



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO TÉCNICO DE LA
VIABILIDAD DE NUEVAS
PROPUESTAS PARA LA MEJORA
DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
GRASAS VEGETALES**

Alumno: Francisco Fernández Tirado

Tutor: Prof. D. Francisco Javier Gómez de la Cruz

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Febrero, 2020

RESUMEN

En el presente estudio técnico, se han propuesto varias soluciones a la problemática de abastecimiento de energía térmica, para los diferentes procesos de la fábrica industrial “RIOSA” en los meses de invierno. La actual fuente de alimentación energética es una caldera de biomasa acuotubular de vapor saturado de alta presión, la cual tiene un rendimiento energético limitado, alrededor de un 45%. Por ello, se expondrán tres propuestas que se analizarán una a una para determinar la mejor opción. Entre las soluciones se encuentran: la sustitución de la caldera actual por otra nueva de similares características y mejor rendimiento, la instalación de un sistema termosolar para reducir la carga térmica de la fábrica y la adquisición de una caldera auxiliar de pequeña potencia térmica que cumpla con los mismos objetivos que el sistema termosolar.

En lo que se refiere a la instalación termosolar, los cálculos están basados en el método f-chart para agua caliente sanitaria. Se establecerá también un sistema hidráulico para satisfacer la demanda de energía térmica, en el caso de la ya mencionada instalación termosolar o la caldera auxiliar, con un fluido portador del calor cómo será el agua líquida.

Una vez analizadas cada propuesta, teniendo en cuenta su periodo de amortización se pondrá en juicio de los técnicos responsables, solventar la problemática de la caldera actual con vistas a futuro o un ahorro significativo a corto plazo.

ÍNDICE

I.	ÍNDICE DE TABLAS.....	i
II.	ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
III.	NOMENCLATURA.....	vi
1.	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	1
1.1	Introducción	1
1.2	Alcance y objetivos	2
1.3	Antecedentes	3
1.3.1	Actividad de la empresa.....	3
1.3.2	Ubicación	6
1.3.3	Clima	6
2.	ANÁLISIS TÉRMICO DE LA PLANTA	7
2.1	Circuito térmico de la planta.....	7
2.2	Caldera actual.....	9
2.2.1	Elementos que incorpora la caldera.....	11
2.2.2	Tipos y partes principales de la caldera	12
2.2.3	Transmisión de calor en caldera. Superficie de calefacción. Superficie de radiación y de convección.....	13
2.2.4	Superficie de calefacción directa.....	13
2.2.5	Superficie de calefacción indirecta.....	14
2.2.6	Disposiciones generales constructivas en calderas acuotubulares	15
2.2.7	Partes de una caldera acuotubular.....	16
2.2.8	Accesorios y elementos adicionales para calderas	19
2.3	Sistema de alimentación y descalcificador	25
2.3.1	Sistema de alimentación de los colectores.....	26
2.4	Estado actual de sistema de calefactado de los depósitos de producto primario	26
2.4.1	Depósitos.....	27
2.4.2	Oleínas	29

3.	CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	30
3.1	Cálculo de las pérdidas de los depósitos de producto primario	31
3.1.1	Cálculo de las pérdidas laterales del depósito.....	32
3.1.2	Cálculo de las pérdidas de calor por la parte inferior al deposito.....	39
3.1.3	Cálculo de las pérdidas de calor por la parte superior del depósito....	43
3.1.4	Resumen de pérdidas totales.....	49
3.2	Cálculo de la potencia calorífica de aporte a las pastas	50
3.2.1	Cálculo del coeficiente de película del agua en el interior del serpentín 52	
3.2.2	Cálculo del coeficiente de película del aceite en la superficie del serpentín 53	
3.2.3	Potencia térmica, coeficiente global de transmisión de calor y determinación de la temperatura de superficie del serpentín.	55
4.	PROPUESTAS DE MEJORA	58
4.1	Sustitución por una nueva caldera	58
4.1.1	Objeto	58
4.1.2	Comparativa de calderas	58
4.1.3	Diseño y construcción	59
4.1.4	Cámara de combustión húmeda	60
4.1.5	Quemador de combustión (Biomasa).....	61
4.1.6	Cuadro de control	62
4.1.7	Cableado eléctrico	63
4.1.8	Aislamiento térmico.....	63
4.1.9	Identificación.....	63
4.1.10	Accesorios de la caldera	64
4.1.11	Alimentación agua.....	65
4.1.12	Control automático del nivel de agua	65
4.1.13	Seguridades por agua.....	66
4.1.14	Seguridades por presión	66
	Filtro de mangas.....	70

4.2	Instalación termosolar	72
4.2.1	Instalación solar térmica de baja temperatura	72
4.2.2	Componentes de una instalación solar térmica	73
4.2.3	Estudio técnico de la instalación termosolar	75
4.2.4	Cálculo de la instalación termosolar	76
4.2.5	Conclusiones	91
4.2.6	Sistema de captación: Colector solar plano	92
4.3	Caldera auxiliar	113
4.3.1	Instalación de la caldera auxiliar	113
4.3.2	Cálculo de la potencia térmica	114
4.3.3	Cálculo del coeficiente de película del agua	115
4.3.4	Cálculo del coeficiente de película del aire	116
4.3.5	Potencia térmica de la caldera auxiliar	117
4.3.6	Elección de caldera auxiliar	118
4.3.7	Investigación de mercado para el combustible	124
5.	ESTUDIO ECONÓMICO	128
5.1	Costes de la caldera NOVA PA-2000 pirotubular	128
5.1.1	Precio de caldera	128
5.1.2	Complementos A	128
5.1.3	Complementos B	129
5.2	Costes de la instalación termosolar	130
5.2.1	Costes circuito primario y secundario	130
5.3	Costes de la caldera auxiliar	131
5.3.1	Coste caldera auxiliar y accesorios	131
5.3.2	Coste por mano de obra	132
6.	CONCLUSIONES	133
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
8.	ANEXOS	136

I. ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Valores climatológicos de Jaén. En Aemet, (2019).	6
Tabla 2. Características de la caldera actual.	11
Tabla 3. Valores medios de la caldera actual.	11
Tabla 4 Propiedades de las oleínas.	29
Tabla 5 Distribución de temperaturas inicial para la pared cilíndrica.	32
Tabla 6 Propiedades del aceite a la temperatura promedio.	33
Tabla 7 Resultados del coeficiente de película del aceite.	33
Tabla 8 Datos iniciales para el coeficiente de película del aire.	34
Tabla 9 Datos del aire a la temperatura media.	34
Tabla 10 Valores para la convección del aire a la temperatura media.	34
Tabla 11 Datos para la transferencia unidimensional de calor.	35
Tabla 12 Pérdidas laterales del depósito.	36
Tabla 13 Proceso de iteración para determinar la temperatura de superficie.	38
Tabla 14 Datos para la superficie interior.	40
Tabla 15 Propiedades del aceite para las condiciones propuestas.	40
Tabla 16 Coeficiente de película del aceite para la superficie interior supuesta.	40
Tabla 17 Dimensiones para el problema propuesto de las pérdidas inferiores al depósito.	41
Tabla 18 Pérdidas por la parte inferior del depósito.	42
Tabla 19 Proceso iterativo para hallar la temperatura de superficie interior.	42
Tabla 20. Datos de las dimensiones.	44
Tabla 21. Propiedades del aceite a la temperatura promedio.	44
Tabla 22. Coeficiente de película para el aceite.	44
Tabla 23. Propiedades del aire en la placa superior interna del depósito.	45
Tabla 24. Coeficiente de convección del aire.	45
Tabla 25. Dimensiones y temperaturas de la superficie exterior superior del depósito.	46
Tabla 26. Propiedades del aceite en la superficie exterior superior.	47
Tabla 27. Coeficiente de película del aceite.	47
Tabla 28. Dimensiones y propiedades del depósito en el plano superior.	48
Tabla 29. Resistencias térmicas de la parte superior.	49
Tabla 30 Temperaturas de superficie en el proceso iterativo.	49
Tabla 31. Resumen de pérdidas de calor del depósito.	49
Tabla 32 Propiedades iniciales del intercambio en el serpentín.	52

Tabla 33 Coeficiente de película inicial para el flujo de agua.....	53
Tabla 34 Distribución de temperaturas para el aceite.....	53
Tabla 35 Propiedades del aceite en el interior del depósito.....	54
Tabla 36. Correlación para el numero de Nusselt en un cilindro isoterma	54
Tabla 37. Resultados para el coeficiente de película del aceite.....	54
Tabla 38. Proceso iterativo para determinar la superficie interior.....	55
Tabla 39. Coeficientes de película.....	56
Tabla 40. Potencia térmica, flujo másico y coeficiente global de transmisión de calor	57
Tabla 41. Identificación caldera RCB.....	63
Tabla 42. Características del vapor caldera RCB	63
Tabla 43. Características del combustible predeterminado.....	64
Tabla 44. Características del filtro de mangas de la caldera RCB	70
Tabla 45. Características filtro de mangas Air modelo FRH-192.....	70
Tabla 46. Datos del intercambio térmico al mantener la temperatura de las pastas a 40°C	77
Tabla 47. Irradiancia por meses en la fabrica	82
Tabla 48. Cálculo de la demanda térmica.....	84
Tabla 49. Energía útil captada cada mes.....	87
Tabla 50. Cobertura solar frente a número de colectores	88
Tabla 51. Ficha técnica de la instalación termosolar.....	89
Tabla 52. Parámetros para el acumulador.....	91
Tabla 53. Parámetros para la potencia térmica de las pastas.....	114
Tabla 54. Propiedades del agua de intercambio en el serpentín a las condiciones propuestas.....	115
Tabla 55. Resultado del coeficiente de película provisional del agua	115
Tabla 56. Distribución de temperaturas del aceite en la superficie interior.....	116
Tabla 57. Propiedades del aceite.	116
Tabla 58. Resultado del coeficiente provisional del aceite.....	116
Tabla 59. Proceso iterativo para la superficie interior.	117
Tabla 60. Coeficientes de película.....	117
Tabla 61. Potencia térmica para la caldera auxiliar.....	117
Tabla 62. Comparativa de calderas	124
Tabla 63. Comparativa de combustibles.....	124
Tabla 64. Comparativa de previsión de costes de inversión por calderas.....	125

II. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Depósitos de almacenamiento de la empresa RIOSA, zona 1.....	3
Figura 1.2 Depósitos aislados térmicamente, zona 2.....	3
Figura 1.3 Plano general de RIOSA	4
Figura 1.4 Ubicación geográfica de la fábrica RIOSA. En Sede electrónica catastro (2019).....	6
Figura 2.1 Plano Sinfín de alimentación de biomasa para la caldera actual	7
Figura 2.2 Caldera Acuatubular Babcock Wilcox	9
Figura 2.3 Plano general de la instalación de tuberías en nave de calderas RIOSA (1969).....	10
Figura 2.4 Sala de caldera.....	13
Figura 2.5 Principio de funcionamiento de una caldera Acquatubular.....	15
Figura 2.6 Imagen frontal de la caldera actual.....	16
Figura 2.7 Ilustración de una caldera acuatubular	16
Figura 2.8 Válvulas reguladoras de la caldera actual.....	19
Figura 2.9 Válvulas de seguridad de la caldera actual.....	20
Figura 2.10 Indicadores de nivel de la caldera actual.	21
Figura 2.11 Cuadro de regulación	23
Figura 2.12 Tolva de recepción de combustible.....	24
Figura 2.13 Croquis del descalcificador	25
Figura 2.14 Serpentín en el interior de los depósitos.....	27
Figura 2.15 Zona 2 de almacenamiento de producto terminado	27
Figura 3.1 Balance térmico de las pérdidas de los depósitos.	31
Figura 3.2 Distribución de temperaturas de la pared cilíndrica compuesta	35
Figura 3.3 Pérdidas de calor laterales de los depósitos.....	36
Figura 3.4 Superficie fría orientada hacia arriba. En Incropera y de Witt (1999). ...	39
Figura 3.5 Distribución de temperaturas de la parte inferior al depósito.....	41
Figura 3.6 Superficie superior orientada hacia abajo	43
Figura 3.7 Superficie superior de placa caliente	46
Figura 3.8 Circuito térmico del plano superior del depósito.....	48
Figura 3.9 Aporte energético del agua a través del serpentín a las pastas.	50
Figura 3.10 Resumen de pérdidas en el depósito.....	51
Figura 3.11 Intercambiador de calor con temperatura fija.....	51
Figura 3.12 Proceso iterativo para hallar T^a superficie.....	55
Figura 4.1 Comparativa de calderas.....	59

Figura 4.2 Instalación solar térmica. En IDEA (2009).	74
Figura 4.3. Esquema general de accesorios en una instalación termosolar.....	74
Figura 4.4 Situación geográfica para la contribución solar mínima	78
Figura 4.5 Temperatura media del agua fría de red. En Código Técnico de la Edificación (2017).	79
Figura 4.6 Irradiación solar mensual.....	80
Figura 4.7 Calculo de separación entre paneles.....	81
Figura 4.8 Vista en alzado del campo de colectores.....	82
Figura 4.9. Dimensiones del campo de colectores.....	82
Figura 4.10. Curvas F-Chart para la instalación termosolar.	88
Figura 4.11 Energía aportada por la instalación termosolar.....	90
Figura 4.12 Circuito primario de una instalación termosolar	92
Figura 4.13 Configuración del sistema centralizado con apoyo individual distribuido	93
.....	
Figura 4.14 Rendimiento del colector solar EXCEL T25US	95
Figura 4.15 Características técnicas del colector solar EXCEL T25US.....	96
Figura 4.16. Racores de conexión entre captadores.....	96
Figura 4.17. Racores de adaptación al circuito hidráulico.....	96
Figura 4.18 Elementos de conexión para la instalación de baterías	97
Figura 4.19. Modelo de la estructura y cubierta de los colectores.....	97
Figura 4.20 Acumulador ATB 5000 IND.....	99
Figura 4.21 Características del acumulador ATB 5000 INS	99
Figura 4.22 Dimensiones acumulador ATB 5000 INS.....	100
Figura 4.23 Volumen acumulador ATB 5000 INS	100
Figura 4.24 Intercambiador termosoldado	101
Figura 4.25 Disipadores aéreotermos dinámicos.....	102
Figura 4.26 Características bomba primaria	103
Figura 4.27 Características bomba secundaria.....	104
Figura 4.28. Válvulas mezcladoras con antirretornos	104
Figura 4.29. Control y sensores.....	104
Figura 4.30. Fluido portador de calor	105
Figura 4.31. Vaso de expansión	105
Figura 4.32. Válvula de equilibrado estático.	105
Figura 4.33. Sistemas de llenado y vaciado	105
Figura 4.34 Caldera Ares de biomasa de agua caliente.	118
Figura 4.35 Caldera de biomasa gama ARES 500 kW	118
Figura 4.36 Datos técnicos de la gama ARES 130-500 kW.....	119

Figura 4.37. Tipos de combustible.....	119
Figura 4.38 Vistas de la caldera ARES 130 a 950 kW	120
Figura 4.39 Dimensiones de la caldera ARES 300 kW.	121
Figura 4.40 Accesorios de la caldera ARES	122
Figura 4.41 Accesorios 2 de la caldera de la gama ARES.....	123
Figura 4.42 Comparativa por precio de combustible.....	127
Figura 4.43 Comparativa por previsión de precio de combustible.....	127

III. NOMENCLATURA

g	Aceleración de la gravedad (m/s^2)
ρ	Densidad (Kg/m^3)
L	Longitud (m)
β	Coefficiente de la temperatura de la conductividad térmica (K^{-1})
T	Temperatura ($^{\circ}C$, K)
μ	Viscosidad dinámica ($Kg/m\cdot s$)
G_r	Número de Grashof
P_r	Número de Prandtl
Ra_L	Número de Rayleigh (Superficies no radiales)
n	Superíndice como constante del número de Nusselt
C	Constante del número de Nusselt
Nu_L	Número de Nusselt
k	Conductividad térmica ($W/m\cdot K$)
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2\cdot K$)
q	Tasa de flujo de calor (W)
q_r	Tasa de flujo de calor por convección (W)
U	Coefficiente global de transmisión de calor ($W/m^2\cdot K$)
A	Área (m^2)
T_F	Temperatura de superficie fría ($^{\circ}C$, K)
T_s	Temperatura de superficie caliente ($^{\circ}C$, K)
T_{∞}	Temperatura del flujo ($^{\circ}C$, K)
π	Numero pi
r	Radio (m)
R	Resistencia térmica (K/W)
ν	Viscosidad cinemática (m^2/s)
T_h	Temperatura del flujo caliente ($^{\circ}C$, K)
T_c	Temperatura del flujo frío ($^{\circ}C$, K)
α	Difusividad térmica (m^2/s)
A_s	Área de superficie (m)
P	Perímetro (m)
L_c	Longitud característica (m)
CE	Certificación europea

PCS	Poder calorífico superior (kJ/kg)
PCI	Poder calorífico inferior (kJ/kg)
$K_{1,2}$	Factor óptico del colector (W/K ² m)
η	Rendimiento del colector
\dot{m}	Flujo másico (kg/s)
C_P	Calor específico a presión constante (kJ/kg·K)
N	Número de días
H	Irradiancia por día o por mes a 45° (W·h/m ²)
Q_{acs}	Demanda de energía térmica (kJ/día)
D(T)	Consumo diario (L/día)
T_{acs}	Temperatura del agua caliente de acumulación (°C, K)
T_{red}	Temperatura del agua de red (°C, K)
Q_{olec}	Demanda de energía térmica de los depósitos (W·h/mes)
Q_u	Energía útil captada cada mes (kJ/mes)
f	Fracción solar
D_1	Energía absorbida por cada captador por carga calorífica temporal
D_2	Energía perdida por el captador por carga calorífica mensual
E_a	Energía absorbida por el captador (kJ)
S_c	Superficie del captador (m ²)
$F'_t(\tau\alpha)$	Factor adimensional método f-chart
$F_t(\tau\alpha)_n$	Factor de eficiencia óptica del captador
$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$	Modificador del ángulo de incidencia
F'_T/F_T	Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador
E_p	Energía perdida por el captador (kJ)
F_tUL	Pendiente de la curva característica del captador
T_{amb}	Temperatura ambiente (°C, K)
Δt	Periodo de tiempo considerado(s)
J1	Factor de corrección por almacenamiento
J2	Factor de corrección para agua caliente sanitaria
V	Volumen (m ³ , L)
H_u	Humedad
P_t	Potencia térmica (kW)
m	Masa (Kg)

t	Tiempo (s)
L_p	Longitud panel (m)
K_c	Coefficiente de corrección de sombras
α_i	Angulo de inclinación

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Introducción

Este estudio técnico consistirá en la mejora de la eficiencia energética, social y económica de la sociedad anónima *Refinación Industrial Oleícola S.A.*, (RIOSA) situada en la pedanía Estación Linares-Baeza del municipio de Linares. La empresa principalmente se dedica al tratamiento de grasas vegetales para la producción de oleínas y su posterior venta en el sector ganadero, también es un gestor de residuos orgánicos además de muchas otras actividades.

El principal problema al que se enfrenta la planta es el rendimiento térmico de su principal fuente de energía, la caldera. El aumento de la actividad y productividad en la empresa ha favorecido el decaimiento del rendimiento de la caldera. El aumento de la producción se produce durante las temporadas de sequía debido a la baja producción de cereales que obliga a los ganaderos a alimentar con piensos compuestos con oleínas a sus animales. Además, durante los meses de invierno en los que hay pérdidas térmicas importantes, la caldera actual no satisface la demanda térmica sin verse afectado su rendimiento.

Referente a este aspecto, se hace previsión de gastos para lograr que los ingresos puedan llegar a cubrir el mayor número de necesidades posibles y, dentro de estos, las más perentorias. Una vez, determinadas la irregularidades e ineficiencias, se identificarán las mejoras que las cubran con vistas a una optimización energética y por tanto económica.

El actual estudio técnico se ha llevado a cabo mediante obtención de datos proporcionados por la empresa mencionada anteriormente, fuentes bibliográficas y de las mediciones. Obtenidas con los procedimientos adecuados y la parte experimental que se ha desarrollado tras los datos medidos. Tras la obtención de datos y las visitas pertinentes a la fábrica, se ha discutido con el personal de la empresa para conocer el estado actual de los sistemas de almacenamiento, mantenimiento, producción y sistema de alimentación de agua.

Valorando desde el punto de vista energético, social y económico se han propuesto tres alternativas, que se analizarán y compararán, mediante un estudio de la situación y los cálculos correspondientes aplicando los conocimientos adquiridos.

1.2 Alcance y objetivos

El objetivo fundamental de este proyecto consiste en la mejora de la eficiencia energética de la planta, para ello, se pretende sustituir el sistema de calentamiento de los depósitos de la zona número dos de almacenamiento de producto terminado, los cuales suponen una carga térmica importante para la caldera.

La zona número dos de almacenamiento de producto terminado, consta de seis depósitos de gran capacidad de almacenamiento. La peculiaridad de los productos almacenados son sus propiedades. El producto en cuestión son pastas vegetales que requieren una temperatura por encima de los 35-40 °C, para evitar su solidificación.

Actualmente estos depósitos son calentados con vapor procedente de la caldera, la cual tiene un rendimiento ineficiente conforme a la demanda térmica que tiene la empresa. El tiempo estimado para calentar los depósitos, según datos proporcionados por el técnico de la planta, es de unas 8 horas aproximadamente, hasta conseguir una temperatura en los depósitos de 80 °C. La transferencia de calor a las pastas se consigue mediante el uso de vapor saturado, se pretende reducir el uso. Para reducir el uso de vapor saturado, los depósitos en cuestión, se mantendrán a 40 °C utilizando una vía de intercambio cómo será el agua líquida, aprovechando su calor específico y reduciendo el tiempo en alcanzar los 80 °C necesarios para bombear las pastas.

Se analizarán dos vías como apoyo a la caldera, una instalación termosolar o una caldera auxiliar de biomasa de baja potencia térmica que satisfagan las demandas térmicas de la zona número dos de almacenamiento de producto terminado, operando simultáneamente con la caldera actual.

A parte de las dos alternativas mencionadas anteriormente, también existe la propuesta de sustituir la caldera actual por otra más eficaz, manteniéndose el combustible de biomasa con las ventajas económicas y medioambientales que esta conlleva.

Por último, se hará una comparativa de los combustibles de mercado, con el objeto de escoger el mejor combustible en relación calidad/precio en el panorama actual.

