** Sodeca 2012.

En el interior de la cámara se instalarán dos ventiladores: uno irá conectado con la batería de resistencias, cumpliendo la función de extraer el aire del interior de la cámara y haciéndolo pasar a través de las resistencias para calentarlo. Y el otro tendrá el objetivo de extraer el aire caliente de la parte alta de la sala para recircularlo hacia su parte inferior. De esta forma, ambos ventiladores forman un circuito cerrado de aire en el interior del receptáculo. Así, se consigue el objetivo de que llegue a todos los puntos de la cámara la misma cantidad de aire caliente, consiguiendo así una correcta fermentación del yogur.

### 8.6.2. Resistencias

La elección de las resistencias eléctricas se hará en función de la potencia calorífica que se necesita generar, que según los cálculos hechos es de 14 kW aproximadamente. Para la selección de las resistencias se ha optado por utilizar el catálogo **SALVADOR ESCODA**.

Se emplearán resistencias para aire forzado de aletas con las siguientes características:

**Tabla 18.** Propiedades de las resistencias eléctricas.

<b>Modelo</b>	AL007
<b>Material</b>	Aluzinc o chapa aluminizada
<b>Dimensiones (mm)</b>	25x50x970
<b>Temperatura máx. con V. aire de 2 m/s</b>	200°C
<b>Wattios</b>	2.000

Fuente. Salvador Escoda S.A. 2013.



**Figura 13.** Resistencia eléctrica de aletas. **Fuente.** Salvador Escoda S.A. 2013.

Debido a que la potencia que necesitamos es de 14 kW se colocaran 7 resistencias de 2 kW cada una en batería, para calentar el aire impulsado por el ventilador.

Se realiza la hipótesis de que el rendimiento de las resistencias eléctricas es del 100%, es decir, que toda la energía eléctrica consumida se convierte íntegramente en calor.

### **8.6.3. Conductos de aire**

Los conductos de aire son los elementos de la instalación a través de los cuales se distribuye el aire por toda la cámara. Sus propiedades determinan la calidad de la instalación, ya que intervienen en determinados factores como puede ser el aprovechamiento energético.

La normativa de aplicación en vigor para regular las características que deben cumplir los conductos de distribución de aire está contenida en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), con desarrollo en sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE).

Las principales funciones que un sistema de conducción tiene cumplir se pueden resumir de esta forma:

- ❖ asegurar el transporte del aire tratado sin modificar sus parámetros característicos durante su recorrido desde la central hasta la emisión en el ambiente;
- ❖ asegurar que no existan pérdidas o infiltraciones de aire no controladas en el caso de los conductos en sobrepresión y en depresión, respectivamente;
- ❖ limitar la transferencia y la generación de ruido;
- ❖ mantener dichas prestaciones durante un largo periodo de tiempo.

Para la elección de los conductos de aire se ha utilizado el catálogo del fabricante **NOVATUB**. Se emplearán conducciones de acero galvanizado de forma rectangular con unas dimensiones de 300 x 150 mm y un espesor de 1 mm. Debido a que los volúmenes de aire con los se trabajará son muy pequeños ( $65\text{m}^3/\text{h}$ ), las pérdidas de carga a lo largo de las conducciones se consideran despreciables.



**Figura 14.** Conducto rectangular galvanizado. **Fuente.** Novatub 2010.

La salida del aire caliente al interior de la sala por su parte inferior se realizará a través de 3 rejillas colocadas a lo largo del conducto. Las rejillas utilizadas son del modelo SCV 401, que poseen aletas en una dirección, es



decir, paralelas al largo de la rejilla. Posee unas dimensiones de 200 x 100 mm. La pérdida de carga que se produce por las rejillas también se considera despreciable



## 9. DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

### 9.1. Energía solar

La energía procedente del Sol, conocida como radiación solar, es la más abundante en el planeta Tierra. Los rayos solares que llegan a la Tierra se propagan a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas de energía y es, este fenómeno físico, el responsable de que nuestro planeta reciba un aporte energético continuo de aproximadamente de  $1.367\text{W}/\text{m}^2$ . A este valor se le conoce como constante solar pero no es un valor fijo ya que sufre ligeras variaciones a lo largo del año (aproximadamente  $\pm 7\text{ W}/\text{m}^2$ ) debido a que la órbita terrestre no es circular sino elíptica. (López-Cózar 2006)

Sin embargo, este valor difiere del registrado en la corteza terrestre, ya que no toda la radiación que llega hasta la Tierra sobrepasa las capas altas de la atmósfera. Debido a los procesos que sufren los rayos solares cuando entran en contacto con los distintos gases que constituyen la atmósfera, una tercera parte de la energía solar interceptada por la Tierra vuelve al espacio exterior, mientras que las dos terceras partes restantes penetran hasta la superficie terrestre. Este fenómeno se debe a que las proporciones de  $\text{CO}_2$ , metano, ozono y vapor de agua actúan como una barrera protectora. Por lo tanto, los rayos solares cuando entran en contacto y atraviesan la atmósfera sufren una serie de fenómenos físicos entre los que destacamos:

- **Reflexión:** Una parte de la radiación se refleja en la parte superior de las nubes (como en un espejo).
- **Difusión:** Los rayos solares chocan con las moléculas gaseosas y partículas de polvo difundiéndose en todas direcciones, de forma que una parte vuelve al espacio.
- **Absorción:** Una parte de la radiación es absorbida por las moléculas presentes en la atmósfera.



**Figura 15.** Tipos de radiación solar. **Fuente:** PCE 2014.

Debido a los fenómenos físicos comentados anteriormente, la radiación solar que llega a la corteza terrestre está formada principalmente por los siguientes elementos:

- **Radiación directa:** aquella formada por los rayos solares que alcanzan la superficie de la Tierra sin haber sufrido cambios de dirección.
- **Radiación difusa:** es la que tras atravesar la atmósfera sufre varios cambios de dirección debido a su interacción principalmente con los componentes atmosféricos.

En los días despejados, la mayor parte de la radiación que se recibe será directa, mientras que en días nublados, es la radiación difusa la mayoritaria.

Por otra parte, para definir la energía solar que llega a una superficie se usan las siguientes magnitudes:

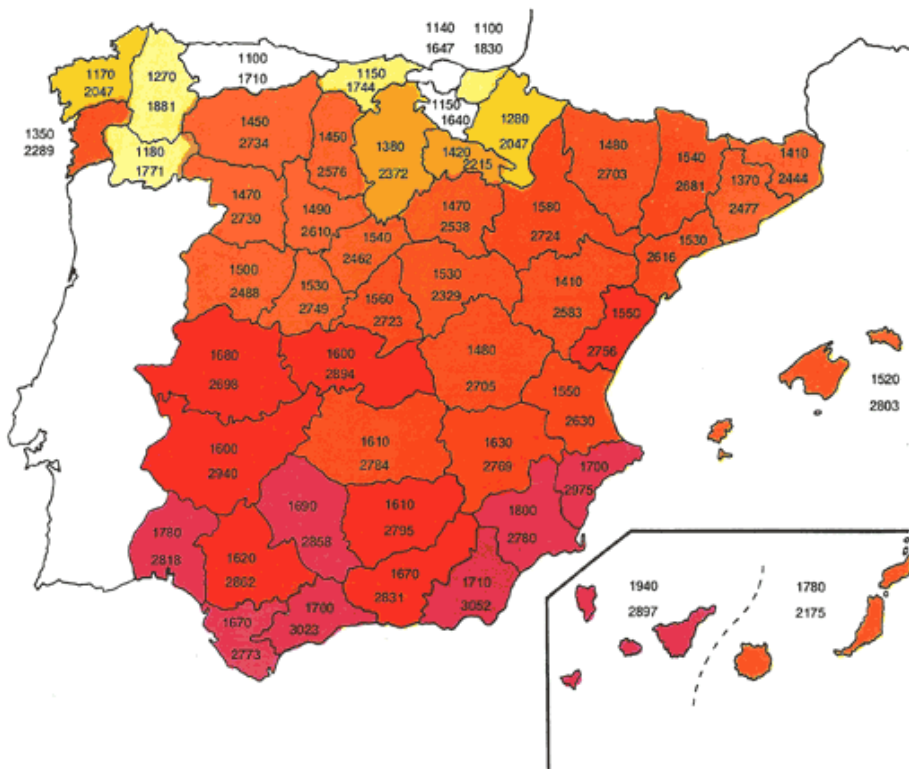
- **Irradiancia:** Potencia solar incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en  $W/m^2$ .
- **Irradiación:** Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en  $MJ/m^2$  o  $kWh/m^2$ .

A las pérdidas de aporte energético que tienen lugar en las capas superiores de la atmósfera, hay que añadir otras variables que influyen en la

cantidad de radiación directa que una superficie recibe, y va a depender del ángulo formado entre ésta y los rayos solares incidentes. Así, si los rayos solares que llegan a una superficie, lo hacen de una forma perpendicular, la radiación directa será máxima, disminuyendo a medida que aumenta el ángulo que forman los rayos con la normal al plano en el que inciden. Debido al grado de inclinación de nuestro planeta con respecto al sol ( $23,5^{\circ}$ ), los mayores valores de radiación no se producen en el ecuador si no en latitudes por encima y por debajo de los trópicos de Cáncer y Capricornio, ya que los rayos son más perpendiculares y atraviesan una capa atmosférica más fina hasta llegar hasta su destino. De esta manera, los polos son los que menor radiación reciben, mientras que los trópicos son los que están expuestos a una mayor radiación de los rayos solares.

## 9.2. Energía incidente anual y horas de sol anuales en España

En la siguiente figura se representa el mapa solar de España, con magnitudes anuales acumuladas:



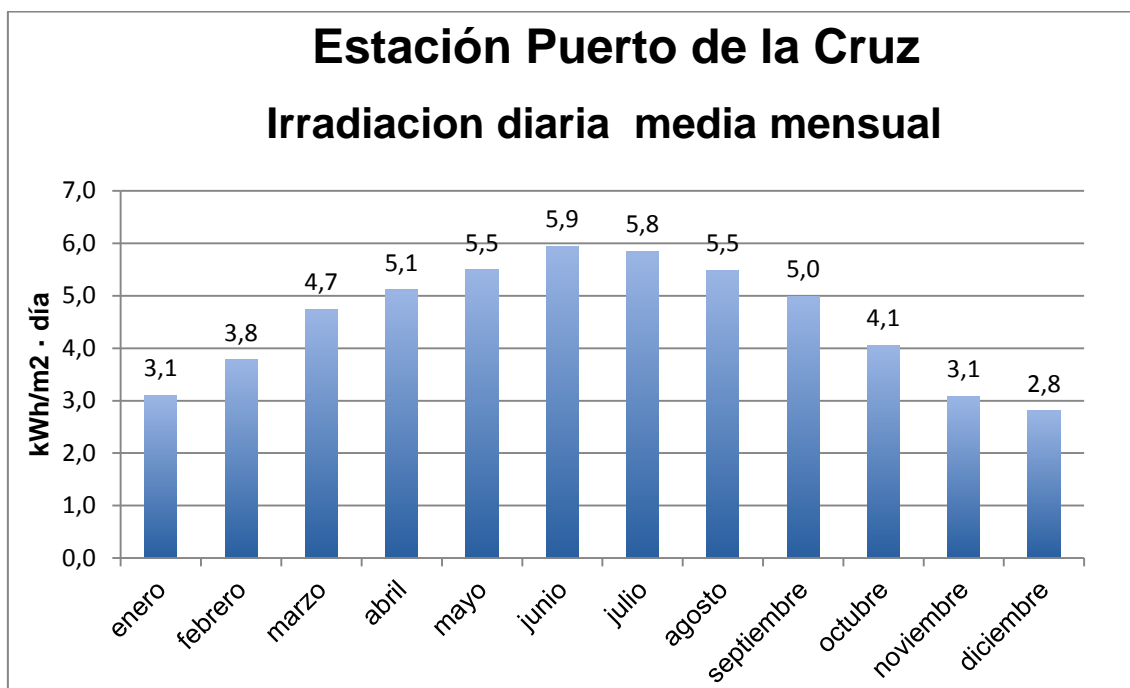
**Figura 16.** Mapa solar de España. Fuente: Centro de estudios de la energía solar (CENSOLAR)

La energía incidente anual (cifra superior) es la energía en kWh que incide sobre cada  $\text{m}^2$  de superficie horizontal de terreno a lo largo de un año. Las horas de sol (cifra inferior) son las horas en que luce directamente el sol (sin nubes).

En instalaciones solares térmicas el parámetro determinante son las horas de Sol, ya que los colectores solares térmicos funcionan con rendimiento aceptable cuando les alcanzan directamente los rayos solares.

### 9.3. Situación en Canarias

Basándonos en los datos registrados por el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) desde el año 1998 al 2010, más los registros de la estación del Teide (GONG) desde el año 1995 al año 2010, obtenemos la siguiente gráfica:



**Gráfica 15.** Irradiación diaria media mensual en el municipio del Puerto de la Cruz. Fuente: ITC y GONG, 2011.

Según los datos de la tabla, a lo largo de todo el año se puede alcanzar una media de  $4.5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{día}$ .

## **9.4. Energía solar térmica**

Según López-Cózar (2006) esta fuente de energía renovable se basa en el aprovechamiento de la radiación del Sol para calentar un fluido que, por lo general, suele ser agua o aire.

Una instalación solar térmica es aquella que está formada por unos componentes que son capaces de captar la radiación solar, transformarla en energía térmica y cederla a un fluido que la transportara hasta que sea almacenada de forma eficiente, bien en mismo fluido de trabajo de los captadores, o bien transferirla a otro, para poder utilizarla después en los puntos de consumo. Estas instalaciones constan de un sistema convencional auxiliar o de apoyo, que puede o no estar integrado.

Según la definición anterior, los tres elementos claves en una instalación solar térmica son: el grupo de captadores que se encargan de la recogida de la energía de la radiación solar, el conjunto de intercambio y acumulación, y el equipo de apoyo convencional que proporciona energía complementaria cuando sea necesario. También son importantes los sistemas de circulación del fluido que transporta la energía, y el sistema de control que regula todos los anteriores de manera que constituyan un sistema energético eficiente.

### **9.4.1. Tipos de instalaciones de energía solar térmica**

Se conoce a las instalaciones de energía solar a baja temperatura a todos aquellos sistemas de energía solar en los que el fluido de trabajo que se calienta no supera los 100°C. Estas construcciones se caracterizan por usar como elemento receptor de energía, un captador fijo de placa plana o un captador solar de vacío y son las que se usan en las edificaciones, con alguna aplicación parcial de media temperatura para usos industriales. Entre las utilidades más extendidas basadas en esta fuente de energía de baja temperatura están la producción de agua caliente sanitaria (ACS), la calefacción de edificios, la climatización de piscinas, etc.

La tecnología de media temperatura va destinada a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas entre 100°C y 400°C, siendo las de

alta temperatura las que superan a este punto. Para poder alcanzar estos niveles de temperatura es indispensable utilizar sistemas que concentren la radiación solar mediante lentes o espejos parabólicos. Además, en este tipo de instalaciones los fluidos que se utilizan, principalmente, son aceites o soluciones salinas porque permiten trabajar a temperaturas más elevadas. También, estos sistemas requieren un seguimiento continuo del Sol, ya que sólo aprovechan la radiación directa.

#### **9.4.2. Producción de agua caliente sanitaria (ACS)**

Las instalaciones de energía solar térmica son una alternativa muy atractiva para una gran variedad de aplicaciones como calefacción, climatización de piscinas, producción de calor en multitud de procesos industriales o, como en la que nos centraremos, producción de agua caliente sanitaria.

Con estos sistemas, en verano se puede llegar a cubrir el 100% de la demanda de agua caliente ya que es durante este periodo cuando hay mayor cantidad de horas de sol con radiación directa. El resto del año normalmente se satisface el 50-80%, pero como la instalación se va a situar en una zona donde la concentración de número de horas de sol anuales puede llegar a las 3.000 horas, existe la posibilidad de saciar un alto porcentaje de la demanda.

Por tanto, la demanda de ACS va a ser constante a lo largo de todo el año, por lo que la instalación va a tener un funcionamiento continuo y, en consecuencia, una amortización bastante rápida.

#### **9.4.3. Funcionamiento de una instalación solar**

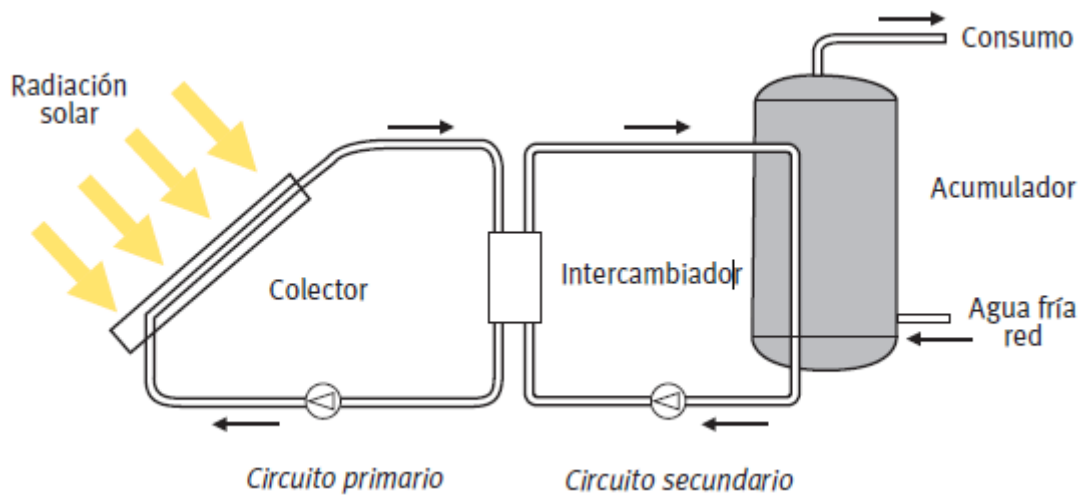
Cualquier instalación solar térmica se basa en el principio elemental de aprovechar la energía del Sol mediante un grupo de captadores para conducirla a un sistema de almacenamiento, que suministra la energía en forma de calor cuando se requiere.

De esta forma, la posibilidad de poder captar la energía del Sol en un determinado lugar y poder almacenarla durante el tiempo suficiente para



disponer de ella cuando haga falta, es lo que hace que esta energía renovable se considere aceptada en muchas partes del mundo. No en vano, la única contribución del hombre para explotar esta fuente de energía es canalizar y retrasar el proceso que ocurre de forma natural en cada instante en la corteza terrestre, por el que la radiación solar se convierte en energía calorífica.

El método que se lleva a cabo en cualquier instalación solar consiste en absorber la energía térmica contenida en los rayos solares por medio de los captadores. Una vez se calienta el fluido que se encuentra en el interior de los mismos, se debe evitar su enfriamiento mediante un aislamiento térmico lo más eficaz posible. Así, el calor de la masa de agua se mantiene gracias al empleo de tanques de almacenamiento bien aislados.



**Figura 17.** Esquema básico de una instalación de energía solar térmica. **Fuente:** López-Cózar (2006).

Se puede acumular grandes cantidad de energía durante largos periodos de tiempo, pero hay que tener en cuenta, que los depósitos de almacenamiento terminan por perder el calor a lo largo del tiempo, por lo que el funcionamiento de la instalación estará condicionado por la cantidad de radiación solar que llega hasta el captador y la demanda de energía de cada momento. Dicho esto, de forma general se dimensiona los depósitos para que la acumulación de energía solar sea la demandada diariamente.

Estas instalaciones no siempre suelen cubrir el 100% de las demandas, debido a que en los periodos no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto. Por lo tanto, la mayoría de los sistemas de energía solar térmica cuentan con un aporte de energía complementario. Este sistema de apoyo estará constituido por alguno de los medios energéticos convencionales, como pueden ser el gas, el gasóleo o la electricidad.

#### **9.4.4. Componentes característicos de una instalación**

La mayor parte de las aplicaciones de estos sistemas tienen como objetivo el aprovechamiento de la energía solar para la producción de agua caliente así como su acumulación hasta el momento de uso. Es menos frecuente utilizar esta energía térmica en el mismo momento de su captación por lo que los componentes que conforman las instalaciones son básicamente los mismo para todas las aplicaciones, variando la forma de su disposición y el tamaño de los elementos, que van en función de la demanda que se ha estimado (Sedigas, 2013).

Haciendo referencia a la Sección HE4 del Código Técnico de la Edificación, que expone los sistemas que conforman la instalación solar térmica para agua caliente son:

- a.** un sistema de captación formado por los captadores solares, encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula por ellos;
- b.** un sistema de acumulación constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precisa su uso;
- c.** un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación;
- d.** un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al agua caliente que se consume;
- e.** sistema de regulación y control que se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima

energía solar térmica posible y, por otro, actúa como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc.;

- f. adicionalmente, se dispone de un equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior al previsto.

Seguidamente se expondrán las principales características de los componentes de cada uno de estos subsistemas, con especial atención a los aspectos que influyen en el rendimiento final de la instalación.

#### **9.4.4.1. Captadores solares térmicos**

Dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica producida a un fluido de trabajo que circula por su interior.

A continuación se expondrán las características de un captador de tipo plano, ya que para nuestra instalación no necesitamos una temperatura superior a 60°C, por lo que éste prototipo cubrirá bien nuestras necesidades.

##### **9.4.4.1.1. Captador solar plano**

Este es el tipo más utilizado, tanto para la producción de ACS como para usos industriales. Tienen habitualmente forma de paralelepípedo rectangular, de unos 10 cm de canto, y oscilando las otras dimensiones entre 100 o 120 cm de ancho y 150 y 200 cm de alto, aunque pueden encontrarse de dimensiones superiores.

El principio de funcionamiento del captador plano se basa en una “trampa de calor” que conjuga el “efecto de cuerpo negro” con el “efecto invernadero”. Es decir, por un lado, cualquier material de color negro absorbe toda la radiación visible, y por esta razón la vemos negra, captando una mayor cantidad de radiación solar que una de color blanca, que refleja toda la radiación que llega hasta su superficie. Y, por otro lado, con el objetivo de

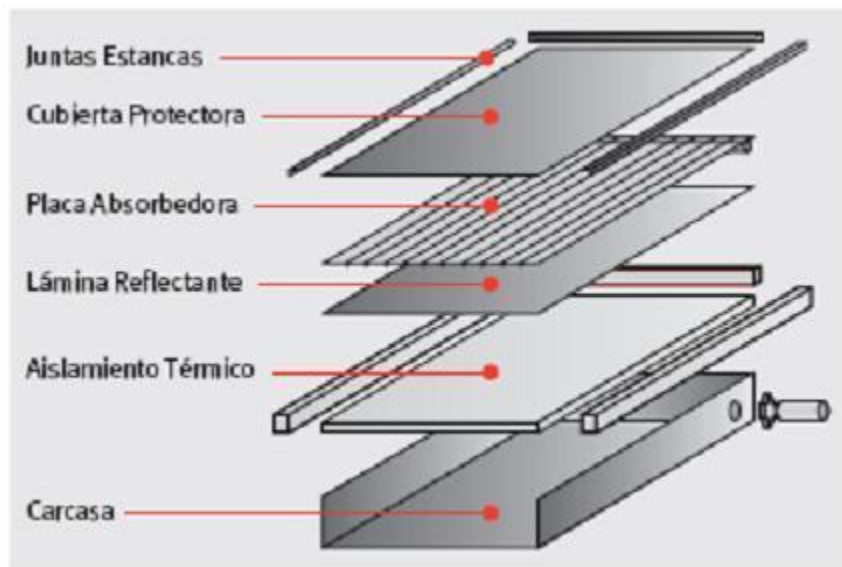
evitar fugas de energía, los captadores están constituidos por materiales a través de los cuales la radiación solar les atraviesa con facilidad, pero que una vez dentro del captador impide que la energía calorífica pueda salir al exterior. Gracias a este sistema de captación se consigue absorber la mayor parte de la radiación solar que llega hasta la superficie y devolver la menos posible.

El captador solar plano está compuesto por los siguientes elementos:

- ❖ **La carcasa:** Es el elemento que contiene los restantes elementos del captador, protegiéndolos de los agentes externos, tanto climatológicos como mecánicos, asegurando que en la cubierta no se producen tensiones inadmisibles, incluso en las condiciones de temperatura máxima alcanzable por el captador. Generalmente es metálica, aunque en algunos casos puede ser de plástico especial o de algún otro material.
- ❖ **Cubierta transparente:** Es la superficie superior o tapa de la carcasa, y es el primer elemento sobre el que incide la radiación solar. Es la encargada de originar el efecto invernadero y reducir al mismo tiempo las pérdidas que se producen por convección, es decir, tiene que tener buena transmisión solar en la banda de radiación de onda corta y opacidad a la radiación térmica de onda larga. También, debe asegurar la estanquidad del captador al fluido de trabajo, en unión con la carcasa y las juntas. Por último, debe proteger la superficie absorbedora de posibles daños externos. El material de la cubierta transparente normalmente suele ser de vidrio, aunque puede ser de plástico con características adecuadas.
- ❖ **Absorbedor:** es el elemento donde se produce la conversión de la radiación solar incidente en calor y se transmite al fluido caloportador. En la mayoría de los captadores solares el absorbedor es una placa metálica sobre la cual están soldados o embutidos los tubos por los que circula el fluido de trabajo, en un recorrido más o menos sinuoso a fin de lograr la máxima transmisión de calor entre la placa y el líquido. Tiene un funcionamiento parecido al de un radiador, es decir, un dispositivo con una disposición de tubos que cuentan con una toma por donde entra el fluido a calentar y otro por el que sale. Existen una gran variedad de configuraciones de tubos internos, aunque los más que se usan son los tradicionales, los de tipo serpentina o los de tubo paralelo. Estos consisten en varios tubos de cobre, orientados a

lo largo del captador, en contacto con la placa de color oscuro que es la que le transfiere el calor al fluido circulante. A los absorbedores se les suele someter a un tratamiento, ya sea para lograr las denominadas superficies selectivas que persiguen disminuir la emisividad en longitudes de onda larga, o los tratamientos negros que se hacen para aumentar la absorbancia.