1.3 Antecedentes

1.3.1 Actividad de la empresa

La empresa colaboradora en el Trabajo Fin de Grado denominada *Refinación Industrial Oleícola S.A.*, (RIOSA) es una compañía fundada en 1965 que principalmente produce y comercializa oleínas, grasas y aceites vegetales, con destino la industria de la alimentación animal y el sector ganadero principalmente, promoviendo una economía circular y apostando por una alimentación saludable. Las oleínas producidas son empleadas también para la fabricación de jabón de tocador y otros productos en la industria química. Estas oleínas son almacenadas en depósitos de almacenamiento según la composición de las mismas y del aceite vegetal del que provengan. Como vemos en el plano general de RIOSA, hay dos zonas de almacenamiento de producto terminado.

En la zona número 1 se almacenan productos con previsión de venta en temporadas que la demanda crece, generalmente en temporadas de sequía, las cuales la producción escasea. Estos depósitos de grandes dimensiones se calientan mediante el uso de vapor para mover estas pastas a las zonas de descarga.



Figura 1.1 Depósitos de almacenamiento de la empresa RIOSA, zona 1.

En la zona número 2 se almacenan las grasas vegetales de diferente composición y propiedades, en seis depósitos aislados térmicamente de 60 m³ de capacidad. Estas pastas se sirven en los camiones cisterna a 80 °C. Las grasas se mueven en estado líquido con bombas hacia las zonas de descarga. La demanda según datos de productividad es de dos descargas por semana.



Figura 1.2 Depósitos aislados térmicamente, zona 2.

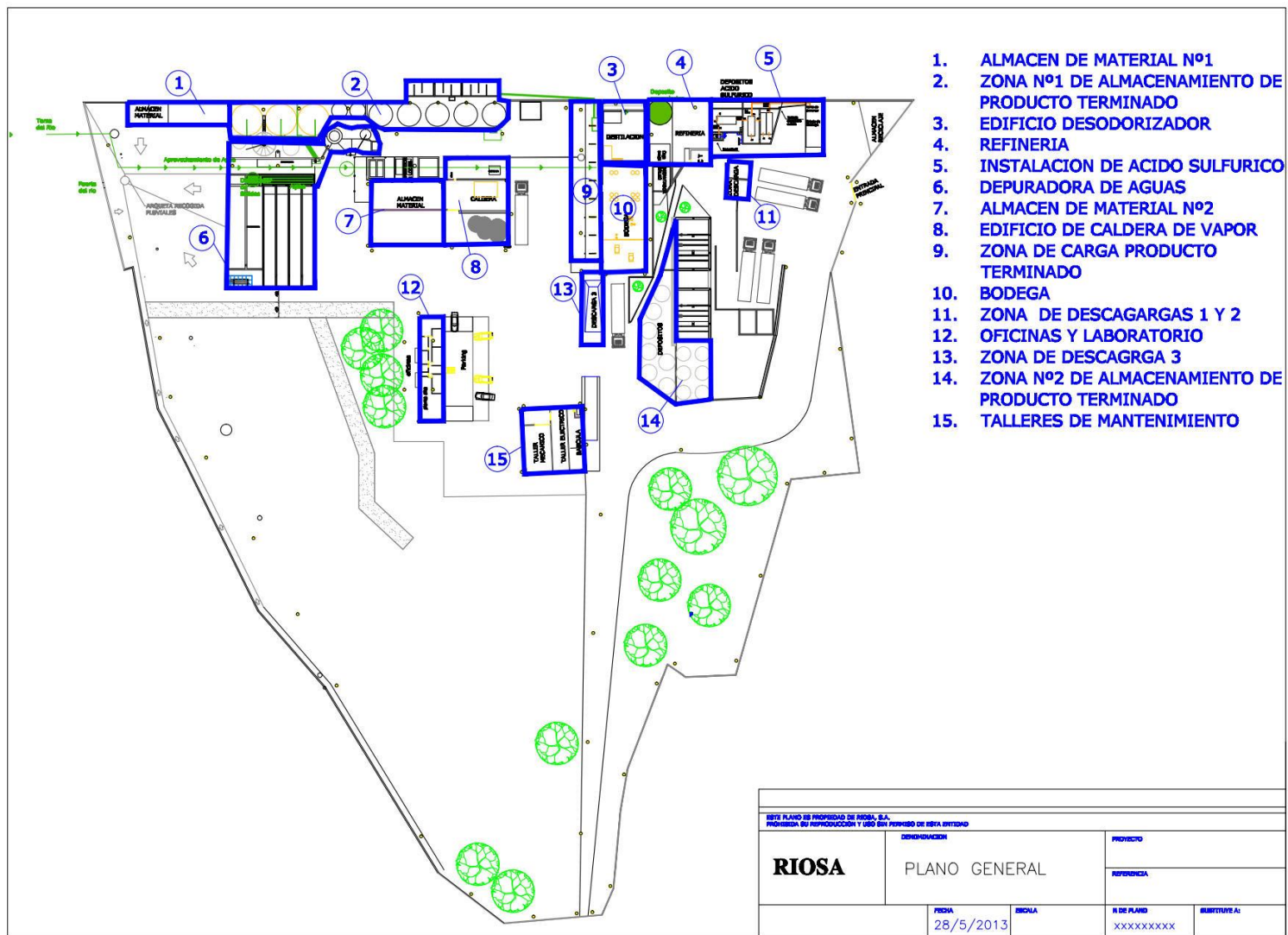


Figura 1.3 Plano general de RIOSA (Plano propiedad de RIOSA)

Los principales procesos que abarcan su actividad se podrían desglosar en los siguientes apartados:

- Los camiones descargan las pastas que se utilizan como materia prima procedentes de extractoras de aceites vegetales tales como: Aceite de oliva, girasol, palma, aguacate, cacao, cacahuete, etc. En las zonas habilitadas de descargas (zonas: 1,2 y 3) de ahí mediante la utilización de bombas eléctricas se elevan hasta la refinería. Donde se tratan en unos depósitos adecuados con vapor, con la utilización de ácido favoreciendo las roturas moleculares de las mismas en las distintas fases de la mezcla (por diferencia de densidades).
- Las fases son aguas y oleínas, abajo y arriba respectivamente. (destilación por decantación).
- El agua se manda a la depuradora para tratarla (mediante gravedad), el resto de la mezcla (agua y oleínas) se mandan a los decantadores. Donde con vapor caliente se favorece la separación física en un proceso que puede durar días.
- Mediante bombas se envían las oleínas a destilación donde se van calentando con vapor y se le extrae toda la humedad utilizando bombas de vacío, quedando una humedad del 2-3% aproximadamente.
- Una vez tratado en el destilador, en función del producto obtenido, se envían a depósitos de almacenaje o a los trujales (depósitos subterráneos donde se preparan la mezcla antes de servirla, calentándola para poder moverla debido a la viscosidad que la mezcla presenta) mediante bombas eléctricas se envían a estos depósitos de almacenamiento o por gravedad si fuera posible.

Las fuentes de energía provienen de la red eléctrica, y la generación de vapor de la caldera que utiliza biocombustible, más concretamente cascara de almendra mezclada con orujillo, por su precio económico y el buen funcionamiento con la caldera.

Todos estos procesos requieren de la utilización de agua de alimentación proveniente del río, por lo que, el desagüe general de fabricación debe ser tratado convenientemente mediante una instalación de depuración adecuada antes de ser devuelta al río. La fábrica coge el agua del río que se trata en una depuradora para su utilización y por motivos medioambientales se trata de nuevo en la depuradora antes de devolverla al río más limpia que cuando se cogió.

1.3.2 Ubicación

La empresa RIOSA, se encuentra en la pedanía Estación Linares-Baeza del municipio de Linares a unos 6 kilómetros. Situada a orillas del río Guadalimar y pertenece al territorio del municipio de Ibros. La parcela tiene una superficie de 27100 m².



Figura 1.4 Ubicación geográfica de la fábrica RIOSA. En Sede electrónica catastro (2019)

1.3.3 Clima

El clima de la zona es mediterráneo continentalizado con una elevada amplitud térmica, superior a los 20 °C. Los inviernos son fríos con algunas heladas y sus veranos muy calurosos y secos. Las temperaturas medias oscilan entre los 7.8 °C del mes de enero y los más de 28 °C de temperatura media del mes de Julio. Su régimen de lluvias presenta dos estaciones pluviométricas bien diferenciadas, siendo la húmeda de octubre a mayo y la seca de junio a septiembre (Aemet, 2019).

Tabla 1. Valores climatológicos de Jaén. En Aemet, (2019).

Mes	Temperatura media mensual/anual (°C)	Temperatura media mensual/anual Máximas diarias (°C)	Temperatura media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)	Irradiación inclinación óptima (Wh/m2/día)
Enero	10,6	12,1	5,1	3870
Febrero	11,2	14	6,6	4970
Marzo	15	17,4	8,9	5890
Abril	18,8	19	10	5990
Mayo	23,2	23,2	13,3	6490
Junio	27,5	29,4	18,1	7160
Julio	31,7	33,7	21,4	7530
Agosto	31,6	32,9	21	7320
Septiembre	26,6	27,7	17,8	6420
Octubre	21,8	21,9	13,8	5590
Noviembre	15,3	15,7	8,9	4310
Diciembre	11,8	12,8	6,3	3820

2. ANÁLISIS TÉRMICO DE LA PLANTA

2.1 Circuito térmico de la planta

La planta dispone de un circuito térmico para cubrir las necesidades caloríficas, tanto en su sistema de fabricación, como de limpieza y calefacción de los productos terminados.

Para ello, se dispone de una caldera de vapor de 1500 kW de potencia térmica que produce 660 kg de vapor a la hora, la cual se alimenta de agua del río próxima a la fábrica debidamente tratada, tanto para eliminar sólidos como para adecuar la dureza y electrolitos disueltos en la misma.

El agua se toma del río mediante una bomba sumergida y se eleva a un depósito de alimentación general de toda la fábrica. Desde ese punto el agua necesaria para el circuito térmico es tratada previamente en un descalcificador antes de utilizarla para la producción de vapor. Planos 2 y 3 de los anexos.

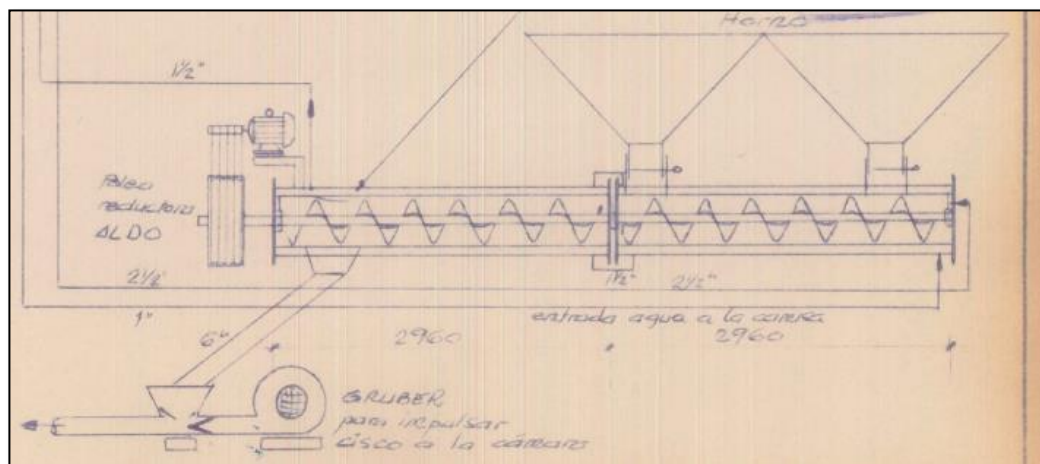


Figura 2.1 Plano Sinfín de alimentación de biomasa para la caldera actual

Una vez generado el vapor y utilizado en la fábrica, retornan los condensados al depósito de alimentación de la caldera para ser utilizados nuevamente. La caldera es alimentada en un sinfín con biomasa.

El vapor generado por la caldera sale por el conducto denominado vapor de baja, a una presión de 10 bares, dividiéndose este en dos ramificaciones:

- La primera ramificación se dirige hacia los depósitos de gran capacidad denominada “zona número 1 de almacenamiento de producto terminado”, los cuales se calentarán en temporadas de alta demanda para su servicio.
- La segunda ramificación se divide a su vez en siete conducciones de vapor desarrollado a continuación:

Desde la caldera, a través de la válvula principal, existe una línea de tubería de 4 pulgadas hasta el edificio principal de refinería donde un colector (4 o 5 tuberías) redistribuye a la sala de destilación, bodega (Zona de trabajo de producto terminado), zonas de caldera de escisión, decantación y servicios generales. Todos utilizan intercambiadores multitubular y tubulares en forma de serpentín.

- A. Edificio desodorizador (Zona 3 del plano 1), de gran carga térmica, compuesto por un destilador al vacío, al que se le inyecta vapor directo e indirecto. En este mismo edificio, el vapor se utiliza también, para las mezcladoras y decoloradoras.
- B. En la bodega (Zona 10 del plano 1) están contenidos los trujales, que se utilizan para almacenar ingredientes para los compuestos principales de las pastas, que son calentados con vapor a través de un serpentín.
- C. En la refinería (Zona 4 del plano 1) se cuenta con calderas de escisión para separar compuestos de las grasas vegetales mediante vapor directo.
- D. En los decantadores se produce la separación física de componentes mediante el uso de vapor introducido en un serpentín.
- E. Calentamiento de los depósitos de la “zona número 2 de almacenamiento y producto terminado”.
- F. Tubería de limpieza con vapor y retorno.

La instalación de la red de vapor y condensados está realizada según la normativa UNE-EN 12952-7:2014, con tubería de acero inoxidable sin soldadura.

2.2 Caldera actual

La caldera de la que dispone RIOSA es una caldera de vapor saturado, multitubular del tipo acuotubulares. Se alimenta automáticamente de biomasa, concretamente de cascavas de almendras mezcladas con orujillo. Produce vapor saturado, tanto para dar energía a las instalaciones de la planta como para limpieza de conductos. El agua que proviene de la descalcificadora se bombea al depósito de alimentación de la caldera, que se precalienta por un economizador aprovechando la energía de los humos de combustión que a su vez los enfría para no sobrecalentar los filtros de mangas. Planos 2 y 3 de los anexos.

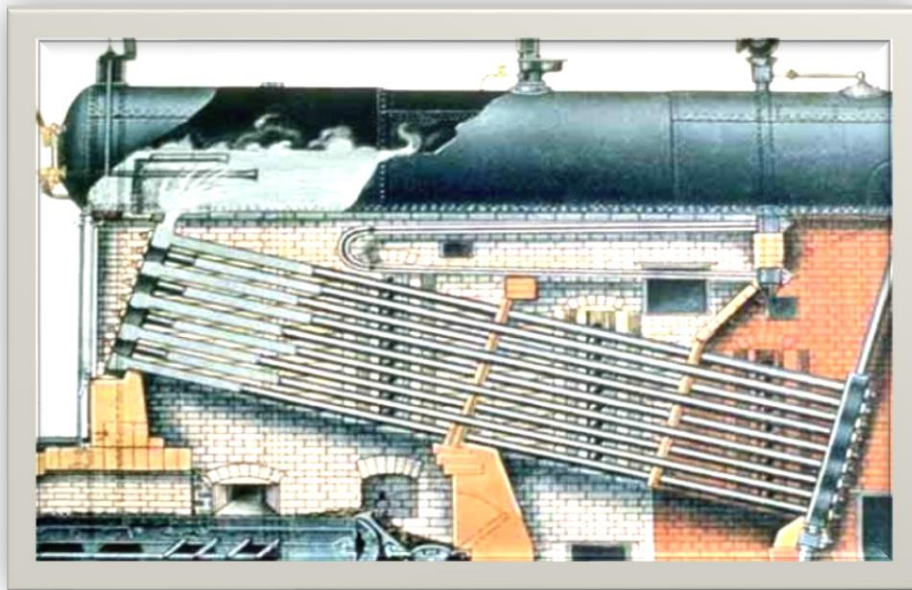


Figura 2.2 Caldera Acuotubular Babcock Wilcox

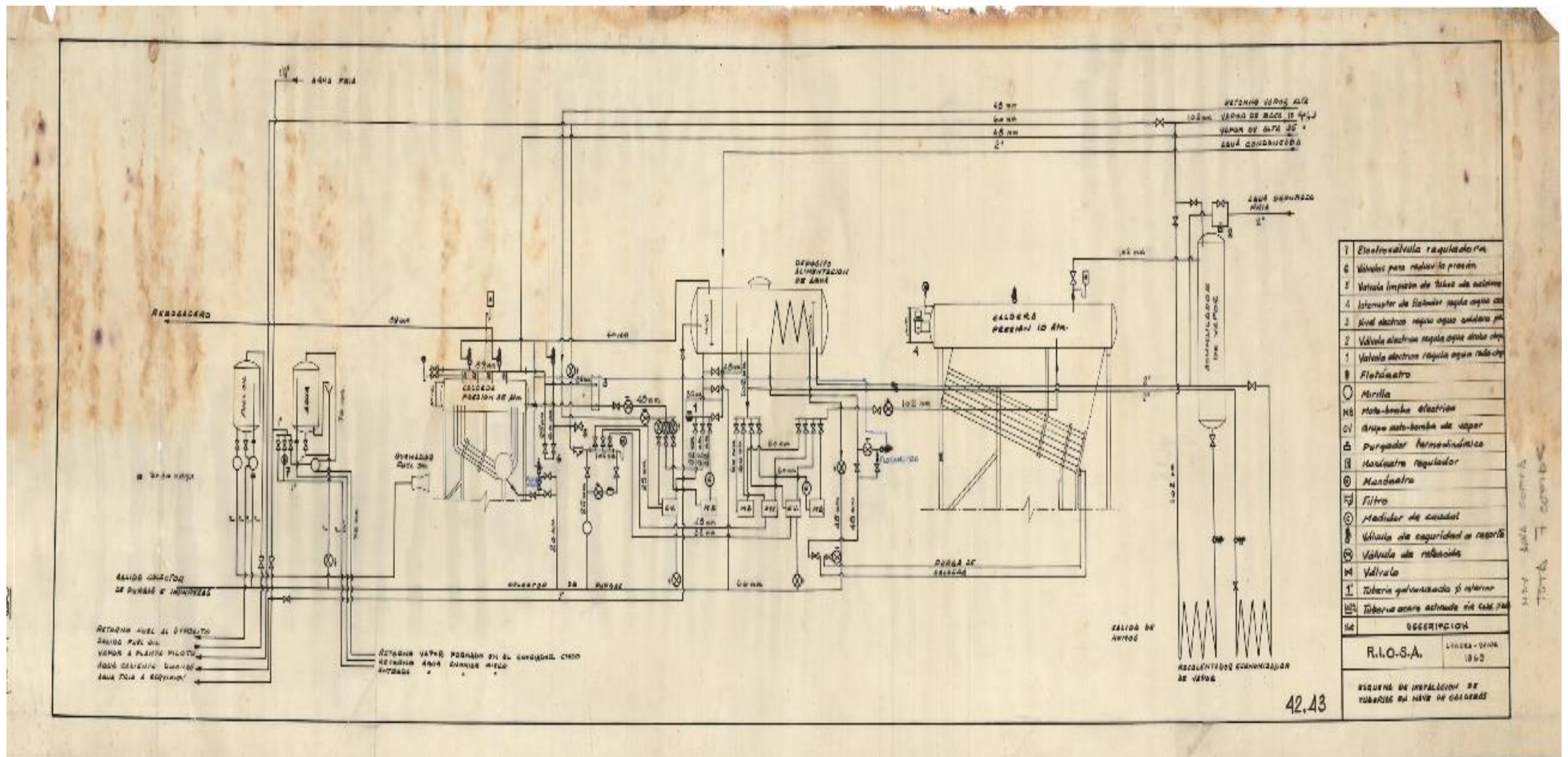


Figura 2.3 Plano general de la instalación de tuberías en nave de calderas RIOSA (1969)

Los datos del equipo son los siguientes:

Tabla 2. Características de la caldera actual.

Fabricante	Babcock-Wilcox
Tipo	Quemador acuotubular
Potencia térmica (kW)	1500
Presión de trabajo (Máxima admisible) (bar)	10
Fluido contenido	Agua y vapor
Temperatura Máxima/Mínima (Admisibles) (°C)	176/110
Temperatura Máxima/Mínima de servicio (°C)	150/110
Volumen (l)	5540
Tipo de accesorios de seguridad	Válvula de seguridad
Precisión de precinto de accesorios de seguridad (bar)	10

Tabla 3. Valores medios de la caldera actual.

Producción de vapor (kg/h)	660
Presión (kg/cm²)	10
Calor útil (kW)	507,07
Rendimiento energético (%)	44,4

2.2.1 Elementos que incorpora la caldera

Los elementos principales de los que consta la caldera, para dar una visión general y facilitar su comprensión son los siguientes:

- Hogar, haz vaporizador y calderines
- Economizadores
- Calentadores de agua y de aire
- Recalentadores de vapor
- Accesorios adicionales: Quemadores, ventiladores, bombas de agua de alimentación, caballetes y turbinas de agua de alimentación, válvulas de paso, válvulas de retención, válvulas de purga, indicadores de nivel, manómetros, termómetros, presostatos, termostatos, etc.

2.2.2 Tipos y partes principales de la caldera

El tipo de la caldera en cuestión es una caldera de vapor saturado del tipo acuotubular cuya instalación cumple los requisitos y especificaciones expuestas en la norma UNE-EN 12952-7:2014.

Como cualquier caldera, se dispone de una superficie total de absorción de calor apta de transmitir la máxima cantidad de calor obtenida del combustible al fluido portador de calor con el menor costo y el rendimiento límite. Por tanto, cada uno de los elementos involucrados en la transferencia térmica deben ser proporcionados a los restantes, haciendo que la caldera sea un conjunto equilibrado.

Las partes de la caldera que están presentes en el proceso son:

- Envoltentes y superficie de calefacción.
- Hogar (cámara donde tiene lugar la combustión)
- Quemador (equipo para quemar el combustible)
- Ventiladores (Equipo que proporciona el aire para la combustión al quemador).
- Equipos para la eliminación de los residuos de combustión.
- Elementos de recogida y transporte de cenizas.
- Separadores de vapor (domos), en calderas acuotubulares.
- Sistema de suministro de agua de alimentación.
- Sistemas de purga.
- Cimentaciones y soportes.
- Refractarios.
- Precalentamiento del agua de alimentación y del aire de combustión, para ahorro de energía.
- Accesorios (Válvulas, niveles, etc.).

2.2.3 Transmisión de calor en caldera. Superficie de calefacción. Superficie de radiación y de convección

En las calderas, el calor que se cede al fluido calor portante se obtiene por combustión de combustibles sólidos, en nuestro caso biomasa compuesta con cascara de almendra y orujillo mezclados.

Se denomina superficie de calefacción de una caldera a la superficie de intercambio de calor que está en contacto con la fuente de calor y con el fluido calor portador. La transmisión de calor en la caldera, desde la fuente de calor al fluido calor portante se realiza por radiación, convección, conducción o por los tres sistemas simultáneamente. En toda caldera hay que distinguir la superficie de calefacción directa y la indirecta.

2.2.4 Superficie de calefacción directa

La superficie de calefacción directa está formada por todas aquellas superficies que por un lado están en contacto con la llama, con los productos de la combustión o de los fluidos calientes portadores de calor, y por otro, con el fluido calor portante contenido en la caldera.



Figura 2.4 Sala de caldera

2.2.5 Superficie de calefacción indirecta

La superficie de calefacción indirecta está formada por las superficies de la caldera que estando en contacto, por una cara, con el fluido calor portante de la caldera, por la otra cara no están en contacto con los fluidos calientes del sistema de aporte de calor.

Como la transmisión se produce principalmente por convección, esta superficie se denomina convección y normalmente suele estar fuera del hogar.

El calor transmitido por convección viene dado por:

$$Q = h \times S \times \Delta T_m \quad (1)$$

Q: Cantidad de calor transmitido

h: Coeficiente de transmisión de calor por convección

S: Superficie de calefacción

ΔT_m : Temperatura media de la diferencia de temperatura entre la zona de aporte de calor y la zona del fluido calor portante de la caldera.

De esta ecuación se deduce que la cantidad de calor cedido se puede aumentar por:

- a) **Aumento de la superficie de calefacción.**
- b) **Aumento de la diferencia media de temperaturas.**
- c) **Aumento del coeficiente h.** Este coeficiente depende de varios factores, aunque el más importante es el de la velocidad del fluido caliente, de forma que, al aumentar esta velocidad, aumenta la cantidad de calor transmitido. Este coeficiente h baja si hay depósitos o incrustaciones de hollín en alguna de las dos caras de la superficie de calefacción.

2.2.6 Disposiciones generales constructivas en calderas acuatubulares

Las calderas acuatubulares son las que están formadas por una red de tubos, por cuyo interior circula el agua que se pretende calentar.

Su principio de funcionamiento se muestra con el siguiente esquema:

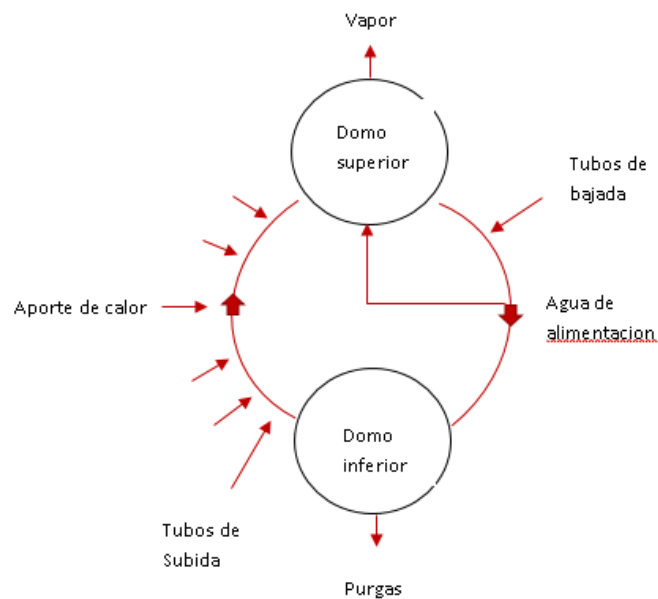


Figura 2.5 Principio de funcionamiento de una caldera Acquatubular

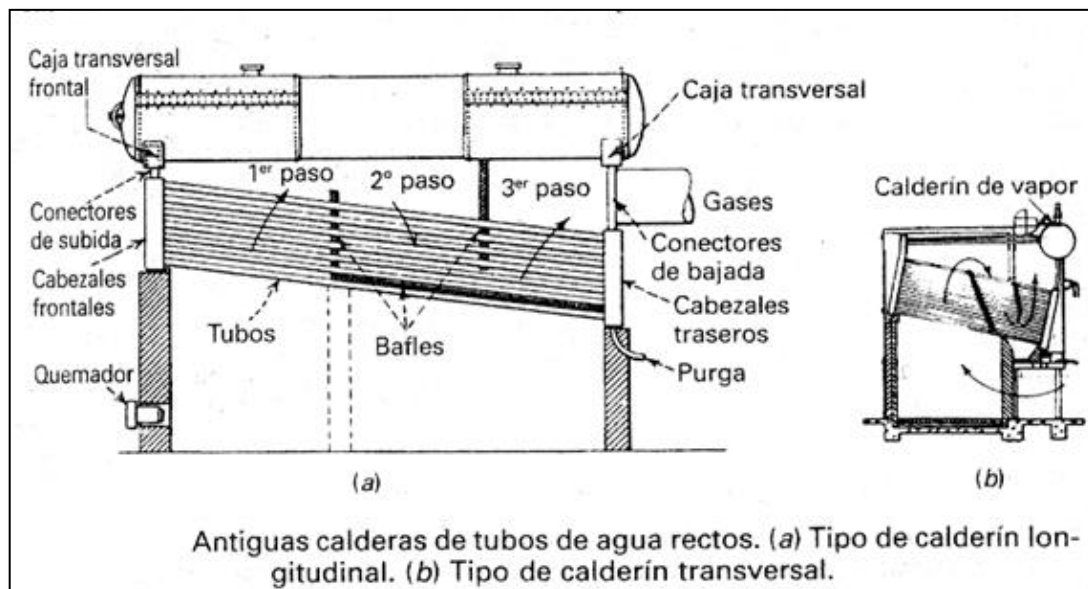
Al tener el agua caliente menos densidad que el agua fría, se produce una circulación desde el domo inferior al domo superior. En esta circulación, el agua absorbe el calor generado por combustión en el hogar, calentándose e incluso vaporizándose, ascendiendo al domo superior, donde se separa en dos fases, la **fase vapor** sale al exterior del domo y la **fase líquida** desciende al domo inferior, donde se une el agua de alimentación, volviendo a repetirse el ciclo. (Manual de calderas, 2000)

2.2.7 Partes de una caldera acuotubular

Planos numero 2 y 3 de los anexos:



Figura 2.6 Imagen frontal de la caldera actual



Antiguas calderas de tubos de agua rectos. (a) Tipo de calderin longitudinal. (b) Tipo de calderin transversal.

Figura 2.7 Ilustración de una caldera acuotubular

- **Domos o calderines:** Son depósitos donde se acumula agua y/o vapor. Pueden soportar presiones altas al poder fabricarse con diámetros más pequeños con respecto a otro tipo de calderas como las pirotubulares, porque en el caso de este tipo de calderas la superficie de calefacción está en los haces tubulares.

En nuestro caso la caldera dispone de dos domos superiores conectados a 84 tubos, que conforman el haz multitubular, conectados entre sí mediante colector frontal y trasero.

El domo o domos superior dispone en su interior de elementos que permiten eliminar las gotas de agua y sedimentos (purgas), purificando el vapor que va al proceso.

El colector trasero está dotado de una válvula de purga para controlar el contenido en sales del agua de caldera y para eliminar los sedimentos que puedan producirse.

El domo superior almacena el agua y vapor existiendo entre ambas fases un separador, que solo deja pasar el vapor. Desde este domo superior, el vapor va al proceso como vapor saturado o como vapor sobrecalentado, (en este caso, el vapor pasa antes por un sobrecalentador).

- **Haz vaporizador:** Está constituido por los tubos de salida y de bajada en la zona de convección de la caldera (por eso también se llama haz de convección). Su misión es permitir la circulación del agua de la caldera desde el domo.

En nuestro caso dispone de dos domos superiores conectados a 84 tubos, que conforman el haz multitubular, mediante colector frontal y trasero.

Los tubos de subida llevan una mezcla de agua-vapor hacia el domo superior y los de bajada solo llevan agua a los tubos. Dispone de diez tubos de subida y bajada que conectan el haz multitubular con el domo superior.

Por los tubos de subida el agua recibe el calor de los humos, alcanzando la temperatura de saturación, por lo que se forma una mezcla de agua y de vapor que asciende hasta el domo superior de la caldera. La menor densidad del agua a la temperatura de saturación en los tubos establece la fuerza de circulación por convección (convección natural). Los tubos del haz vaporizador se fijan a los domos o a los colectores mediante mandrilados, soldadura o combinación de ambas.

- **Colectores:** Son elementos que por necesidades constructivas o de diseño reciben agua de varios tubos y salen con un único tubo de salida hacia el domo. Según el diseño de la caldera, no todos los tubos del haz vaporizador pueden conectarse a veces a los domos. En estos casos los tubos se conectan a los colectores que hacen de conexión intermedia.
- **Hogar:** Es la zona donde tiene lugar la combustión. Las paredes del hogar pueden ser de material refractario (paredes calientes), o de una parte de los tubos del haz de tubos (paredes frías). Los hogares con paredes mixtas combinan ambos tipos.

El hogar se ubica en el interior de la caldera, formando una unidad con esta, con la correspondiente comunicación con la caldera.

- **Pantallas:** Son elementos colocados en el circuito de humos para guiar su recorrido.
- **Sobrecalentador:** Es el elemento encargado de elevar la temperatura del vapor por encima de la saturación y está formado por un sistema de tubos sobre el que inciden los humos más calientes. En nuestro caso se eliminó de la instalación inicial de los años 70.
- **Economizador:** El economizador es un elemento opcional de la caldera que recupera calor sensible de los gases de salida de una caldera para aumentar la temperatura del agua de alimentación. El economizador está formado por una sección de tubos, a través de los cuales pasa el agua de alimentación, que se calienta con los gases de combustión que pasan a través del haz de convección de la caldera. En nuestro caso recientemente se ha instalado una caldera pirotubular en la salida de gases antes del filtro de partículas (Filtro de mangas) que hace las veces de economizador y sirve para refrigerar los gases de salida antes de llegar al filtro de mangas.
- **Calentador de aire:** El calentador de aire es un intercambiador de calor, que sirve para precalentar el aire antes de entrar al quemador, aprovechando el calor residual de los humos antes de salir por la chimenea. (en nuestro caso no dispone)
- **Recalentador:** Es el elemento encargado de elevar la temperatura de un vapor procedente del proceso sin entrar en la caldera.

2.2.8 Accesorios y elementos adicionales para calderas

Los accesorios son todos aquellos elementos que sin formar parte de la caldera propiamente dicha están relacionados con la misma, ya que, están relacionados con su operación, control, mantenimiento, seguridad y eficiencia de operación.

1) Válvulas de paso o interrupción: Asiento y compuerta.



Figura 2.8 Válvulas reguladoras de la caldera actual.

- a) Válvulas de asiento: Aquellas en las que el cierre se consigue mediante un vástago que desciende hasta un asiento metálico cuando se gira el volante en el sentido horario.
- b) Válvula de compuerta: Disponen de una compuerta desplazable (mortaja) con relación a la trayectoria que sigue el fluido en la tubería donde se encuentra instalada la válvula. Pueden ser de tajadera y de bola o de sector de bola.

2) Válvulas de retención: de asiento, clapeta y de disco.

Las válvulas de retención (antirretorno) son las que permiten el paso del fluido en un sentido. El elemento incorporado para retener o impedir el retroceso del fluido es un vástago que apoya en su asiento, en una clapeta o en un disco.

3) Válvulas de seguridad.



Figura 2.9 Válvulas de seguridad de la caldera actual.

Las válvulas de seguridad son dispositivos destinados a la protección de los equipos a presión para evitar que se superen los límites admisibles. Son las encargadas de evacuar el caudal del fluido necesario de un equipo presurizado (caldera de vapor, economizador, sobrecalentador y recalentador) de tal forma que no se sobrepase la presión máxima admisible (antes de timbre) del equipo presurizado a proteger.

La presión máxima admisible en nuestro caso taradas a 11 bar, es la presión para que se ha proyectado el equipo presurizado y se llama así porque esta presión va timbrada en la envolvente del equipo.

La presión de precinto (antes de tarado) es la presión a la que esta tarada la válvula que protege a los equipos presurizados antes mencionados. Esta presión siempre debe ser menor a la máxima admisible.

4) Válvulas de descarga rápida:

Son válvulas de maniobra o de apertura rápida, empleadas principalmente para efectuar la purga de calderas de una forma completa. La purga en el fondo de la caldera sirve para reducir las concentraciones de sales y de sólidos no disueltos.

En nuestro caso la caldera dispone de dos válvulas de purga rápida, una manual y otra de accionamiento neumático controlada por un sistema automático, de manera que la caldera se purga automáticamente cada cierto tiempo.

5) Válvulas de purga continua

Cuando la purga de la caldera se hace de forma continua deben colocarse dos válvulas, la primera de cierre y la segunda con indicador de apertura o de otro tipo especial para su cometido.

También es preciso eliminar las espumas en la zona de evaporización mediante una purga de superficie, porque las burbujas ocluidas en el vapor dificultan la transmisión de calor y además porque aumentan la posibilidad de arrastre de agua y al vapor. La concentración salina máxima la marcan las normas UNE-EN 12953-10 y UNE-EN 12952-12 para este tipo de calderas.

6) Indicadores de nivel: Grifos y columna.

Los tubos y accesorios para la conexión del indicador de nivel con la caldera serán lo más cortos posibles y estarán dispuestos de tal forma que no quede entre la caldera y el indicador cavidad alguna sin drenaje de agua. Los indicadores de nivel llevarán tapones, a efectos de limpieza, y llaves o válvulas de purga.



Figura 2.10 Indicadores de nivel de la caldera actual.

El nivel mínimo de agua en el interior de una caldera debe mantenerse por lo menos 70 mm más alto que el punto más elevado de la superficie de calefacción. En las calderas acuotubulares, la distancia se tomará en relación al borde superior del tubo de bajada que es situado en la parte más alta del calderín.

El nivel medio del agua estará situado, como mínimo, a 50 mm por encima de nivel limite definido. Tanto el nivel mínimo como el nivel medio se marcarán de modo bien visible sobre el indicador de nivel.

7) Controles de nivel por flotador y por electrodos

Cuando en una caldera se está generando vapor, su nivel tendera a bajar y será necesario sustituir el agua que se ha convertido en vapor por agua nueva, para lo cual se precisa de una bomba.

La Caldera dispone de sondas de nivel por electrodos que actúan automáticamente sobre las bombas de alimentación para el aporte continuo de agua.

Además, se dispone de otras sondas de nivel mínimo para el paro de la caldera en caso de alcanzarse este nivel mínimo de funcionamiento.

8) Limitadores de nivel termostáticos

Estos elementos, llamados también nivostatos, se utilizan para parar la combustión como segundo limitador de nivel. (la caldera no dispone de este sistema)

Su funcionamiento se basa en el cambio de temperatura que sufre un elemento sumergido en el agua y calentado por una resistencia. Cuando desciende el nivel de agua, el limitador queda descubierto y deja de refrigerarse aumentando su temperatura, que es detectada por un termostato, que se encarga de abrir el circuito de mando del quemador.

9) Bombas de agua de alimentación

Las bombas son los elementos habituales de alimentación de agua a la caldera. El sistema de alimentación de agua a la caldera podrá ser por medio de moto-bomba centrífuga o rotativa, inyector de vapor, caballete de vapor o turbina de vapor.

En nuestro caso se disponen de 2 bombas centrífugas de alta presión (Sterlin-sihi) para el funcionamiento normal de la caldera y otra adicional con su calderín de alimentación independiente por seguridad.

10) Caballetes y turbinas para agua de alimentación (No dispone)

11) Manómetros y termómetros

Son los elementos encargados de medir la presión y temperatura, que son las dos variables más importantes en el proceso de generación de vapor o agua caliente en la caldera e instalaciones interconectadas en la misma. Los manómetros serán, como mínimo, de sensibilidad de clase 4.

En nuestro caso además de los manómetros y termómetros analógicos instalados se dispone de un sistema informático que monitoriza los principales parámetros de funcionamiento de la caldera para su análisis.

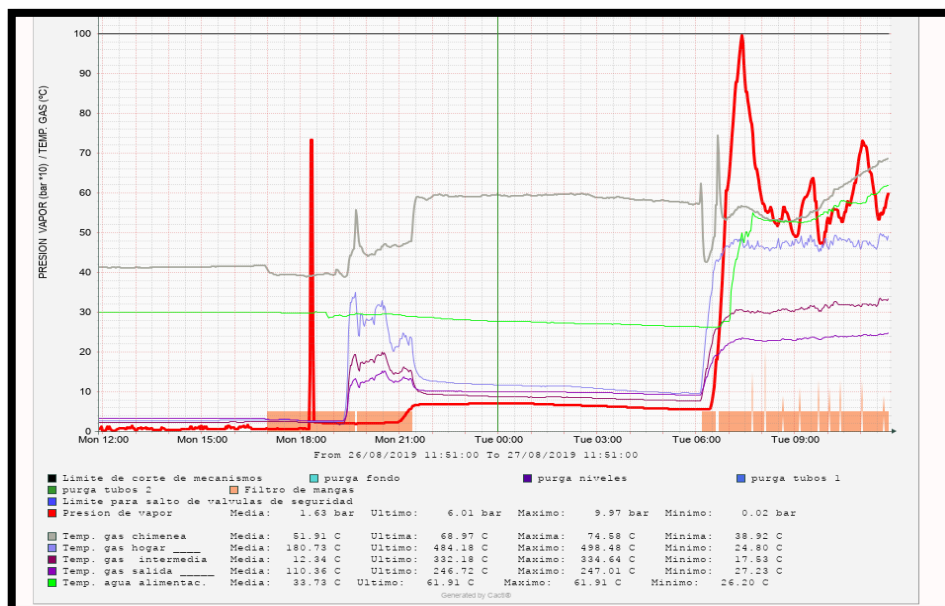


Figura 2.11 Cuadro de regulación

12) Presostatos y termostatos

Los presostatos son los encargados de limitar la presión (entregan una señal apagado/encendido únicamente)

Los termostatos se utilizan para, detectar falta de agua en calderas de vapor, detectar una alta temperatura del fluido calor portante y detectar bajas temperaturas del combustible.

13) Quemadores:

El quemador es el elemento donde tiene lugar el inicio de la combustión mediante la inflamación del combustible y el mantenimiento de su llama. Dicha combustión va muchas veces precedida de la preparación adecuada del combustible.

En nuestro caso se dispone de un quemador de biomasa compuesto por tolva, sinfín de alimentación y soplantes de tipo centrífugo de alta presión para el aporte de aire.



Figura 2.12 Tolva de recepción de combustible.

14) Elementos del equipo de combustión

El equipo de combustión está formado por el ventilador que suministra el aire de la combustión, el sistema de encendido, el programador, las válvulas magnéticas, neumáticas y electroneumáticas, y la sonda de control de llama.

2.3 Sistema de alimentación y descalcificador

El sistema de alimentación de agua actual en la caldera consta de un depósito previo donde se trata el agua con descalcificadores adecuados y un sistema de filtración, donde se trata el agua antes de depositarla en el depósito de alimentación previo a la caldera, junto a este, existe un depósito de recuperación de condensados en este caso separados debido a la posibilidad de contaminación por los intercambiadores utilizados para la transferencia de calor en caso de rotura conducir grasas hasta la caldera.

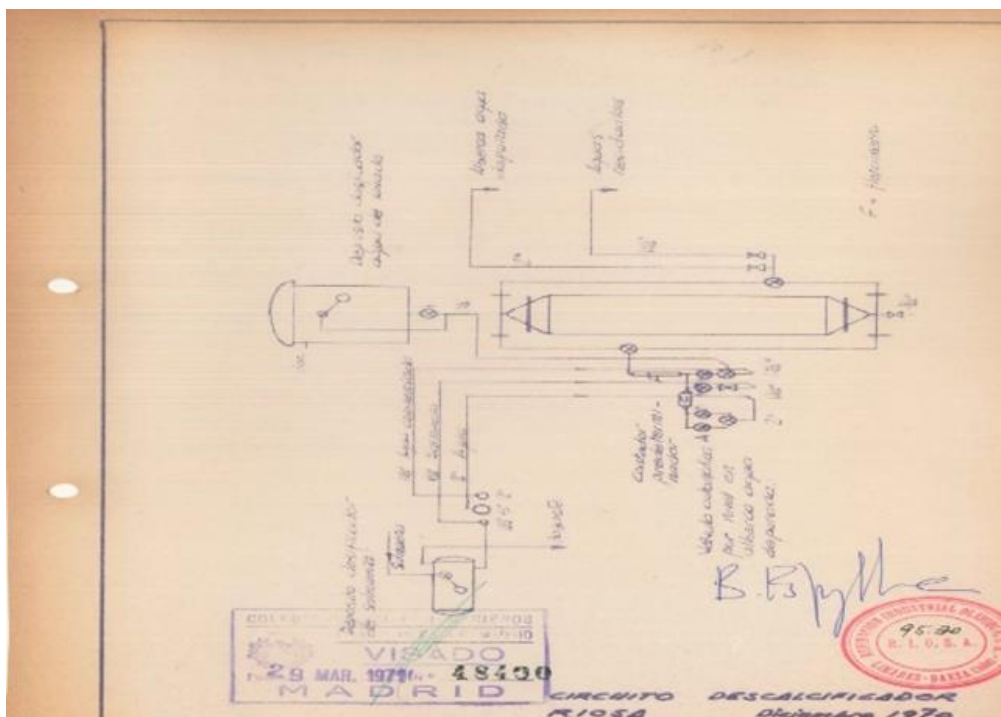


Figura 2.13 Croquis del descalcificador

Se debe seguir siempre las normas UNE-EN 12952-12 para calderas acuatubulares para conseguir las características del agua de alimentación a caldera que garantice una formación de incrustaciones y unas purgas mínimas.

2.3.1 Sistema de alimentación de los colectores

El sistema de alimentación de agua actual en la caldera consta de un depósito previo donde se trata el agua con descalcificadores adecuados y un sistema de filtración. Donde se trata el agua antes de depositarla en el depósito de alimentación previo a la caldera, junto a este, existe un depósito de recuperación de condensados en este caso separados debido a la posibilidad de contaminación por los intercambiadores utilizados para la transferencia de calor en caso de rotura conducir grasas hasta la caldera.

Se debe seguir siempre las normas UNE-EN 12952-12 para calderas acuatubulares para conseguir las características del agua de alimentación, a la caldera que garantice una formación de incrustaciones y unas purgas mínimas.

2.4 Estado actual de sistema de calefactado de los depósitos de producto primario

La empresa RIOSA cuenta con una infraestructura cuyo principal soporte energético es la caldera, la cual proporciona energía calorífica a diferentes elementos. El elemento de nuestro interés son los depósitos de producto primario terminado, las oleínas.

Estos tanques reciben la energía calorífica del vapor saturado producido por la caldera y es transportado en el circuito a través de las tuberías, en unas condiciones de 180 °C aproximadamente y 9 bares de presión. Las oleínas aumentan su temperatura con el intercambio de calor en una configuración de 10 serpentines en el interior de los depósitos, a razón de unos 10 °C hora, hasta conseguir la temperatura optima estableciendo un control y armonía con el tiempo para su servicio en los camiones cisterna.