- ❖ **Aislamiento térmico:** Tiene la misión de reducir las pérdidas térmicas a través de la carcasa, que suele estar formada por un material metálico, y cuyo coeficiente de transmisión es elevado. Se coloca entre la carcasa y la placa absorbente en la parte posterior y lateral del captador. Los materiales aislantes utilizados para los captadores deben resistir altas temperaturas, deben tener ausencia de vapores y resistir a la humedad. El material utilizado suelen ser normalmente espumas sintéticas (poliuretano, lana de roca y de vidrio) que tienen baja conductividad térmica y constituyen un buen material de aislamiento térmico en seco.



**Figura 18.** Esquema de componentes de un panel solar. **Fuente:** López-Cózar (2006).

#### 9.4.4.1.2. Certificado de los captadores

Respecto a los captadores para instalaciones de ACS, hay que cumplir con lo regulado en el CTE. Aunque en las restantes aplicaciones no es exigible este cumplimiento, es conveniente que los componentes que más sufren los rigores de la intemperie tengan la mayor garantía.

Los captadores para instalaciones reguladas en el CTE deben estar certificados de acuerdo con la norma UNE-EN 12975, Sistemas solares térmicos y sus componentes.

#### 9.4.4.2. Sistema de distribución

Este sistema es el responsable del transporte del fluido caliente de los captadores hasta los acumuladores y al punto de consumo. A continuación, se exponen los diferentes tipos de instalaciones que puede haber bajo el punto de vista del tipo de circuito:

- **Instalaciones de circuito abierto:** Estos sistemas se basan en transferir de forma directa el agua caliente producida en los captadores hacia el depósito de acumulación. El funcionamiento de estos equipos es muy sencillo: en los captadores solares se calienta el agua, y al aumentar de temperatura se desplaza hacia arriba, y cuando se introduce en el acumulador, éste se vacía en una cantidad similar de agua fría que se dirige al captador.
- **Instalaciones de circuito cerrado:** Este tipo está formado por dos circuitos: el primario del sistema de captación y el circuito secundario donde se encuentra el sistema de almacenaje. En el primario se introduce normalmente agua con un componente anticongelante, que circula por toma la energía del captador y transmite el calor al agua que se encuentra en el interior del tanque de almacenamiento por medio de un intercambiador de calor.

Existen varios tipos de sistemas de circulación que tienen como principal función impedir que se pierda la energía térmica obtenida en los captadores solares y transmitirla al acumulador:

- **Circulación natural o con termosifón:** En este caso el movimiento del fluido de trabajo se produce por variación de densidad del fluido, como consecuencia de variaciones en su temperatura. Cuando el fluido de los captadores se calienta como resultado de la incidencia sobre ellos de los rayos solares, pierde peso y asciende hacia la parte alta del circuito introduciéndose en el acumulador, mientras que el fluido frío contenido en el acumulador, al tener mayor peso, se desplaza hacia la parte baja de la instalación por la tubería de entrada a los captadores. De esta forma, se mantiene una circulación del fluido, siempre y cuando exista una diferencia de temperatura entre el fluido de los captadores y el del acumulador, y cesa cuando las temperaturas se igualan.
- **Circulación forzada de agua:** El movimiento del fluido se realiza a través de una bomba de circulación que es capaz de establecer un caudal y vencer las pérdidas de carga del circuito. La bomba de impulsión es movida por un aporte exterior de energía eléctrica que supone un gasto que debemos tener en cuenta a la hora de elegir este mecanismo. La regulación de la bomba se efectúa por medio de un control diferencial de temperatura que la activa cuando existe la posibilidad de ganancia de energía térmica en el acumulador. Las sondas que controlan la diferencia de temperatura se colocan a la salida de los captadores y en la parte inferior del acumulador solar.

Como ya hemos visto anteriormente, en las instalaciones solares térmicas siempre existe un circuito primario que, como lo define el CTE, está formado por tuberías, bombas, etc., y se encarga de la circulación del fluido entre los captadores y el acumulador; y, por otro lado, el circuito secundario es que le conduce el fluido desde el acumulador a los puntos de consumo.

En caso de aplicación para A.C.S., el circuito hidráulico del sistema de consumo deberá cumplir los requisitos especificados en UNE-EN 806-1. Por tanto, el circuito de toda la instalación está formado por distintos componentes específicos, similares a los que existen en un circuito hidráulico estándar, que son:

- **Tuberías:** Todos los componentes de la instalación se encuentran unidos mediante las tuberías por las que circula el fluido, y que deben tener la menor longitud posible para evitar pérdidas térmicas. Según el CTE, los materiales que se pueden usar para el circuito primario son cobre y acero inoxidable, con uniones roscadas, soladas o embridadas y protección exterior con pintura anticorrosiva. En el circuito secundario podrá utilizarse cobre y acero inoxidable, aunque también materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito. Todas las tuberías contarán con un aislamiento térmico adecuado para evitar pérdidas de energía calorífica en el transporte.
- **Válvulas:** Estos elementos son mecanismos que tienen como función impedir o controlar el paso de fluido por una tubería. Según la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece que la elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñen y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura) siguiendo preferentemente los criterios que se citan a continuación:
  - Para aislamiento: válvulas de esfera;
  - para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento;
  - para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento;
  - para llenado: válvulas de esfera;
  - para purga de aire: válvulas de esfera o de macho;
  - para seguridad: válvula de resorte;
  - para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.
- **Bomba de circulación:** Es el componente de la instalación cuya función es compensar la pérdida de presión hidrostática dando el impulso necesario para producir la circulación del fluido calo portador en el circuito. Constituye el dispositivo principal en las instalaciones solares térmicas de circulación forzada. Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado. Debido a las altas temperaturas que se pueden alcanzar en una instalación solar, siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito que es la tubería de retorno a captadores en el circuito primario. En instalaciones superiores a 50 m<sup>2</sup> se



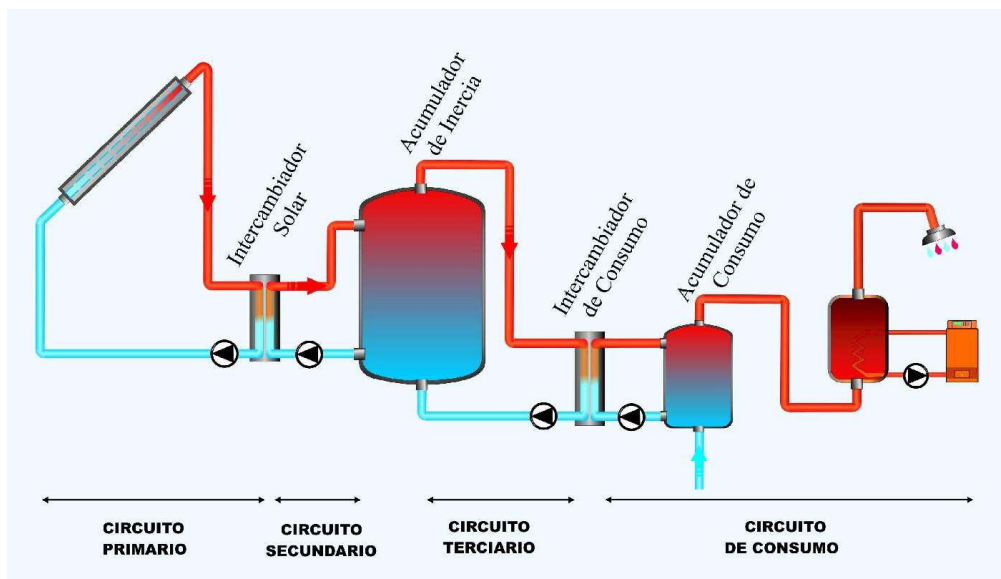
han de montar dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario, previendo el funcionamiento alternativo de las mismas, bien de forma manual o de forma automática.

- **Vaso de expansión:** Es el elemento que tiene como función absorber las variaciones de volumen del fluido de trabajo ocasionadas por la dilatación térmica, evitando el escape del fluido caloportador a través de la válvula de seguridad cuando se calienta. El funcionamiento es muy simple: en el circuito primario cuando se calienta el fluido entra en el vaso de expansión, y una vez que se enfría vuelve al circuito, así, de este modo, se mantiene la presión del circuito dentro de los rangos de presión admisibles y siempre por encima de la atmosférica, impidiéndose la introducción de aire en el circuito cuando vuelva a enfriarse. Los vasos de expansión pueden ser abiertos o cerrados en función de que el fluido del circuito esté en contacto directo con la atmósfera o no. Actualmente, se suelen usar los vasos de expansión cerrados habiendo caído en desuso los vasos de expansión abiertos, que aunque están permitidos por el CTE, no es recomendable su uso en instalaciones solares térmicas según indica la publicación “Comentarios RITE-2007” del IDAE. (ATECYR 2007)
- **Purgadores:** Son sistemas que se colocan en los puntos altos de la salida de los captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, y que se encargan de dejar salir el aire que pueda haberse introducido en las tuberías, dificultando el buen funcionamiento de los circuitos.
- **Sistema de llenado y de vaciado:** El apartado 3.4.9, Sistema de llenado, de la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece lo siguiente:
  - Los circuitos con vaso de expansión cerrado deben incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. En general, es muy recomendable la adopción de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga u otro dispositivo, de forma que nunca se utilice directamente un fluido para el circuito primario cuyas características incumplan esta Sección del Código Técnico o con una concentración de anticongelante más baja.

- En cualquier caso, nunca podrá rellenarse el circuito primario con agua de red si sus características pueden dar lugar a incrustaciones, deposiciones o ataques en el circuito, o si este circuito necesita anticongelante por riesgo de heladas o cualquier otro aditivo para su correcto funcionamiento.
- Las instalaciones que requieran anticongelante deben incluir un sistema que permita el relleno manual del mismo.
- Para disminuir los riesgos de fallos se evitarán los aportes incontrolados de agua de reposición a los circuitos cerrados y la entrada de aire que pueda aumentar los riesgos de corrosión originados por el oxígeno del aire. Es aconsejable no usar válvulas de llenado automáticas.

#### 9.4.4.3. Intercambiadores de calor

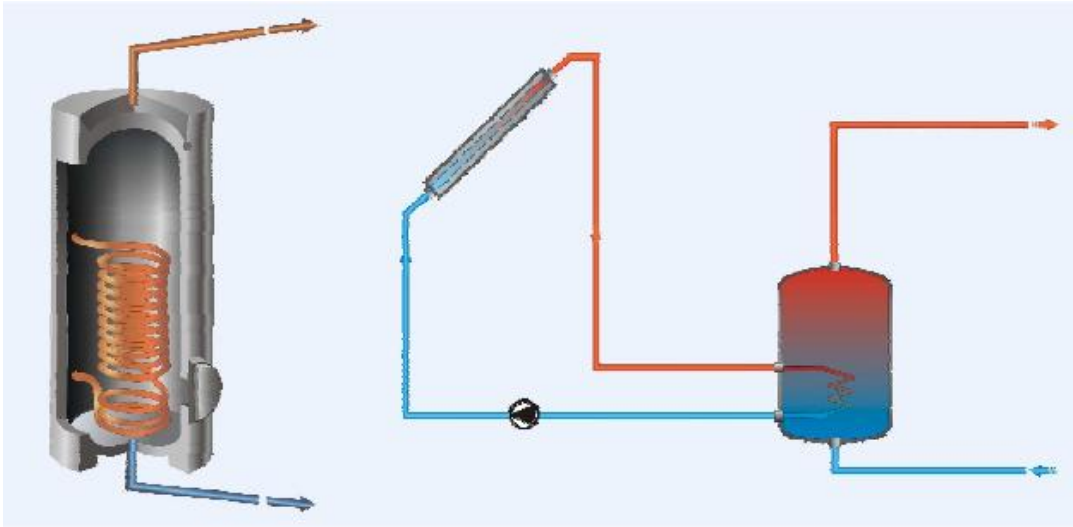
Este sistema tiene el objetivo dentro de las instalaciones solares térmicas, de transferir el calor que transporta el fluido del circuito primario al agua del circuito secundario, que está conectado con el acumulador. También, puede existir un sistema de intercambio entre el acumulador y el circuito que transfiere el calor hasta los puntos de consumo.



**Figura 19.** Instalación solar con sistema de intercambio solar y de consumo. **Fuente.** Agencia Andaluza de la Energía, 2011.

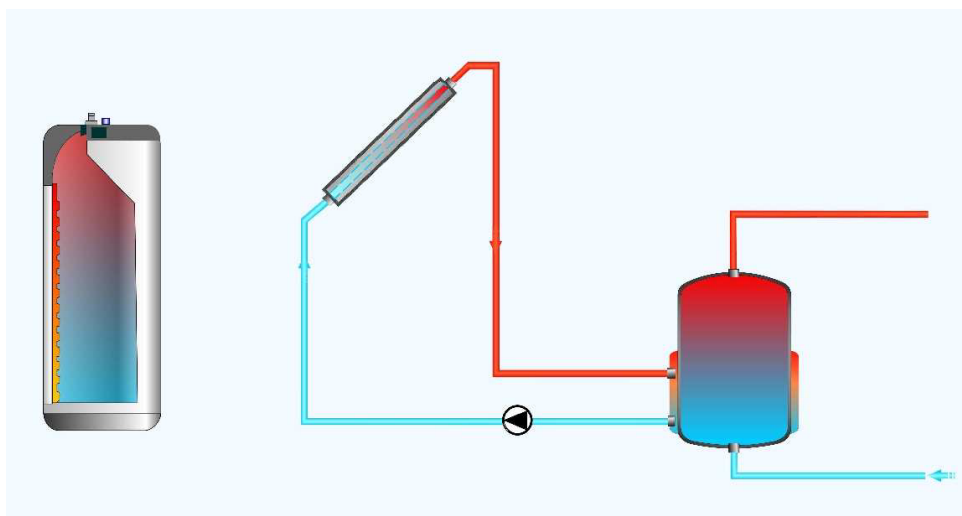
Existen dos tipos de intercambiadores de calor, que se exponen a continuación:

- **Intercambiadores incorporados al acumulador:** Son aquellos que forman un conjunto que se le denomina interacumulador, pudiendo ser de dos tipos, de doble pared o serpentín.
  - **Con serpentín:** se basan en un serpentín en el interior del depósito de acumulación.



**Figura 20.** Interacumulador con serpentín. **Fuente.** Agencia Andaluza de la Energía, 2011.

- **De doble envoltente:** El fluido portador del calor circula alrededor del depósito acumulador en una cilíndrica concéntrica.



**Figura 21.** Interacumulador con doble envoltente. **Fuente.** Agencia Andaluza de la Energía, 2011.

- **Intercambiadores externos:** estos sistemas también se conocen como intercambiadores independientes, ya que el depósito de acumulación está separado del intercambiador. En este método de intercambio de calor, los dos fluidos que interactúan están en movimiento. Se usan únicamente en los sistemas forzados, y se necesita una segunda bomba de circulación para el circuito secundario entre el intercambiador y el depósito.

Los materiales que forman los intercambiadores deben cumplir un conjunto de características, entre las que destacan: ser resistentes a los fluidos de trabajo utilizados; ser compatibles con los materiales de los otros componentes del circuito; resistir las temperaturas que se producen en la instalación, tanto las altas como bajas; y poseer unas buenas propiedades de conductividad térmica. Normalmente están formados por acero inoxidable o cobre.

#### 9.4.4.4. Sistema de acumulación

Una de las características que destacan a las instalaciones solares térmica es la capacidad de acumular la energía en aquellos momentos del día que más radiación existe, y poder utilizarla más tarde cuando se necesite, sin necesidad de tener que usarla inmediatamente después de ser captada. Para ello, el almacenamiento de la energía térmica procedente de los captadores solares se realiza en forma de agua caliente en depósitos de acumulación.

Los acumuladores para ACS y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos de la norma UNE EN 12897.

Es muy importante un dimensionamiento correcto de los acumuladores, ya que va a afectar al funcionamiento de la instalación, debido a que los acumuladores pequeños favorecen las altas temperaturas en los paneles, mientras que por el contrario los acumuladores muy grandes dificultan el alcance de la temperatura de uso. Por ello, según el apartado 3.3.3., Sistema de acumulación solar, de la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece que el

sistema solar se debe concebir en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares). Por tanto, se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser ésta simultánea con la generación. Y es en el mismo apartado, en los que se expone que para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

siendo:

- A** suma de las áreas de los captadores, en m<sup>2</sup>
- V** volumen del depósito de acumulación solar, en litros

Los depósitos que darán mejores resultados son aquellos que tienen forma cilíndrica con unas proporciones de uno de ancho por dos de alto. Esto se debe al fenómeno de estratificación, por el que el agua caliente se coloca en las partes altas del depósito, mientras que el agua fría en la parte inferior, y esto se debe a que el agua cuando tiene más temperatura posee menos densidad y asciende por encima del agua fría, que pesa más. De este modo, cuando más alto sea el depósito, mayor será la diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior del tanque de almacenamiento.

Además de la forma, las condiciones para lograr una buena estratificación se consiguen mediante una buena disposición de las conexiones, como se expone en el apartado 3.3.3.2, de la Sección HE4, que dice que las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido y, además:

- la conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al interacumulador se realizará, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo;
- la conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste;

- la conexión de retorno de consumo al acumulador y agua fría de red se realizarán por la parte inferior;
- la extracción de agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior.

Además de la configuración vertical del depósito, el código técnico de la edificación también recomienda que el sistema de acumulación esté constituido por un solo depósito y esté ubicado en zonas interiores. En el caso de fraccionarse en dos o más depósitos, se conectarán, preferentemente, en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados.

Como se ha explicado en el apartado anterior de los intercambiadores de calor, el calentamiento del agua del interior del depósito se realiza mediante intercambiadores de calor, que pueden estar incorporados en el interior de los depósitos al depósito o independientes de ellos, por lo que resultan así dos tipos principales:

- **Depósitos sin intercambiador incorporado.** El calentamiento del agua acumulada se produce en el exterior del depósito, mediante el paso del agua a través del intercambiador de calor externo.
- **Depósitos con intercambiador incorporado o interacumulador.** El calentamiento del agua caliente que se va almacenar tiene lugar en el mismo depósito, que tiene incorporado su propio intercambiador de calor.

Existen muchos tipos de depósito para agua caliente el mercado, siendo los materiales de construcción más adecuados el acero, el acero inoxidable, el aluminio y la fibra de vidrio reforzada. Además, El apartado 3.4.2, de la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece que el acumulador estará enteramente recubierto con material aislante y es recomendable disponer una protección mecánica en chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástico.

#### 9.4.4.5. Sistema convencional de apoyo

El equipo de energía auxiliar es un elemento fundamental en las instalaciones solares, ya que puede haber limitaciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o la demanda es superior a lo previsto. Para evitar las posibles restricciones de energía, la instalación debe contar con un apoyo con alguna energía convencional.

Según la forma de realizar el aporte de energía auxiliar se puede diferenciar entre dos tipos:

- **Sistemas instantáneos:** también son denominados en línea, y se usan para instalaciones pequeñas, ya que para un calentamiento instantáneo de una instalación de cierto tamaño requiere una gran potencia.
- **Sistemas con acumulador auxiliar:** este tipo tiene un mejor ajuste de la temperatura de consumo, y una disponibilidad inmediata en la capacidad acumulada.

El CTE establece una serie de condiciones para los sistemas de energía convencionales auxiliares:

- Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía convencional auxiliar.
- Queda prohibido el uso de sistemas de energía convencional auxiliar en el circuito primario de captadores.
- El sistema convencional auxiliar se diseñara para cubrir el servicio como si no se dispusiera del sistema solar. Sólo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación.
- El sistema de aporte de energía convencional auxiliar con acumulación o en línea, siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con la legislación vigente en cada momento referente a la prevención y control de la legionelosis.

- En el caso de que el sistema de energía convencional auxiliar no disponga de acumulación, es decir sea una fuente instantánea, el equipo será modulante, es decir, capaz de regular su potencia de forma que se obtenga la temperatura de manera permanente con independencia de cuál sea la temperatura del agua de entrada al citado equipo.

Los sistemas de apoyo pueden ser calderas eléctricas que suministran la energía dentro del acumulador mediante una resistencia, o calderas de combustión, que pueden ser de gas o gasóleo. Los equipos que se basan en la combustión de gas son las más adecuadas para los sistemas solares térmicos de baja temperatura, ya que se adaptan mejor a las demandas inconstantes y presentan una respuesta inmediata.

#### **9.4.4.6. Sistema de control**

Este sistema es necesario en la instalación, ya que, es un sistema que garantiza el correcto funcionamiento del conjunto de todos los elementos que lo conforman.

El apartado 3.3.7., Sistema de control, de la Sección HE4, del DB HE del CTE, nos expone las distintas funciones de estos equipos:

- El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas etc.
- En 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 la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia



sea mayor de 7°C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2°C.

- Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.
- El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
- El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.
- Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.
- Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

#### **9.4.4.7. Sistema de medida**

El Código Técnico de la Edificación exige que, además de los aparatos de medida de presión y temperatura que permitan la correcta operación, para el caso de instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup>, se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida y registro de datos que indique como mínimo las siguientes variables, de forma que el tratamiento de los datos proporcione al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo:

- temperatura de entrada agua fría de red;
- temperatura de salida acumulador solar;

- caudal de agua fría de red.

Además de proporcionar la energía cedida al usuario por la instalación solar, nos puede suministrar también el consumo de energía térmica (instalación solar más sistema de apoyo).

#### 9.4.5. Proyecto y cálculo de la instalación

Para la realización del proyecto de la instalación solar térmica para ACS se basará en lo expuesto en la “Guía de Asistencia Técnica 17: Proyecto y cálculo de instalaciones solares térmicas”, de Pilar Pereda Suquet.

El proyecto se ha desarrollado cumpliendo el RD 314/2006 Código Técnico de la Edificación, documento básico DB HE, Ahorro de energía, sección HE4, Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, al estar incluido el edificio objeto del presente proyecto en el ámbito de aplicación del mismo.

##### 9.4.5.1. Datos de partida

**Tabla 19.** Datos geográficos y climatológicos.

Provincia/Localidad	Tenerife
Zona climática	V
Radiación solar global ( $\text{mJ}/\text{m}^2$ )	$H \geq 18,0$
Latitud ( $^\circ$ )	28,5

**Tabla 20.** Datos de consumo.

Potencia (kJ/s)	15
Calor específico de agua ( $\text{kJ}/^\circ\text{C}\cdot\text{kg}$ )	4,18
Temperatura ACS ( $^\circ\text{C}$ )	60
Temperatura de la cámara ( $^\circ\text{C}$ )	42
$T_{\text{ACS}} - T_{\text{SALIDA}}$ ( $^\circ\text{C}$ )	18
Demanda (kg/s)	0,20
Demanda (l/h)	717,70
Horas de funcionamiento al día	7,75
$Q_{\text{día}}$ (l/día)	5.562

#### 9.4.5.2. Contribución solar mínima. Criterio del CTE

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

La contribución solar mínima para la demanda de A.C.S. a una temperatura de referencia de 60 °C, se extrae del documento básico DB HE, Ahorro de energía, Sección HE 4 (Tablas 2.1 y 2.2), depende de la energía convencional de apoyo y de la zona climática, siendo:

**Tabla 21.** Datos de la contribución solar mínima

Energía de apoyo	Electricidad
Caso	Efecto Joule
Zona climática según CTE DB HE4	V
Contribución solar mínima [%]	70

#### 9.4.5.3. Cálculo de la demanda energética mensual por consumo de A.C.S.

La demanda energética será la cantidad de energía necesaria para elevar la masa de agua resultante de los consumos requeridos desde la temperatura de suministro a la de referencia, en valores mensuales.

El cálculo de la demanda energética se realiza mediante la siguiente expresión, para cada mes del año, expresado en kWh/mes:

$$DE_{MES} = Q_{día} \times N \times (T_{A.C.S.} - T_{AF}) \times 1,16 \times 10^{-3}$$

siendo:

$DE_{mes}$ : demanda energética, en kWh/mes

$Q_{día}$ : consumo diario de agua caliente sanitaria a la temperatura de referencia  $T_{A.C.S.}$ , en l/día.

$N$ : nº de días del mes considerado, días/mes.

$T_{A.C.S.}$ : temperatura de referencia utilizada para la cuantificación del consumo de agua caliente.

$T_{AF}$  : temperatura del agua fría de la red, en °C.