Las oleínas son transportadas por la acción de bombas hidráulicas hasta su transporte hacia los clientes mediante camiones cisterna. Para evitar la solidificación y obtener una viscosidad optima, las oleínas deben de estar a una temperatura de unos 35-40 °C, lo cual prevería de encontrarnos problemas de incrustaciones y perdidas de carga además de un mal servicio.

2.4.1 Depósitos

Se trata de 6 depósitos de acero inoxidable norma AISI-316 de 60 m³ de capacidad, diámetro 3,5 m y una altura aproximadamente de 6,6 m. Forrados mediante tres capas; capa interior de acero inoxidable de la norma mencionada con anterioridad de 0,00325 m de espesor, *capa intermedia* de lana de roca de 0,1 m de espesor y por último una *capa exterior* de aluminio de 0,0008 m de espesor.

Interiormente dispone de un intercambiador tubular de un solo tubo dispuesto en espiral de diámetro 3 m y 10 espiras, están en contacto directo con el aceite. Los tubos son de acero inoxidable de la norma AISI-316 de ¾”.

Los depósitos disponen de boca de hombre para su limpieza, boca superior de entrada de producto de 4” y dos salidas de 4”, una en fondo y otra en el costado del depósito.



Figura 2.15 Zona 2 de almacenamiento de producto terminado

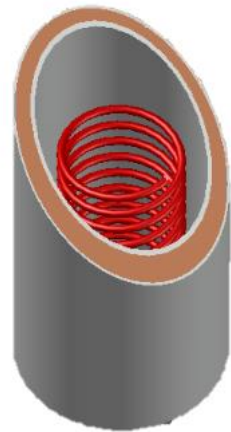
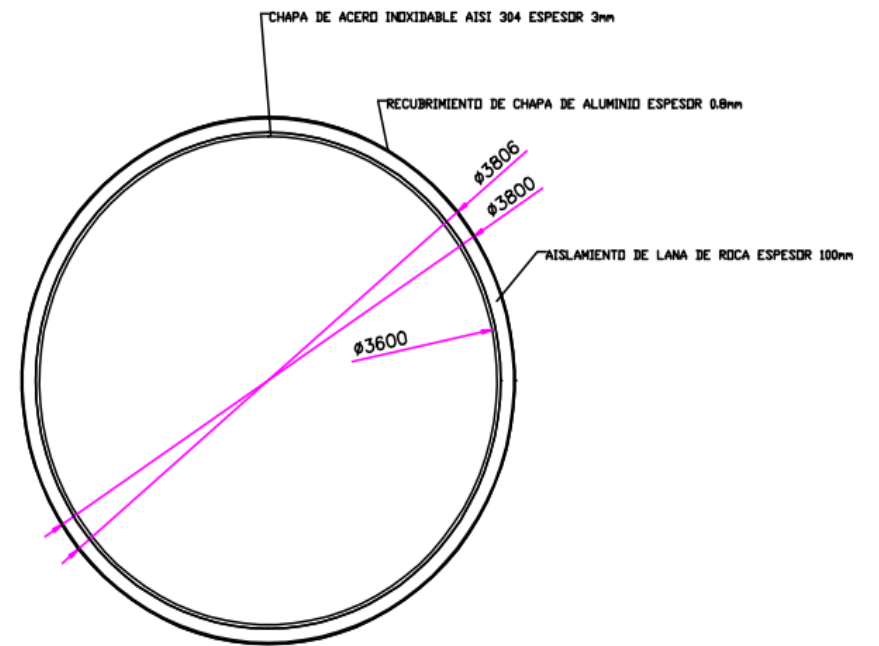
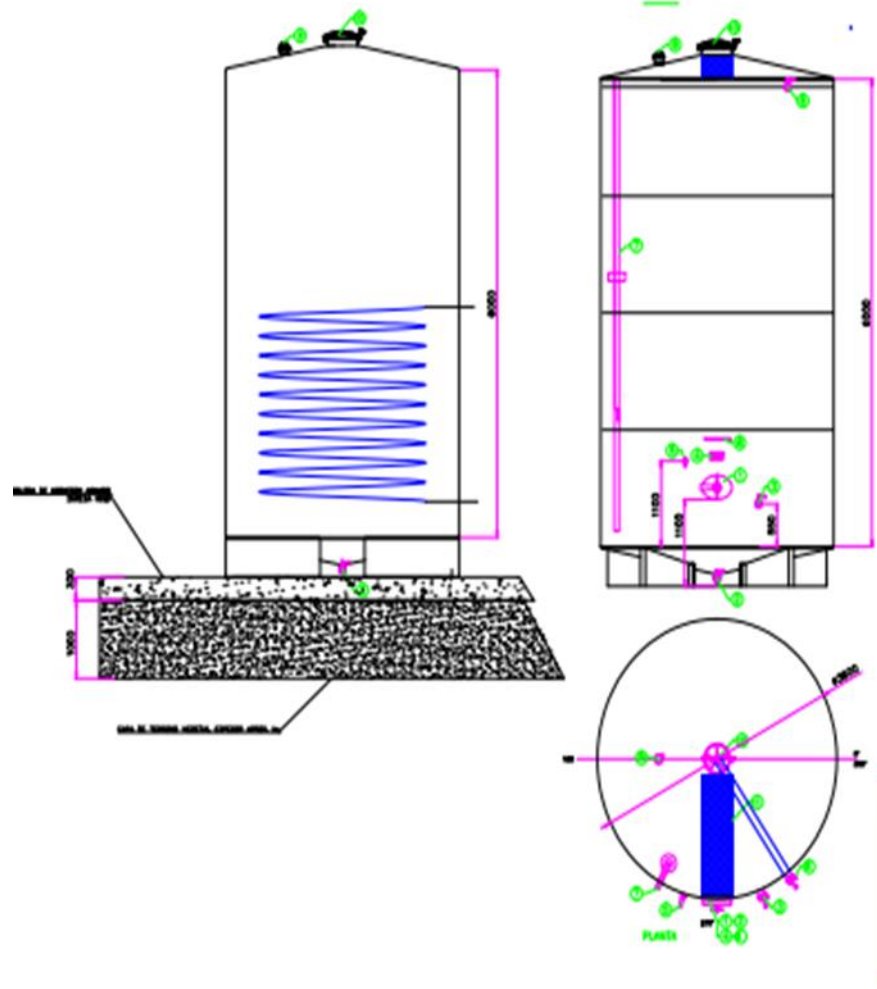


Figura 2.14 Serpentin en el interior de los depósitos.



2.4.2 Oleínas

Las oleínas contenidas en los depósitos de la zona 2 de almacenamiento provienen de un aceite de palma que son almacenadas en los depósitos descritos en el apartado 2.4.1. Las propiedades de estas pastas son similares a las del aceite crudo de palma, propiedades que se me facilitaron gracias al departamento de química de la empresa RIOSA. Estas propiedades están analizadas a 25 ° C y 1 atm de presión.

Tabla 4 Propiedades de las oleínas

Densidad a (g/cm ³)	0,925
Viscosidad cinemática (cSt)	62,92
Viscosidad dinámica (cP)	58,2
Calor específico (J/g °C)	1779
Difusividad térmica (m ² /s)	9,72·10 ⁻⁹
Conductividad térmica (W/m·°C)	0,01576

3. CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

En este apartado se abordará el problema de las pérdidas de calor que se producen entre los depósitos y el exterior. Tomando como una temperatura de diseño de 40 ° C, la energía térmica que se necesitará para apoyar a la caldera sin que su rendimiento se vea afectado en las temporadas de temperatura baja.

La temperatura ambiente será la situación más desfavorable, tomando como referencia los datos de la climatología en la parte alta de la depresión del río Guadalquivir, la temperatura se fijará en 5 ° C al ser la mínima absoluta registrada.

En primer lugar, se calcularán las pérdidas de calor que se producen en un depósito. La temperatura de las pastas se mantiene a 40 °C. Para conocer la tasa de calor se evaluarán las pérdidas laterales, superiores e inferiores en un proceso iterativo al desconocer las temperaturas de superficie interior y exterior.

Una vez se han obtenido las pérdidas, se determinará el aporte de calor necesario para que la temperatura se mantenga a 40 °C. Para ello, se utilizará esa tasa de calor para obtener un flujo másico de agua líquida a una temperatura determinada que satisfaga el intercambio térmico entre el agua líquida y las pastas venciendo a las pérdidas que se producen a tal temperatura.

3.1 Cálculo de las pérdidas de los depósitos de producto primario

Mediante un balance térmico, obtenemos los diferentes procesos de transferencia de calor que se producen en el sistema:

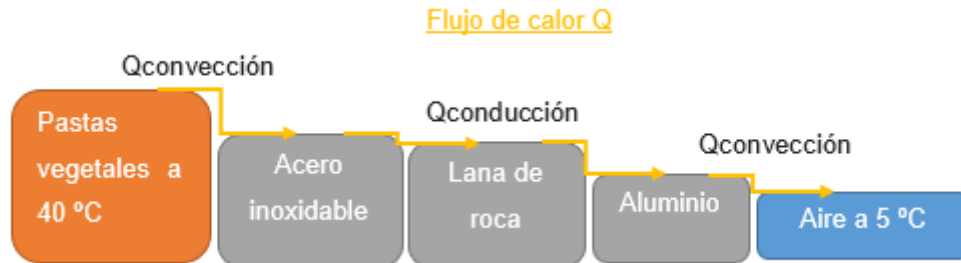


Figura 3.1 Balance térmico de las pérdidas de los depósitos.

De dentro hacia fuera, tenemos transferencia de calor por convección, de las pastas a la pared del depósito respectivamente. Desde este recinto pasando por una capa de lana de roca hasta una capa final de chapa de aluminio, la transferencia de calor se producirá por conducción, terminando en una transferencia de calor por convección desde la superficie exterior del depósito hasta el aire atmosférico. Despreciando las pérdidas por radiación por no ser significativas en este sistema. De la misma manera ocurriría por la parte superior del depósito.

De distinta forma, ocurre en la parte inferior, la cual se produce una transferencia de calor por convección desde las pastas a la base del depósito, y desde de la base, por transferencia de calor por conducción pasando por capas de acero inoxidable, hormigón y por último terreno vegetal.

3.1.1 Cálculo de las pérdidas laterales del depósito

Para el cálculo de las pérdidas laterales, se ha de identificar bien los parámetros conocidos. Es un proceso en régimen estacionario, en el cual las propiedades permanecerán constantes en un depósito cerrado.

Las pastas tienen una temperatura de 40 °C, el aire exterior está a 5 °C. El depósito está bien aislado térmicamente, por lo que se prevé que aun con un gran salto térmico, las pérdidas serán pequeñas. Obteniendo un coeficiente de película del aceite, suponiendo una temperatura de superficie interior, se sacarán los parámetros restantes.

Realizando un balance energético se sacarán las temperaturas de superficie interior y exterior. Utilizando las resistencias térmicas de los procesos de transferencia energética, mediante un proceso iterativo.

3.1.1.1 Coeficiente de película de las pastas en el interior del depósito

Para determinar el coeficiente de película del aceite en el interior del depósito, se utilizarán las correlaciones empíricas para flujos externos de convección libre, más en concreto para una placa vertical, dadas las dimensiones del depósito. Se tomará como referencia de temperatura de superficie interior 35 °C.

Tabla 5 Distribución de temperaturas inicial para la pared cilíndrica

Diámetro interior (m)	3,3
Altura (m)	6.6
Temperatura del aceite (K)	313
Temperatura superficie interior (K)	308
Temperatura promedio (K)	310,5

Tabla 6 Propiedades del aceite a la temperatura promedio

Densidad (kg/m ³)	898,79
Viscosidad (N·s/m ²)	0,042428
Viscosidad cinemática (m ² /s)	4,72 · 10 ⁻⁵
Conductividad térmica (W/m·K)	0,1715
Difusividad térmica (m ² /s)	1,0384·10 ⁻⁷
Coefficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	3,22·10 ⁻³
Calor específico a presión constante (J/g·K)	1,838

Según correlaciones, se necesita el número de Rayleigh:

$$\text{Número de Rayleigh} = Gr_L Pr = Ra_L = \frac{g\beta(T_h - T_c)L^3}{\nu\alpha} \quad (2)$$

Para despejarlo por consiguiente en la correlación propuesta por Churchill y Chu para obtener el número de Nusselt:

$$Nu_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (3)$$

$$Nu_L = 0.68 + \frac{0.67Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \text{ para } Ra_L \leq 10^9 \quad (4)$$

Una vez obtenido el número de Nusselt obtenemos el coeficiente de película:

$$h = \frac{Nu_L k}{L} \quad (5)$$

Tabla 7 Resultados del coeficiente de película del aceite

Número de Rayleigh	9,2657·10 ¹²
Número de Nusselt	3197,71
Coefficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	83,2

3.1.1.2 Coeficiente de película del aire exterior

Una vez obtenidos los resultados para la temperatura de superficie interior supuesta en el subapartado anterior se supondrá de nuevo una temperatura de superficie exterior, 12 °C, para seguir el mismo modelo de ejecución. Para la obtención del coeficiente de película del aire, se usarán las mismas correlaciones que el anterior subapartado:

Tabla 8 Datos iniciales para el coeficiente de película del aire

Diámetro (m)	3,3
Altura (m)	6.6
Volumen (m ³)	60
Temperatura ambiente (K)	278
Temperatura superficie exterior (K)	285
Temperatura media (K)	281,5

Propiedades del aire a la temperatura media:

Tabla 9 Datos del aire a la temperatura media

Viscosidad cinemática (m ² /s)	$1,424 \cdot 10^{-5}$
Conductividad térmica (W/m·K)	$24,82 \cdot 10^{-3}$
Difusividad térmica (m ² /s)	$2,01 \cdot 10^{-5}$
Coefficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	$3,55 \cdot 10^{-3}$

Utilizando las mismas ecuaciones del subapartado anterior; (2), (3), (4) y (5) se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 10 Valores para la convección del aire a la temperatura media

Número de Rayleigh	$2,4548 \cdot 10^{11}$
Número de Nusselt	702,27
Coefficiente de película del aire (W/m ² ·K)	2,641

3.1.1.3 Transferencia unidimensional de calor y coeficiente global de calor en pared lateral cilíndrica

Para la resolución de este problema, el cual tratará de hallarse la transferencia de calor q_r y el coeficiente global de calor. El depósito vertical con forma cilíndrica, contiene un líquido, aceites grasos, estanco a una temperatura de 40 °C. Las dimensiones del depósito son altura 6,6 m y diámetro 3,3 m. Aislado térmicamente por tres capas, la que está en contacto con el líquido es de acero inoxidable, la capa intermedia es de lana de roca, por último, la capa exterior es de aluminio. La temperatura ambiente es de 5 °C, por ser la situación más desfavorable.

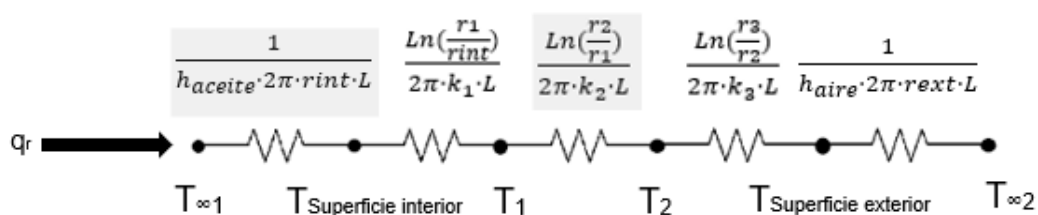


Figura 3.2 Distribución de temperaturas de la pared cilíndrica compuesta

Tabla 11 Datos para la transferencia unidimensional de calor

Temperatura del aceite (K)	313
Temperatura ambiente (K)	278
Coeficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	83,2
Coeficiente de película del aire (W/m ² ·K)	2,641
Diámetro interior (m)	3,3
Diámetro exterior (m)	3,40405
Volumen (m ³)	60
e ₁ (m)	0,00325
e ₂ (m)	0,1
e ₃ (m)	0,0008
K ₁ (W/m·K)	16,3
K ₂ (W/m·K)	0,05
K ₃ (W/m·K)	237
r _{int} (m)	1,65
r ₁ (m)	1,6325
r ₂ (m)	1,7325
r _{ext} (m)	1,74051

Donde:

- e_1 : Espesor de la capa de acero inoxidable.
- e_2 : Espesor de la capa de lana de roca.
- e_3 : Espesor de la capa de aluminio.
- K_1 : Conductividad térmica de la capa de acero inoxidable.
- K_2 : Conductividad térmica de la capa de lana de roca.
- K_3 : Conductividad térmica de la capa de aluminio.
- r_1, r_2, r_3, r_4 los radios de las diferentes capas del depósito.
- K_{aceite} : Conductividad térmica del aceite.

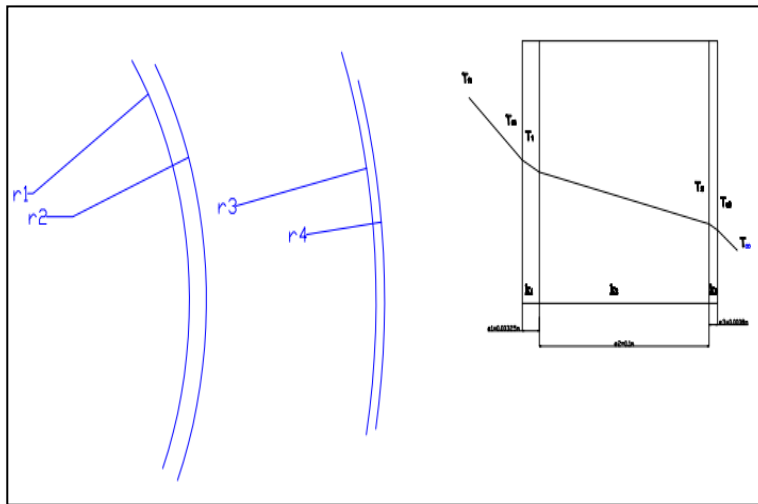


Figura 3.3 Pérdidas de calor laterales de los depósitos.

$$q_r = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\frac{1}{2\pi \cdot r_{int} \cdot L \cdot h_{aceite}} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_{int}}\right)}{2\pi \cdot k_1 \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k_2 \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_2}\right)}{2\pi \cdot k_1 \cdot L} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{ext} \cdot L \cdot h_{aire}}} \quad (6)$$

Tabla 12 Pérdidas laterales del depósito

Pérdidas térmicas de la pared del depósito (W)	1114,61
Coefficiente global de transmisión de calor (W/m ² ·K)	0,433567
Resistencias por conducción (K/W)	0,0283
Resistencias térmicas totales (K/W)	0,0314

A la vista de los resultados, aun por ajustar las superficies interior y exterior, las pérdidas del depósito son muy pequeñas. La utilización de lana de roca con un espesor considerable, permite aislar bien térmicamente los depósitos en cuestión.

Se averiguará ahora, el coeficiente global de transmisión de calor y las temperaturas de las dos superficies expuestas, al aceite y al aire. No se ha de tomar ninguna longitud característica, debido a las grandes dimensiones del depósito.

A la vista de los resultados en las resistencias térmicas por conducción, se podrán admitir las siguientes temperaturas de superficie, para ajustarlas una vez que se produzcan las iteraciones.

- a) El proceso a seguir es el siguiente; tomamos como referencia de la temperatura de la superficie interior 35 °C, obteniendo un coeficiente de película del aceite de 83,2 (W/m²·K) y un coeficiente global de transmisión de calor de 0,433567 (W/m²·K). De las siguientes ecuaciones por tanteo se saca la temperatura de superficie exterior:

$$\frac{q_r}{A} = U \cdot (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) \quad (7)$$

$$\frac{q_r}{A} = h_{aire} \cdot (T_{Sexterior} - T_{\infty 2}) \quad (8)$$

Igualando ambas:

$$U \cdot (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) = h_{aire} \cdot (T_{Sexterior} - T_{\infty 2}) \quad (9)$$

Con cada resultado para la superficie exterior se va ajustando, para una vez ajustada, se comprueba con la superficie interior:

$$U \cdot (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) = h_{aceite} \cdot (T_{\infty 1} - T_{Sinterior}) \quad (10)$$

- b) Si el valor se aproxima lo suficiente al que se tomó inicialmente para la superficie interior, el proceso exige tomar una temperatura de superficie interior nueva. Se vuelve a repetir el proceso anterior a). Si se aproxima lo suficiente al valor de la superficie exterior supuesta, no es necesario repetir el proceso más veces. Se comprueba entonces la temperatura de la superficie interior, quedando ajustadas las temperaturas. Como resultado final se tiene:

Tabla 13 Proceso de iteración para determinar la temperatura de superficie

Iteración	T ^a Superficie interior (K)	Coficiente de película aceite (W/m ² ·K)	T ^a Superficie exterior (K)	Coficiente de película del aire (W/m ² ·K)	Coficiente global de transmisión de calor (W/m ² ·K)
1	308	83,13	285	2,64	0,433567
2	308	83,13	283,74	2,48	0,42927
3	308	83,13	284,05	2,52	0,43043
4	312,80	29,58	283,91	2,5154	0,4253
5	312,5	39,82	284	2,5154	0,42784

Para estos nuevos valores, las pérdidas laterales que tiene el depósito son:

$$Q_r = 1105,317 \text{ W}$$

3.1.2 Cálculo de las pérdidas de calor por la parte inferior al depósito

En este caso se determinará las pérdidas de calor del depósito cilindro vertical del fondo, de dimensiones; 3,3 m de diámetro, chapa de acero inoxidable de 6 mm de espesor y plano, capa de hormigón de 30 cm de espesor y por último terreno vegetal hasta 1 metro de espesor estimado.

3.1.2.1 Coeficiente de película del aceite en la placa inferior del depósito

Se usarán las correlaciones para la transferencia de calor por convección libre, fluido externo en placas horizontales. En este caso la fuerza de empuje es normal a la superficie, más concretamente una placa horizontal fría orientada hacia arriba. El flujo se moverá horizontalmente hasta llegar a las paredes donde tenderá a ascender y descender, lo que provocará que se hagan parcela ascendentes y descendentes. Debido a corrientes de flujo frío y caliente.

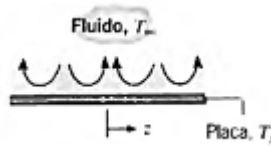


Figura 3.4 Superficie fría orientada hacia arriba. En Incropera y de Witt (1999).

Para obtener una precisión mejorada alterando la forma de la longitud característica sobre la que se basan las siguientes correlaciones. La longitud característica viene definida como:

$$L \equiv \frac{A_s}{P} \quad (11)$$

Donde el A_s y P son el área de la superficie y el perímetro de la placa, respectivamente (Incropera y de Witt, 1999).