**Tabla 22.** Cálculo de la demanda mensual por consumo de ACS.

Mes	N (días laborales/mes)	TACS(°C)	TAF (°C)	$\Delta T$ (°C)	DE <sub>mes</sub> (kWh)
Enero	27	60	8	52	8.708,16
Febrero	24	60	9	51	7.591,73
Marzo	27	60	11	49	8.205,77
Abril	26	60	13	47	7.579,32
Mayo	27	60	14	46	7.703,37
Junio	26	60	15	45	7.256,80
Julio	27	60	16	44	7.368,44
Agosto	27	60	15	45	7.535,91
Septiembre	26	60	14	46	7.418,06
Octubre	27	60	13	47	7.870,84
Noviembre	26	60	11	49	7.901,85
Diciembre	27	60	8	52	8.708,16

#### 9.4.5.4. Cálculo del campo de captadores

##### 9.4.5.4.1. Datos de los captadores

Para la selección de los colectores solares se ha utilizado el catálogo de **BUDERUS**. Escogiéndose colectores solares de máximo rendimiento, con una cámara herméticamente cerrada de material composite llenada con gas argón, absorbedor de doble meandro, recubrimiento altamente selectivo Tinox y cristal solar con alta transmisividad. Cada uno de ellos tendrá las siguientes características:

**Tabla 23.** Características técnicas del captador.

Datos del captador:	Logasol SKS 4.0
Tipo de montaje	Inclinado
Superficie del captador (m <sup>2</sup> )	2,1
Caudal nominal (l/h)	50
Factor de eficiencia óptica	0,848
Modificador del ángulo de incidencia	0,96
Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador	0,95
$F'_R (T \cdot \alpha)$	0,773376
Coefficiente global de pérdida [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]:	4,021

Fuente. Buderus, 2007.



**Figura 22.** Colector solar Logasol SKS 4.0. **Fuente.** Buderus, 2007.

#### 9.4.5.4.2. Cálculo de la cobertura del sistema solar

El dimensionamiento del campo de captadores constituye la base fundamental de la instalación, ya que es el elemento que recoge la energía solar que se precisa, y el valor absoluto de ésta es función de la su superficie total de captación.

El método de cálculo utilizado es el método f-Chart. Para la determinación del porcentaje de la dementada energética mensual, o fracción solar mensual, como relación entre dos magnitudes adimensionales  $D_1$  y  $D_2$ , mediante la fórmula siguiente:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

La secuencia que se va a seguir en el cálculo es la siguiente:

1. Cálculo de la radicación solar mensual incidente  $H_{mes}$  sobre la superficie inclinada de los captadores.
2. Cálculo del parámetro  $D_1$ .
3. Cálculo del parámetro  $D_2$ .
4. Determinación de la fracción energética mensual  $f$  aportada por el sistema de captación solar.
5. Valoración de la cobertura solar anual, grado de cobertura solar o fracción solar anual  $F$ .

### A. Cálculo de la radiación solar mensual incidente $H_{mes}$ sobre la superficie inclinada de los captadores

El cálculo de la radiación solar disponible en los captadores solares se efectúa según la siguiente fórmula:

$$H_{mes} = k_{mes} \times H_{día} \times N$$

siendo:

$H_{mes}$ : irradiación, o radiación solar incidente por  $m^2$  de superficie de los captadores por mes, en  $kWh/(m^2 \cdot mes)$ .

$K_{mes}$ : coeficiente función del mes, de la latitud y de la inclinación de la superficie de captación solar.

$H_{día}$ : irradiación, o radiación solar incidente por  $m^2$  de superficie de los captadores por día, en  $kWh/(m^2 \cdot día)$ .

$N$ : número de días del mes.

Los resultados se recogen en la siguiente tabla:

**Tabla 24.** Energía solar mensual incidente.

Mes	N (días laborales/mes)	$K_{mes}$	H día (MJ/m <sup>2</sup> ·día)	H día (kWh/m <sup>2</sup> ·día)	$H_{mes}$ (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	27	1,23	10,7	2,996	99,50
Febrero	24	1,16	13,3	3,724	103,68
Marzo	27	1,08	18,1	5,068	147,78
Abril	26	1,01	21,5	6,02	158,09
Mayo	27	0,95	25,7	7,196	184,58
Junio	26	0,93	26,5	7,42	179,42
Julio	27	0,95	29,3	8,204	210,43
Agosto	27	1,01	26,6	7,448	203,11
Septiembre	26	1,1	21,2	5,936	169,77
Octubre	27	1,21	16,2	4,536	148,19
Noviembre	26	1,28	10,8	3,024	100,64
Diciembre	27	1,28	9,3	2,604	89,99

## B. Cálculo del parámetro $D_1$

Expresa la relación entre la energía absorbida por el captador plano  $EA_{mes}$  y la demanda o carga energética mensual del edificio durante un mes,  $DE_{mes}$ .

$$D_1 = \frac{EA_{mes}}{DE_{mes}}$$

La expresión de la energía absorbida por el captador,  $EA_{mes}$ , es la siguiente:

$$EA_{mes} = S_c \times F'_R (\tau \cdot \alpha) \times H_{mes}$$

siendo:

$EA_{mes}$ : energía solar mensual absorbida por los captadores, en kWh/mes

$S_c$ : superficie de captación, en  $m^2$ .

$H_{mes}$ : energía solar mensual incidente sobre la superficie de los captadores, en kWh/( $m^2 \cdot mes$ ).

$F'_R (\tau \cdot \alpha)$ : factor adimensional, cuya expresión es:

$$F'_R (\tau \cdot \alpha) = F'_R (\tau \cdot \alpha)_n \times \left[ \frac{(\tau \cdot \alpha)}{(\tau \cdot \alpha)_n} \right] \times \frac{F'_R}{F_R}$$

dónde:

$F'_R (\tau \cdot \alpha)_n$ : Factor de eficiencia óptica del captador.

$\left[ \frac{(\tau \cdot \alpha)}{(\tau \cdot \alpha)_n} \right]$ : Modificador del ángulo de incidencia.

$\frac{F'_R}{F_R}$ : Factor de corrección del conjunto captador

intercambiador.

En la instalación del presente proyecto se han utilizado:

**Tabla 25.** Datos sobre los captadores.

Número de captadores	30
Superficie de captación (m <sup>2</sup> )	63
Inclinación (°)	28,5
Orientación óptima (°)	16 Oeste

Los resultados obtenidos se expresan en la tabla siguiente:

**Tabla 26.** Cálculo del parámetro D<sub>1</sub>.

Mes	DE <sub>mes</sub> (kWh)	H <sub>mes</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	EA <sub>mes</sub> (kWh)	D <sub>1</sub>
Enero	8.708,16	99,50	4.847,8	0,56
Febrero	7.591,73	103,68	5.051,4	0,67
Marzo	8.205,77	147,78	7.200,4	0,88
Abril	7.579,32	158,09	7.702,3	1,02
Mayo	7.703,37	184,58	8.993,1	1,17
Junio	7.256,80	179,42	8.741,6	1,20
Julio	7.368,44	210,43	10.252,8	1,39
Agosto	7.535,91	203,11	9.895,9	1,31
Septiembre	7.418,06	169,77	8.271,6	1,12
Octubre	7.870,84	148,19	7.220,3	0,92
Noviembre	7.901,85	100,64	4.903,4	0,62
Diciembre	8.708,16	89,99	4.384,8	0,50

### C. Cálculo del parámetro D<sub>2</sub>

Expresa la relación entre la energía perdida por el captador EP<sub>mes</sub>, para una determinada temperatura, y la demanda energética mensual.

$$D_2 = \frac{EP_{mes}}{DE_{mes}}$$

La expresión de las pérdidas del captador es la siguiente:

$$EP_{mes} = S_c \times F'_R \times U_L \times 100 - T_{AMB} \times \Delta t \times K_1 \times K_2$$

siendo:

EP<sub>mes</sub>: energía solar mensual perdida por los captadores, en kWh/mes.

S<sub>c</sub>: superficie de captación solar, en m<sup>2</sup>.



$F'_{RU_L}$ : factor, en kWh/(m<sup>2</sup>K), cuya expresión es:

$$F'_{RU_L} = F_{RU_L} \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3}$$

dónde:

$F_{RU_L}$ : coeficiente global de pérdidas del captador, en W/(m<sup>2</sup>K)

$F'_R/F_R$ : factor de corrección del conjunto captador-intercambiador.

$T_{AMB}$ : temperatura media mensual del ambiente, en °C.

$\Delta t$ : periodo de tiempo considerado, en horas.

$K_1$ : factors de corrección por almacenamiento:

$$K_1 = \left[ \frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25}$$

dónde:

$V$ : volumen de acumulación solar, en litros.

$K_2$ : factor de corrección para A.C.S. que relaciona las distintas temperaturas.

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18T_{AC} + 3,86T_{AF} - 2,32T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})}$$

dónde:

$T_{AC}$ : temperatura mínima del agua caliente sanitaria.

$T_{AF}$ : temperatura del agua de la red, en °C.

$T_{AMB}$ : temperatura media mensual del ambiente, en °C.

Los datos obtenidos son los siguientes:

**Tabla 27.** Cálculo del parámetro  $D_2$ .

Mes	$DE_{mes}$ (kWh)	$T_{amb}$ (°C)	TAF (°C)	$\Delta T$ (h)	$K_1$	$K_2$	$EP_{mes}$ (kWh)	$D_2$
Enero	8.708,16	19	8	209,25	1,04	0,85	3.632,92	0,42
Febrero	7.591,73	20	9	186,00	1,04	0,88	3.301,12	0,43
Marzo	8.205,77	20	11	209,25	1,04	0,98	4.119,05	0,50
Abril	7.579,32	21	13	201,50	1,04	1,06	4.239,49	0,56
Mayo	7.703,37	22	14	209,25	1,04	1,09	4.483,40	0,58
Junio	7.256,80	24	15	201,50	1,04	1,11	4.277,91	0,59
Julio	7.368,44	26	16	209,25	1,04	1,13	4.401,50	0,60
Agosto	7.535,91	27	15	209,25	1,04	1,06	4.077,05	0,54
Septiembre	7.418,06	26	14	201,50	1,04	1,03	3.848,20	0,52
Octubre	7.870,84	25	13	209,25	1,04	0,99	3.915,36	0,50
Noviembre	7.901,85	23	11	201,50	1,04	0,93	3.614,64	0,46
Diciembre	8.708,16	20	8	209,25	1,04	0,84	3.511,12	0,40

#### D. Determinación de la fracción energética mensual $f$ aportada por el sistema de captación solar

Una vez determinados los valores mensuales de los parámetros  $D_1$  y  $D_2$  la fracción solar mensual se puede calcular a partir de la expresión ya conocida anteriormente. A continuación se pueden ver los resultados:

**Tabla 28.** Cálculo de la fracción energética mensual  $f$ .

Mes	$D_1$	$D_2$	$f$
Enero	0,56	0,4172	0,47
Febrero	0,67	0,4348	0,55
Marzo	0,88	0,5020	0,70
Abril	1,02	0,5593	0,78
Mayo	1,17	0,5820	0,86
Junio	1,20	0,5895	0,88
Julio	1,39	0,5973	0,98
Agosto	1,31	0,5410	0,94
Septiembre	1,12	0,5188	0,84
Octubre	0,92	0,4975	0,72
Noviembre	0,62	0,4574	0,52
Diciembre	0,50	0,4032	0,43

#### E. Fracción solar anual $F$

La fracción solar anual se calcula como la relación entre la suma de aportaciones solares mensuales y la suma de las demandas energéticas de cada mes:

$$F = \frac{\sum_1^{12} EU_{mes}}{\sum_1^{12} DE_{mes}}$$

siendo:

$EU_{mes}$ : energía útil mensual aportada por la instalación solar para la producción del agua caliente sanitaria del edificio, en kWh/mes, determinada por la siguiente expresión:

$$EU_{mes} = f_{mes} \times DE_{mes}$$

$F_{mes}$ : fracción solar mensual.

$DE_{mes}$ : demanda energética, en kWh/mes.

**Tabla 29.** Cálculo de la fracción solar anual F.

Mes	DE mes	f mes	EU mes
Enero	8.708,16	0,47	4.126,1
Febrero	7.591,73	0,55	4.210,5
Marzo	8.205,77	0,70	5.716,4
Abril	7.579,32	0,78	5.907,7
Mayo	7.703,37	0,86	6.658,5
Junio	7.256,80	0,88	6.414,4
Julio	7.368,44	0,98	7.200,3
Agosto	7.535,91	0,94	7.105,0
Septiembre	7.418,06	0,84	6.226,4
Octubre	7.870,84	0,72	5.686,5
Noviembre	7.901,85	0,52	4.108,7
Diciembre	8.708,16	0,43	3.769,2
Sumatorios	7.820,70		5.594,1
<b>F</b>	0,715		

Con una superficie de captación de 63 m<sup>2</sup> se puede observar como la fracción solar anual (71,5%) obtenida supera el valor de la contribución solar mínima anual (70%) resultante de la aplicación de la normativa. Por lo tanto, cumple la condición establecida y la instalación es válida.

Por otro lado, se puede contemplar como la fracción energética mensual no supera en ningún mes el 110% de la demanda energética. Por ello, no será necesario adoptar ninguna medida para reducirla.

#### 9.4.5.4.3. Pérdidas por orientación, inclinación y sombras

Las pérdidas por orientación e inclinación de la superficie de captación se han obtenido de acuerdo a lo estipulado en el apartado 3.5 de la Sección HE4 del DB HE del CTE, para considerar los límites máximos admisibles. En nuestro caso es el general, y por tanto se establecen las siguientes pérdidas límite:

Tabla 30. Pérdidas límite.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%

Fuente. Pereda, 2006.

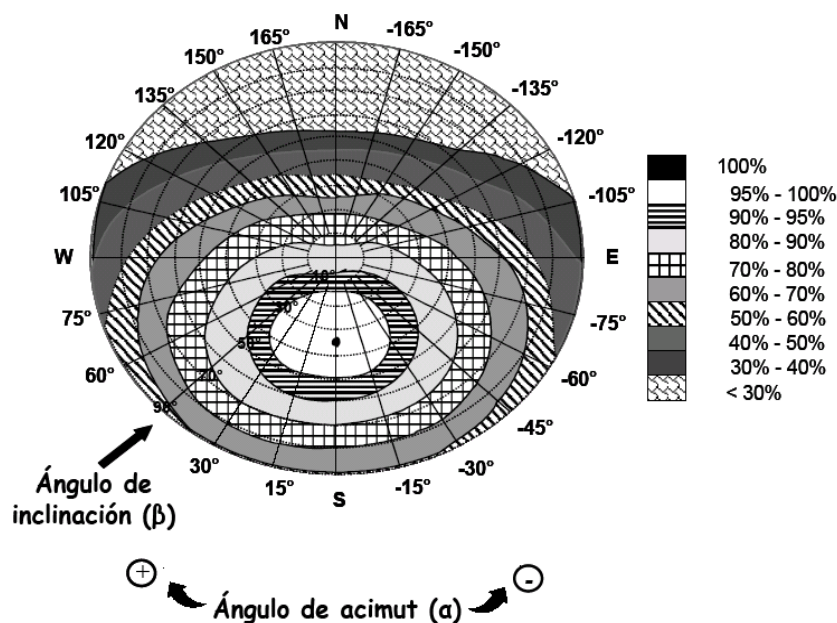


Figura 23. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Fuente. Pereda, 2006.

Los resultados de pérdidas por orientación e inclinación aparecen reflejados a continuación:

**Tabla 31.** Datos de pérdida por orientación e inclinación.

Latitud (°)	28,5
Orientación óptima:	16° Oeste
Inclinación óptima (°)	28,5
Aprovechamiento de la radiación	90-95%
Pérdidas por radiación	0-5%
Pérdidas según la gráfica	2,50%

En cuanto a las pérdidas por sombras, debido a que en los alrededores del entorno no hay obstáculos que produzcan sombras, se considera que las pérdidas por sombras son del 0%.

#### 9.4.5.5. Sistema de acumulación solar

El CTE establece en el punto 3.3.3.1, de la sección HE4, del DB HE, que el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición  $50 < V/Sc < 180$  (l/m<sup>2</sup> captador).

**Tabla 32.** Datos del sistema de acumulación de la instalación de energía solar térmica.

Relación V/Sc	63,49
Capacidad del acumulador (l)	4.000

El acumulador ha sido seleccionado del catálogo del fabricante **SUICALSA**. Las características del mismo se expondrán en un apartado posterior.

El sistema de acumulación solar será centralizado, es decir, estará constituido por un solo depósito, será de configuración vertical y estará ubicado en zonas interiores. El depósito de acumulación será un interacumulador con un intercambiador de serpentín.

#### **9.4.5.6. Sistema de intercambio**

El sistema de intercambio cumplirá los requisitos contenidos en el apartado 3.3.4. de la sección HE4 del Documento Básico DB HE del CTE.

Como se dijo anteriormente, el intercambiador de calor estará incorporado en el interior del acumulador. Por tanto, el CTE, establece que para este tipo, la relación entre la superficie útil de intercambio ( $S_{ui}$ ) y la superficie total de captadores ( $S_c$ ) debe ser:

$$S_{ui} \geq 0,15 \times S_c$$

Así, la superficie útil de intercambio tiene que ser como mínimo de 9,45 m<sup>2</sup>. Basándose en ello se ha seleccionado un interacumulador que cuenta con dos serpentines en su interior, uno inferior y otro superior, y cada uno de ellos con una superficie de 5,26 m<sup>2</sup>, haciendo una superficie total de 10,52 m<sup>2</sup>.

#### **9.4.5.7. Circuito hidráulico**

El circuito hidráulico cumplirá los requisitos contenidos en el apartado 3.3.5. de la sección HE4 del Documento Básico DB HE del CTE. Las redes de tuberías de este circuito cumplirán los requisitos establecidos en las Instrucciones Técnicas del RITE.

##### **9.4.5.7.1. Circuito hidráulico primario**

El circuito primario une los captadores solares con el sistema de intercambio, y está constituido por tuberías de cobre sanitario formando todo ello un circuito cerrado.

La conexión de los 30 captadores se realizará en paralelo de seis grupos repartidos en tres tramos en una cubierta plana. El equilibrado del circuito se hará con retorno invertido. En la siguiente imagen se puede observar las dimensiones del diseño y la distancia mínima entre filas de captadores:

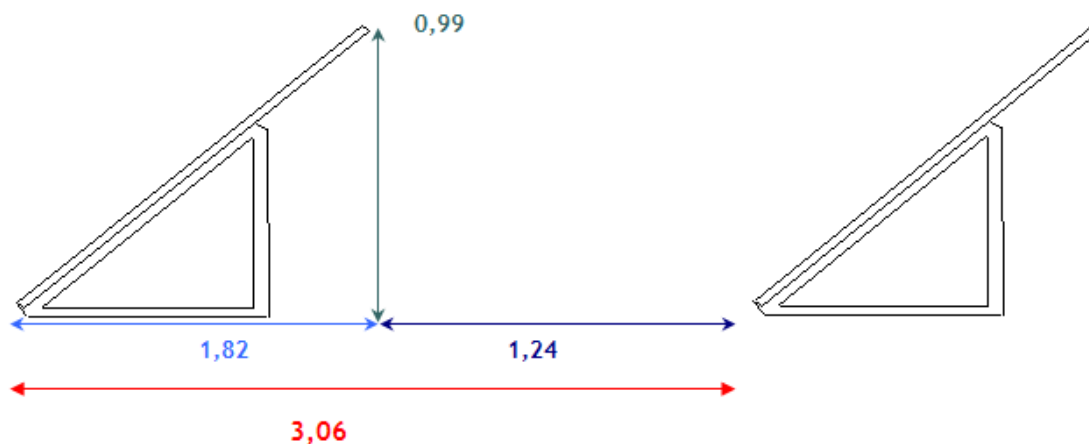


Figura 24. Diseño de los captadores. (VER PLANO 3)

El caudal que circula por una batería de captadores en paralelo es el resultado de la suma de caudales que circula por cada uno de los captadores, porque la conexión distribuye el fluido de forma independiente en cada captador. Recomendándose un caudal unitario por captador de  $50 \text{ l}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ , y sabiendo que la superficie de cada captador es de  $2,1 \text{ m}^2$  y en total hay 30 colectores, el caudal total del circuito primario es de  $3.150 \text{ l/h}$ .

El dimensionamiento de las tuberías del circuito primario se realiza de la forma habitual de cualquier circuito hidráulico, según las leyes de la dinámica de fluidos en los tubos de sección constante. Hay que destacar, que debido a que el líquido caloportador es una mezcla de agua y anticongelante a base de glicol, a la pérdida de carga unitaria se multiplica por 1,3, ya que hay que tener en cuenta la mayor viscosidad del fluido. A continuación se expone el dimensionado de las tuberías:

Tabla 33. Dimensionamiento del circuito primario de la instalación de energía solar térmica.

Tramo	Q (l/h)	v (m/s)	Sección (m <sup>2</sup> )	D (mm)	DN (mm)	J (m.c.a./m)	L m	J x L m.c.a.	$\lambda$ (m.c.a.)	Pérdida carga total (m.c.a.)
Ida de captadores	3150	1,1	0,000795	31,83	35	0,057	46	2,614	0,3920	3,006
Vuelta de captadores	3150	1,1	0,000795	31,83	35	0,057	89	5,057	0,7585	5,815

Para seleccionar el espesor del aislamiento de las diferentes tuberías nos hemos basado en IT 1.2.4.2.1 Aislamiento térmico de redes de tuberías, del RITE.

**Tabla 34.** Espesor mínimo de aislamiento de tuberías y accesorios.

Diámetro exterior de las tuberías (mm)	D≤35
Espesor mínimo aislamiento(mm) de tuberías y accesorios que discurren por el interior de edificios:	25
Espesor mínimo aislamiento(mm) de tuberías y accesorios que discurren por el exterior de edificios:	35

Fuente. RITE, 2013.

La recirculación del fluido caloportador de la instalación se llevará a cabo a través de una bomba circulatoria. Hay que tener en cuenta que como la instalación supera los 50 m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario (DB HE, Sección HE4, 3.3.5.3).