De la misma manera, al caso anterior, como se desconoce la temperatura de la superficie interior se estimará y mediante el proceso de reiteración se obtendrá la temperatura.

Tabla 14 Datos para la superficie interior

Área de la superficie inferior (m ²)	8,553
Perímetro (m)	10.36
Longitud característica (m)	0,825
Temperatura del aceite (K)	313
Temperatura superficie interior (K)	310
Temperatura promedio (K)	311,5

Tabla 15 Propiedades del aceite para las condiciones propuestas

Viscosidad cinemática (m ² /s)	4,55 · 10 ⁻⁵
Conductividad térmica (W/m·K)	0,1719
Difusividad térmica (m ² /s)	1,0522 · 10 ⁻⁷
Coefficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	3,21 · 10 ⁻³
Calor específico a presión constante (J/g·K)	1,803

Las correlaciones para determinar el coeficiente de película son; la ecuación para determinar el número de Rayleigh (2), el número de Nusselt para esta correlación:

$$Nu_L = 0,27 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (12)$$

Por último, utilizando el número de Nusselt resultante sustituimos en (5).

Tabla 16 Coeficiente de película del aceite para la superficie interior supuesta

Número de Rayleigh	1,11 · 10 ¹⁰
Número de Nusselt	87,5979
Coeficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	18,254

3.1.2.2 Transferencia unidimensional de calor y coeficiente global de calor en el plano inferior al depósito

Teniendo en cuenta los datos del subpartado anterior, se determinará ahora la transferencia energética, desde el interior del depósito hasta el terreno vegetal. Haciendo un balance energético, los diferentes mecanismos de transmisión de calor son convección y conducción. Como se puede apreciar en la siguiente figura:

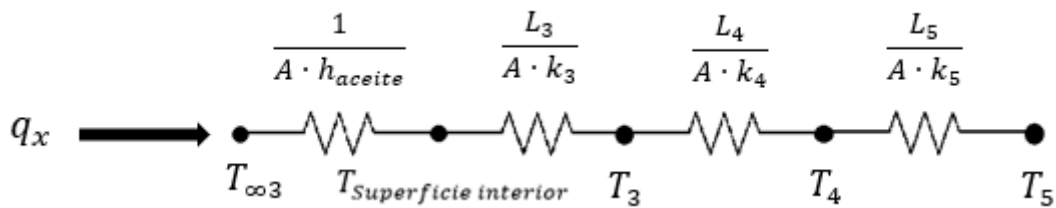


Figura 3.5 Distribución de temperaturas de la parte inferior al depósito.

Los datos de las dimensiones y propiedad de los materiales son:

Tabla 17 Dimensiones para el problema propuesto de las pérdidas inferiores al depósito

Área 1 (m ²)	8,55
Área 2 (m ²)	10,89
Espesor capa de acero inoxidable (m)	0,006
Espesor capa de hormigón (m)	0,3
Espesor capa de terreno vegetal (m)	1
Conductividad térmica del acero inoxidable (W/m·K)	16,3
Conductividad térmica del hormigón (W/m·K)	0,9
Conductividad térmica del terreno vegetal (W/m·K)	0,52

Utilizando la expresión de la transferencia unidimensional de una pared compuesta:

$$q_r = \frac{(T_{\infty 3} - T_5)}{\frac{1}{A_1 \cdot h_{aceite}} + \frac{L_3}{A_2 \cdot k_3} + \frac{L_4}{A_2 \cdot k_4} + \frac{L_5}{A_2 \cdot k_5}} \quad (13)$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18 Pérdidas por la parte inferior del depósito

Coeficiente global de transmisión de calor (W/m ² ·K)	0,4326
Pérdidas térmicas por la parte inferior del depósito (W)	149,78
Resistencias térmicas totales (K/W)	0,21561
Resistencias por conducción (K/W)	0,20723

Al desconocer la temperatura de la superficie interior del depósito, se ha de hacer el proceso realizado en el apartado 3.1.1.3. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19 Proceso iterativo para hallar la temperatura de superficie interior

Iteración	T ^a Superficie interior (K)	Coeficiente de película aceite (W/m ² ·K)	Coeficiente global de transmisión de calor (W/m ² ·K)
1	312,394	22,961	0,43472
2	311,889	12,329	0,42774
3	312,039	14,322	0,42981
4	312,005	13,819	0,42934
5	312,014	13,938	0,42946

Por lo que obtendríamos un Q_x = 148,41 W

3.1.3 Cálculo de las pérdidas de calor por la parte superior del depósito

En este apartado, para hallar las pérdidas de calor por la parte superior se determinará el coeficiente de convección del aire respecto al plano superior del depósito. Este coeficiente tiene las condiciones para un régimen permanente de convección natural con circulación alrededor de placas horizontales para un flujo externo.

Para la parte interior, aunque se hable de un volumen de ocupación de pastas vegetales del 100%, siempre existe la posibilidad de que habrá una capa de aire entre las pastas vegetales y la placa superior. Por consiguiente, se calcularán los coeficientes de película frente a la placa superior tanto del aceite, como del aire. Se compararán ambos coeficientes, analizando cual sería la situación más desfavorable, que será que se reflejaran en las pérdidas totales del depósito. Tanto para el aire como el aceite, ambos son fluidos que bañan una superficie horizontal a distinta temperatura, por tanto, se utilizarán las correlaciones de convección libre externa sobre una placa horizontal.

La parte superior del depósito, tiene una geometría circular y plana de diámetro 3,3 m que separa el líquido contenido en el tanque del aire exterior. Con temperaturas 40 ° C del aceite y 5 ° C la temperatura ambiente. La parte superior como las anteriores está compuesta por las 3 capas mencionadas en el apartado 3.1.1.3.

3.1.3.1 Cálculo del coeficiente de película del aceite en la placa superior interior del depósito

En este caso de convección libre y externa, un fluido caliente, que baña la superficie superior de una placa fría provocara que el flujo se impulsara por parcelas descendientes y ascendentes de fluido. La conservación de la masa sugiere que el fluido caliente que asciende desde una superficie sea reemplazado por un fluido descendiente más frío de la placa, y la transferencia de calor es más efectiva (Incropera y de Witt, 1999).

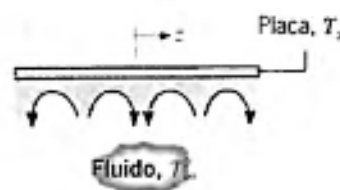


Figura 3.6 Superficie superior orientada hacia abajo

Nos enfrentamos al mismo caso del subapartado 3.1.2.1, suponiendo también una temperatura de superficie interior, que desconocemos. Teniendo en cuenta los siguientes datos:

Tabla 20. Datos de las dimensiones

Área (m ²)	8,553
Perímetro (m)	10,367
Longitud característica (m)	0,825
Temperatura del aceite (K)	313
Temperatura superficie interior (K)	311
Temperatura promedio (K)	312

Para esa temperatura promedio, las propiedades del aceite son:

Tabla 21. Propiedades del aceite a la temperatura promedio.

Viscosidad cinemática (m ² /s)	$4,486 \cdot 10^{-5}$
Conductividad térmica (W/m·K)	0,1719
Difusividad térmica (m ² /s)	$1,0522 \cdot 10^{-7}$
Coeficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	$3,205 \cdot 10^{-3}$
Calor específico a presión constante (J/g·K)	1,803

Utilizando las ecuaciones de los apartados anteriores; (5), (2) y (12). Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 22. Coeficiente de película para el aceite

Número de Rayleigh	$7,48 \cdot 10^9$
Número de Nusselt	79,4032
Coeficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	16,54

3.1.3.2 Cálculo del coeficiente de película del aire en la placa superior interior del depósito

De manera análoga al apartado anterior, se calcula el coeficiente de película del aire, para posteriormente comparar cuál sería su situación más desfavorable. Los datos para el aire en las mismas condiciones de temperatura que el aceite son:

Tabla 23. Propiedades del aire en la placa superior interna del depósito

Viscosidad cinemática (m ² /s)	1,71 · 10 ⁻⁵
Conductividad térmica (W/m·K)	0,027
Difusividad térmica (m ² /s)	2,43·10 ⁻⁵
Coeficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	3,205·10 ⁻³

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 24. Coeficiente de convección del aire

Número de Rayleigh	8,51·10 ⁷
Número de Nusselt	25,93
Coeficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	0,854

A la vista de los resultados, era de suponer, que la situación más desfavorable es un nivel de ocupación del 100% de las pastas vegetales ya que el aire ofrece mayor resistencia térmica debido a su escasa conducción térmica.

3.1.3.3 Cálculo del coeficiente de película del aire exterior a la parte superior del depósito

Por último, se determinará el coeficiente de película, para una situación de convección libre exterior, en placa horizontal. En el caso de la superficie superior caliente bañada por un fluido frío, el aire concretamente.

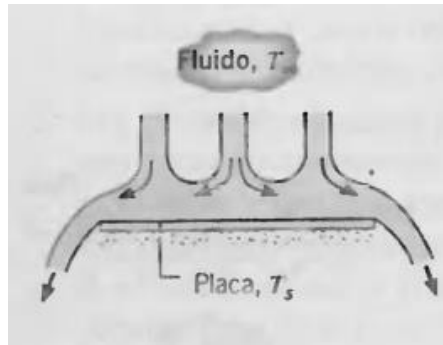


Figura 3.7 Superficie superior de placa caliente

Siguiendo los mismos pasos que los subpartados anteriores 3.1.1.2, estimamos una temperatura de superficie exterior, el resto de parámetros los obtenemos con la correlación para esta situación. Con los siguientes datos:

Tabla 25. Dimensiones y temperaturas de la superficie exterior superior del depósito.

Diámetro (m)	3,3
Área (m ²)	8,553
Perímetro (m)	10,367
Longitud característica (m)	0,825
Temperatura ambiente (K)	278
Temperatura superficie exterior (K)	280
Temperatura media (K)	279

Tabla 26. Propiedades del aceite en la superficie exterior superior.

Viscosidad cinemática (m ² /s)	1,4 · 10 ⁻⁵
Conductividad térmica (W/m·K)	0,02462
Difusividad térmica (m ² /s)	1,97 · 10 ⁻⁵
Coefficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	3,58 · 10 ⁻³

Utilizando las ecuaciones para obtener Rayleigh (2), utilizamos la siguiente correlación para superficies orientadas hacia arriba de placa caliente, bañada por fluido frío y obtener el número de Nusselt:

$$Nu_L = 0,54 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (14)$$

$$Nu_L = 0,15 \cdot Ra_L^{\frac{1}{3}} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (15)$$

Mediante la ecuación (5) sacamos el coeficiente de película del aire a estas condiciones, con los siguientes resultados:

Tabla 27. Coeficiente de película del aceite.

Número de Rayleigh	1,43 · 10 ⁸
Número de Nusselt	78,346
Coefficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	2,338

3.1.3.4 Transferencia unidimensional de calor y el coeficiente global de transmisión de calor por la parte superior del depósito

Como en apartados anteriores, utilizamos la siguiente fórmula para obtener el flujo de calor entre las dos temperaturas operantes, obteniendo así una referencia de las temperaturas de superficie interior y exterior estimadas. Los datos son:

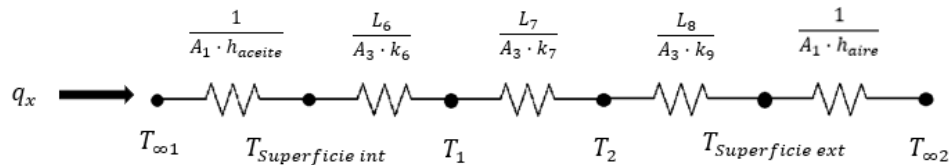


Figura 3.8 Circuito térmico del plano superior del depósito.

Tabla 28. Dimensiones y propiedades del depósito en el plano superior.

Temperatura del aceite (K)	313
Temperatura ambiente (K)	278
Coeficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	16,54
Coeficiente de película del aire (W/m ² ·K)	2,34
Diámetro interior (m)	3,3
L ₆ (m)	0,00325
L ₇ (m)	0,1
L ₈ (m)	0,0008
K ₆ (W/m·K)	16,3
K ₇ (W/m·K)	0,05
K ₈ (W/m·K)	237
Área 1 (m ²)	8,553
Área 3 (m ²)	8,553

Utilizando la siguiente ecuación

$$q_r = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\frac{1}{A_1 \cdot h_{aceite}} + \frac{L_6}{A_3 \cdot k_6} + \frac{L_7}{A_3 \cdot k_7} + \frac{L_8}{A_3 \cdot k_8} + \frac{1}{A_1 \cdot h_{aire}}} \quad (16)$$

Tabla 29. Resistencias térmicas de la parte superior

Coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 \cdot K$)	0,40187
Perdidas térmicas por la parte inferior del depósito (W)	120,3
Resistencias por conducción (K/W)	0,23386
Resistencias térmicas totales (K/W)	0,2909

Y por último finalizamos con el proceso de estimación de temperaturas como en los otros apartados obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 30 Temperaturas de superficie en el proceso iterativo.

Iteración	Tª Superficie interior (K)	Coeficiente de película aceite ($W/m^2 \cdot K$)	Tª Superficie exterior (K)	Coeficiente de película del aire ($W/m^2 \cdot K$)	Coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 \cdot K$)
1	311	16,54	280	2,34	0,40187
2	311	16,54	284	3,356	0,42398
3	311	16,54	282,43	3,04	0,41846
4	311	16,54	282,81	3,12	0,42
5	311	16,54	282,71	3,122	0,42784
6	311,89	13,56	283	3,12	0,41838

Finalmente, obtenemos un $Q_x = 125,24$

3.1.4 Resumen de pérdidas totales

Tabla 31. Resumen de pérdidas de calor del depósito

Pérdidas	Transmisión de calor (W)	Coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 \cdot K$)
Pérdidas parte lateral	1105,31	5,26
Pérdidas parte inferior	148,41	0,443
Pérdidas parte superior	125,4	0,41838

El total de pérdidas en un depósito son 1378,97 W, que, multiplicado por 6 depósitos, es un total de 8273,82 W.

3.2 Cálculo de la potencia calorífica de aporte a las pastas

En este subapartado, se tratará de obtener la energía que se ha de aportar a las pastas, para que estén a 40 °C. El medio de intercambio energético será el agua líquida, de distinta manera que se intercambia con la caldera actual, con vapor. El objetivo de utilizar agua líquida, es aprovechar su calor específico, reduciendo el consumo de vapor y tiempo de empleo del mismo.

Esta potencia calorífica determinara la potencia térmica necesaria que diseñara tanto el sistema de colectores solares como la caldera auxiliar.

El sistema de intercambio energético consistirá en el siguiente circuito térmico:

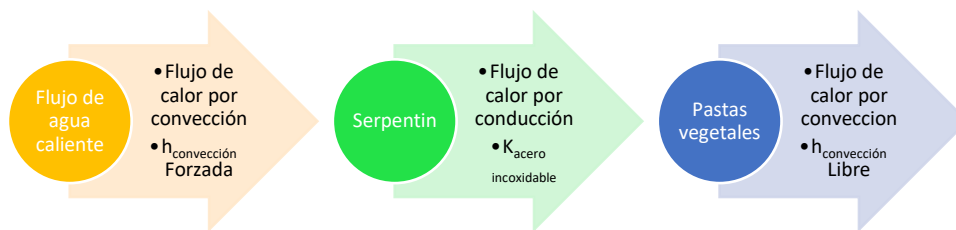


Figura 3.9 Aporte energético del agua a través del serpentín a las pastas.

Antes de comenzar el cálculo, se ha de establecer el proceso de calentamiento de las pastas:

Teniendo en cuenta la demanda que tienen mensualmente, el proceso de carga y descarga se produce dos veces por semana. Teniendo en cuenta esto, las oleínas se sirven en los depósitos a 80 °C, lo que quiere decir que el tiempo que tardan estas en bajar su temperatura hasta 40 °C, haciendo saltar el termostato que active las bombas hidráulicas para que o bien el sistema termosolar o por el contrario la caldera auxiliar comience a mantener la temperatura de diseño establecida a 40 °C. Finalizando el ciclo cuando se presente la hora de descarga en los camiones cisterna, activando la caldera auxiliar y que esta ascienda la temperatura a 80 °C, en la que está diseñada el proceso según técnicos de la empresa para que mediante las bombas hidráulicas las sirvan a esas determinadas condiciones.

Para el cálculo del intercambio térmico entre el agua líquida y las pastas, se utilizarán las pérdidas que tienen los depósitos a 40°C que se calcularon previamente. Estableciendo un intercambiador de calor donde el agua de entrada se fijará en 60 °C como temperatura máxima que se puede obtener de los colectores, estimando una temperatura de salida de 50 °C. Tampoco se conoce la temperatura de la superficie del serpentín por lo que se estimará también para ajustarla posteriormente, esta quedará a una temperatura de 49 °C.

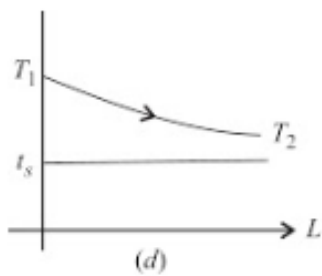


Figura 3.11
Intercambiador de calor
con temperatura fija

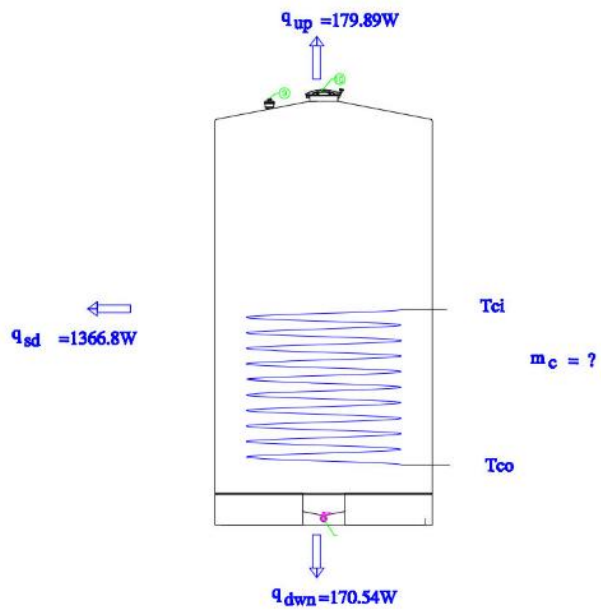


Figura 3.10 Resumen de pérdidas en el depósito

3.2.1 Cálculo del coeficiente de película del agua en el interior del serpentín

Para el cálculo del coeficiente de película, se ha de fijar la temperatura de entrada, en 60 °C y la de salida se estima en 50 °C. Por lo tanto, la temperatura media del agua líquida es de 55 °C, la temperatura de la superficie del serpentín hay que estimarla también, en 49 °C.

Por tanto, la temperatura promedio del agua para determinar el coeficiente de película respecto a la superficie del serpentín es 52 °C. Hay un dato más necesario para poder sacar el coeficiente de película, el flujo másico, obteniéndolo de la siguiente ecuación:

$$q_{perdidas} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{mi} - T_{mo}) \quad (17)$$

Sustituyendo en la formula obtenemos ya todos los datos:

Tabla 32 Propiedades iniciales del intercambio en el serpentín

Temperatura media de agua de entrada (K)	328
Temperatura de superficie interior (K)	322
Temperatura promedio (K)	325
Diámetro interior del serpentín (m)	0,033
Diametro exterior del serpentín (m)	0,035
Longitud del serpentín (m)	94,6
Flujo masico (kg/s)	0,016487
Tasa de perdidas de calor del tanque (W)	1378
Viscosidad dinámica (kg/m·s)	$5,28 \cdot 10^{-4}$
Conductividad térmica (W/m·s)	0,645

Se ha de aplicar las correlaciones para convección forzada, flujo interno, sin cambio de fase, régimen estacionario. Aplicando Reynolds:

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \mu \cdot D} \quad (18)$$

Una vez sacado, Reynolds al ser menor que 2300, es en régimen laminar. Por consiguiente, como sabemos que es un flujo totalmente desarrollado debido a las dimensiones del serpentín (Incropera y de Witt, 1999):

$$\frac{L}{D} \gg \frac{x_c}{D} \quad (19)$$

El número de Nusselt para este tipo de flujos es 3,656. Utilizando la ecuación (5) obtenemos h.

Tabla 33 Coeficiente de película inicial para el flujo de agua.

Número de Reynolds	1242,256
Número de Nusselt	3,656
Coeficiente de película del agua (W/m ² ·K)	71,53

3.2.2 Cálculo del coeficiente de película del aceite en la superficie del serpentín

Para el cálculo del coeficiente de película del aceite, las correlaciones a utilizar son para convección natural, circulación alrededor de cilindros, flujo externo. Los datos a utilizar son:

Tabla 34 Distribución de temperaturas para el aceite.

Temperatura del aceite (K)	313
Temperatura superficie interior (K)	322
Temperatura promedio (K)	317,5

Para esta temperatura promedio, las propiedades del aceite son:

Tabla 35 Propiedades del aceite en el interior del depósito.

Viscosidad cinemática (m ² /s)	3,913 · 10 ⁻⁵
Conductividad térmica (W/m·K)	0,1711
Difusividad térmica (m ² /s)	1,0229 · 10 ⁻⁷
Coefficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	3,149 · 10 ⁻³
Calor específico a presión constante (J/g·K)	1,803

Como hablamos de un cilindro isoterma, se supone una expresión de la siguiente forma:

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_h - T_c)d^3}{\nu\alpha} \quad (20)$$

$$Nu_D = \frac{h \cdot D}{k} = C(Ra_D)^n \quad (21)$$

Donde los valores de C y n se dan en la siguiente tabla:

Tabla 36. Correlación para el numero de Nusselt en un cilindro isoterma

Ra _D	C	n
10 ⁻¹⁰ a 10 ⁻²	0,675	0,058
10 ⁻² a 10 ²	1,020	0,148
10 ² a 10 ⁴	0,850	0,188
10 ⁴ a 10 ⁷	0,480	0,250
10 ⁷ a 10 ¹²	0,125	0,333

Tabla 37. Resultados para el coeficiente de película del aceite.

Número de Rayleigh	2,98 · 10 ⁶
Número de Nusselt	19,94
Coefficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	97,52

3.2.3 Potencia térmica, coeficiente global de transmisión de calor y determinación de la temperatura de superficie del serpentín.

Para determinar la temperatura de superficie del serpentín se seguirán los mismos pasos del método empleado en reiteración en los subapartados 3.1.2.1, 3.1.3.4 y 3.1.1.3.

Una vez se obtenga la temperatura de superficie, la cual es constante debido a que la diferencia de espesor entre los diámetros interior y exterior es insignificante. Se sustituirán en la fórmula de la transferencia de calor (22), para despejar la diferencia media de temperaturas logarítmica.