Para la correcta elección de una bomba que permita una óptima circulación del fluido del circuito formado entre los captadores solares y el interacumulador, es necesario conocer el caudal y la pérdida de carga que se produce en el mismo. A continuación se procede al cálculo de la pérdida de carga:

$$\Delta h_{f_{total}} = h_{f_{interacumulador}} + h_{f_{tuberias}} + h_{f_{colectores}}$$

◆ H<sub>f</sub><sub>interacumulador</sub>

La pérdida de carga del interacumulador es facilitada por el fabricante, teniendo el siguiente valor:

$$h_{f_{interacumulador}} = 0,23 \text{ bar}$$

◆ H<sub>f</sub><sub>tuberías</sub>

En el apartado anterior ya se ha calculado la pérdida de carga que se produce en las tuberías y piezas especiales:

$$h_{f_{tuberias}} = 0,882 \text{ bar}$$



◆ Hf<sub>colectores</sub>

Según el fabricante la pérdida de carga de cada uno de los colectores es de 0,005 bar, por lo tanto:

$$hf_{colectores} = 0,005 \text{ bar} \times 30 \text{ colectores} = 0,15 \text{ bar}$$

La pérdida de carga total de la instalación es:

$$\Delta hf_{total} = 0,23 + 0,882 + 0,054 + 0,15 = 1,316 \text{ bar} = 13,16 \text{ m.c.a.}$$

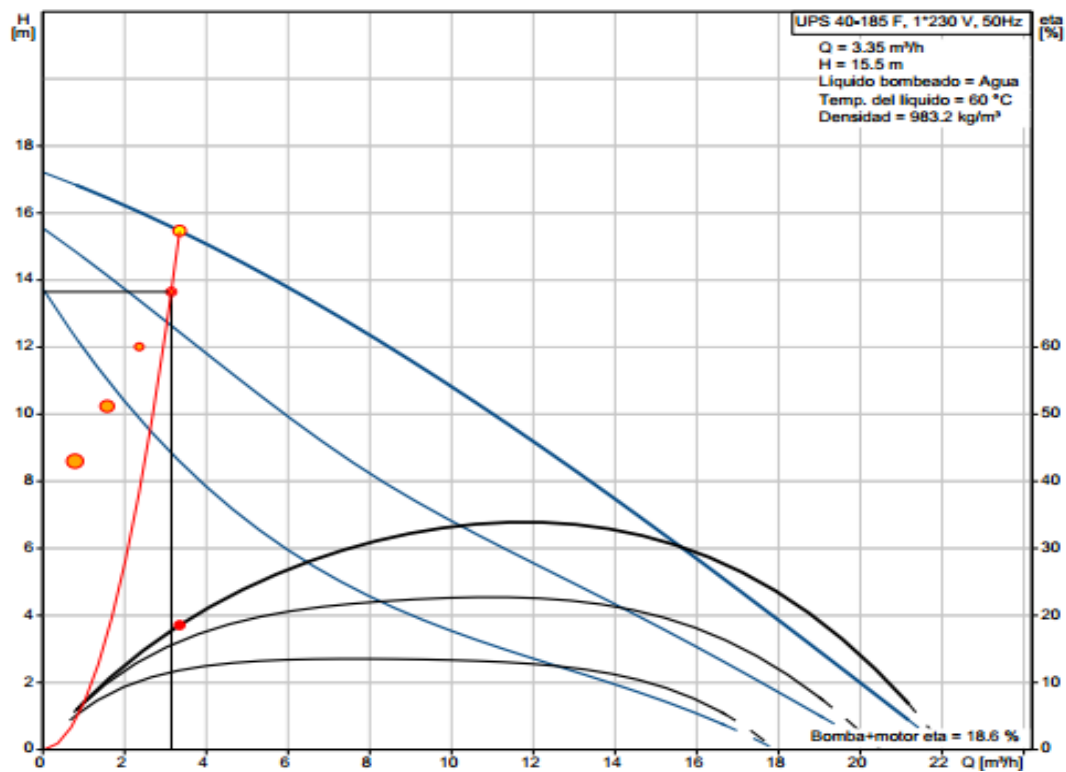
Para escoger la bomba de recirculación hemos utilizado el catálogo del fabricante **GRUNDFOS**. En función de la  $\Delta hf_{total}$  y el caudal se ha seleccionado una bomba con las siguientes características técnicas:

**Tabla 35.** Características técnicas de la bomba circuladora del circuito primario UPS 40-185 F.

Modelo	UPS 40-185 F
Caudal ( m <sup>3</sup> /h)	3,35
Altura manométrica de la bomba (m.c.a.)	15,5
Presión máx. de trabajo (bar)	10
Potencia de trabajo (W)	747
Rango de T. del agua (°C)	-10 a 120
Diámetro de conexiones (")	2
Tensión nominal	1 x 230-240 V

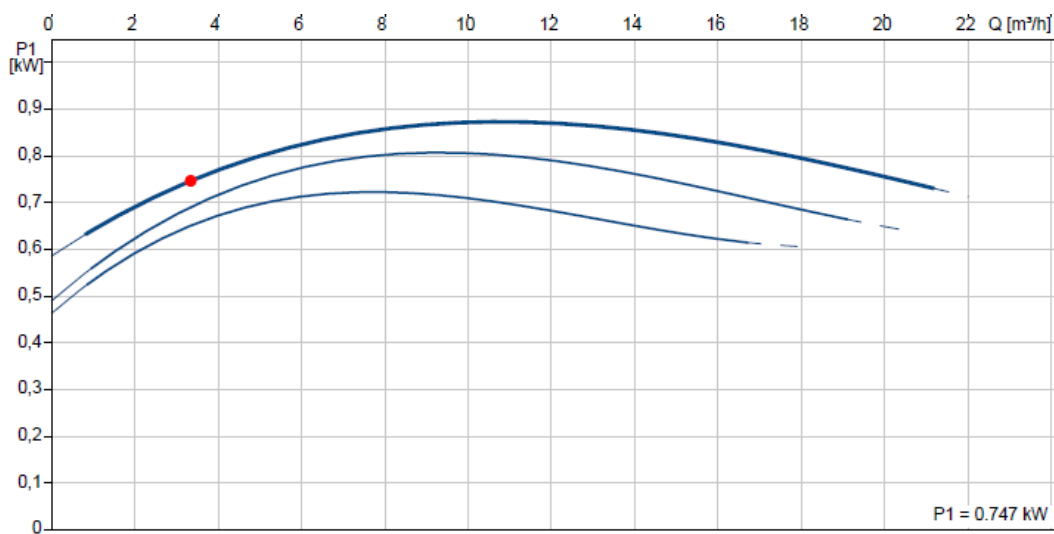
**Fuente.** Grundfos, 2014a.

La elección de la bomba se justifica con su curva característica de caudal-perdida de carga:



**Gráfico 16.** Curva característica altura manométrica – caudal UPS 40-185 F. Fuente: Grundfos, 2014a.

El consumo eléctrico de la bomba seleccionada se puede observar en el siguiente gráfico:



**Gráfico 17.** Curva característica de potencia-caudal UPS 40-185 F. Fuente: Grundfos, 2014a.

En éste circuito cerrado se instalará un vaso de expansión cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido.

La conexión de los vasos de expansión al circuito se realiza de forma directa, sin intercalar ninguna válvula o elemento de cierre que puede aislar el vaso de expansión del circuito que debe proteger.

El volumen del vaso de expansión depende del volumen total de fluido en el circuito y del coeficiente de dilatación de la mezcla de agua y anticongelante. En el caso de vasos de expansión cerrados interviene también el factor de presión, o la relación entre la presión final absoluta del vaso de expansión (o presión de tarado de la válvula de seguridad) y la diferencia entre las presiones absolutas final e inicial del vaso de expansión.

En el caso del vaso de expansión cerrado la determinación de su volumen se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$V_{vaso} = V \times n \times \frac{P_f}{P_f - P_i}$$

dónde:

$V_{vaso}$ : volumen del vaso de expansión, litros.

$V$ : volumen de fluido caloportador en el circuito primario, litros.

$n$ : coeficiente de dilatación, adimensional.

$P_f$ : presión absoluta final del vaso de expansión,  $\text{kg/cm}^2$ .

$P_i$ : presión absoluta inicial del vaso de expansión,  $\text{kg/cm}^2$ .

Los datos de partida necesarios para el dimensionado del vaso de expansión cerrado del circuito primario son los siguientes:

**Tabla 36.** Datos relativos al dimensionamiento del vaso de expansión del sistema solar térmico.

Volumen de fluido en las tuberías del circuito primario (l)	29,29
Volumen de fluido en el intercambiador (l)	32,57
Volumen de fluido en los captadores (l)	42,9
Volumen de fluido total (l)	104,66
Coefficiente de dilatación (Agua + propilenglicol)	0,08
Altura de la columna de agua (m)	6
Presión absoluta inicial del vaso de expansión (kg/cm <sup>2</sup> )	2,1
Presión absoluta final del vaso de expansión (kg/cm <sup>2</sup> )	6,4
Factor de presión	1,49

Aplicando la fórmula anterior obtenemos que el volumen del vaso de expansión para nuestra instalación sea de 12,46 litros.

Se ha utilizado el catálogo de **BUDERUS**. El vaso de expansión escogido posee las siguientes propiedades:

**Tabla 37.** Características técnicas del vaso de expansión del circuito primario Logafix MAG.

Modelo	Logafix MAG
Capacidad (l)	18
Presión máxima de trabajo (bar)	6
Temperatura máxima de trabajo (°C)	100

Fuente: Buderus, 2007.

En los puntos más 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 de aire constituidos por botellines de desaireación y purgadores manuales.

#### 9.4.5.7.2. Circuito hidráulico secundario

El circuito secundario une el depósito interacumulador con el radiador y está constituido por tuberías cobre sanitario formando todo ello un circuito cerrado. De esta forma, se transmitirá en el interior de la cámara de incubación la energía calorífica captada por los captadores, y así, mantener la temperatura óptima de fermentación.

El acumulador se ha seleccionado en el catálogo del fabricante **SUICALSA**. Se empleará un interacumulador con serpentín de cobre aleteado extraíble. El depósito posee un aislamiento estándar de fibra de poliéster de 50 mm de espesor y coeficiente de conductividad térmica de 0,038 W/m·K. Resistencia al fuego categoría B-s2d0 según norma EN 13501. Por lo que el espesor cumple con lo que se especifica en la IT 1.2.4.2.1.2 del RITE, ya que dice que el aislamiento mínimo de los depósitos es el correspondiente a tuberías de más de 140 mm, es decir, con un espesor mínimo de 45 mm. Presenta las siguientes propiedades:

**Tabla 38.** Características técnicas del interacumulador Polywarm.

Modelo	ASSC400PW08RFP
Capacidad (l)	4.000
Diámetro Ø [mm]	1.550
Alto [mm]	2.922
Conducciones hidráulicas (")	2

Fuente. Suicalsa, 2011.



**Figura 25.** Interacumulador Polywarm. Fuente. Suicalsa, 2011.

En el caso del radiador, que será la unidad encargada de transmitir el calor al interior de la cámara de incubación, se ha escogido el catálogo del fabricante **JAGA**. Este tipo de aerotermos cuenta con un sistema venturi que permite un calentamiento más rápido, una mejor distribución de la temperatura y un consumo de energía más bajo. Para seleccionar el modelo necesario se ha tenido en cuenta la energía calorífica que se debe transmitir es de aproximadamente 15 kW.

En el catálogo se indica que a esa energía calorífica se le ha de aplicar un factor de corrección que va en función de la diferencia de temperatura media del agua y la temperatura de la cámara, para poder seleccionar posteriormente un modelo que transmita el calor necesario al interior de la sala.

Para ello, se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$\Delta T = \frac{T_f + T_r}{2} - T_c = \frac{60 + 50}{2} - 42 = 13^\circ C$$

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura.

$T_f$ : Temperatura del flujo de agua.

$T_r$ : Temperatura de retorno del agua.

$T_c$ : Temperatura de la cámara de incubación.

Una vez obtenido el valor de  $\Delta T$ , el fabricante dice que el factor de corrección es de 0,26. A continuación aplicamos el  $F_c$  a la energía calorífica que se quiere transmitir en el interior de la sala:

$$Q_{aerotermino} = \frac{Q_{necesario}}{F_c} = \frac{15kW}{0,26} = 57,7 kW$$

De esta forma, se debe elegir un radiador que proporcione 57,7 kW para una temperatura del agua de 60°C y una  $T_r$  de 50°C, manteniendo una temperatura de 42°C en el interior de la cámara, para que realmente transmita 15 kW.

Según lo anterior, se tendrá que utilizar dos aerotermos de 30,4 kW cada uno para cubrir las necesidades de 57,7 kW. Por ello, se ha elegido dos modelos UNIT.221/EC. En las siguientes tablas se exponen las características del radiador:

**Tabla 39.** Dimensiones del aerotermo.

Lado (cm)	65
Ancho sin ventilador (cm)	40
Ancho con ventilador (cm)	49,8
Distancia mínima con el techo (cm)	45
Peso (kg)	43
Diámetro de las conducciones $\phi$ (")	1

**Fuente.** Jaga, 2014.

**Tabla 40.** Características técnicas del radiador de la instalación solar térmica.

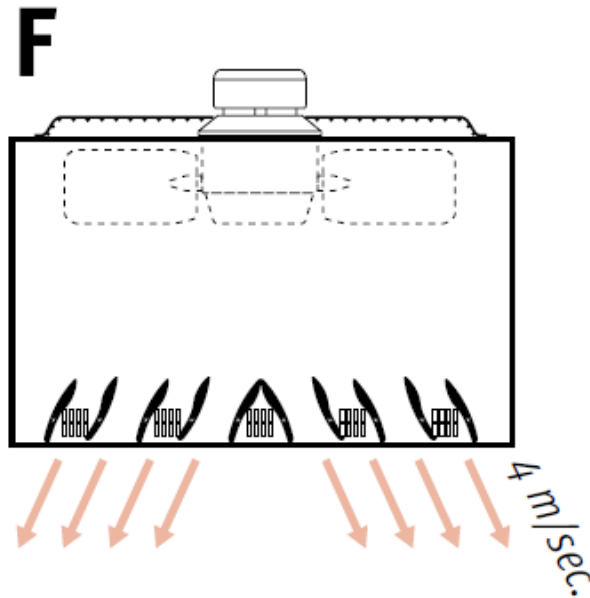
Modelo	UNIT.221/EC
Potencia de salida (kW)	30,4
Revoluciones (rpm)	1.330
Flujo de aire (m <sup>3</sup> /h)	4.640
Presión sonora (dB(A))	51
Potencia absorbida por el motor EC (W)	330
Max. entrada de aire (°C)	60

**Fuente.** Jaga, 2014.



**Figura 26.** Aerotermo. **Fuente.** Jaga, 2014.

Los dos equipos se situarán en el techo, en el centro de la cámara, para que tenga lugar una distribución uniforme del calor en el interior de la cámara, y de esta forma, les llegue el aire con la misma temperatura a todos los yogures. Por tanto, se elige el modelo F que distribuye el calor como se puede observar en la siguiente figura:



**Figura 27.** Forma de distribuir el calor del aerotermo. **Fuente.** Jaga, 2014.

Por otro lado, con el objetivo de cumplir la la normativa vigente CTE y RITE, sobre el aislamiento de las tuberías destinadas a instalaciones de calefacción, climatización y ACS, las tuberías serán recubiertas por espuma elastomérica basada en caucho sintético.

Para seleccionar el espesor del aislamiento de las diferentes tuberías nos hemos basado en IT 1.2.4.2.1 Aislamiento térmico de redes de tuberías, del RITE.



Las conducciones que conforman el circuito secundario tienen las siguientes características:

**Tabla 41.** Características del circuito secundario de la instalación solar térmica.

Circuito	Circuito interacumulador - Radiador
Velocidad del agua (m/s)	1,6
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	4,65
Diámetro comercial de la tubería (mm)	35
Longitud de tubería (m)	13
Espesor del aislamiento (mm)	25

Al igual que en el circuito primario, se montarán dos bombas idénticas en paralelo. Para la selección de la bomba es necesario conocer el caudal y la pérdida de carga del circuito. A continuación se calculará la pérdida de carga total del circuito formado por el interacumulador – radiador:

$$\Delta h_{f_{total}} = h_{f_{interacumulador}} + h_{f_{radiador}} + h_{f_{tuberias}} + h_{f_{piezas\ especial}}e$$

◆ Hf interacumulador

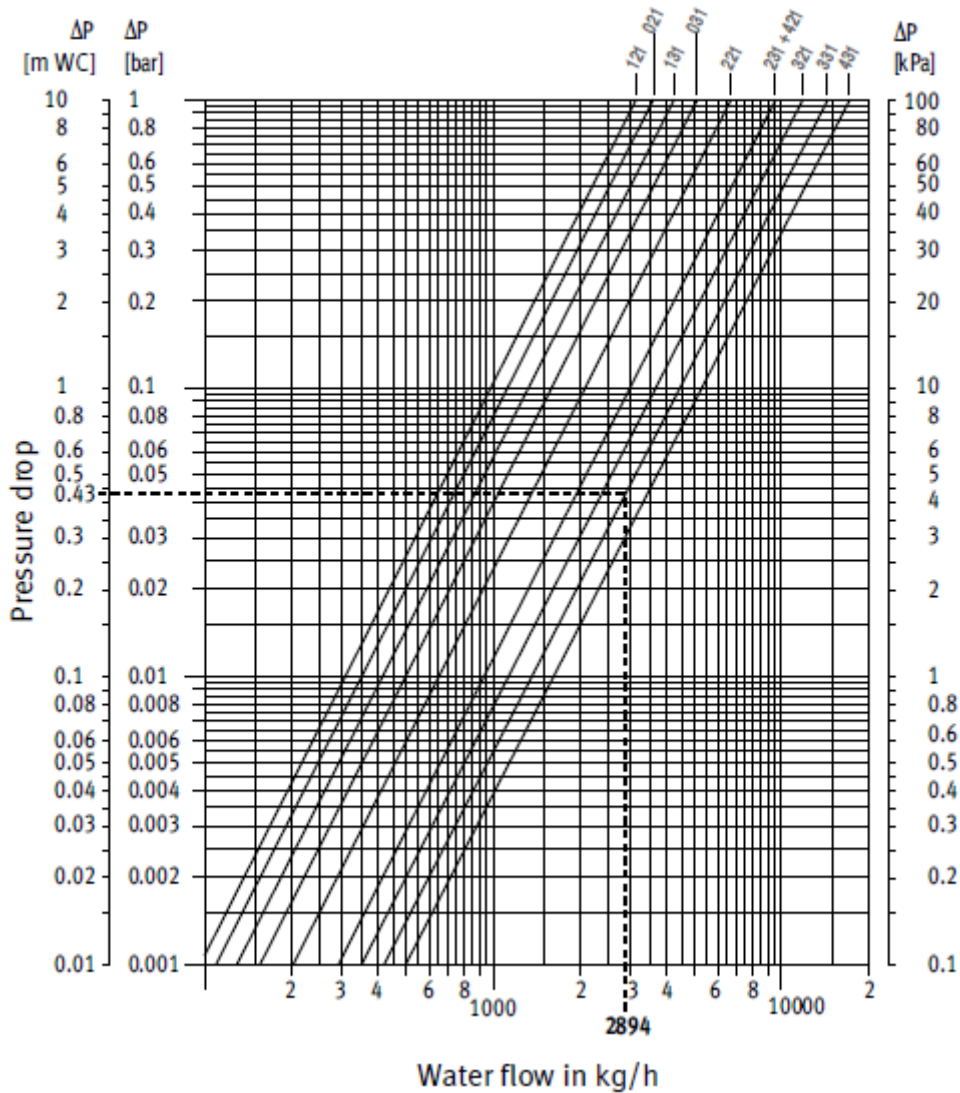
La pérdida de carga del interacumulador se ha obtenido por el fabricante, teniendo el siguiente valor:

$$h_{f_{interacumulador}} = 0,23 \text{ bar}$$

◆ Hf radiador

La pérdida de carga que se produce a través del radiador se ha obtenido en el siguiente ábaco facilitado por el fabricante:

### HYDRAULIC PRESSURE DROP



**Figura 28.** Pérdida de carga del radiador. **Fuente.** Jaga, 2014.

Teniendo en cuenta que el flujo de agua es de 4.650 kg/h y el modelo seleccionado es el 221, nos sale una pérdida de carga de 0,45 bar.

$$h_{f_{radiador}} = 5 \text{ bar} \times 2 \text{ radiadores} = 0,9 \text{ bar}$$

◆ Hf tuberías y piezas especiales

La pérdida de carga que tiene lugar en el interior de las conducciones se puede obtener en la tabla siguiente:

**Tabla 42.** Dimensionamiento del circuito secundario del sistema solar térmica.

Tramo	Q (l/h)	v (m/s)	Sección (m <sup>2</sup> )	D (mm)	DN (mm)	J (m.c.a./m)	L (m)	hf tubería (m.c.a.)	hf accesorios (m.c.a.)	Pérdida carga total (m.c.a.)
Circuito secundario	4650	1,6	0,000807	32,07	35	0,109	13	1,423	0,2134	1,636

$$hf_{tuberias} = 1,636 \text{ m.c.a.} = 0,163 \text{ bar}$$

$$hf_{piezas\ especial} = hf_{tuberias} \times 15\% = 0,163 \times 0,15 = 0,02445 \text{ bar}$$

La pérdida de carga total de la instalación es:

$$\Delta hf_{total} = 0,23 + 0,9 + 0,163 + 0,02445 = 1,31 \text{ bar} = 13,17 \text{ m.c.a.}$$

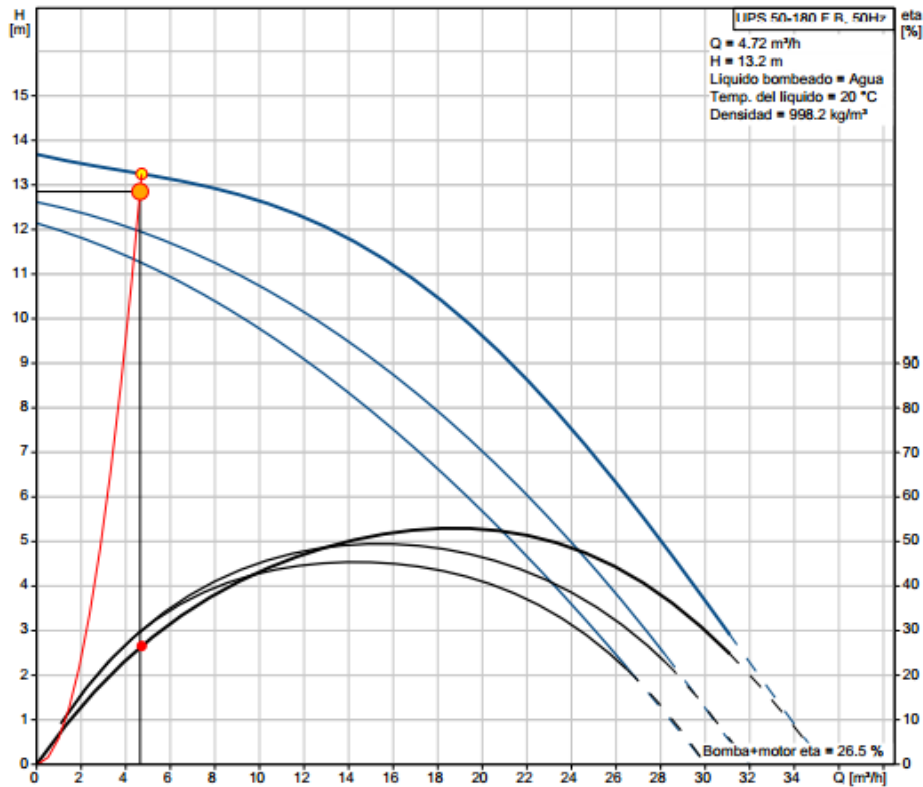
Para elegir la bomba de recirculación hemos utilizado el catálogo del fabricante **GRUNDFOS**. La bomba que se ha escogido dependiendo del caudal y la  $\Delta hf_{total}$  del circuito secundario, posee las siguientes cualidades:

**Tabla 43.** Características técnicas de la bomba circuladora del circuito secundario UPS 50-180 F B.

Modelo	UPS 50-180 F B
Caudal ( m <sup>3</sup> /h)	4,72
Altura manométrica de la bomba (m.c.a.)	13,20
Presión máx. de trabajo (bar)	10
Potencia de trabajo (W)	640
Rango de T. del agua (°C)	-10 a 120
Diámetro de conexiones (")	2
Tensión nominal	3 x 400-415 V

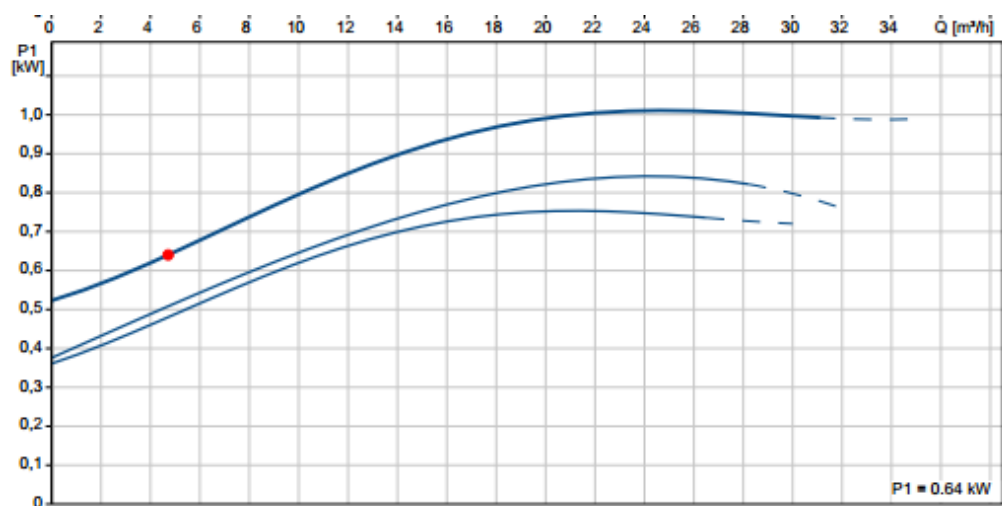
**Fuente.** Grundfos, 2014b.

La elección de la bomba se justifica con su curva característica de caudal-perdida de carga:



**Gráfico 18.** Curva característica altura manométrica-caudal UPS 50-180 F B. **Fuente:** Grundfos, 2014b.

El consumo eléctrico de la bomba elegida se puede ver en el siguiente gráfico:



**Gráfico 19.** Curva característica de potencia-caudal UPS 50-180 F B. **Fuente:** Grundfos, 2014b.

#### **9.4.5.8. Sistema de control**

El sistema de control cumplirá los requisitos contenidos en el apartado 3.3.7 de la sección HE4 del Documento Básico DB HE del CTE y así como los establecidos en las Instrucciones Técnicas del RITE.

Debido a que el sistema solar tiene depósito acumulador, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control está ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7°C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2°C.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.

El sistema de control asegura que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos, y que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superiores a la de congelación del fluido. La temperatura de tarado del sistema es de 120 °C. El sistema de control asegurará que en el circuito no se supere esta temperatura.

Se ha elegido el sistema de control Logomatic SC 20 del fabricante **BUDERUS**.



**Figura 29.** Sistema de regulación Logomatic SC 20. **Fuente.** Buderus, 2007.

#### 9.4.5.9. Sistema de energía convencional

El sistema convencional auxiliar se diseñará para cubrir el servicio como si no se dispusiera del sistema solar. Pero sólo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación. Para ello se utilizará una válvula de 3 vías selectora, de forma que cuando el fluido procedente del acumulador no tenga la temperatura suficiente, se desviara el agua hacia el calentador instantáneo, obteniéndose así la temperatura adecuada.