Donde obtendríamos los siguientes resultados:

Tabla 38. Proceso iterativo para determinar la superficie interior.

Iteración	T ^a Superficie interior (K)	Flujo de calor proporcionado por el agua (W/m ²)	Flujo de calor proporcionado por el aceite (W/m ²)
1	319,1	635,24	535,04
2	319,2	628,15	546,18
3	319,3	621,06	557,4
4	319,4	613,97	568,64
5	319,5	606,88	579,94
6	319,55	603,33	585,62
7	319,6	599,78	591,3
8	319,65	596,24	596,99

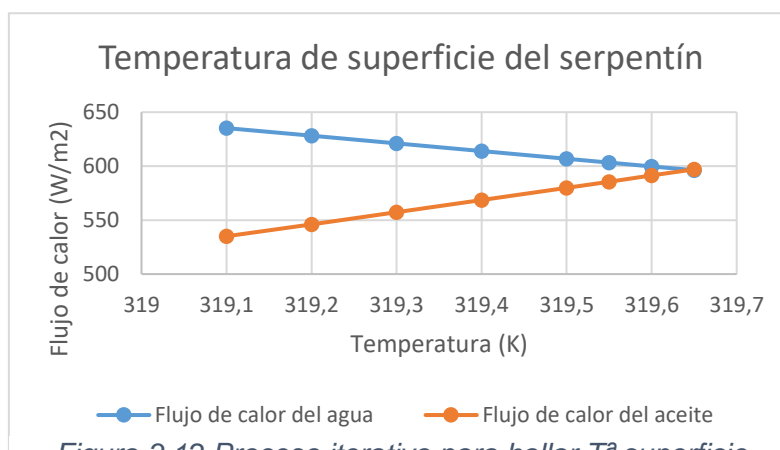


Figura 3.12 Proceso iterativo para hallar T^a superficie

Con la temperatura de superficie ya fija, los nuevos coeficientes de película son:

Tabla 39. Coeficientes de película

Coeficiente de película del agua (W/m ² ·K)	71,4
Coeficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	89,77

La temperatura de superficie es 319,65 K. Con ambos coeficientes de convección sacados, utilizare el coeficiente global de transmisión de calor para sacar la tasa de flujo de calor necesaria para que el sistema mantenga la temperatura de diseño.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{1}{hf}} \quad (22)$$

Ahora en la siguiente formula despejamos la diferencia de temperatura media logarítmica:

$$q_{pérdidas} = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad (23)$$

Donde el área es igual a:

$$A = \pi \cdot D \cdot L \quad (24)$$

Por consiguiente, la diferencia de temperaturas media logarítmica es 3,535 K. El siguiente paso es obtener el denominador de la ecuación de la diferencia de temperatura media logarítmica:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_0 - \Delta T_i}{Ln \frac{\Delta T_0}{\Delta T_i}} \quad (25)$$

Utilizando la siguiente igualación entre los parámetros establecidos en la entrada y salida del serpentín y un coeficiente de película promedio:

$$\frac{\Delta T_0}{\Delta T_i} = \exp\left(\frac{P \cdot L}{\dot{m} \cdot C_p} h\right) \quad (26)$$

De esta expresión obtenemos este parámetro para $Ln \frac{\Delta T_0}{\Delta T_i}$ sustituir con el valor de ΔT_{ml} obteniendo la temperatura de salida real del intercambiador térmico entre el agua y el aceite.

$$Q_{aportado} = h_{agua} * A * (T_{mi} - T_{mo}) \quad (27)$$

Tabla 40. Potencia térmica, flujo másico y coeficiente global de transmisión de calor

Coeficiente global de transmisión de calor (W/m ² ·K)	39,77
Calor aportado a las pastas (W)	5742,05
Temperatura de entrada del flujo de agua (K)	333
Temperatura de salida del flujo de agua (K)	324,8
Temperatura de las pastas (K)	313
Flujo másico del agua (kg/s)	0.016487

4. PROPUESTAS DE MEJORA

4.1 Sustitución por una nueva caldera

4.1.1 Objeto

La propuesta para dar solución al problema de la planta viene motivada como se mencionó anteriormente, por la necesidad de paliar los efectos producidos por un aumento de la productividad y el escaso rendimiento térmico que aporta la actual caldera en los meses donde la temperatura ambiente es baja.

El objetivo de esta propuesta es, por tanto, la especificación preliminar, y definición de alcance de suministro, de una caldera de vapor piro-acuotubular, de cinco pasos de humos, con cámara de combustión acuotubular para combustibles sólidos.

4.1.2 Comparativa de calderas

Se propone sustituir la actual caldera por otra más eficiente. Se mantendrá como combustible el orujillo con cascara de almendras, con las ventajas económicas y medioambientales que ello conlleva.

La biomasa es uno de los principales recursos energéticos renovables con los que cuenta Andalucía. (La junta de Andalucía, 2019) pretende difundir el aprovechamiento de la biomasa para usos finales térmicos. Mediante este programa, se subvenciona las instalaciones de biomasa. Uno de los tipos de actuaciones que se subvencionan son la renovación de calderas por otras de mayor eficiencia, como es nuestro caso.

La sustitución de la caldera actual por otra más moderna implicará un aumento del rendimiento térmico considerable, un mejor control, tecnología más avanzada, mejor comportamiento mecánico de cada uno de los elementos que la componen y en definitiva una actualización de todos los dispositivos implicados en la caldera.

Si comparamos datos entre las dos calderas obtenemos:

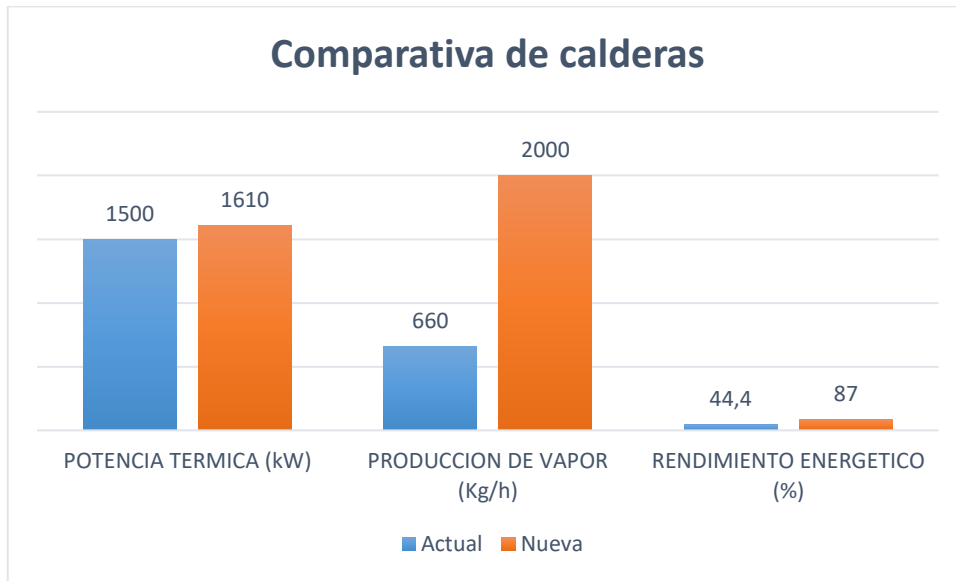


Figura 4.1 Comparativa de calderas.

4.1.3 Diseño y construcción

Tras el análisis de mercado y las relaciones de la empresa RIOSA con la empresa RCB dedicada al mercado de calderas se ha propuesto un presupuesto de acuerdo a las exigencias de la actividad de RIOSA como mejor candidato a satisfacer estas crecientes demandas.

La caldera candidata denominada NOVA PA-2000, piro-acuotubular para producción de vapor saturado, utilizando como combustible biomasa.

Con la aplicación en su desarrollo de las nuevas tecnologías, derivadas de los ensayos de modelización y software específico de cálculo térmico para los diversos tipos de biomasa normalizada, se ha obtenido una unidad térmica de alta eficiencia, con 5 pasos de gases.

Un conjunto formado por generador de vapor Piro-tubular horizontal y cámara de combustión acuotubular para combustibles sólidos, dotados ambos con un equipamiento básico de primera calidad, aseguran la total funcionabilidad del presente equipo.

El generador de vapor construido con chapas de acero al carbono calidad P265GH, S/EN10028-2 y tubos de humos de acero estirado sin soldura, calidad P235-GH, S/EN10246-2, mandrinados y soldados a las placas tubulares, conforman el cuerpo de presión, disponiéndose en su distribución una amplia cámara de vapor, y plano de vaporización para asegurar el grado de saturación del vapor producido.

En la parte inferior del cuerpo de presión (zona de convección) se dispone integrada en la misma, una cámara de doble pared, que conforma el segundo paso de gases, convenientemente arriostrada y con conexiones de recirculación.

Ambas componentes se suministran como una sola unidad, convenientemente aislada, y equipada con puertas de registro, y todas las conexiones requeridas para el servicio.

Suministro de plataformas y escaleras de servicio, en base a perfiles normalizados y tramex galvanizado.

4.1.4 *Cámara de combustión húmeda*

Diseñada con doble pared, arriostrada, en cuyo interior circulará de forma natural el contenido de agua, para un aprovechamiento energético total.

Internamente se dispondrán los quemadores de combustión, con las correspondientes aperturas de inspección, limpieza y conexiones diversas, para los ventiladores de aire primario y secundario, así como conexiones de entrada de la biomasa, y extracción de cenizas. Una gran cámara de material refractario, con su correspondiente bóveda, permiten una optimización de la combustión, lo que se considera como paso.

4.1.5 Quemador de combustión (Biomasa)

Suministro de quemador para combustión compuestos por:

- Parrilla fija ventilada de acero fundido.
- Sinfín doble de alimentación de combustible.
- Sistema contra incendio mediante válvula autocontrolada termostática.
- Motorreductor de accionamiento del sinfín.
- Tolva nodriza de alimentación de combustible.
- Sonda capacitiva temporizada para autoalimentación del combustible.

El funcionamiento de los componentes que conforman el quemador de combustión es completamente automático, dependiente de la señal recibida de la sonda de regulación de presión de caldera.

Durante el funcionamiento todos los ventiladores (aire primario, aire secundario y aire extracción de gases) permanecerán en marcha, de acuerdo con el reglaje establecido durante la puesta en marcha de la caldera.

La actuación de cualquier seguridad de caldera, motivara el paro de los ventiladores.

- Ventilador de aire primario.
- Ventilador de aire secundario.

4.1.6 Cuadro de control

El sistema de control de la combustión está completamente automatizado mediante programación en autómatas, consistiendo en la implementación de 3 etapas de potencia (potencia máxima, potencia media y potencia mínima), complementadas con una etapa de stand-by. Para ello, se suministrará:

Un cuadro de control, el cual va dispuesto para el alojamiento en su interior del aparillaje eléctrico, contactores, protecciones, programador, etc.... que gobiernan o controlan todo el sistema eléctrico de la caldera.

- Pantalla Telemecanique táctil de 5".
- Pulsador y selectores para: paro de emergencia, alarma acústica, paro-marcha (Bombas, quemador y ventiladores).
- Interruptor general.
- Autómata Programable para control del proceso.
- Variador de ventilador de aire primario.
- Variador de ventilador de aire secundario.
- Variador de ventilador de extracción de gases.
- Automatización de alimentación de combustible por temporización progresiva.

Cuadro eléctrico con marcado CE de acuerdo con la Directiva 97/23/CE, y sometido a los ensayos siguientes:

- Ensayos de compatibilidad electromagnética.
Según normas: EN 50081-2:1993, EN 61000-62:2000, EN 61000 3-2:1995/A14:2000 y EN 61000-3-3:95.
- Seguridad de máquinas.

Según normas: UNE EN 60204-1:99.

En cumplimiento de: R.D. 7/88-D 73/23/CEE. D 93/68/CEE.

4.1.7 Cableado eléctrico

Se ha previsto el tendido de cables de potencia de mando y mediad entre todos los elementos de la misma que lo requieran. Pupitre/cuadro de control y los distintos motores, e instrumentos, en caldera.

4.1.8 Aislamiento térmico

Aislamiento térmico con manta de lana mineral de roca de 100 mm., de espesor, y acabado en plancha de acero pintado, minimizan las pérdidas térmicas por radiación del conjunto objeto del presente estudio.

4.1.9 Identificación

Tabla 41. Identificación caldera RCB

Clase de aparato	Caldera de vapor
Marca	RCB
Modelo	NOVA PA-2000
Tipo	Pirotubular / Horizontal
Producción máxima de vapor	2000 kg/h
Potencia térmica útil	1400 KW
Potencia térmica nominal	1610 KW
Rango de potencia continua	30/100%
Presión de servicio	10 bar
Presión de diseño	12 bar
Presión de prueba hidrostática	20,5 bar
Rendimiento térmico	87± 1 %

4.1.9.1 Características del vapor

Tabla 42. Características del vapor caldera RCB

Clase de vapor	Saturado
Entalpía (kJ/kg)	2775,85
Temperatura (°C)	183,3
Volumen específico (m³/kg)	0,18

4.1.9.2 Características del combustible

Tabla 43. Características del combustible predeterminado

Tipo de combustible	Biomasa
Clase	Hueso de aceituna triturado y extractado
PCS	Buscar
PCI	Buscar
Agua (En peso)	Recomendado 10/12%, Máximo 30%
Densidad (w.b – base húmeda)	> 250 Kg w.b/m ³
Composición de la biomasa, exenta de	Metales pesados, Cl, etc.
Temperatura de sinterización	> 1000 °C
Cenizas (En peso)	0,5 / 2,5 %
Tamaño máximo del combustible	(30x20x15) mm
Contenido en finos (< 0,5 mm)	< 5 %

4.1.10 Accesorios de la caldera

La caldera de vapor está equipada con los elementos siguientes:

- Una válvula de interrupción de fuelle, salida vapor.
- Dos válvulas de seguridad.
- Un juego de grifos de nivel.
- Un nivel óptico reflectante con caja.
- Un nivel visualizado en pantalla de control.
- Tres válvulas de retención de disco.
- Una válvula de aireación.
- Tres válvulas de alimentación
- Una válvula interrupción para la purga / vaciado de la caldera.
- Una Tubuladura de conexión, con tubo protector para la instalación interior de la caldera y regulador de nivel de agua.
- Un manómetro para control de la presión.
- Una sonda de presión.
- Un presostato de seguridad.
- Un manómetro control de la bomba.

4.1.11 Alimentación agua

Para asegurar la alimentación de agua a la caldera, se dispone de dos grupos motobomba accionados por motores eléctricos unidos a las bombas por medio de acoplamiento elástico, de las siguientes características:

Marca: GRUNDFOS O SIMILAR (Acero inoxidable)

Tipo: CR

Temperatura máxima del agua: 120 °C

Velocidad: 2850 rpm

Cierre: Mecánico

Protección del motor: IP-54

Marca del motor: Grundfos o similar.

En el tubo de alimentación a caldera se instalará una válvula de retención que cerrará por la presión de la caldera, cuando deje de funcionar la bomba de agua. Se colocará una válvula de cierre entre la anterior de retención y la caldera para incomunicar a esta última de los tubos de alimentación.

4.1.12 Control automático del nivel de agua

El nivel de agua en caldera se controla de forma automática, con la disposición de un sistema compacto de medición capacitiva de niveles.

El sistema opera según el principio de la medición capacitiva, con un controlador integrado en el cuadro de control, para las funciones siguientes:

- Nivel alto. Alarma.
- Paro/Arranque de bomba/s

4.1.13 *Seguridades por agua*

De acuerdo con la directiva 97/23/CE y en cumplimiento de la norma específica, relativa a seguridades de caldera por EN 12953-9, las calderas RCB disponen en su equipamiento para las seguridades de nivel.

Dos limitadores de nivel independientes con las características siguientes:

Componentes:

- Electrodo de nivel autocontrolado, autocomprobación periódica.
- Conmutador de nivel, limitador de nivel de agua autocontrolado. Con autocomprobación periódica.
- Tubo protector para instalación interior de la caldera.
- Cableado de interconexión normalizado.

4.1.14 *Seguridades por presión*

- Válvulas de seguridad TOSACA/LESER.
- Un presostato de seguridad Sauter DSB 146.

4.1.14.1 Complementos A

Conducto de gases

Suministro de los siguientes conductos de gases para la comunicación de los distintos componentes:

- Conducto de unión de caldera a depurador de gases, en chapa de acero al carbono, y pintado con imprimación anti calórica.
- Conductos de unión de depurador de gases a ventilador extractor, en chapa de acero al carbono, y pintado con imprimación anti calórica.
- Conductos de unión de ventilador extractor a chimenea, en chapa de acero al carbono, y pintado con imprimación anti calórica.

Micro-multiciclón con válvula alveolar

Micro-multiciclón depurador de gases RCB construido con chapa de acero al carbono, dotado con varios micro ciclones de fundición gris, con tolva inferior para boca de descarga de cenizas, y conexiones de entrada / salida de gases.

Diseñado para la separación y recogida de las partículas sólidas provenientes de la combustión, antes de su emisión a la atmosfera.

Este depurador de gases se incluye en la clasificación de depuradores de partículas por vía seca de alta eficiencia, compuesto por micro ciclones de tipo tangencial.

De aplicación para la eliminación o reducción de partículas sólidas arrastradas en los gases procedentes de la combustión. Su eficacia incluye partículas de granulometría mayor de 5 μm , alcanzando su mayor rendimiento con partículas superiores a 10 μm .

Dado que la eficiencia del depurador depende de múltiples factores, en general, se pueden garantizar emisiones de particulares del orden de 150/250 mg/Nm^3 .

Ventilador gases

Conjunto de componentes destinados al sostenimiento continuo de depresión en la cámara de combustión, formado por:

- Ventilador centrífugo, para alta temperatura.
- Variador de frecuencia Telemecanique o similar, con entradas/salidas 4/20 mA. Y controlador de depresión mono lazo PI.

Purgas automáticas en caldera

Se incorporará en caldera las siguientes purgas:

- Conjunto de purga de fondos.
- Sistema de purga de sales automática.
- Conjunto enfriador de muestras

Chimenea

Una chimenea construida en chapa de acero al carbono, con base para fijación al suelo. Dispone registro de limpieza y conexión para entrada de gases. Incluye aislamiento parcial de la misma.

Montaje de componentes

Este apartado comprende:

- Montaje mecánico en la planta de la caldera de vapor con los elementos reseñados.
- Montaje eléctrico en la planta de la caldera de vapor con todos los componentes, incluidos los del presente apartado.

Puesta en marcha de la caldera

- Puesta en marcha y regulación de la caldera.
- Instrucciones de operación al personal responsable.

4.1.14.2 Complementos B

Extracción automática de cenizas en caldera

Incorporación en la cama de combustión de un sistema automático de extracción de cenizas compuesto por:

- Sinfín – extractor de cenizas.
- Motorreductor de recogida de cenizas.
- Adaptación del conjunto en la cámara.
- Automatización del sistema.

Sistema de soplado automático en los tubos de caldera

Incorporación en la cámara de combustión de un sistema automático de extracción de cenizas compuesto por:

Un software instalado en el autómatas del cuadro de control y maniobra de caldera, activa de manera organizada la descarga de aire comprimido, de un conjunto de válvulas neumáticas electro pilotadas, instaladas convenientemente en las puertas de las cajas de humo de la caldera, con una cadencia que permite el desprendimiento del hollín incrustado en el paquete tubular.

Esta operación de desprendimiento del hollín se realiza con la caldera operativa, mejorando de este modo el rendimiento térmico de la misma.

Un conjunto de latiguillos de conexión, tubos colectores y un pequeño calderín de almacenamiento y reposición de las condiciones de servicio conforman el córculo neumático para el funcionamiento de este sistema.

Filtro de mangas

Características:

Tabla 44. Características del filtro de mangas de la caldera RCB

Caudal máximo a filtrar (m ³ /h)	6000
Perdida de carga filtro	100 mm H ₂ O
Perdida de carga total	400 mm H ₂ O
Temperatura de trabajo (°C)	200
Velocidad de aspiración (m/s)	16

El filtro de mangas Air modelo FRH-192, sección rectangular, limpieza mangas a aire comprimido, con las siguientes características:

Tabla 45. Características filtro de mangas Air modelo FRH-192

Mangas filtrantes instaladas (uds)	192
Diámetro mangas (mm)	120
Altura mangas (mm)	2500
Tipo de tejido filtrante	PTFE (teflón 100%)
Superficie filtrante instalada (m ²)	136
Velocidad de filtración (m ³ /m ² /min)	1,1
Electroválvulas neumáticas ½", 24 V (uds)	16
Motor sinfín (kW)	0,75
Válvula estrella motorizada (kW)	0,55

El filtro está compuesto de un soporte porta mangas y pulmón aire comprimido- Colector interno de lavado, tapa extracción mangas y mangas filtrantes. Cestas porta mangas en acero inoxidable AISI-316. Venturi de lavado, tolva de recogida de polvo y pies de supportación Boca de descarga de polvo de 200 mm. Válvula de estrella motorizada. Economizador de aire comprimido para el lavado de las mangas, con medidor de presión diferencial y señales de funcionamiento.

Las mangas con tejido PTFE (100% Teflón) son resistentes al ataque ácido. La temperatura de trabajo del material PTFE, es máximo 240-250 °C.

Conexionado hasta chimenea:

- Conexionado de unión entre salida multiciclón y entrada filtro. Construido en chapa de 3 mm, y completo de bridas de unión.
- Conexionado de unión entre filtro y ventilador, en chapa de 3 mm; completo de bridas de unión y nervadura.

Se instalará válvula mariposa para toma de aire ambiente en racor entrada filtro.

Aislamiento: El aislamiento en filtro de aspiración a base de panel SPintex 613 en 50 mm y acabado en chapa de aluminio de 0,8 mm. Aislamiento en racor de unión entre multiciclón y entrada filtro a base de manta Spinex 322 y acabado en chapa de aluminio de 0,8 mm. Aislamiento en racor de unión entre filtro y ventilador a base de manta Spintex 322 y acabado en chapa de aluminio de 0,8 mm,

Cuadro eléctrico para maniobra del filtro: Cuadro eléctrico de control y protección de los motores eléctricos del sinfín y válvula estrella con magnetotérmico diferencial. Un economizador con medidor de presión diferencial para limpieza de mangas automática e instalación eléctrica de los componentes.

4.2 Instalación termosolar

Dada la situación geográfica de la empresa, aprovechar el sol, una fuente inagotable de energía y no contaminante es una opción a considerar para el problema planteado.

En España, la energía solar se encuentra en una fase en vías de desarrollo y aprovechamiento, siendo uno de los países que más horas de sol recibe de Europa. Aprovechar la rentabilidad que nos ofrece la energía solar será uno de los objetivos en el presente estudio técnico.

Se considerará también las opciones que nos podría facilitar la junta de Andalucía y el gobierno de España, en lo que a subvenciones se refiere. Facilitar el costo de una instalación termosolar cumpliría según los objetivos con las energías renovables en nuestro territorio. La inversión económica inicial, aunque costosa, será rentable a medio y largo plazo, de ahí que la viabilidad de este sistema solar sea materia de estudio.

4.2.1 *Instalación solar térmica de baja temperatura*

La primera propuesta para apoyar la caldera actual consistirá en utilizar la energía solar mediante un sistema termosolar capaz de satisfacer la demanda térmica de los depósitos de la “Zona 2 de almacenamiento de producto terminado” para una temperatura de trabajo de 40 °C. Esta propuesta es interesante, debido a que se utilizara energía renovable, con el ahorro energético y económico que ello conlleva.

El objetivo es reducir la carga térmica que supone a la caldera actual calentar los depósitos desde una temperatura de equilibrio con el sistema exterior hasta una temperatura de 80°C, reduciendo el tiempo, combustible y la carga térmica para los dispositivos restantes en lo que a generación y utilización de vapor se refiere. Por tanto, se mantendrá la temperatura de los depósitos de 40 °C, sirviendo como apoyo para calentar los depósitos con vapor hasta los 80 °C previstos.

Una instalación solar térmica, es un sistema de aprovechamiento de energía solar para producción de un fluido caliente. (Consejería de economía, innovación y ciencia, 2011).

El funcionamiento consiste en:

- Obtener la radiación del sol para transformarla en energía calorífica, mediante un fluido de trabajo denominado fluido calor portador.
- Almacenar esta energía calorífica en esta instalación de los colectores o mediante intercambiadores de calor a un segundo elemento para su consumo.

Esta instalación solar térmica es de baja temperatura, ya que las temperaturas que se alcanzarán serán inferiores a 90 °C. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2009).

4.2.2 Componentes de una instalación solar térmica

En toda instalación solar térmica de baja temperatura se pueden distinguir los siguientes componentes principales:

- Sistema de captación (colector): formado por uno o varios captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo o aceite térmico.
- Sistema de acumulación: constituido por un depósito que almacena el agua caliente hasta que se precise su uso.
- Sistema de intercambio: realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de colectores, o circuito primario, al agua de la red o de consumo.
- Circuito hidráulico: constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de conducir el movimiento del fluido caliente desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación y desde éste a la red de consumo.
- Sistema de regulación y control: principalmente se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo.
- Sistema auxiliar: complementa al aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en casos de escasa radiación solar. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2009).

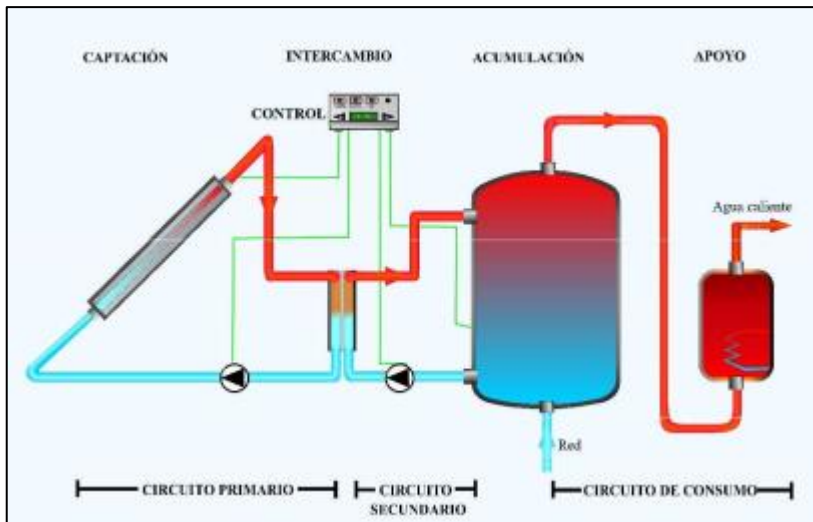


Figura 4.2 Instalación solar térmica. En IDEA (2009).

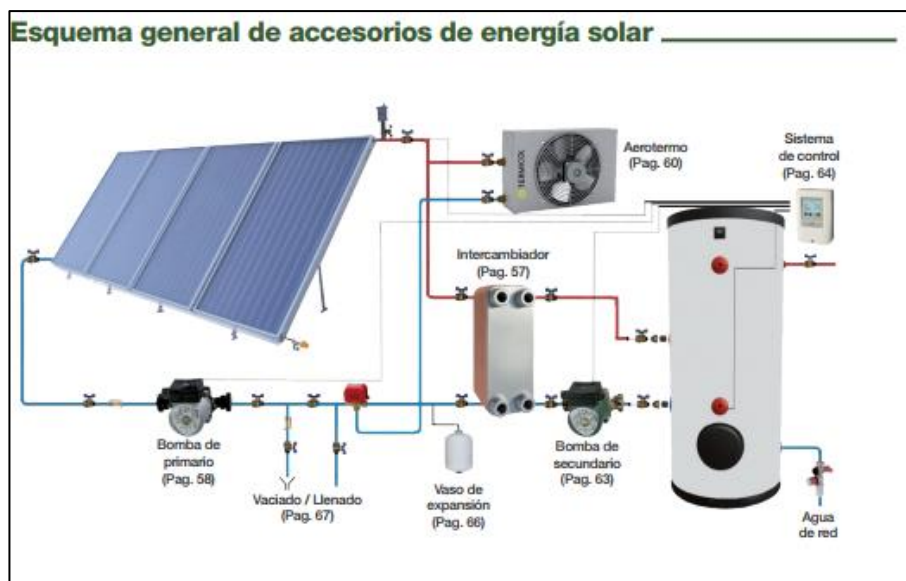


Figura 4.3. Esquema general de accesorios en una instalación termosolar

4.2.3 *Estudio técnico de la instalación termosolar*

La aplicación de este sistema consistirá en un apoyo a la caldera de vapor, cuyo objetivo será la de mantener los depósitos de producto primario a una temperatura de unos 40 °C para evitar que las oleínas se solidifiquen y a la hora de su servicio, la caldera invierta un menor tiempo y consumo en aumentar su temperatura para el servicio y transporte a los camiones cisterna.

Esta instalación será por circulación forzada, presenta mayor rendimiento que otro tipo de instalaciones solares de baja temperatura, ya que, al controlar la velocidad y temperatura del sistema debido al movimiento generado por una bomba.

Para evitar problemas de corrosión y congelación, el sistema será indirecto. Consistirá en que el fluido de trabajo de los colectores se mantiene en un circuito diferente al de consumo.

Según el modo de integración entre el sistema solar y auxiliar, el sistema será centralizado en circuito solar, acumulación y sistema de apoyo.

Los cálculos para esta instalación termosolar se han basado en el método resolutivo f-chat, para agua caliente sanitaria. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2009).

4.2.4 *Cálculo de la instalación termosolar*

Estos cálculos están basados en agua caliente sanitaria. Dadas unas temperaturas de diseño y una demanda de agua caliente similares para el caso de ACS, se han extrapolado para diseñar el calentamiento de los depósitos.

El método utilizado es el método f-chart, deberá adoptarse el método más adecuado a las características de la instalación solar. El tamaño y complejidad de la misma será determinante para considerar un método simplificado que no requiere gran nivel de detalle para la definición de las bases de cálculo, y que en consecuencia sea relativamente fácil de usar, o bien un método más detallado en el que se realice el estudio de un modelo de la instalación con todos sus componentes y se simule el comportamiento energético de la misma con amplios detalles.

Como ejemplo de uno de dichos métodos de cálculo simplificado, se describirá a continuación el de las curvas f (F-Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2009).

4.2.4.1 Cálculo de la demanda de agua caliente

El proceso a seguir en el método F-Chart de cálculo es el siguiente:

- Análisis de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de calefacción
- Análisis de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores
- Cálculo del parámetro D_1 .
- Cálculo del parámetro D_2 .
- Determinación de la gráfica f .
- Valoración de la cobertura solar mensual.
- Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

Para el proceso de análisis de las cargas caloríficas, se usarán los datos obtenidos en el apartado 3.2.3:

Tabla 46. Datos del intercambio térmico al mantener la temperatura de las pastas a 40°C

Coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 \cdot K$)	39,77
Calor aportado a las pastas (W)	5742,05
Temperatura de entrada del flujo de agua (K)	333
Temperatura de salida del flujo de agua (K)	324,8
Temperatura de las pastas (K)	313
Flujo masico del agua (kg/s)	0.016487

Esta tasa de calor necesaria para mantener los depósitos a la temperatura de diseño, manteniendo el flujo masico a través del serpentín. La demanda de agua caliente para calefacción de los depósitos es de 1424,47 litros al día. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2009)

4.2.4.2 Situación geográfica y temperatura de agua de red

La situación geográfica es Jaén para el cálculo de la contribución solar mínima:

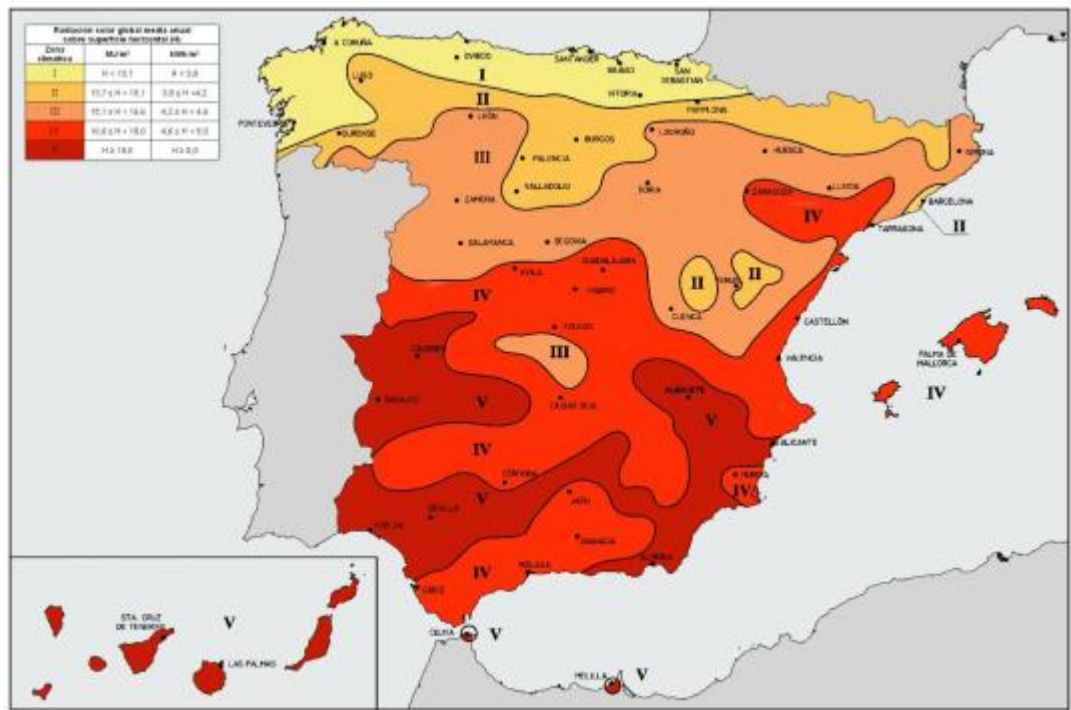


Figura 4.4 Situación geográfica para la contribución solar mínima

Por tanto, la zona climática de Ibro es V y la mínima será un 60% ya que, aunque nos salga una demanda diaria de litros día de 1424,47.

Apéndice B Temperatura media del agua fría

La siguiente tabla contiene la temperatura diaria media mensual (°C) de agua fría para las capitales de provincia, para su uso en el cálculo de la demanda de ACS a temperaturas de cálculo distintas a 60°C:

Tabla B.1 Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ju l	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>A Coruña</i>	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
<i>Albacete</i>	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
<i>Alicante/Alacant</i>	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
<i>Almería</i>	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
<i>Ávila</i>	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
<i>Badajoz</i>	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
<i>Barcelona</i>	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
<i>Bilbao/Bilbo</i>	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
<i>Burgos</i>	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
<i>Cáceres</i>	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
<i>Cádiz</i>	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
<i>Castellón/Castelló</i>	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
<i>Ceuta</i>	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
<i>Ciudad Real</i>	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
<i>Córdoba</i>	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
<i>Cuenca</i>	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
<i>Girona</i>	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
<i>Granada</i>	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
<i>Guadalajara</i>	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
<i>Huelva</i>	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
<i>Huesca</i>	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
<i>Jaén</i>	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9

Figura 4.5 Temperatura media del agua fría de red. En Código Técnico de la Edificación (2017).

4.2.4.3 Cálculo de la energía solar aportada mensual

Teniendo en cuenta los factores:

- Localización geográfica
- Orientación e inclinación captador
- Periodo de diseño de la instalación
- Perdidas por sombras

Utilizando el software PVGIS obtenemos los siguientes datos:



Figura 4.6 Irradiación solar mensual.

Las pérdidas por sombra están relacionadas estrechamente con las horas de sol, por lo que la existencia de sombras reduce enormemente el rendimiento de la instalación.

Para una superficie en planta, la separación óptima de los paneles inclinados deberá ser tal que no genere sombras en el panel contiguo. Como es lógico la superficie de los paneles siempre será menor que la superficie en planta de la instalación.

Un colector dejará de ser rentable cuando el tiempo diario de sombras sea superior al 20%. Una pérdida del 5% se considera correcta, aunque siempre es ideal el máximo.

La óptima separación entre paneles contiguos se realiza teniendo en cuenta el ángulo de latitud, que será aproximadamente igual a la inclinación del panel con respecto a la superficie horizontal y a la longitud de este. Interviene además un factor de corrección denominado “k” cuyo valor varía entre 1 y 2, y que tiene que ver con la propia latitud del campo de paneles. Se estimarán un 7% de pérdidas de sombra.

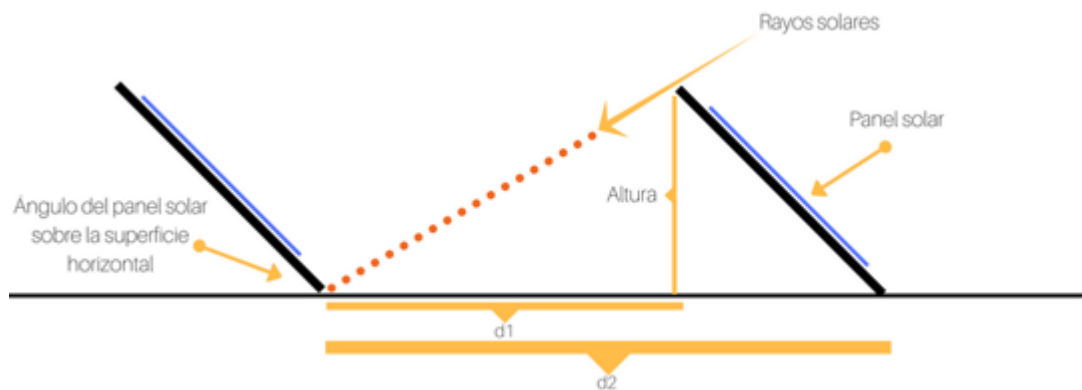


Figura 4.7 Cálculo de separación entre paneles

$$Altura = L_p \cdot \sin \alpha_i \quad (28)$$

$$d2 - d1 = L_p \cdot \cos \alpha_i \quad (29)$$

$$d1 = L_p \cdot \sin \alpha_i \cdot K_c \quad (30)$$

Donde d1 es la distancia entre la parte posterior de un panel y la delantera del contiguo, la diferencia entre d1 y d2 es la proyección en planta del panel inclinado. L_p es la longitud del colector y K_c el factor de corrección cuyo rango varía entre 1-2 (adimensional). Para el replanteo en el campo de los paneles solares es más útil determinar la distancia d2. La orientación o AZIMUT, será siempre 0°, para el caso de España. (Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares, 2013)

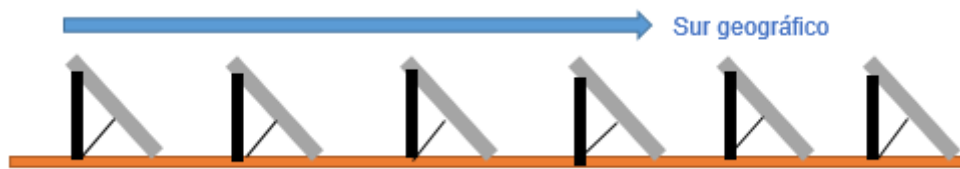
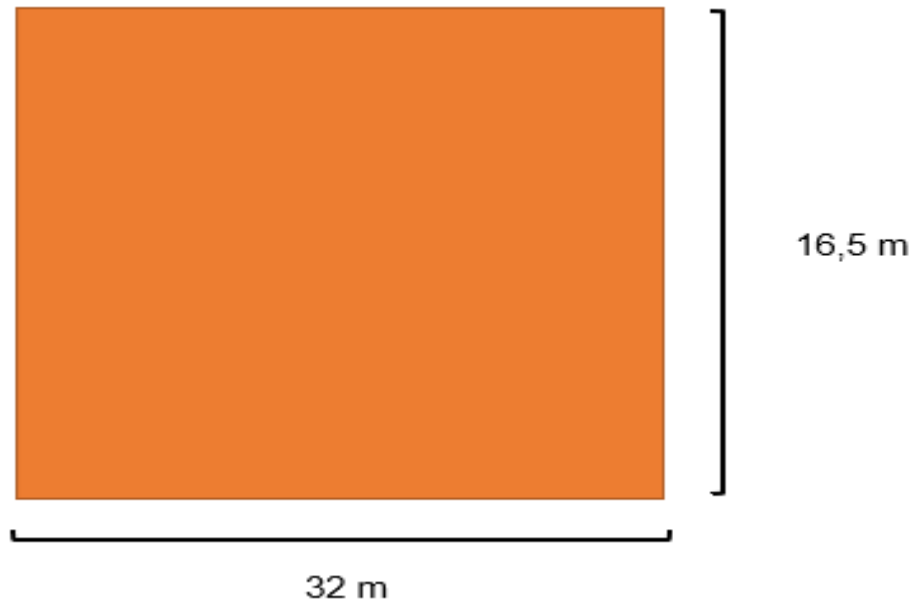


Figura 4.8 Vista en alzado del campo de colectores



e

Figura 4.9. Dimensiones del campo de colectores.

Trasladando los datos a una tabla Excel:

Tabla 47. Irradiancia por meses en la fabrica

Mes	N	H(45°)[Wh/m2/d]	% Perdidas sombras	H Mes (kWh/m2)	Angulo de inclinacion
Enero	31	3870	7	111,5721	34
Febrero	28,25	4970	7	130,574325	34
Marzo	31	5890	7	169,8087	34
Abril	30	5990	7	167,121	34
Mayo	31	6490	7	187,1067	34
Junio	30	7160	7	199,764	34
Julio	31	7530	7	217,0899	34
Agosto	31	7320	7	211,0356	34
Septiembre	30	6420	7	179,118	34
Octubre	31	5590	7	161,1597	34
Noviembre	30	4310	7	120,249	34
Diciembre	31	3820	7	110,1306	34

El ángulo de inclinación óptimo es 34°, en función de la latitud del lugar, se tomará 45° como ángulo de inclinación considerando un 7% de sombras.

4.2.4.4 Cálculo de la energía térmica demandada

De acuerdo la demanda de energía térmica para una cantidad de ACS estimada se calcula haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Q_{acs} \left[\frac{kJ}{dia} \right] = D(T) * \rho_{agua} * (T_{acs} - T_{red}) \quad (31)$$

Donde:

$\rho_{agua} = 1 \text{ Kg/L}$

$C_p = \text{Calor específico para el agua } 4,186 \text{ kJ/(kg } ^\circ\text{C)}$

$D(T) = \text{Consumo diario de ACS (L/día)}$

$T_{acs} = \text{Temperatura del agua caliente de acumulación (} ^\circ\text{C)}$

$T_{red} = \text{Temperatura del agua de red (} ^\circ\text{C)}$

$N = \text{Número de días del mes}$

Mediante una tabla Excel:

Tabla 48. Cálculo de la demanda térmica.

Mes	Nº de días	Nº depositos	l/depósito	D(T) (l/día)	% Ocupación	D(T) (l/Mes)	Tª agua (K)	Tª red (K)	Var Tª (K)	Qoleínas (kWh/Mes)
Enero	31	6	1424,47	8546,82	100	264951,42	60	8	52	16023,96749
Febrero	28,25	6	1424,47	8546,82	100	241447,665	60	9	51	14321,66946
Marzo	31	6	1424,47	8546,82	100	264951,42	60	11	49	15099,50783
Abril	30	6	1424,47	8546,82	100	256404,6	60	13	47	14016,00134
Mayo	31	6	1424,47	8546,82	100	264951,42	60	14	46	14175,04817
Junio	30	6	1424,47	8546,82	100	256404,6	60	15	45	13419,57575
Julio	31	6	1424,47	8546,82	100	264951,42	60	17	43	13250,5885
Agosto	31	6	1424,47	8546,82	100	264951,42	60	16	44	13558,74172
Septiembre	30	6	1424,47	8546,82	100	256404,6	60	14	46	13717,78855
Octubre	31	6	1424,47	8546,82	100	264951,42	60	13	47	14483,20139
Noviembre	30	6	1424,47	8546,82	100	256404,6	60	11	49	14612,42693
Diciembre	31	6	1424,47	8546,82	100	264951,42	60	8	52	16023,96749

4.2.4.4.1 Procedimiento de calculo

El instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE) propone una ecuación para el cálculo de la fracción solar aportada “f” basándose en la siguiente formula:

$$Q_u = f \cdot Q_{ACS} \quad (32)$$

(Instituto para la Diversificacion y Ahorro de la Energia)

Donde:

Qu = Energía útil captada cada mes

Qacs = Carga calorífica mensual de A.C.S

f = Fracción solar

f se calcula de la siguiente ecuación:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245(D_1)^2 + 0,0018(D_2)^2 + 0,0215(D_1)^3 \quad (33)$$

Donde:

D₁ = Energía absorbida por el captador / Carga calorífica mensual

D₂ = Energía perdida por el captador / Carga calorífica mensual

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c F T r' (\tau \alpha) R_1 N \quad (34)$$

De donde:

F'_t(Tα) = Factor adimensional, que viene dado por:

$$F'_t(T\alpha) = F_t(\tau\alpha)_n \left[\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \left(\frac{F'_t}{F_t} \right) \quad (35)$$

Donde:

- $F_t(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica (η_0) del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.
- $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (Superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).
- F'/F_T = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$Ep = S_c \cdot F'_t \cdot U_L \cdot (100 - Ta) \cdot \Delta T \cdot J1 \cdot J2 \quad (36)$$

Donde:

FtUL = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador, K1, curva de rendimiento)

Ta = Temperatura ambiente durante las horas diurnas.