Se instalará un termo eléctrico instantáneo que tenga capacidad para transmitir una potencia calorífica de 15kW y darle una temperatura al agua de 60°C. Se debe tener en cuenta que el agua llega precalentada al sistema de apoyo instantáneo, aproximadamente a unos 30°C. Con estos datos, podemos obtener el caudal necesario:

$$Q = \frac{15 \frac{kJ}{s}}{4,18 \frac{kJ}{^{\circ}C \cdot kg} \times (60^{\circ}C - 30^{\circ}C)} = 0,12 \frac{kg}{s} = 7,17 \frac{l}{min}$$

Se ha utilizado el catalogo del fabricante **JUNKER** para la selección del calentador eléctrico instantáneo, que posee las siguientes características técnicas:

**Tabla 44.** Características técnicas del calentador eléctrico instantáneo del sistema solar térmico.

Modelo	ED 18-2S
Potencia (kW)	9-18
Caudal (l/min)	10,3
Presión máxima de trabajo (bar)	10
Medidas Alto x Ancho x Fondo (mm):	472 x 236 x 139

**Fuente.** Junker, 2014.

En el PLANO 4 se puede observar el diseño hidráulico de la instalación solar térmica.





## 10. DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN AEROTÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE YOGUR

La Directiva 2009/28/CE de 3 de Abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, define la energía aerotérmica como la energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente.

Según esta definición, la aerotermia es la energía térmica acumulada en el aire exterior que puede ser aprovechada por las bombas de calor para la producción de calor o frío. Una de las grandes ventajas de esta energía es que se puede extraer en grandes cantidades del ambiente sin que se agote o se reduzca el recurso.

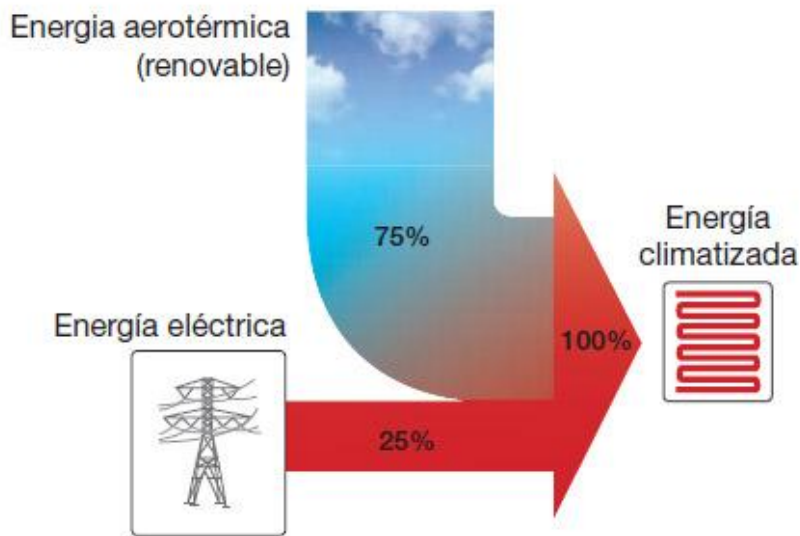
Así, las bombas de calor son consideradas como las máquinas térmicas que permiten aprovechar este tipo de energía, transfiriendo el calor de un ambiente exterior a uno interior. Para lograr esta acción es necesario un aporte de trabajo acorde a la segunda ley de la termodinámica, según la cual el calor se dirige de manera espontánea de un foco caliente a otro frío, y no al revés, hasta que sus temperaturas se igualen.

Una bomba de calor funciona de una manera muy similar a la de una nevera, es decir, al igual que un refrigerador es capaz de enfriar una sala quitando la energía del aire de su interior, poniéndola a baja temperatura y cediéndola al aire exterior en forma de aire caliente. Las bombas de calor hacen exactamente lo mismo sólo que invirtiendo su funcionamiento, de manera que calientan el aire interior de un recinto y enfrían el aire exterior.

Este proceso se consigue por medio de cambios de estado y ciclos de compresión y expansión a los que es sometido el gas refrigerante (R134a). El calor contenido en el aire a una temperatura inferior es cedido al agua acumulada, a una temperatura superior, invirtiendo así el flujo natural del calor. De esta manera se produce el ciclo inverso usado en la nevera, como se comentó anteriormente. El producto sólo consume la energía necesaria para

hacer funcionar el ventilador que aspira el aire y el compresor que hace circular el fluido por el circuito.

Por ello, unas de las ventajas más importantes que proporcionan las bombas de calor, es que extraen la energía calorífica del aire para calentar el agua gastando una cantidad mínima de energía y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>. De esta forma, el 75% del calor generado es gratuito, mientras que tan solo el 25% de energía restante procede de energía eléctrica.



**Figura 30.** Porcentajes de energía renovable extraída y energía eléctrica empleada por la bomba de calor. **Fuente.** Instalaciones J. Carpio, 2014.

### 10.1. Componentes de una instalación de aerotermia

Una instalación de aerotermia se podría dividir en tres partes:

- la que lleva a cabo la captación de la energía calorífica (unidad exterior).
- otra que tiene como función almacenar dicha energía (unidad interior).
- una última a través de la cual se produce la difusión del calor en el interior de la sala (unidad interior).

La unidad exterior es un equipo compacto diseñado para instalarse en el exterior que contiene los siguientes elementos:

- **Ventilador:** impulsa el aire caliente del exterior a través de la bomba de calor, permitiendo de esta forma que se absorba su energía calorífica. Posteriormente el aire se expulsa con una temperatura más baja. Funciona con energía eléctrica.
- **Evaporador:** el refrigerante a baja temperatura y presión pasa por el evaporador, que al igual que el condensador es un intercambiador de calor, y absorbe el calor del aire exterior. El refrigerante líquido que entra al evaporador se transforma en gas al absorber el calor del exterior.
- **Compresor:** es el elemento que suministra energía al sistema. El refrigerante llega en estado gaseoso al compresor y aumenta de presión. Así, la temperatura es superior a la del ambiente exterior de forma que se posibilita el cambio de estado de vapor a líquido con cesión de calor. Funciona accionado por un motor, utilizando energía eléctrica.
- **Condensador:** el condensador es un intercambiador de calor, en el que se libera el calor absorbido por el evaporador y la energía del compresor. En el condensador el refrigerante cambia de fase pasando de gas a líquido.
- **Sistema de expansión:** el refrigerante líquido entra en el dispositivo de expansión donde reduce su presión. Al reducirse su presión se reduce bruscamente su temperatura. Así, se pasa de líquido a vapor con la absorción de calor.

En resumen, el evaporador absorbe el calor del aire exterior a una determinada temperatura, el compresor aumenta la presión del refrigerante para facilitar la condensación posterior y posibilitar la circulación del fluido y, por último, la válvula de expansión reduce la presión provocando el enfriamiento del refrigerante. Y así, vuelve a tener lugar el circuito de nuevo.

La unidad interior permite distribuir el calor en interior del recinto a través de un módulo hidráulico con distintas variantes en función de las necesidades:

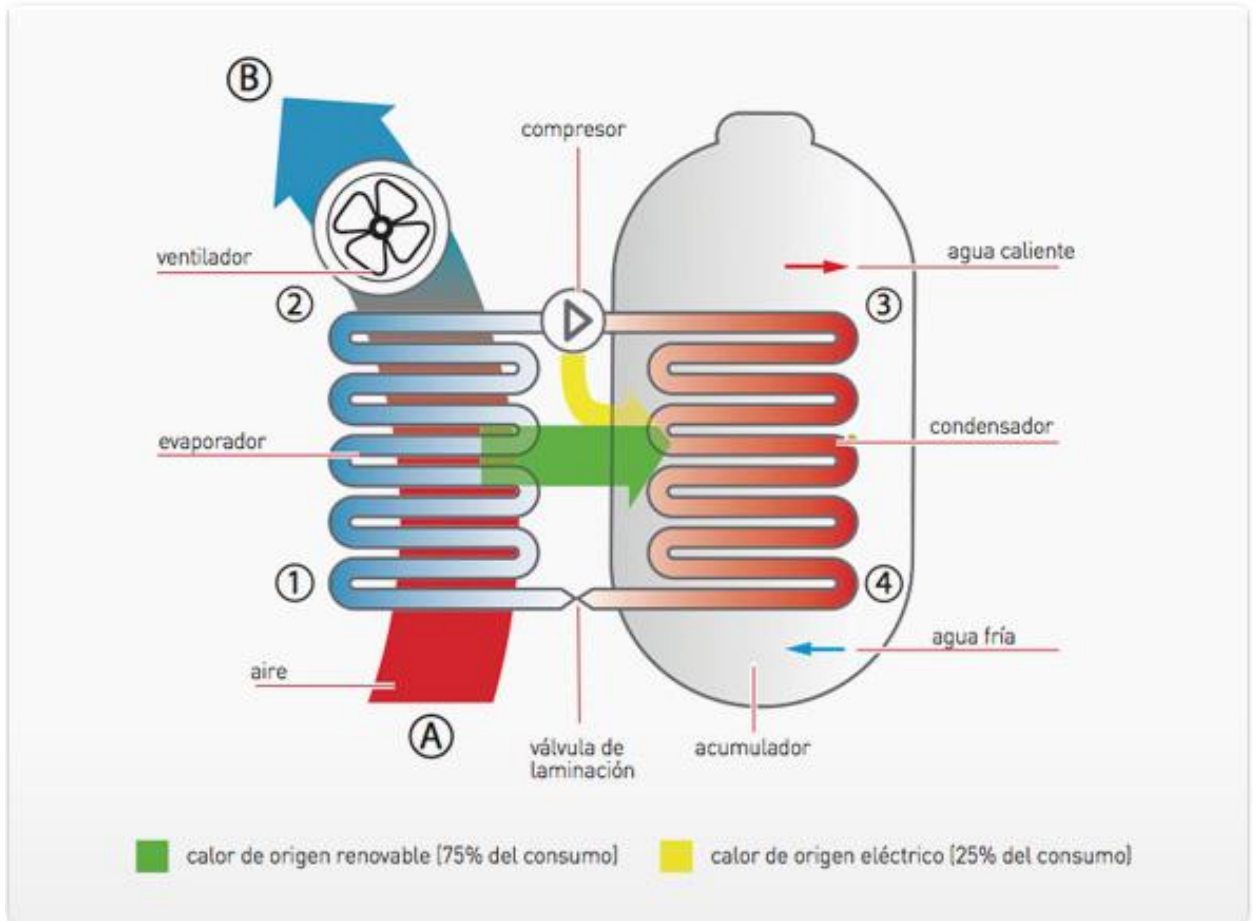
- Se puede almacenar la energía calorífica captada por medio de un **acumulador**. Así, el almacenamiento de la energía térmica procedente de la bomba de calor se realiza en forma de agua caliente en depósitos de acumulación.
- En la sala la propagación del calor se puede hacer por medio de un **radiador**, actuando como un intercambiador de calor.

## 10.2. Principio de funcionamiento

Para explicar el ciclo termodinámico de un sistema aerotérmico, nos basaremos en el expuesto por la empresa “Ariston Thermo Group”. Para ello, se hace referencia a la figura 20:

- A.** El aire exterior es aspirado hacia el interior de la bomba de calor por un ventilador.
- B.** Al pasar por la batería aleteada del evaporador, el aire cede su calor, pierde alrededor de 10°C y es expulsado.
  1. El fluido refrigerante pasa por el evaporador y absorbe el calor cedido por el aire. Este proceso hace que el refrigerante cambie de estado pasando de líquido a gaseoso a presión y temperatura estables (0°C; 5 bar).
  2. El gas refrigerante pasa por el compresor (accionado por un motor eléctrico) donde el aumento de presión implica un aumento de temperatura, elevándose a estado de vapor sobrecalentado (80-70°C; 20 bar)
  3. El gas comprimido llega al condensador donde cede su calor al agua contenida en el acumulador. Este proceso hace que el refrigerante pase de vapor sobrecalentado al estado líquido, condensado a presión constante pero con una gran pérdida de temperatura (80-70 → 50-40°C; 20 bar).
  4. El líquido refrigerante pasa por la válvula de expansión, pierde temperatura y presión y vuelve a las condiciones de presión y temperatura iniciales. De esta forma, el refrigerante pasa al

evaporador en las condiciones óptimas para que se reinicie el proceso.



**Figura 31.** Ciclo termodinámico de una bomba de calor. **Fuente.** Ariston Thermo Group, 2013.

### 10.3. Tipos de bombas de calor

Existen cuatro tipos de bombas de calor dependiendo siempre de donde extraiga el calor y del fluido que usen para transmitirlo. Estos son los tipos más comunes:

- **Bomba de calor Aire-Aire:** El tipo más usado. Coge la energía del aire exterior y lo transmite directamente al interior también en forma de aire.
- **Bomba de calor Aire-Agua:** Este tipo es el que se utilizará en el presente estudio. Su funcionamiento se basa en coger el aire caliente del exterior y transmitirlo directamente al aire del local a través de un circuito hidráulico, conectado a un sistema de calefacción como un radiador. Se utilizan sobre todo para producir agua fría para refrigeración o agua caliente para calefacción y agua sanitaria. La temperatura máxima de este tipo de bombas es de 60°C aproximadamente.
- **Bomba de calor Agua-Agua:** En vez de coger el calor del aire, lo extrae de un río, lago o pozo para así calentar o enfriar el circuito de calefacción.
- **Bomba de calor geotérmica:** Extraen el calor del subsuelo, con lo que requieren grandes dimensiones y una instalación muy compleja. Aunque después de su puesta a punto, generan una mayor rentabilidad que cualquier otro tipo. Son las más caras.

Por otro lado, las bombas de calor se pueden clasificar dependiendo de forma de distribución de calor, que pueden ser las siguientes:

- ◆ **Consola o equipo unitario:** todos los componentes están juntos en una única unidad.
- ◆ **Split:** los componentes se separan en una unidad interior y otra exterior, para evitar el ruido del compresor en el interior del local a climatizar.
- ◆ **Multisplit:** en el interior de la vivienda hay varias unidades para climatizar diferentes estancias.
- ◆ **Sistemas de distribución por tuberías:** la unidad interior y exterior se unen mediante tubos de cobre.

#### **10.4. Rendimiento de una bomba de calor**

La cantidad de calor que se puede transferir del aire exterior al interior de un recinto depende de la diferencia de temperatura entre el foco frío y el caliente. Cuanto menor sea el salto térmico entre ambos focos, mayor será la eficiencia de la máquina. Así, económicamente hablando, el mejor ciclo de refrigeración es aquel que extrae la mayor cantidad de calor (Q) del foco frío (temperatura exterior), con el menor trabajo (W).

Las bombas de calor, se caracterizan normalmente por un coeficiente de rendimiento (COP), es decir, una expresión que muestra su eficiencia. Cuando se calcula el COP de una bomba de calor, se compara la salida de calor del condensador (Q) con la potencia suministrada al compresor (W):

$$COP = \frac{Q}{W}$$

En otras palabras, el COP se define como la relación entre la potencia (kW) que sale de la bomba de calor como aire caliente, y la potencia (kW) que se suministra al compresor y ventilador.

Dicho esto, si por ejemplo necesitamos una potencia eléctrica de 1 kW para accionar el compresor y absorbemos 3 kW de calor del exterior, entregando un total de 4 kW de calor a la estancia, entonces decimos que la “eficiencia” llamada COP de la bomba es de 4:1 = 4.

#### **10.5. Requisitos para que una bomba de calor sea considerada energía renovable**

La Directiva 2009/28/CE considera la energía capturada por las bombas de calor como energía renovable, pero en determinadas condiciones, según se dice en su artículo 5 y se define en el Anexo VII: Balance energético de las bombas de calor.

Así, las bombas de calor que se podrán considerar como renovables son aquellas en la que la producción final de energía supere de forma significativa el insumo de energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor.

Posteriormente, la Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013 (2013/114/UE), establece el parámetro  $\eta$  con el valor del 45,5 % por lo que las bombas de calor accionadas eléctricamente deben de considerarse como renovables siempre que su **SPF** (coeficiente de rendimiento estacional) sea **superior a 2,5**.

Así, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) a través de la publicación “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” ha establecido una metodología de cálculo para determinar si las bombas de calor accionadas eléctricamente puedan ser consideradas como bombas de calor renovables. De este modo, utilizaremos esta metodología para señalar si la bomba de calor que ha seleccionado se puede considerar como una energía renovable. (IDAE, 2014)

Para estimar los valores de SPF para las distintas tecnologías y aplicaciones de las bombas de calor accionadas eléctricamente se utiliza la siguiente fórmula:

$$SPF = COP_{nominal} \times FP \times FC$$

**COP<sub>nominal</sub>**: coeficiente de rendimiento de la bomba de calor será el obtenido de su ensayo, según la norma que les afecte.

**FP**: el factor de ponderación que tiene en cuenta las diferentes zonas climáticas de España que determina el CTE.

**FC**: el factor de corrección que tiene en cuenta la diferencia entre la temperatura de distribución o uso y la temperatura para la cual se ha obtenido el COP en el ensayo.



Para obtener los valores de estos dos factores se emplean las siguientes tablas:

**Tabla 45.** Factor de ponderación (FP) para sistemas de Calefacción y/o ACS con bombas de calor en función de las fuentes energéticas, según la zona climática.

Fuente energética de la bomba de calor	Factor de Ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,8	0,8	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica	0,99	0,96	0,92	0,86	0,8
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,9	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,3	1,23	1,17	1,09

Fuente: IDAE, 2014.

**Tabla 46.** Factores de corrección (FC) en función de las temperaturas de condensación, según la temperatura de ensayo del COP.

Tº de condensación (°C)	Factor de Corrección (FC)					
	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1	-	-	-	-	-
40	0,87	1	-	-	-	-
45	0,77	0,89	1	-	-	-
50	0,68	0,78	0,88	1	-	-
55	0,61	0,7	0,79	0,9	1	-
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,9	1

Fuente. IDAE, 2014.

En el caso de tratarse de bombas de calor para producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) deberá considerarse 60°C como temperatura de distribución.

## 10.6. Sistema aerotérmico seleccionado

La elección de los diferentes elementos que conforman la instalación aerotérmica, se realizará en función de las necesidades de calor que se requieren para mantener los 42°C en el interior de la cámara de incubación y, de esta forma, que se produzca una óptima coagulación de los yogures. Para ello, se estudiarán los diferentes catálogos de los fabricantes para escoger los equipos cuyas características sean más eficientes y que, a la vez, cubran las necesidades de energía calorífica del interior de la cámara.

La instalación aerotérmica estará constituida por una bomba de calor colocada en el exterior de la nave, que tendrá como función absorber la energía calorífica del aire ambiente. Posteriormente, esta energía es transferida al interior de la nave donde se encuentra un acumulador. Este estará conectado con un radiador situado en el interior de la cámara de incubación, el cual será responsable de transmitir el calor que se ha captado del aire del exterior de la nave. Estos tres elementos estarán conectados por conducciones hidráulicas que se encargan de transportar el calor. La temperatura del interior de la cámara estará controlada por un termostato con el objetivo de mantener la temperatura lo más próxima a los 42°C.

A continuación, se comentarán las características de cada uno de los elementos que conforman el sistema.

### 10.6.1. Bomba de calor

Una vez se han analizado los distintos catálogos de fabricantes, se ha elegido al productor **BUDERUS**, debido a que cumple con los requisitos de la instalación. Para seleccionar la bomba de calor se ha tenido en cuenta principalmente que se necesitaba producir en la cámara de incubación un total de 15 kW de calor, además de que su eficiencia (COP) fuera de las más altas en el mercado y que, a su vez nos permitiera producir A.C.S. a una temperatura de 60°C.

El modelo Logatherm WPL 16 AR elegido corresponde a una bomba de calor reversible aire/agua de 15,9 kW trifásica. Con unas dimensiones de 900 mm de ancho, 420 mm de fondo y 1.390 mm de alto. El peso de funcionamiento es de 180 kg. A continuación se exponen sus propiedades:

**Tabla 47.** Características técnicas de la bomba de calor.

Modelo	Logatherm WPL 16 AR
Potencia calorífica nominal (kW)	15,9
Potencia absorbida (kW)	3,8
COP (aire 7°C/agua 35°C)	4,14
Caudal de agua nominal (m <sup>3</sup> /h)	2,8
Tipo de refrigerante	R410A
Alimentación eléctrica	400V-3N-50Hz
Rango de trabajo de la T. exterior del aire (°C)	-15 a 45
Temperatura máx. de distribución (°C)	60
Conexiones hidráulicas (")	1-1/4

Fuente. Buderus, 2013.

La bomba de calor incluye:

- Regulación (Sonda de temperatura y humedad interior, LED).
- Sonda de temperatura exterior.
- Sonda de temperatura y humedad interior.
- Sonda de inmersión tanque A.C.S.
- Sonda para apoyo externo (eléctrico o caldera).

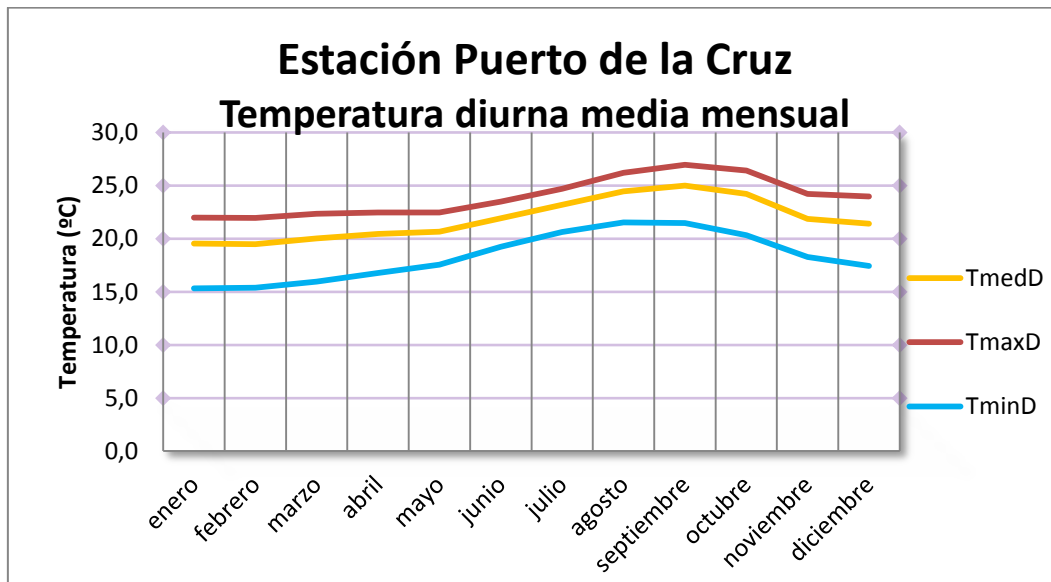


**Figura 32.** Bomba de calor Logatherm. Fuente. Buderus, 2013.

### 10.6.1.1. Orientación y temperatura de trabajo de la bomba de calor

La bomba de calor estará situada en la pared de la nave que está orientada hacia al Sur, debido a que interesa que la temperatura exterior sea la mayor posible.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el funcionamiento de la máquina será por el día, por lo que solo tendremos en cuenta las temperaturas diurnas. A continuación se exponen los datos registrados por el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) desde el año 1998 al 2010, más los registros de la estación del Teide (GONG) desde el año 1995 al año 2010, a través de los cuales obtenemos la siguiente gráfica:



**Gráfica 20.** Serie histórica de 1995-2010 de temperatura diurna media mensual. **Fuente.** ITC y GONG, 2011.

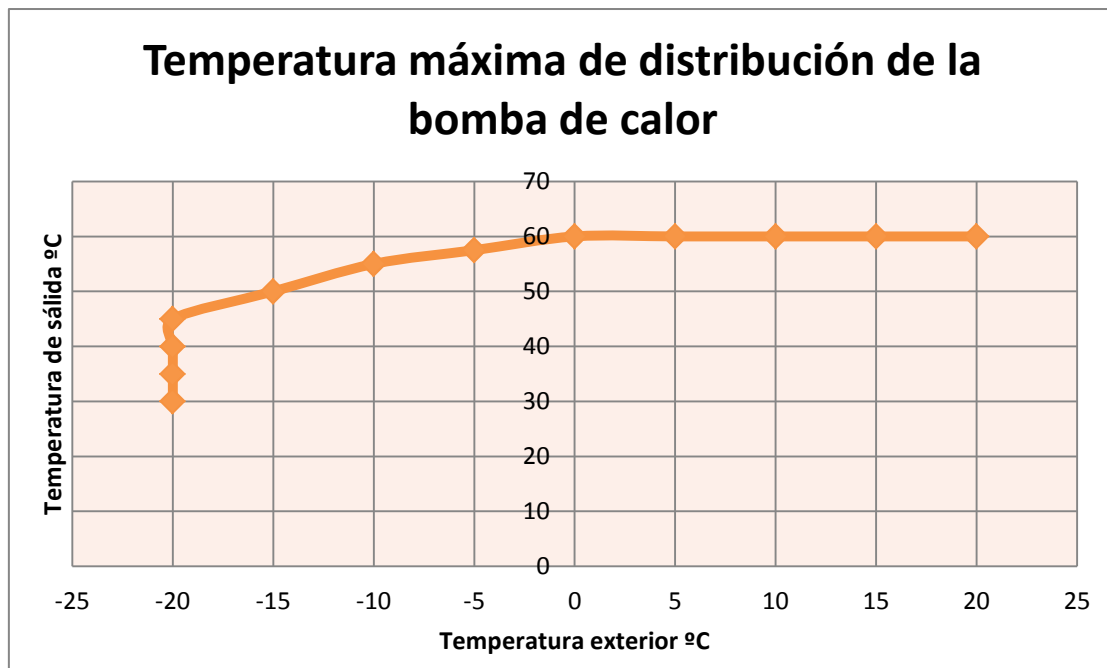
El estudio se ha basado en los datos de temperatura de la estación meteorológica del Puerto de la Cruz, debido a que es la que se encuentra más próxima a la industria, y por lo tanto, los valores de temperaturas serán más aproximados.

**Tabla 48.** Serie histórica de 1995-2010 de temperatura diurna media mensual.

Puerto de la Cruz, Tenerife	Diurnas		
	Fecha	TmedD	TmaxD
Enero	19,5	22,0	15,3
Febrero	19,5	21,9	15,4
Marzo	20,0	22,4	16,0
Abril	20,4	22,5	16,8
Mayo	20,6	22,5	17,6
Junio	21,9	23,5	19,2
Julio	23,2	24,7	20,6
Agosto	24,4	26,2	21,5
Septiembre	25,0	27,0	21,5
Octubre	24,2	26,4	20,3
Noviembre	21,9	24,2	18,3
Diciembre	21,4	24,0	17,4
<b>ANUAL</b>	<b>21,8</b>	<b>23,9</b>	<b>18,3</b>

Fuente. ITC y GONG, 2011.

Según la gráfica y la tabla anterior, se puede observar que las temperaturas mínimas de trabajo se encuentran en los meses de Enero y Febrero, con valores de 15,3 y 15,4 respectivamente. Pero, según la media anual la temperatura mínima estará en torno a 18,3°C y la máxima de 23,9°C. Por otra parte, la temperatura media anual es de 21,8°C.



**Gráfica 21.** Temperatura máxima de condensación de la bomba de calor en función de la temperatura del aire exterior. **Fuente.** Junker, 2010.

La gráfica anterior muestra la temperatura que puede generar la bomba de calor en función de la temperatura del ambiente. Por tanto, basándose que la temperatura más desfavorable que se va a encontrar es de 15°C, no tendrá problemas para que la bomba produzca los 60°C de temperatura que se necesitan para calentar el agua, y por consiguiente la cámara de incubación.

#### 10.6.1.2. Cálculo SPF de la bomba seleccionada

Con el objetivo de determinar si la bomba escogida se puede considerar como energía renovable o no, se aplicara la fórmula siguiente:

$$SPF = COP_{nominal} \times FP \times FC > 2,5$$

Teniendo en cuenta que el equipo seleccionado es una bomba aerotérmica tipo Split y que Canarias según el Código Técnico de la Edificación es considerada como zona climática A, el valor del Factor de Ponderación según la tabla 45 es de 0,66.

En el caso del factor de corrección, la temperatura de distribución o uso de la instalación va a ser de 60°C, y la temperatura a la cual se ensayó el COP es de 35°C, la tabla 46 nos muestra que el valor de dicho factor es de 0,55.

$$SPF = 4,14 \times 0,66 \times 0,55 = 1,5$$

Como se puede observar el SPF de esta bomba de calor no es superior a 2,5, por lo que no se puede considerar energía renovable. Esto es debido a que en el mercado no existe una bomba de calor aire/agua con un COP tan alto como se necesitaría para el tipo de dispositivo elegido, la temperatura de condensación de 60°C y la zona climática donde se va a utilizar.

A pesar de que el escogido no se puede considerar como una energía renovable, no quiere decir que no sea rentable. Por ello, en apartados posteriores se estudiará su eficiencia.

### 10.6.2. Acumulador

El acumulador se ha seleccionado en el catálogo del mismo fabricante que para la bomba de calor, **BUDERUS**, de acuerdo a las recomendaciones hechas por el mismo.

El depósito está protegido en el exterior por células cerradas de espuma elastomérica con 50 mm de espesura y acabado exterior suave en PVC azul. Por lo que el espesor cumple con lo que se especifica en la IT 1.2.4.2.1.2 del RITE, ya que nos dice que el aislamiento mínimo de los depósitos es el correspondiente a tuberías de más de 140 mm, es decir, con un espesor mínimo de 45 mm. Presenta las siguientes características:

**Tabla 49.** Características técnicas del acumulador del sistema aerotérmico.

Modelo	LOGALUX S 500 W
Capacidad (l)	500
Diámetro Ø [mm]	600
Alto [mm]	1.235
Conducciones hidráulicas (")	1-1/4

Fuente. Buderus, 2013



**Figura 32.** Acumulador Logalux S 500 W. Fuente. Buderus, 2013

### 10.6.3. Radiador

Para la elección del radiador se ha seguido el mismo procedimiento que para el apartado “9.4.3.7.2. Circuito hidráulico secundario” del presente estudio.

Este equipo será el responsable de transmitir el calor al interior de la cámara de incubación de yogur. Se ha escogido el catálogo del fabricante **JAGA**. De modo que la elección de un determinado modelo se ha llevado a cabo teniendo en cuenta las exigencias de energía térmica de la cámara de incubación.

Conforme a lo comentado en el apartado de la energía solar térmica, se utilizarán dos aerotermos de 30,4 kW cada uno, para cubrir las necesidades térmicas de 15 kW, consiguiendo así una óptima coagulación de los yogures.

En las siguientes tablas se representan las características más significativas:

**Tabla 50.** Dimensiones del radiador junker.

Lado (cm)	65
Ancho sin ventilador (cm)	40
Ancho con ventilador (cm)	49,8
Distancia mínima con el techo (cm)	45
Peso (kg)	43
Diámetro de las conducciones $\varnothing$ (“)	1

Fuente. Jaga, 2014.

**Tabla 51.** Características técnicas del aerotermo.

Modelo	UNIT.221/EC
Potencia de salida (kW)	30,4
Revoluciones (rpm)	1.330
Flujo de aire (m <sup>3</sup> /h)	4.640
Presión sonora (dB(A))	51
Potencia absorbida por el motor EC (W)	330
Max. entrada de aire (°C)	60

Fuente. Jaga, 2014.

Igualmente que para el sistema solar térmico, los dos equipos se situarán en el techo, en el centro de la cámara, para conseguir que el aire



caliente se distribuya uniformemente entre todos los yogures. Del mismo modo, se elige el modelo F, con una forma de distribuir el calor que se puede observar en la figura 22.

#### 10.6.4. Conducciones hidráulicas

Para la elección del material de las tuberías se ha tenido en cuenta los diferentes materiales compatibles que aparecen en el apartado 6.2. Suministro de agua, de la Sección HS4, del DB HE del CTE. El material escogido para las conducciones será de cobre sanitario.

De acuerdo con la normativa vigente CTE (Código Técnico de Edificación) y RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios), las tuberías destinadas a instalaciones de calefacción, climatización y ACS deberán aislarse en determinadas condiciones, con independencia del material con el que estén construidas, en función de su diámetro exterior y de la temperatura del fluido que transportan. Por tanto, las tuberías serán recubiertas por espuma elastomérica basada en caucho sintético. Para seleccionar el espesor del aislamiento de las diferentes tuberías nos hemos basado en IT 1.2.4.2.1 Aislamiento térmico de redes de tuberías, del RITE.

La instalación va a constar de dos circuitos diferentes: un circuito hidráulico que irá desde la bomba de calor hasta el acumulador, y otro circuito que lo formarán el acumulador y el radiador. A continuación se exponen las características de cada uno:

**Tabla 52.** Propiedades de los circuitos que conforman el sistema aerotérmico.

Circuitos	Circuito Bomba de calor - Acumulador	Circuito Acumulador - Radiador
Velocidad del agua (m/s)	1	1
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	2,8	2,8
Diámetro comercial de la tubería (mm)	35	35
Longitud de tubería (m)	36	11
Espesor del aislamiento (mm)	25	25

El circuito bomba de calor-acumulador consta de una bomba de circulación que se elegirá en función del caudal y de la pérdida de carga que se

produzca en la instalación. La bomba se situará en el retorno de agua fría del acumulador a la bomba de calor.

La pérdida de carga total del circuito formado por el acumulador – radiador es la siguiente:

$$\Delta h_{f_{total}} = h_{f_{acumulador}} + h_{f_{radiador}} + h_{f_{tuberias}} + h_{f_{piezas\ especiales}}$$

◆ Hf acumulador

Consideremos esta hipótesis: la pérdida de carga a la entrada y salida de las conexiones del acumulador son casi inexistente. Esto se debe a que el caudal es de 2,8 m<sup>3</sup>/h y el diámetro de las conexiones del depósito son de 32 mm, por tanto la velocidad de entrada y salida es de 1 m/s. Por ello, se considera la pérdida de carga 0.

◆ Hf radiador

La pérdida de carga que se produce en el interior del radiador se ha obtenido en la figura 23.

Teniéndose en cuenta que el flujo de agua es de 2.800 kg/h y el modelo seleccionado es el 221, se obtiene una pérdida de carga de 0,2 bares/radiador. Así, la pérdida de carga total que se produce en los dos radiadores es de 0,4 bares.

◆ Hf tuberías y piezas especiales

La pérdida de carga que tiene lugar en el interior de las conducciones se representa en la tabla siguiente:

**Tabla 53.** Dimensionamiento de las conducciones de la instalación aerotérmica.

Tramo	Q (l/h)	v (m/s)	Sección (m <sup>2</sup> )	D (mm)	DN (mm)	J (m.c.a./m)	L m	hf tubería (m.c.a.)	hf accesorios (m.c.a.)	Pérdida carga total (m.c.a.)
Circuito Bomba de calor - Acumulador	2800	1	0,000778	31,48	35	0,037	36	1,332	0,1998	1,531
Circuito Acumulador - Radiador	2800	1	0,000778	31,48	35	0,037	11	0,407	0,0610	0,468

$$h_{f_{tuberias}} = 1,999 \text{ m. c. a.} = 0,19 \text{ bar}$$

$$h_{f_{piezas\ especial}} = h_{f_{tuberias}} \times 15\% = 0,19 \times 0,15 = 0,029 \text{ bar}$$

De esta forma, se obtiene que la pérdida de carga total en la instalación es de 0,61 bares.

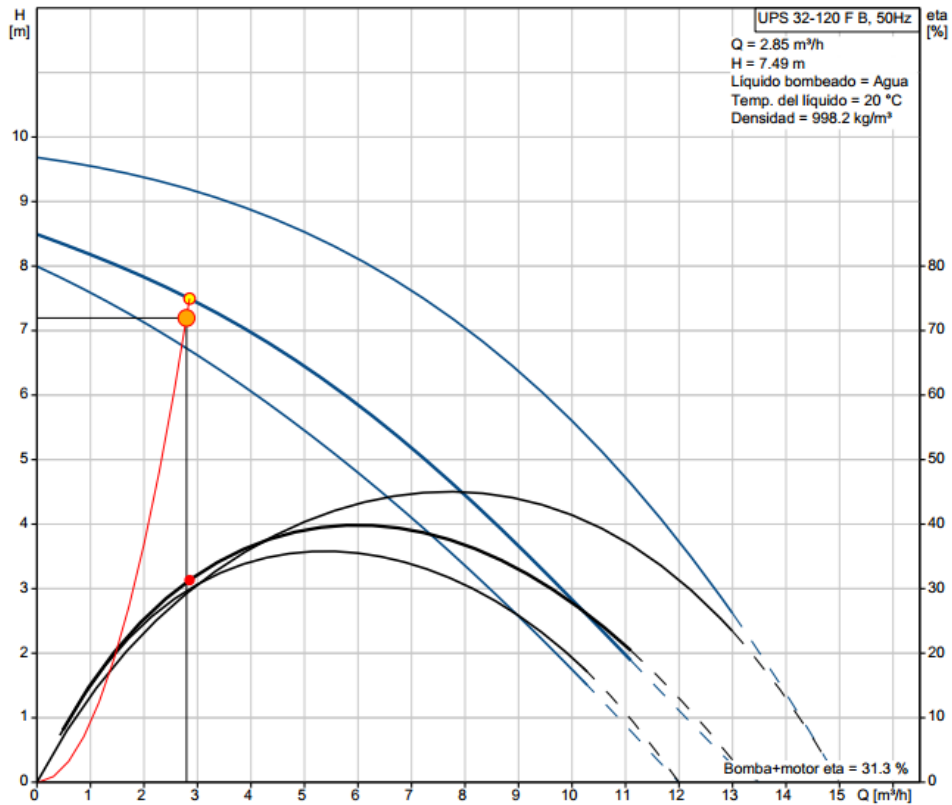
Para escoger la bomba de recirculación se ha utilizado el catálogo del fabricante **GRUNDFOS**. Se ha seleccionado en función del caudal y la  $\Delta h_{f_{total}}$  de la instalación, exponiéndose sus datos técnicos en la tabla siguiente:

**Tabla 54.** Características técnicas de la bomba circuladora de la instalación de aerotermia UPS 32-120 F B.

Modelo	UPS 32-120 F B
Caudal ( m <sup>3</sup> /h)	2,85
Altura manométrica de la bomba (m.c.a.)	7,49
Presión máx. de trabajo (bar)	10
Potencia de trabajo (W)	186
Rango de T. del agua (°C)	-10 a 120
Tensión nominal	3 x 400-415 V

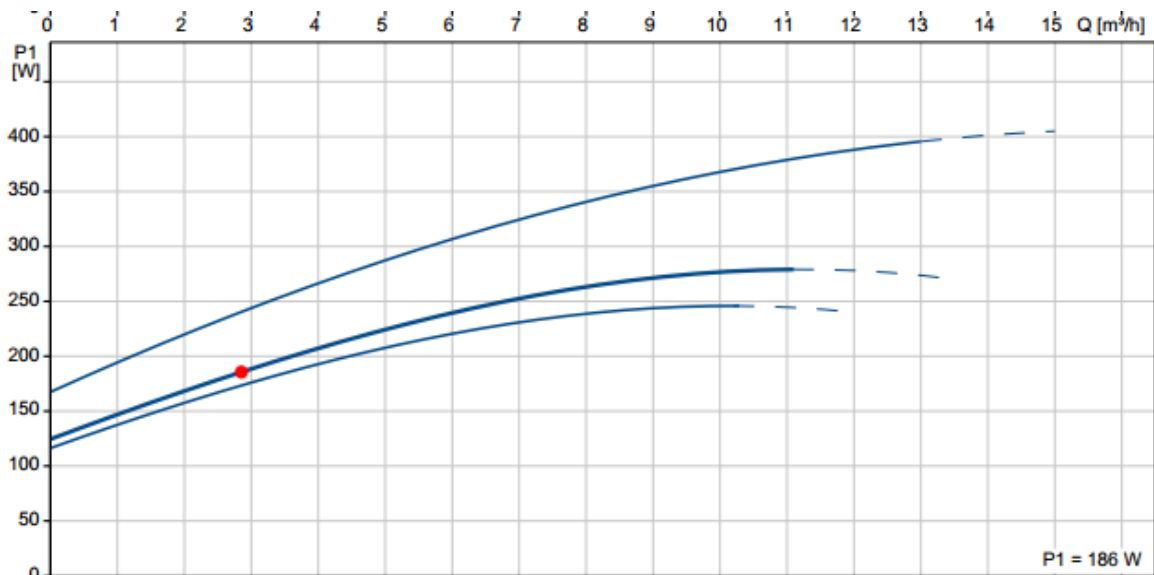
Fuente. Grundfos, 2014c.

La elección de la bomba se justifica con su curva característica de pérdida de carga-caudal que se expone a continuación:



**Gráfico 22.** Curva característica altura manométrica-caudal UPS 32-120 F B. **Fuente:** Grundfos, 2014c.

El consumo eléctrico que se produce por parte de la bomba se puede observar en la siguiente gráfica:



**Gráfico 23.** Curva característica de potencia-caudal UPS 32-120 F B. **Fuente:** Grundfos, 2014c.

En éste circuito cerrado se instalará un vaso de expansión cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido.

La conexión de los vasos de expansión al circuito se realiza de forma directa, sin intercalar ninguna válvula o elemento de cierre que puede aislar el vaso de expansión del circuito que debe proteger.

El volumen del vaso de expansión depende del volumen total de fluido en el circuito y del coeficiente de dilatación del agua. En el caso de vasos de expansión cerrados interviene también el factor de presión, o la relación entre la presión final absoluta del vaso de expansión (o presión de tarado de la válvula de seguridad) y la diferencia entre las presiones absolutas final e inicial del vaso de expansión.

En el caso del vaso de expansión cerrado el volumen se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$V_{vaso} = V \times n \times \frac{P_f}{P_f - P_i}$$

dónde:

$V_{vaso}$ : volumen del vaso de expansión, litros.

V: volumen de fluido caloportador en el circuito primario, litros.

n: coeficiente de dilatación, adimensional.

$P_f$ : presión absoluta final del vaso de expansión, kg/cm<sup>2</sup>.

$P_i$ : presión absoluta inicial del vaso de expansión, kg/cm<sup>2</sup>.

Los datos de partida necesarios para el dimensionado del vaso de expansión cerrado del circuito primario son los siguientes:

**Tabla 55.** Datos para el dimensionamiento del vaso de expansión del sistema aerotérmico.

Volumen de fluido en las tuberías del circuito primario (l)	31,09
Volumen del acumulador	300,00
Volumen de fluido total (l)	331,09
Coeficiente de dilatación (Agua)	0,043

Altura de la columna de agua (m)	5,5
Presión absoluta inicial del vaso de expansión (kg/cm <sup>2</sup> )	2,05
Presión absoluta final del vaso de expansión (kg/cm <sup>2</sup> )	6,4
Factor de presión	1,47

Aplicando la fórmula anterior obtenemos que el volumen del vaso de expansión para nuestra instalación sea de 20,95 litros.

Se ha utilizado el catálogo de **BURDERUS**. El vaso de expansión posee las siguientes características:

**Tabla 56.** Características técnicas del vaso de expansión del sistema aerotérmico.

Modelo	Logafix MAG
Capacidad (l)	25
Presión máxima de trabajo (bar)	6
Temperatura máxima de trabajo (°C)	100

Fuente: Buderus, 2007.

Por último, la instalación constará al igual que en el sistema solar térmico con un sistema convencional auxiliar que será diseñado para cubrir el servicio como si no se dispusiera del sistema aerotérmico. Pero sólo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche lo máximo posible la energía extraída de la bomba de calor. Para ello se utilizará una válvula de 3 vías selectora, de forma que cuando el fluido procedente del acumulador no tenga la temperatura suficiente, se desviara el agua hacia el calentador instantáneo, obteniéndose así la temperatura adecuada.

Se instalará un termo eléctrico instantáneo que tenga capacidad para transmitir una potencia calorífica de 15kW y darle una temperatura al agua de 60°C. Las características técnicas del calentador eléctrico instantáneo que se ha seleccionado se exponen en la tabla 43.

En el PLANO 5 se puede observar el diseño hidráulico de esta instalación.

## 11. ESTUDIO COMPARATIVO ECONÓMICO Y DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA TECNOLOGÍA EMPLEADA EN LA INCUBACIÓN DEL YOGUR

Uno de los principales objetivos de este proyecto es el estudio comparativo de eficiencia energética en el que se contrasta el gasto económico de electricidad que se produce al mantener constante la temperatura en la cámara de incubación para llevar a cabo la fermentación láctica, usando el procedimiento tradicional (resistencias eléctricas conectadas a ventiladores), con el gasto que se produce si se utilizarán energías renovables, como son las bombas de calor y los sistemas solares térmicos.

A continuación, se realizará el presupuesto de las instalaciones de cada uno de los sistemas de calefacción y el cálculo del consumo de electricidad que tiene lugar en los mismos, utilizando ambos para comparar los distintos sistemas y constatar cual es más rentable.

### 11.1. Presupuestos de las instalaciones

#### 11.1.1. Presupuesto del sistema tradicional

La producción de calor de esta instalación tiene lugar través de una batería de resistencias eléctricas conectadas a ventiladores que distribuyen el calor en el interior de la cámara. Como se puede observar en la siguiente tabla, el coste de instalación es bajo por la sencillez del método de calefacción.

**Tabla 57.** Presupuesto del sistema productor de calor tradicional.

Partida	Unidades	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)	Vida útil (años)
VENTILADOR SODECA CBD-1919-6M 1/10	2	202,8	405,6	5
RESISTENCIAS SALVADOR ESCODA AL007	7	38	266	5
TUBO DE ACERO GALVANIZADO 300X150 X1 MM.	5	18,1	90,5	25
PERFIL DE SOPORTACIÓN DE CONDUCCIONES	5	1	5	25
REJILLAS SCV 401	6	3,25	19,5	25
TERMOSTATO DIFERENCIAL FIJO, +40/+120°C	1	88,09	88,09	25
<b>TOTAL</b>			<b>874,69</b>	

### 11.1.2. Presupuesto del sistema solar térmico

Como se puede ver a continuación, la inversión de la instalación de la energía solar térmica es más elevada debido a que el sistema es más complejo y los elementos que la conforman tienen un precio más alto:

**Tabla 58.** Presupuesto de la instalación de energía solar térmica.

Partida	Unidades	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)	Vida útil (años)
COLECTOR SOLAR LOGASOL SKS 4.0	30	820,0	24.600,0	25
SOPORTE CUBIERTA PLANA, KIT BÁSICO VERTICAL	6	190	1.140,0	25
KIT TUBERIA SKS 4.0 S/W CUBIERTA PLANA	6	45	270,0	25
PURGADOR SOLAR SKS 4,0 s/w	6	75	450,0	25
INTERACUMULADOR POLYWARM	1	8.182,0	8.182,0	25
BOMBA GRUNDFOS UPS 40-180 F	2	988,3	1.976,6	15
VASO DE EXPANSION BURDERUS LOGAFIX MAG	1	110,0	110,0	10
SISTEMA DE REGULACION LOGOMATIC SC 20	1	225,0	225,0	25
TUBO COBRE RIGIDO 35 x 1 mm. Mts.	135	20,68	2.791,8	25
AISLANTE HT ARMAFLEX-S HT 35X035-S (SOL)	123	26,9	3.302,6	25
AISLANTE HT ARMAFLEX-SH-22/25X035 INT.	12	9,2	110,5	25
RADIADOR JAGA UNIT.221/EC	2	1.762,6	3.525,2	10
CONJUNTO DE SOPORTES PARA AEROTERMO	2	54,7	109,4	25
BOMBA GRUNDFOS UPS 50-180 F B	2	647,5	1.295,1	15
CALENTADOR JUNKER ED 18-2S	1	380,0	380,0	10
TUBO COBRE RIGIDO 35 x 1 mm. Mts.	13	20,7	268,8	25
AISLANTE HT ARMAFLEX-SH-22/25X035 INT.	13	9,2	119,8	25
VALVULA ESFERA CIM-14 1.1/4"	23	16,5864	381,4872	25
MANOMETRO GLICERINA 0-10 BAR 63MM 1/2"	2	7,296	14,592	10
TERMOMETRO 0-120°C / VAINA 50 MM. 1/2"	4	6,1703	24,6812	10
VALVULA SEGURIDAD MSL 60 6BAR 1/2"	2	6,598	13,196	25
VALVULA RETENCION CIM 80/A 1.1/4" CLAPETA	8	11,1088	88,8704	25
FILTRO METAL CIM 74/A 1.1/4"	2	19,98	39,96	5
REDUCCION COBRE 54 X 35 MM. 5243	6	3,1255	18,753	25
REDUCCION COBRE 35 X 28 MM. 5243	2	1,1115	2,223	25
VALVULA 3 VIAS SELECTORA	1	490	490	25
MANGUITO MIXTO HE 35 X 1/2" COBRE4243G	25	3,8608	96,52	25
MANGUITO MIXTO HE 35 X 1.1/4" COBRE 4270G	50	5,2858	264,29	25
CODO COBRE 35 MM 5130	41	4,4532	182,5812	25
TE COBRE 35 MM 5130	21	5,6145	117,9045	25
MANGUITO COBRE 35 MM. 5270	3	1,5641	4,6923	25
<b>TOTAL</b>			<b>50.596,5</b>	



### 11.1.3. Presupuesto del sistema aerotérmico

El importe de la instalación aerotérmica es el siguiente:

**Tabla 59.** Presupuesto del sistema aerotérmico.

Partida	Unidades	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)	Vida útil (años)
BOMBA DE CALOR LOGATHERM WPL 16 AR	1	7.000,0	7.000,0	10
KIT ANTI-VIBRACIÓN	1	49,0	49,0	25
RADIADOR JAGA UNIT.221/EC	2	1.762,6	3.525,2	10
CONJUNTO DE SOPORTES PARA AEROTERMO	2	54,7	109,4	25
BOMBA GRUNDFOS UPS 32-120 F B	1	617,3	617,3	15
ACUMULADOR LOGALUX S 500 W	1	2.850,0	2.850,0	25
VASO DE EXPANSIÓN LOGAFIX MAG	1	128,0	128,0	10
TUBO COBRE RIGIDO 35 x 1 mm. Mts.	47	20,7	972,4	25
AISLANTE HT ARMAFLEX-SH-22/25X035 INT.	47	9,2	433,0	25
CALENTADOR JUNKER ED 18-2S	1	380,0	380,0	10
VALVULA ESFERA CIM-14 1.1/4"	12	16,5864	199,0368	25
MANOMETRO GLICERINA 0-10 BAR 63MM 1/2"	2	7,296	14,592	10
TERMOMETRO 0-120°C / VAINA 50 MM. 1/2"	2	6,1703	12,3406	10
VALVULA SEGURIDAD MSL 60 6BAR 1/2"	1	6,598	6,598	25
VALVULA RETENCION CIM 80/A 1.1/4" CLAPETA	4	11,1088	44,4352	25
FILTRO METAL CIM 74/A 1.1/4"	1	19,98	19,98	5
CODO COBRE 35 MM 5130	35	4,4532	155,862	25
TE COBRE 35 MM 5130	8	5,6145	44,916	25
MANGUITO MIXTO HE 35 X 1/2" COBRE4243G	20	3,8608	77,216	25
MANGUITO MIXTO HE 35 X 1.1/4" COBRE 4270G	25	5,2858	132,145	25
MANGUITO COBRE 35 MM. 5270	5	1,5641	7,8205	25
REDUCCION COBRE 35 X 28 MM. 5243	2	1,1115	2,223	25
VALVULA 3 VÍAS SELECTORA	1	490	490	25
<b>TOTAL</b>			<b>17.271,5</b>	

### 11.2. Consumo eléctrico de las instalaciones

Para la determinación del consumo anual de electricidad, se ha tenido en cuenta que el funcionamiento de los sistemas generadores de calor de la cámara de incubación trabajarán de lunes a sábado durante 7,75 horas al día.

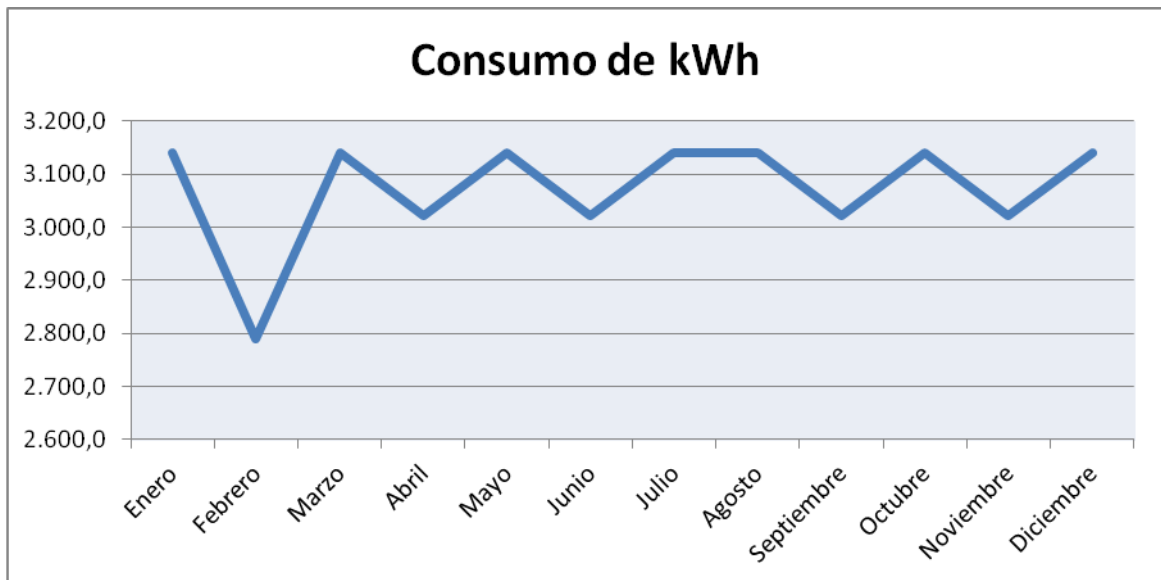
Por otro lado, se empleará para el cálculo del gasto eléctrico anual como precio de la electricidad (tarifa normal) el valor de 0,145959 €/kWh.

### 11.2.1. Consumo eléctrico del sistema tradicional

Los equipos que se han seleccionado para cubrir las necesidades de calor en el interior de la cámara de fermentación, tienen un consumo eléctrico aproximado de 15 kWh. En la siguiente tabla se expone el coste energético anual:

**Tabla 60.** Cálculo del gasto energético del método tradicional.

Mes	N (días laborales/mes)	kWh térmicos	Coste energético (€)
Enero	27	3.138,8	458,13
Febrero	24	2.790,0	407,23
Marzo	27	3.138,8	458,13
Abril	26	3.022,5	441,16
Mayo	27	3.138,8	458,13
Junio	26	3.022,5	441,16
Julio	27	3.138,8	458,13
Agosto	27	3.138,8	458,13
Septiembre	26	3.022,5	441,16
Octubre	27	3.138,8	458,13
Noviembre	26	3.022,5	441,16
Diciembre	27	3.138,8	458,13
<b>MEDIAS</b>		<b>36.851,3</b>	<b>5.378,77</b>



**Gráfico 24.** Consumo eléctrico del sistema tradicional a lo largo del año.

En el gráfico 24 se representa la curva de consumo de kWh que se produce en cada mes del año, observándose como se mantiene más o menos constante, a excepción del mes de febrero que el consumo es más bajo debido a que el número de días laborables totales es menor.

### 11.2.2. Consumo eléctrico de la instalación de energía solar térmica.

El consumo de energía eléctrica que se va a producir en este sistema de calefacción está compuesto por dos partes.

Por un lado, tenemos el consumo de electricidad que producirán los diferentes elementos que conforman la instalación debido a su propio funcionamiento:

**Tabla 61.** Consumo eléctrico producido por la instalación solar térmica.

Mes	N (días laborales/mes)	kW consumidos	Consumo de funcionamiento (kWh/mes)
Enero	27	1,718	359,49
Febrero	24	1,718	319,55
Marzo	27	1,718	359,49
Abril	26	1,718	346,18
Mayo	27	1,718	359,49
Junio	26	1,718	346,18
Julio	27	1,718	359,49
Agosto	27	1,718	359,49
Septiembre	26	1,718	346,18
Octubre	27	1,718	359,49
Noviembre	26	1,718	346,18
Diciembre	27	1,718	359,49

Y, por otro lado, el gasto de energía eléctrica producido por el calentador instantáneo que se prevé que va a tener lugar, debido a que los colectores solares no son capaces de cubrir la demanda térmica de kWh/mes necesarios para mantener la temperatura óptima de incubación. De esta forma, se representa en la tabla 62 la energía que es necesaria aportar por el calentador:

**Tabla 62.** kWh aportados por el calentador instantáneo en el sistema solar térmico al mes.

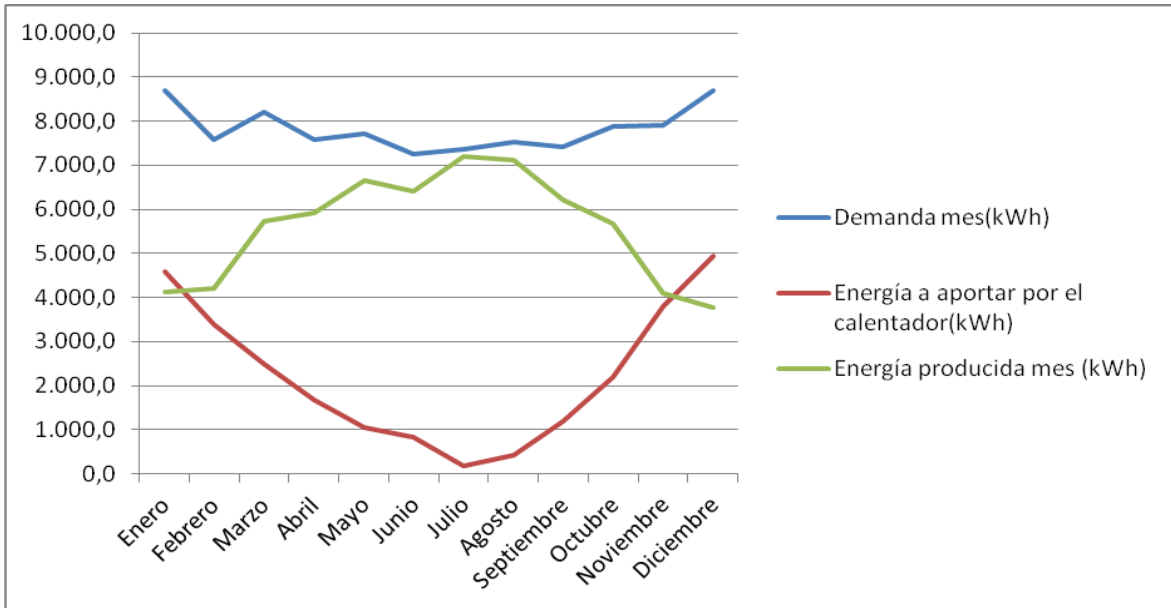
Mes	N (días laborales/mes)	Demanda mes(kWh)	Energía producida mes (kWh)	Energía a aportar por el calentador(kWh)
Enero	27	8.708,2	4.126,1	4.582,1
Febrero	24	7.591,7	4.210,5	3.381,2
Marzo	27	8.205,8	5.716,4	2.489,3
Abril	26	7.579,3	5.907,7	1.671,6
Mayo	27	7.703,4	6.658,5	1.044,9
Junio	26	7.256,8	6.414,4	842,4
Julio	27	7.368,4	7.200,3	168,1
Agosto	27	7.535,9	7.105,0	430,9
Septiembre	26	7.418,1	6.226,4	1.191,7
Octubre	27	7.870,8	5.686,5	2.184,3
Noviembre	26	7.901,8	4.108,7	3.793,1
Diciembre	27	8.708,2	3.769,2	4.938,9

Por lo tanto, el consumo eléctrico total de este sistema para cubrir las necesidades de calor de la cámara de incubación es el siguiente:

**Tabla 63.** Coste energético anual del sistema solar térmico.

Mes	N (días laborales/mes)	Demanda mes(kWh)	Energía producida mes (kWh)	Energía a aportar por el calentador(kWh)	Energía total	Coste energético (€)
Enero	27	8.708,2	4.126,1	4.582,1	4.941,6	721,3
Febrero	24	7.591,7	4.210,5	3.381,2	3.700,8	540,2
Marzo	27	8.205,8	5.716,4	2.489,3	2.848,8	415,8
Abril	26	7.579,3	5.907,7	1.671,6	2.017,8	294,5
Mayo	27	7.703,4	6.658,5	1.044,9	1.404,4	205,0
Junio	26	7.256,8	6.414,4	842,4	1.188,6	173,5
Julio	27	7.368,4	7.200,3	168,1	527,6	77,0
Agosto	27	7.535,9	7.105,0	430,9	790,4	115,4
Septiembre	26	7.418,1	6.226,4	1.191,7	1.537,9	224,5
Octubre	27	7.870,8	5.686,5	2.184,3	2.543,8	371,3
Noviembre	26	7.901,8	4.108,7	3.793,1	4.139,3	604,2
Diciembre	27	8.708,2	3.769,2	4.938,9	5.298,4	773,4
<b>MEDIA</b>					<b>30.939,3</b>	<b>4.515,9</b>

En la gráfica 25 se puede observar como la demanda térmica de kWh se mantiene más o menos constante a lo largo del año. También, hay que destacar que en el periodo de mayo a septiembre es cuando se produce el mayor aporte energético por parte de los colectores, siendo por lo tanto, la época de menor contribución energética por parte del calentador.



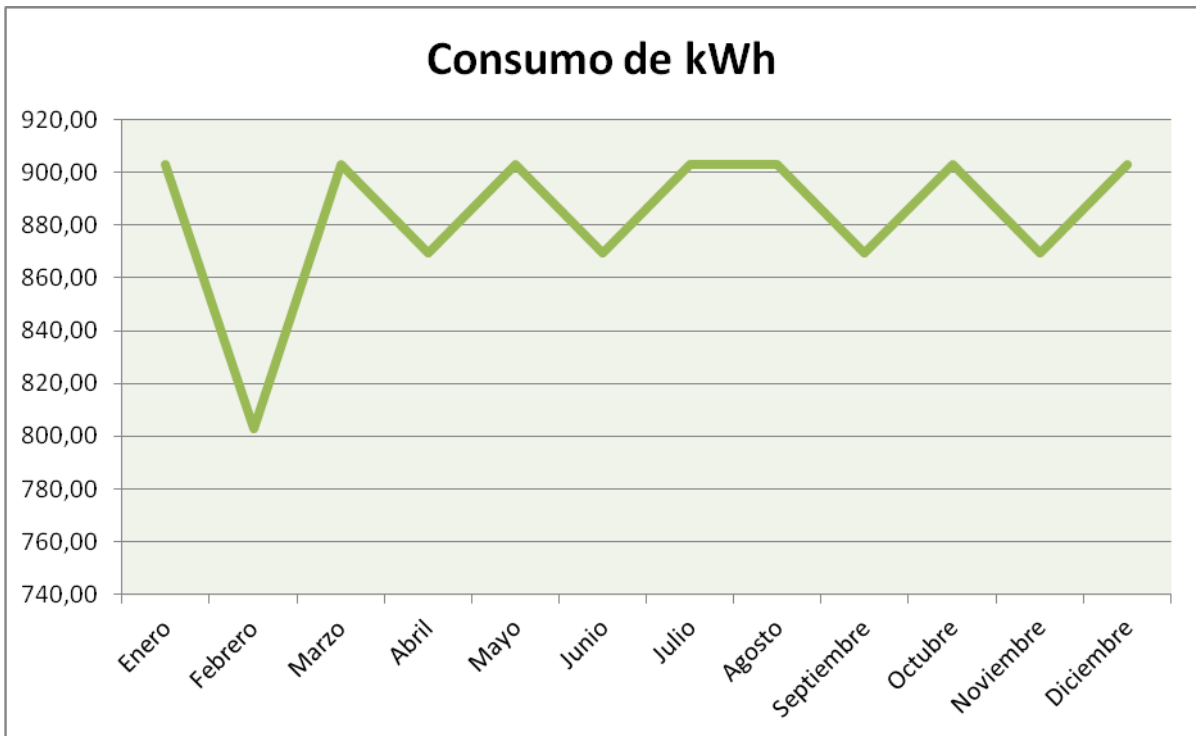
**Gráfico 25.** Curvas energéticas del sistema solar térmico

### 11.2.3. Consumo eléctrico del sistema aerotérmico

En el caso de la instalación de aerotermia el consumo kWh será menor, ya que la mayor parte de los kWh térmicos que se necesitan para mantener la temperatura óptima de incubación, son extraídos de la energía calorífica del aire ambiente, gastando así una cantidad mínima de energía eléctrica. De esta forma, en la tabla 64 se representa el cálculo del consumo eléctrico anual:

**Tabla 64.** Determinación del coste energético anual del sistema aerotérmico.

Mes	N (días laborales/mes)	kWh térmicos	Coste energético (€)
Enero	27	903,123	131,82
Febrero	24	802,776	117,17
Marzo	27	903,123	131,82
Abril	26	869,674	126,94
Mayo	27	903,123	131,82
Junio	26	869,674	126,94
Julio	27	903,123	131,82
Agosto	27	903,123	131,82
Septiembre	26	869,674	126,94
Octubre	27	903,123	131,82
Noviembre	26	869,674	126,94
Diciembre	27	903,123	131,82
<b>MEDIA</b>		<b>10.603,33</b>	<b>1.547,65</b>

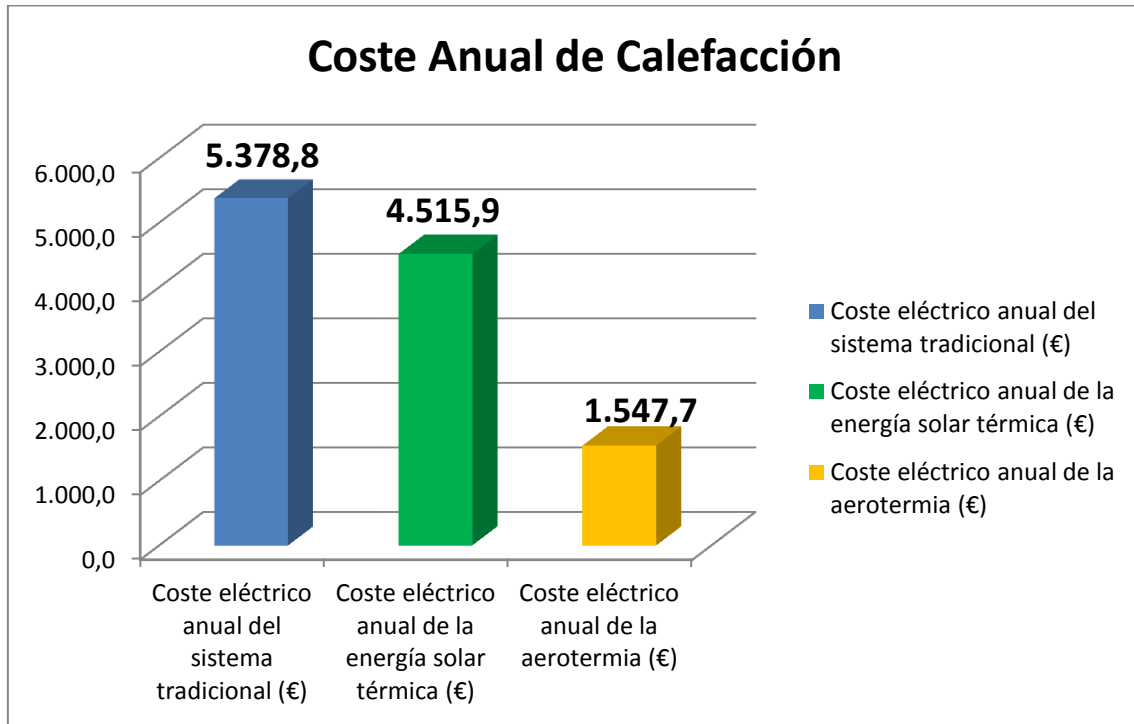


**Gráfico 26.** Consumo de kWh del sistema aerotérmico.

En la gráfica 26 el consumo de kWh a lo largo del año evoluciona exactamente de la misma forma que el sistema basado en las resistencias eléctricas, con la diferencia que el consumo de energía eléctrica es muy inferior.

### 11.3. Comparación energética entre los sistemas planteados

Contrastando solamente el consumo energético anual de los distintos sistemas de calefacción estudiados, obtenemos la siguiente gráfica:



**Gráfica 27.** Comparativa energética de los distintos tipos de calefacción.

Como se puede observar, el sistema aerotérmico resulta el más eficiente de todos, seguida de la energía solar térmica y, por último, el método tradicional. A continuación, se estudiará con más profundidad cuál de ellas resulta más rentable económicamente.

#### 11.3.1. Comparativa energética entre el sistema de resistencias eléctricas y la energía solar térmica

Calculados el valor de las inversiones de las dos instalaciones y determinado el consumo eléctrico anual que tiene cada una, se realizará una comparación energética y económica de los dos sistemas para verificar si la energía solar térmica resulta más rentable que el empleo del sistema

tradicional con resistencias eléctricas. Además, se analizará si con el ahorro en electricidad que se producirá debido al uso de los colectores solares frente al método tradicional se recuperará la inversión y en qué plazo de tiempo se conseguirá.

Partiendo de que las instalaciones tendrán una vida útil de 25 años, se tendrá en cuenta la vida útil de cada uno de los elementos que constituyen las instalaciones y el sobre coste que supone su renovación, que será sumada al coste energético anual en el año de su renovación, obteniéndose así el coste total que se produce en cada uno de los años de la vida del proyecto.

La tasa de crecimiento de los precios de la electricidad se ha estimado que es del 6,66%, calculada aproximadamente para una media de los últimos 5 años (Eurostat, 2014). Mientras que para el aumento del precio de los materiales a renovar a lo largo de la vida útil de las instalaciones, se ha tomado una media de los últimos años del Índice de Precios al Consumo (IPC), obteniéndose un valor de 1,7% (El Banco Mundial, 2014).

En las tablas siguientes se representan los cálculos para cada una de las instalaciones:

**Tabla 65.** Coste total anual que se produce en el sistema de calefacción tradicional en 25 años.

Año	Precio de la electricidad (€/kWh)	Coste energético anual (€)	Sobrecoste por renovación de material (€)	Coste Total (€)
0	-	-	-	874,69
1	0,146	5.378,77	0	5.378,77
2	0,156	5.736,96	0	5.736,96
3	0,166	6.119,01	0	6.119,01
4	0,177	6.526,49	0	6.526,49
5	0,189	6.961,11	730,7	7.691,77
6	0,201	7.424,68	0	7.424,68
7	0,215	7.919,11	0	7.919,11
8	0,229	8.446,47	0	8.446,47
9	0,244	9.008,95	0	9.008,95
10	0,261	9.608,89	794,9	10.403,80
11	0,278	10.248,78	0	10.248,78
12	0,297	10.931,28	0	10.931,28
13	0,316	11.659,23	0	11.659,23
14	0,337	12.435,65	0	12.435,65
15	0,360	13.263,79	864,8	14.128,61
16	0,384	14.147,07	0	14.147,07



ESTUDIO COMPARATIVO ECONÓMICO Y DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA TECNOLOGÍA  
EMPLEADA EN LA INCUBACIÓN DEL YOGUR

17	0,409	15.089,17	0	15.089,17
18	0,437	16.094,01	0	16.094,01
19	0,466	17.165,76	0	17.165,76
20	0,497	18.308,89	940,9	19.249,76
21	0,530	19.528,14	0	19.528,14
22	0,565	20.828,59	0	20.828,59
23	0,603	22.215,63	0	22.215,63
24	0,643	23.695,05	0	23.695,05
25	0,686	25.272,98	1.023,6	26.296,59

**Tabla 66.** Coste total anual que se produce en el sistema de energía solar térmica en 25 años.

Año	Precio de la electricidad (€/kWh)	Coste energético anual (€)	Sobrecoste por renovación de material (€)	Coste Total (€)
0	-	-	-	50.591,84
1	0,1460	4.515,87	0,00	4.515,87
2	0,1557	4.816,60	0,00	4.816,60
3	0,1660	5.137,35	0,00	5.137,35
4	0,1771	5.479,46	0,00	5.479,46
5	0,1889	5.844,36	43,47	5.887,83
6	0,2015	6.233,56	0,00	6.233,56
7	0,2149	6.648,67	0,00	6.648,67
8	0,2292	7.091,43	0,00	7.091,43
9	0,2445	7.563,67	0,00	7.563,67
10	0,2607	8.067,36	4.977,04	13.044,39
11	0,2781	8.604,59	0,00	8.604,59
12	0,2966	9.177,60	0,00	9.177,60
13	0,3164	9.788,77	0,00	9.788,77
14	0,3375	10.440,64	0,00	10.440,64
15	0,3599	11.135,91	4.264,39	15.400,31
16	0,3839	11.877,49	0,00	11.877,49
17	0,4095	12.668,45	0,00	12.668,45
18	0,4367	13.512,09	0,00	13.512,09
19	0,4658	14.411,90	0,00	14.411,90
20	0,4968	15.371,64	5.890,88	21.262,52
21	0,5299	16.395,29	0,00	16.395,29
22	0,5652	17.487,11	0,00	17.487,11
23	0,6028	18.651,64	0,00	18.651,64
24	0,6430	19.893,71	0,00	19.893,71
25	0,6858	21.218,50	60,90	21.279,41

Seguidamente, se muestra en la tabla 67 la estimación del ahorro que supone la utilización de los colectores solares frente al método tradicional basado en la producción de calor con resistencias eléctricas:

**Tabla 67.** Amortización del sistema solar térmico frente a la instalación tradicional en 25 años.

Año	Coste anual total del sistema tradicional (€)	Coste anual total de la instalación de energía solar térmica(€)	Ahorro en electricidad con colectores solares frente a las resistencias eléctricas (€)	Ahorro acumulado (€)	Amortización de la instalación de energía solar térmica (€)
0	874,69	50.591,8	-	-	-49.717,1
1	5.378,77	4.515,9	862,90	862,90	-48.854,25
2	5.736,96	4.816,6	920,37	1.783,27	-47.933,88
3	6.119,01	5.137,3	981,66	2.764,92	-46.952,22
4	6.526,49	5.479,5	1.047,03	3.811,95	-45.905,20
5	7.691,77	5.887,8	1.803,94	5.615,89	-44.101,26
6	7.424,68	6.233,6	1.191,12	6.807,01	-42.910,14
7	7.919,11	6.648,7	1.270,44	8.077,46	-41.639,69
8	8.446,47	7.091,4	1.355,05	9.432,50	-40.284,65
9	9.008,95	7.563,7	1.445,28	10.877,78	-38.839,37
10	10.403,80	13.044,4	-2.640,59	8.237,19	-41.479,96
11	10.248,78	8.604,6	1.644,18	9.881,38	-39.835,77
12	10.931,28	9.177,6	1.753,68	11.635,05	-38.082,10
13	11.659,23	9.788,8	1.870,46	13.505,51	-36.211,64
14	12.435,65	10.440,6	1.995,02	15.500,53	-34.216,62
15	14.128,61	15.400,3	-1.271,70	14.228,83	-35.488,32
16	14.147,07	11.877,5	2.269,58	16.498,41	-33.218,74
17	15.089,17	12.668,5	2.420,72	18.919,13	-30.798,02
18	16.094,01	13.512,1	2.581,92	21.501,05	-28.216,10
19	17.165,76	14.411,9	2.753,86	24.254,90	-25.462,25
20	19.249,76	21.262,5	-2.012,76	22.242,14	-27.475,01
21	19.528,14	16.395,3	3.132,85	25.374,99	-24.342,16
22	20.828,59	17.487,1	3.341,48	28.716,47	-21.000,68
23	22.215,63	18.651,6	3.564,00	32.280,46	-17.436,69
24	23.695,05	19.893,7	3.801,33	36.081,80	-13.635,35
25	26.296,59	21.279,4	5.017,18	41.098,98	-8.618,17

Como se puede ver en la tabla anterior, el uso del sistema solar térmico frente a las resistencias eléctricas no es rentable debido a que no se recupera la inversión hecha. Como consecuencia, por un lado, del alto coste de la inversión que hay que realizar para la energía solar térmica y, por otro lado, que el ahorro de electricidad que se produce con el uso de los colectores

solares frente al sistema tradicional no es muy elevado. Por lo tanto, en este caso el sistema productor de calor con resistencias eléctricas resulta más rentable económicamente, pero hay que destacar que la instalación solar térmica presenta una mayor eficiencia energética.

### **11.3.2. Comparación energética entre el sistema tradicional y el aerotérmico**

Una vez se ha determinado los presupuestos de ambas instalaciones y se sabe el coste energético anual que tiene cada una, se va a proceder a comparar energética y económicamente los dos sistemas constatando si la aerotermia resulta más rentable que el uso de la batería de resistencias eléctricas. Además, se estimará el plazo de tiempo aproximado que se tardará en amortizar la instalación aerotérmica en base al ahorro en electricidad que se producirá debido al empleo de la bomba de calor frente al método tradicional.

Las instalaciones tendrán una vida útil de 25 años. Por tanto, se tendrá en cuenta la vida útil de cada uno de los elementos que conforman las instalaciones y el sobre coste que supone su renovación, que será sumada al coste energético anual en el año de su renovación, obteniéndose así el coste total que se produce en cada uno de los años de la vida del proyecto.

De la misma forma que para el apartado anterior, se tomarán los valores de 6,66% y 1,7%, para el cálculo del aumento del precio de la electricidad y los materiales a renovar, respectivamente.

A continuación se exponen los cálculos para el sistema aerotérmico, ya que en la tabla 65 se exponen los del sistema tradicional:

**Tabla 68.** Coste total anual que se produce en el sistema de la bomba de calor en 25 años.

Año	Precio de la electricidad (€/kWh)	Coste energético anual (€)	Sobrecoste por renovación de material (€)	Coste Total (€)
0	-	-	-	17.271,5
1	0,146	1.547,65	0	1.547,65
2	0,156	1.650,72	0	1.650,72
3	0,166	1.760,64	0	1.760,64
4	0,177	1.877,89	0	1.877,89
5	0,189	2.002,94	21,7	2.024,68
6	0,201	2.136,33	0	2.136,33
7	0,215	2.278,59	0	2.278,59
8	0,229	2.430,33	0	2.430,33
9	0,244	2.592,18	0	2.592,18
10	0,261	2.764,80	13.845,2	16.610,02
11	0,278	2.948,91	0	2.948,91
12	0,297	3.145,29	0	3.145,29
13	0,316	3.354,75	0	3.354,75
14	0,337	3.578,15	0	3.578,15
15	0,360	3.816,43	25,7	3.842,16
16	0,384	4.070,58	0	4.070,58
17	0,409	4.341,66	0	4.341,66
18	0,437	4.630,78	0	4.630,78
19	0,466	4.939,16	0	4.939,16
20	0,497	5.268,08	16.387,4	21.655,46
21	0,530	5.618,90	0	5.618,90
22	0,565	5.993,08	0	5.993,08
23	0,603	6.392,18	0	6.392,18
24	0,643	6.817,85	0	6.817,85
25	0,686	7.271,88	30,5	7.302,33

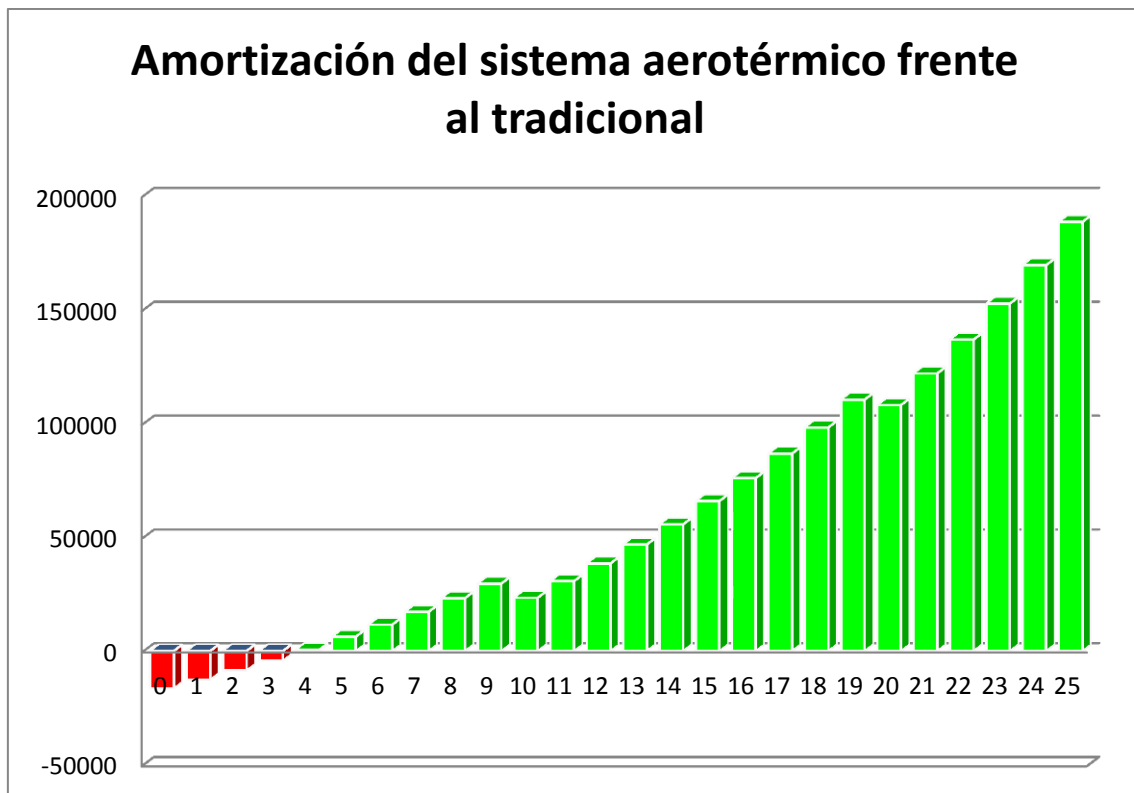
Así, en la tabla que se detalla a continuación se puede ver el ahorro estimado que supone la utilización de la bomba de calor frente al método de calefacción tradicional:

**Tabla 69.** Amortización del sistema aerotérmico frente a la instalación tradicional en 25 años.

Año	Coste anual total del sistema tradicional (€)	Coste anual total de la instalación de aerotermia(€)	Ahorro en electricidad con bomba de calor frente a las resistencias eléctricas (€)	Ahorro acumulado (€)	Amortización de la instalación de Aerotermia (€)
0	874,69	17.271,5	-	-	-16.396,8
1	5.378,77	1.547,65	3.831,12	3.831,12	-12.565,64
2	5.736,96	1.650,72	4.086,25	7.917,37	-8.479,39
3	6.119,01	1.760,64	4.358,36	12.275,73	-4.121,03
4	6.526,49	1.877,89	4.648,60	16.924,33	527,57
5	7.691,77	2.024,68	5.667,09	22.591,42	6.194,66
6	7.424,68	2.136,33	5.288,35	27.879,77	11.483,01
7	7.919,11	2.278,59	5.640,52	33.520,29	17.123,53
8	8.446,47	2.430,33	6.016,14	39.536,43	23.139,67
9	9.008,95	2.592,18	6.416,78	45.953,21	29.556,45
10	10.403,80	16.610,02	-6.206,22	39.746,99	23.350,23
11	10.248,78	2.948,91	7.299,86	47.046,85	30.650,09
12	10.931,28	3.145,29	7.785,98	54.832,83	38.436,07
13	11.659,23	3.354,75	8.304,48	63.137,31	46.740,55
14	12.435,65	3.578,15	8.857,50	71.994,81	55.598,05
15	14.128,61	3.842,16	10.286,44	82.281,26	65.884,50
16	14.147,07	4.070,58	10.076,48	92.357,74	75.960,98
17	15.089,17	4.341,66	10.747,51	103.105,25	86.708,49
18	16.094,01	4.630,78	11.463,23	114.568,48	98.171,72
19	17.165,76	4.939,16	12.226,60	126.795,08	110.398,32
20	19.249,76	21.655,46	-2.405,70	124.389,38	107.992,62
21	19.528,14	5.618,90	13.909,24	138.298,62	121.901,86
22	20.828,59	5.993,08	14.835,51	153.134,13	136.737,37
23	22.215,63	6.392,18	15.823,45	168.957,58	152.560,82
24	23.695,05	6.817,85	16.877,19	185.834,77	169.438,01
25	26.296,59	7.302,33	18.994,26	204.829,03	188.432,27

En la tabla anterior se puede observar como el uso del sistema aerotérmico frente a las resistencias eléctricas es más eficiente energética y económicamente, debido a que éstas últimas consumen solamente electricidad para cubrir las necesidades térmicas del interior de la cámara, mientras que la bomba de calor absorbe la mayor parte de la energía calorífica del aire exterior, utilizando una parte de energía eléctrica únicamente para el funcionamiento del ventilador y compresor, además de los diferentes elementos de la instalación empleados para transmitir la energía captada al interior de la sala de fermentación. Hay que destacar que al final de la vida útil de la instalación aerotérmica se ahorraría un total de 188.432,27 € en electricidad, además de tener una mayor eficiencia energética frente al método de calefacción empleado de forma tradicional para la producción de calor en la cámara de incubación.

Además, en el grafico expuesto a continuación se puede observar como en tan solo 4 años se recuperaría la inversión del sistema aerotérmico, empezando a obtenerse beneficios debido al ahorro energético originado.



**Gráfico 28.** Amortización de la instalación de aeotermia frente al método tradicional.

## **12. CONCLUSIONES**

1. En función del coste energético anual, el sistema aerotérmico resulta el más eficiente, siguiendo en orden descendente la energía solar térmica y el método tradicional.
2. El coste total afectado por los factores electricidad y gasto de material, resulta más rentable en el sistema aerotérmico que en el de resistencias eléctricas.
3. La bomba de calor, a pesar de no considerarse como energía renovable, resulta beneficiosa económicamente.
4. La energía solar térmica se manifiesta improductiva económicamente debido a su elevada inversión, cotejada con el método tradicional.





### 13. BIBLIOGRAFÍA

Abelado, M. 2011. Viernes procariota: *Lactobacillus bulgaricus*. [En línea]. <<http://lacienciaysusdemonios.com/2011/05/06/viernes-procariota-lactobacillus-bulgaricus/>>. [Consulta: 6 marzo 2014].

Agencia Estatal de Meteorología. Valores climatológicos normales de Santa Cruz de Tenerife. [En línea]. <<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=C449C&k=coo>>. [Consulta: 17 abril 2014].

Agencia Andaluza de la Energía. 2011. Energía Solar Térmica a Baja Temperatura. [En línea]. <[http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/energia\\_solar\\_termica\\_a\\_baja\\_temperatura\\_generalidades.pdf](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/energia_solar_termica_a_baja_temperatura_generalidades.pdf)> [Consulta: 25 junio 2014].

Alais, Ch. Ciencia de la leche. 2003. [En línea]. Barcelona: Editorial Reverté, S.A. <[http://books.google.es/books?id=bW\\_ULacGBZMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.es/books?id=bW_ULacGBZMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)> [Consulta: 4 marzo 2014]. ISBN: 84-291-1815-2.

Ariston Thermo Group. 2013. AEROTERMIA FUENTE INAGOTABLE DE ENERGÍA. [En línea]. <<http://www.nuosariston.es/aeroterminia.php>>. [Consulta: 15 julio 2014].

---

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). 2010. Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto. [En línea]. <<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/rite/reconoci-dos/reconocidos/condicionesclimaticas.pdf>>. [Consulta: 17 abril 2014].

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). 2007. Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007). Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios. [En línea]. <[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10540\\_Comentarios\\_RI-TE\\_GT7\\_07\\_2200d691.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Comentarios_RI-TE_GT7_07_2200d691.pdf)> [Consulta: 25 junio 2014].

Buderus. 2007. Catálogo tarifa energía solar térmica. [En línea]. <[http://www.buderus.es/files/200802061713330.tarifa%20solar\\_08.pdf](http://www.buderus.es/files/200802061713330.tarifa%20solar_08.pdf)>. [Consulta: 1 julio 2014].

Buderus. 2013. Climatización y a.c.s. de alta eficiencia con energías inagotables. Bombas de calor reversibles para aplicaciones geotérmicas y aerotérmicas. [En línea]. <[http://www.buderus.es/files/201107081322010.folleto%20GEO\\_AERO\\_5-7.pdf](http://www.buderus.es/files/201107081322010.folleto%20GEO_AERO_5-7.pdf)> [18 julio 2014].

CENSOLAR. Mapa solar de España. [En línea]. <<http://www.espasolar.com/mapasolar01.htm>>. [Consulta: 19 junio 2014].

Código Técnico de la Edificación (CTE). 2009. Documento Básico HE Ahorro de Energía. [En línea]. <[http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB\\_HE\\_abril\\_2009.pdf](http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf)>. [Consulta: 22 junio 2014].

Datuopinion.com. 2011. Opiniones de *Streptococcus thermophilus*. [En línea] <<http://www.datuopinion.com/streptococcus-thermophilus>> [Consulta: 6 marzo 2014].

Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Boletín Oficial del Estado núm. 140, de 5 de junio de 2009, páginas 16 a 62 (47 págs.). [En línea]. <<http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-81013>>. [Consulta: 15 julio 2014].

El Banco Mundial. 2014. Inflación, precios al consumidor (% anual). [En línea]. <<http://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG>>. [14 agosto 2014].

Eurostat. 2014. Electricity prices for domestic consumers, from 2007 onwards - bi-annual data. [En línea]. <[http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_204&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204&lang=en)>. [14 agosto 2014].

FAO. 2011. La División de Estadística de la FAO. [En línea]. <<http://faostat.fao.org>> [Consulta: 23 febrero 2014].

González González, Cristina. 2013. Proyecto de una industria de IV gama en el T.M. de Arico. Proyecto Fin de Carrera. Director/es: Ritter, A. y Gutiérrez, V. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de La Laguna.

Grundfos. 2014a. [En línea]. <<http://net.grundfos.com/App/WebCAPS/PdfStreamer.pdf?productno=96430299&data=>>> [Consulta: 5 julio 2014].

---

Grundfos. 2014b. [En línea].  
<<http://net.grundfos.com/Api/WebCAPS/PdfStreamer.pdf?productno=96402142&data=>> [Consulta: 8 julio 2014].

Grundfos. 2014c. [En línea].  
<<http://net.grundfos.com/Api/WebCAPS/PdfStreamer.pdf?productno=96401846&data=>>. [23 julio 2014].

Instalaciones J. Carpio. 2014. Energía aerotérmica. [En línea].  
<<http://www.instalacionescarpio.com/energias-renovables/aerotermica/energia-aerotermica>>. [Consulta: 15 julio 2014].

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2014. Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios. [En línea].  
<[http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Prestaciones\\_Medias\\_Estacionales\\_Bombas\\_de\\_Calor.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Prestaciones_Medias_Estacionales_Bombas_de_Calor.pdf)> [16 julio 2014].

ITC y GONG. 2011. Estadísticas climáticas en Canarias. [En línea].  
<[http://www.itccanarias.org/web/itc/proyectos-software/estadisticas\\_climaticas\\_canarias.jsp?lang=en](http://www.itccanarias.org/web/itc/proyectos-software/estadisticas_climaticas_canarias.jsp?lang=en)>. [Consulta: 19 junio 2014].

Jaga. 2014. Jaga unit heater AVS • catalogue. [En línea].  
<<http://www.termotecnia.com/publicFTP/pdf/AVS.pdf>> [Consulta: 6 julio 2014].

---

Junker. 2010. Bombas de Calor Supraeco Junkers. Climatización frío/calor y agua caliente en un sólo producto. [En línea]. <[http://junkers-es.resource.bosch.com/media/documentacion/energias\\_renovables/folletos\\_comerciales\\_3/2011\\_3/BOMBAS\\_DE\\_CALOR\\_NEW10.pdf](http://junkers-es.resource.bosch.com/media/documentacion/energias_renovables/folletos_comerciales_3/2011_3/BOMBAS_DE_CALOR_NEW10.pdf)> [22 julio 2014].

Junker. 2014. Calentadores y Termos eléctricos Junkers. Confort instantáneo en a.c.s. [En línea]. <[http://junkers-es.resource.bosch.com/media/documentacion/agua\\_caliente/folletos\\_comerciales/2011/AF\\_Calentadores\\_y\\_Termos\\_A4\\_2011\\_baja.pdf](http://junkers-es.resource.bosch.com/media/documentacion/agua_caliente/folletos_comerciales/2011/AF_Calentadores_y_Termos_A4_2011_baja.pdf)>. [Consulta: 9 julio 2014].

López Gómez, Antonio y Madrid Vicente, Antonio. 2003. Manual de industrias lácteas. Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones. 438 p.

López-Cózar, J.M. 2006. Energía solar térmica. [En línea]. <[http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos\\_documentos/Energia\\_Solar\\_Termica.pdf](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Energia_Solar_Termica.pdf)> > [Consulta: 18 junio 2014].

Luisa Quishpe, María Isabel. 2007. Implementación del sistema de análisis de riesgos y puntos críticos de control para yogur tipo II elaborado en la plan de lácteos de la hacienda Rumipamba. Artículo científico. Director: Díaz M., Byron. Escuela de ingeniería en industrias pecuarias. Escuela superior politécnica de Chimborazo. [En línea]. <<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/861/1/27T0103.pdf>>. [Consulta: 7 junio 2014].

Millán, J. A. 2001. Cálculos Psicrométricos. [En línea]. <<http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>> [Consulta: 17 abril 2014].

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Anuario de estadística agraria del 2011. [En línea]. <<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>> [Consulta: 23 febrero 2014].

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2013. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). [En línea]. <<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>> [Consulta: 22 abril 2014].

Novatub. 2010. Conducto rectangular. [En línea]. <<http://www.novatub.com/docs/crectangular.pdf>> [Consulta: 22 abril 2014].

PCE. 2014. Radiómetro Mac-Solar. [En línea]. <<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-radiacion/radiometro-macsolar.htm>> [Consulta: 18 junio 2014].

Pereda Suquet, Pilar. 2006. Proyecto y cálculo de instalaciones solares térmicas. Madrid: Editorial fundación COAM. 210 p.

Real Decreto 1679/1994, de 22 de julio, por el que se establece las condiciones sanitarias aplicables a la producción y comercialización de leche cruda, leche tratada térmicamente y productos lácteos. Boletín Oficial del Estado, núm. 229, de 24 de septiembre de 1994, páginas 29492 a 29511 (20 págs.). [En línea]. <[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1994-20998](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1994-20998)>. [Consulta: 28 febrero 2014].

---

Real Decreto 271/2014, de 11 de abril, por el que se aprueba la Norma de Calidad para el yogur o yoghurt. Boletín Oficial del Estado, núm. 102, de 28 de abril de 2014, páginas 33154 a 33157 (4 págs.). [En línea]. <[http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-4515](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-4515)>. [Consulta: 28 febrero 2014].

Real Decreto 179/2003, de 14 de febrero, por el que se aprueba la Norma de Calidad para el yogur o yoghurt. Boletín Oficial del Estado, núm. 42, de 18 de febrero de 2003, páginas 6448 a 6450 (3 págs.). [En línea]. <[http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-3273](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-3273)> [Consulta: 28 febrero 2014].

Real Decreto 640/2006, de 26 de mayo, por el que se regulan determinadas condiciones de aplicación de las disposiciones comunitarias en materia de higiene, de la producción y comercialización de los productos alimenticios. Boletín Oficial del Estado núm 126, de 27 de mayo de 2006, páginas 19999 a 20002 (4 págs.). [En línea]. <[http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-9300](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-9300)>. [Consulta: 5 junio 2014].

Reglamento (CE) nº 852/2004 del Parlamento Europeo y del consejo de 29 de abril de 2004. [En línea]. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:139:0001:0054:ES:PDF>> [Consulta: 5 junio 2014].

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boletín Oficial del Estado núm. 45 de 21 de febrero de 2003. [En línea]. <[http://noticias.juridicas.com/base\\_datos/Admin/rd140-2003.html](http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rd140-2003.html)>. [Consulta: 8 junio 2014].

---

Robinson, R. K. 1987. Microbiología lactológica. Volumen II. Microbiología de los productos lácteos. Zaragoza: Ed. Acribia S.A. 298 p.

Rodríguez, C., Monteverde, M., Pérez, E., Morando, N. 2006. [En línea]. Organización Panamericana de la Salud. <[http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/publicaciones%20virtuales/haccp\\_cd/haccp/haccp.html](http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/publicaciones%20virtuales/haccp_cd/haccp/haccp.html)> [Consulta: 5 junio 2014].

Romero del Castillo Shelly, Roser y Mestres Lagarriga, Josep. 2004. Productos Lácteos. Tecnología. Barcelona: Edicions UPC. 230 p.

Salvador Escoda S.A. 2013. Catálogo Técnico-Tarifa de Precios. Resistencias Eléctricas. [En línea]. <[http://www.salvadorescoda.com/tecnico/RA/Catalogo\\_Tarifa\\_Resistencias\\_Electricas\\_Nov2012.pdf](http://www.salvadorescoda.com/tecnico/RA/Catalogo_Tarifa_Resistencias_Electricas_Nov2012.pdf)> [Consulta: 22 abril 2014].

Sánchez Rodríguez, Manuel. El subsector del ganado bovino de leche. [En línea]. <[http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/20\\_13\\_45\\_tema\\_3a.pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/20_13_45_tema_3a.pdf)> [Consulta: 24 febrero 2014].

Sedigas. 2013. Guía sobre aplicaciones de la energía solar térmica. [En línea]. <[http://www.sedigas.es/dochome/Guia\\_solar\\_Sedigas.pdf](http://www.sedigas.es/dochome/Guia_solar_Sedigas.pdf)>. [Consulta: 22 junio 2014].

Servicio de Estadística de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2011. Estadística Agraria de Canarias. Instituto canario de estadística. [En línea]. <<http://www.gobiernodecanarias.org/istac/jaxi->



---

[istac/menu.do?uripub=urn:uuid:ef5f2e5c-e2c4-4c1d-b5ed-c20fe946ce6f](http://istac/menu.do?uripub=urn:uuid:ef5f2e5c-e2c4-4c1d-b5ed-c20fe946ce6f)>

[Consulta: 24 febrero 2014].

Sodeca. 2012. Catálogo general. [En línea].  
<[http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT11\\_60Hz\\_2012ES.pdf](http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT11_60Hz_2012ES.pdf)>

[Consulta: 20 abril 2014].

Suicalsa. 2011. Acumuladores ACS e intercambiadores de calor. [En línea].  
<<http://www.saneamientosdimasa.es/descargas/SUICALSA%202012.pdf>>.

[Consulta: 5 julio 2014].

Tamine, A. Y. y Robinson, R.K. 1991. Yogur. Ciencia y tecnología. Zaragoza: Ed. Acribia S.A. 368 p.

UNE-EN 12975. 2011. Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales. Madrid: Asociación Española de Normalización (AENOR). 15 p. [En línea].  
<[file:///D:/Users/Acer/Downloads/EXT\\_9VSZ8AVIXBU3NDUEURL3.pdf](file:///D:/Users/Acer/Downloads/EXT_9VSZ8AVIXBU3NDUEURL3.pdf)>

[Consulta: 23 junio 2014].

UNE-EN 806-1. 2001. Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 1: Generalidades. Madrid: Asociación Española de Normalización (AENOR). 35 p. [En línea].

<[file:///D:/Users/Acer/Downloads/EXT\\_DET7RVKVDYDMZ6L9RY9C.pdf](file:///D:/Users/Acer/Downloads/EXT_DET7RVKVDYDMZ6L9RY9C.pdf)>

[Consulta: 23 junio 2014].

UNE EN 12897. 2007. Abastecimiento de agua. Especificaciones para los calentadores de agua de acumulación por calentamiento indirecto sin ventilación (cerrados). Madrid: Asociación Española de Normalización (AENOR). 18 p.

[En línea].

<[file:///D:/Users/Acer/Downloads/EXT\\_1UTOWUALO9TDP0ZPH6LE.pdf](file:///D:/Users/Acer/Downloads/EXT_1UTOWUALO9TDP0ZPH6LE.pdf)>.

[Consulta: 25 junio 2014].

Walstra, P., Geurts, T.J., Noomen, A., Jellema, A., y van Boekel, M.A.J.S. 2001. Ciencias de la leche y tecnología de los productos lácteos. Zaragoza: Ed. Acribia S.A. 732 p.

## 14. PLANOS



### **14.1. Diseño del sistema tradicional de generación de calor.**

## **14.2. Diseño en planta de la instalación solar térmica.**

### **14.3. Diseño hidráulico del sistema solar térmico.**

#### **14.4. Diseño hidráulico del sistema aerotérmico.**