Δt = Periodo de tiempo considerado (horas/mes)

J1 = Factor de corrección por almacenamiento

J2 = Factor de corrección para ACS que relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media mensual ambiente.

Sc = Superficie del captador (m²)

Para obtener la Sc, utilizamos el consumo diario, que para 6 depósitos es de 8546,82 L/día. La estimación inicial del número de colectores Sc, la superficie de colectores estimada se calcula aplicando la siguiente regla:

$$S_c = \frac{D(T)}{70 \text{ L/m}^2} = 122,1 \text{ m}^2 \quad (37)$$

Por tanto, dividimos esta área por la superficie unitaria de cada colector:

$$\text{Numero de colectores} = \frac{122,1}{2,56} = 47,7 \text{ Colectores} \quad (38)$$

Redondeando serian 48 colectores que nos dan una superficie de captación nueva de 122,88 m².

Una vez obtenidos todos esos datos:

$$\text{Cobertura solar anual} = \sum_{u=1}^{u=12} Q_u / \sum_{a=1}^{a=12} Q_{acs} \quad (39)$$

Resumiendo, en la tabla Excel:

Tabla 49. Energía útil captada cada mes

Mes	D1	D2	f
Enero	0,752989476	3,02998442	0,464668519
Febrero	0,98597862	3,17536726	0,608753003
Marzo	1,216187401	3,26523724	0,734701077
Abril	1,289467052	3,36275573	0,767366041
Mayo	1,427473814	3,1906944	0,843106254
Junio	1,609836588	3,02014504	0,931393351
Julio	1,771771885	3,07699483	0,990673712
Agosto	1,683215376	2,86057802	0,969214404
Septiembre	1,412077333	2,88605369	0,852442075
Octubre	1,203359068	3,09967426	0,736758987
Noviembre	0,889943582	3,2400029	0,545161526
Diciembre	0,74326093	2,93487035	0,463034142

Mes	Qacs(kWh/mes)	f	Qu(kWh/mes)
Enero	16023,96749	0,46466852	7445,83324
Febrero	14321,66946	0,608753	8718,359292
Marzo	15099,50783	0,73470108	11093,62467
Abril	14016,00134	0,76736604	10755,40346
Mayo	14175,04817	0,84310625	11951,07176
Junio	13419,57575	0,93139335	12498,90363
Julio	13250,5885	0,99067371	13127,0097
Agosto	13558,74172	0,9692144	13141,32777
Septiembre	13717,78855	0,85244208	11693,62014
Octubre	14483,20139	0,73675899	10670,62878
Noviembre	14612,42693	0,54516153	7966,13296
Diciembre	16023,96749	0,46303414	7419,644034

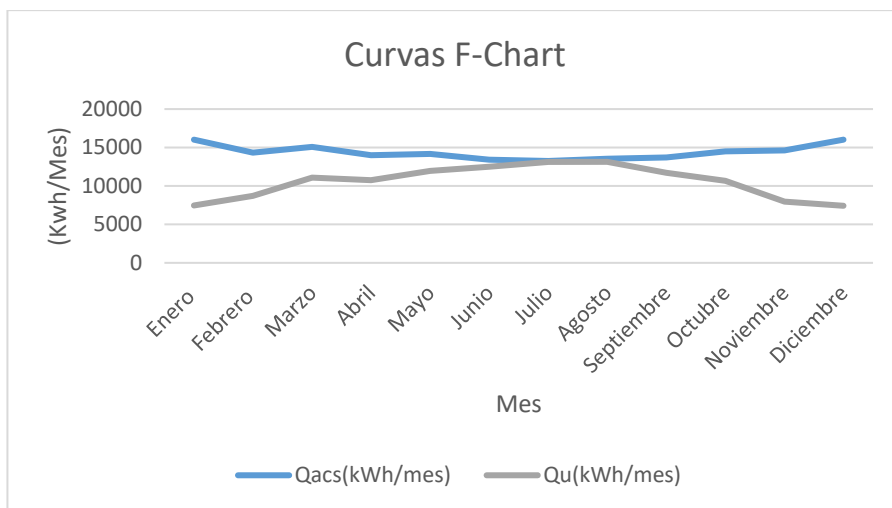


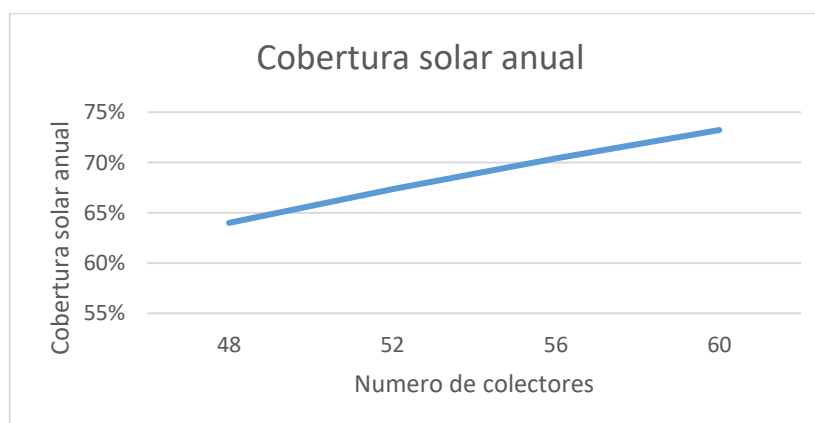
Figura 4.10. Curvas F-Chart para la instalación termosolar.

- Suma total Qacs (kWh/mes) = 172702,4846
- Suma total Qu (kWh/mes) = 110591,8497
- Cobertura solar anual = 64%

Como se aprecia, la cobertura solar anual es de un 64%. Hay que reiterar el proceso, aumentando el área de captación sumando más colectores.

Tabla 50. Cobertura solar frente a número de colectores

Superficie de captación (m ²)	Número de colectores	Qacs (kWh/mes)	Qu (kWh/mes)	Cobertura solar anual
122,88	48	172702,4846	110591,8497	64%
133,12	52	172702,4846	116305,5729	67,34%
143,36	56	172702,4846	121595,568	70,4%
153,6	60	172702,4846	126481,5594	73,23%



Una cobertura solar anual, para una situación desfavorable, mayor del 70% es un índice óptimo.

Tabla 51. Ficha técnica de la instalación termosolar

Localización	lbros
Inclinación óptima de colectores de acuerdo con el software PVGIS	34 °
Orientación (azimut)	0°
Tipo de instalación solar	Inclinación optima de colectores según PVGIS
Sistema auxiliar	Caldera actual
Tipo de demanda	Calefacción depósitos producto primario
Temperatura de diseño	40
Pérdidas por sombras	7%
Nº de colectores a instalar	60
Modelo de colector solar	Captador Termicol Familia EXCEL T25US
Superficie unitaria del colector (m²)	2,56
Superficie de captación (m²)	153,6
Volumen acumulación mínimo, D(T) (L/día)	8546,82
Cobertura solar anual mínima, f (%) (CTE sección HE4)	70%
Cobertura solar anual obtenida (f, %)	73%
Demanda anual de energía Qacs (kWh/año)	172702,4846
Aporte solar anual (kWh/año)	126481,5594
Energía auxiliar necesaria, Qaux (kWh/año)	46220,92518
Método de calculo	F - CHART

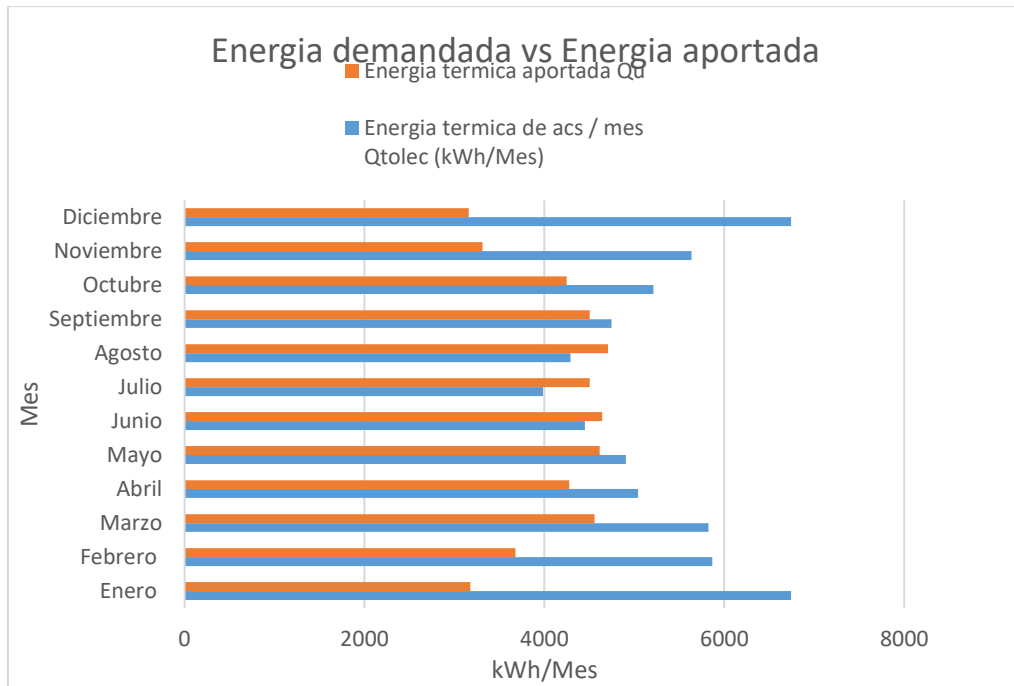


Figura 4.11 Energía aportada por la instalación termosolar

4.2.4.5 Determinación del volumen de acumulación

El volumen de acumulación debe ser acorde con la demanda de agua caliente a lo largo del día:

$$V(L) \approx D(T) \rightarrow V(L) = 75 \cdot Sc \quad (40)$$

Cumpliendo con las demás condiciones:

$$60 \leq \frac{M}{A} \leq 100 \quad (41)$$

$$0,8 \leq \frac{V}{M} \leq 1,2 \quad (42)$$

$$1,25 \leq \frac{100A}{M} \leq 2 \quad (43)$$

Donde:

- V (l) = Volumen del depósito de acumulación solar.
- A (m²) = Suma de las áreas de captadores.
- M (l/día) = Demanda de litros diaria.

Tabla 52. Parámetros para el acumulador.

Área de captación (m ²)	154
Volumen de acumulación (l/día)	10000
Demanda de litros diaria	8546,82

La solución propuesta es la adquisición de dos acumuladores satisfaciendo la mitad de los depósitos dispuestos en paralelo, cumpliendo con las condiciones previstas. Estos acumuladores tendrán una capacidad de 5000 litros cada uno por día.

4.2.5 Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos, el número de colectores necesarios para soportar la capacidad térmica exigida es de 48. El problema es que no alcanza una cobertura solar lo suficiente mente optima, aumentando el número de colectores a 60 se supera el 70% de cobertura solar anual. Lo cual se necesita una superficie de captación de 153,6 m² según el modelo de colector solar escogido.

Con un rendimiento de la cobertura solar obtenida supera en un 3,23% la cobertura solar mínima según el modelo f-chart, satisfaciendo la demanda térmica requerida.

Los cálculos se han realizado para todo el año con la situación más desfavorable para cubrir todas las necesidades, con un aporte solar anual de 126481 kWh al año, bastaría de 46220,9 kWh al año para alcanzar por completo la temperatura de diseño de los depósitos, la cual la obtendríamos de la caldera actual de biomasa.

4.2.6 Sistema de captación: Colector solar plano

4.2.6.1 El circuito primario

Requisitos principales de los componentes y materiales en el circuito primario:

- Captadores.
- Tuberías de conexión entre los captadores y tuberías entre el campo de captadores y el acumulador.
- Aislamiento térmico de las tuberías.
- Purgadores de aire.
- Equipo de seguridad (válvulas de seguridad, vaso de expansión).
- Intercambiador de calor.
- Fluido de trabajo en los captadores y las tuberías.
- Bomba de circulación y válvulas.

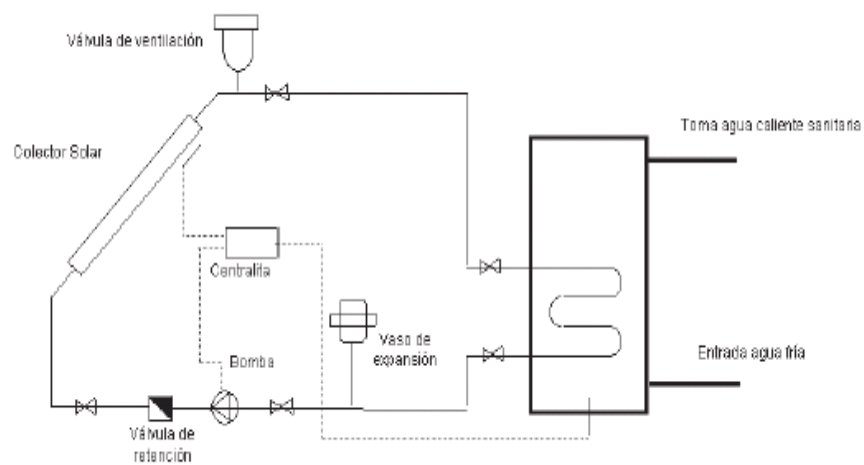


Figura 4.12 Circuito primario de una instalación termosolar

El conexionado de los captadores se pretende alcanzar un fluido uniforme a través de cada uno de ellos. De esta manera, cada captador podría operar con el mayor rendimiento, evitando que se formen zonas con un flujo muy débil o deficiente y, por lo tanto, no refrigeradas, es decir, áreas inútiles.

Conexionado en paralelo con retorno invertido, para lograr un flujo uniforme a través del sistema de calefactado.

Tuberías del circuito primario, requisitos:

- Resistencia a altas temperaturas de hasta 150 °C.
- Compatibilidad con el fluido de trabajo.
- Material con un coeficiente de dilatación pequeño y técnicas de montaje fáciles, a fin de compensar las dilataciones térmicas.
- Estabilidad de las uniones de tubos bajo condiciones térmicas y cargas mecánicas debido a la dilatación térmica.

El modo de integración del sistema será centralizado, acumulación y apoyo individual distribuidos. Instalación recomendada para centralizar el almacenamiento en los depósitos.

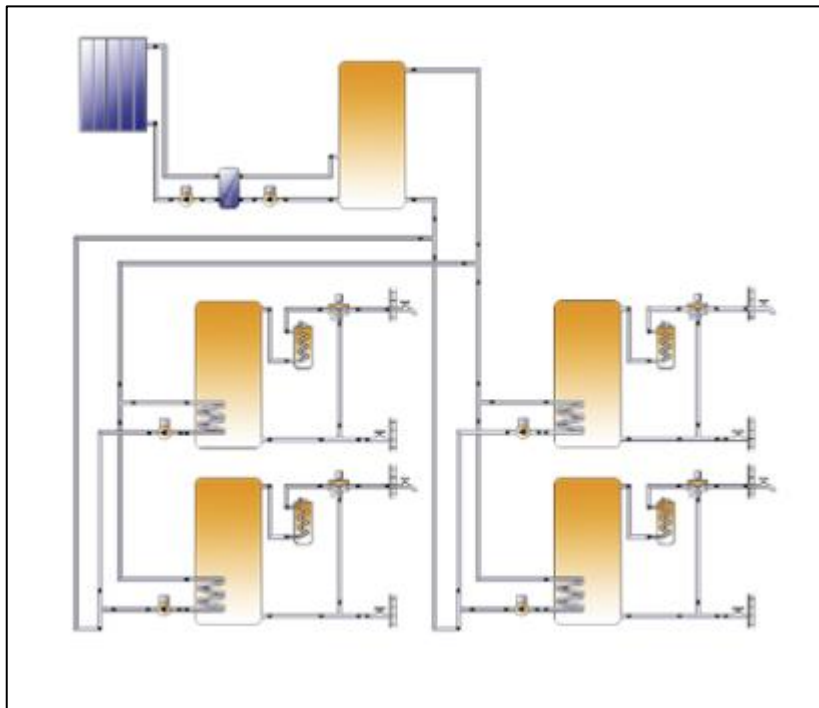


Figura 4.13 Configuración del sistema centralizado con apoyo individual distribuido

El conexionado será una conexión mixta, adecuada para grandes instalaciones, permitiendo una reducción del caudal total, uniformando el rendimiento en distintas zonas.

Para la elección del colector solar plano se ha tenido en cuenta los factores de durabilidad, rendimiento, fácil montaje y manipulación. La elección final por la empresa de fabricación de colectores TERMICOL por su experiencia en la creación de colectores solares térmicos, fiabilidad y una garantía de 15 años.

Se ha escogido captadores vidriados, generalmente son los más utilizados, cubiertos por una lámina de cristal que favorece a un efecto invernadero. Teniendo así menores pérdidas de calor y por tanto mayor rendimiento térmico.

De entre toda la gama que ofrecen, las características comunes de los colectores son:

- Vidrio solar templado de 3,2 mm de máxima transmisibilidad
- Marco de aluminio
- Aireadores estancos
- Aislamiento de lana de vidrio
- Tubos de colectores de cobre de 18 mm.
- Tubos de cobre de 8 mm.
- Lamina completa de aluminio ultra selectivo de 0,4 mm.
- Soldadura laser.

El candidato óptimo para la instalación de todos los modelos que ofrecen es el modelo de la Familia EXCEL T25US entre otras características por su rendimiento, vida útil y calidad/precio. Además de ser adecuado en instalaciones en bajo flujo y óptimos para drainback.

Este modelo presenta un marco de monocasco, caja mono pieza de aluminio, cierre con junquillos y minimiza las pérdidas energéticas.

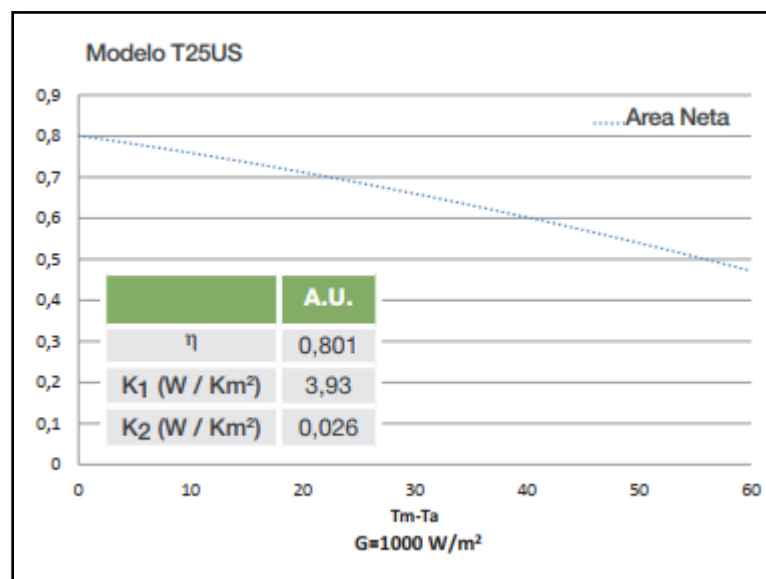


Figura 4.14 Rendimiento del colector solar EXCEL T25US

Características Técnicas

Modelos	Verticales	
	T20US	T25US
Longitud (mm)	2130	2130
Anchura (mm)	970	1200
Espesor (mm)	83	83
Área bruta (m ²)	2,1	2,5
Área útil (m ²)	1,9	2,4
Peso en vacío (kg)	35	39
Capacidad de fluido (liters)	1,02	1,27
Potencia pico (Wp)	1505	1865

Figura 4.15 Características técnicas del colector solar EXCEL T25US

4.2.6.1.1 Accesorios del circuito primario

Racores de conexión

- Racores de conexión entre captadores

Número de racores por batería						
Nº Captadores	2	3	4	5	6	n
Nº Racores	2	4	6	8	10	2n-2




Figura 4.16. Racores de conexión entre captadores

En este apartado, los diferentes accesorios escogidos en el catálogo de Termicol, para el conexionado de los colectores dispuestos en batería de seis. Cada uno cuenta con sus racores para adaptarse al circuito hidráulico.

Conexiones de adaptación (Racorbat)

- Racores de adaptación al circuito hidráulico

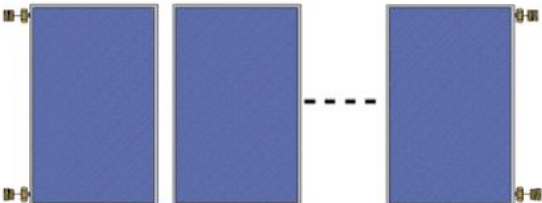


Figura 4.17. Racores de adaptación al circuito hidráulico.

Conexión batería de captadores (Batcapt)

- Elementos de conexión necesarios para la instalación de baterías de captadores
- Contiene el sistema de purga, de seguridad y de cierre necesarios para un correcto montaje de la instalación

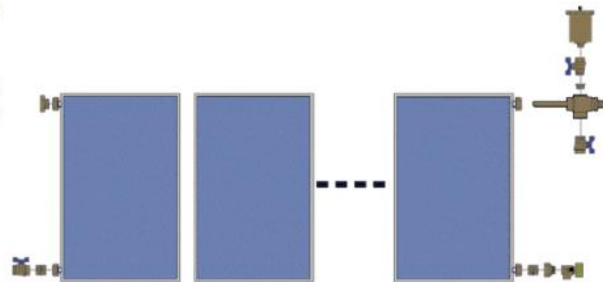


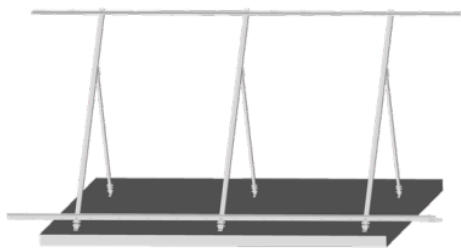
Figura 4.18 Elementos de conexión para la instalación de baterías

Para la estructura de soporte de aluminio, se escogerán, tal y como se ha dispuesto en baterías de seis, en grupos de 5 y paralelas unas a las otras. Formando dos grupos de 30 colectores y 5 baterías cada grupo.

Estructuras soporte: ALUMINIO

Cubierta Plana

- Aluminio extrusionado de alta resistencia a la corrosión
- Aptas para zonas con ambientes marinos
- Perfiles de sujeción premontados adaptables a distintas inclinaciones
- Resistentes y ligeras
- Fácil instalación



Unión de perfiles



Apoyo delantero



Unión entre baterías modulares

Captadores	Unidades	Referencia
T25US T25MS S26	1	461V21
	2	461V22
	3	461V23
	4	461V24
	5	461V25
	6	461V26

Figura 4.19. Modelo de la estructura y cubierta de los colectores.

4.2.6.2 *Circuito secundario y sistema de acumulación*

Los acumuladores cumplen la función de una batería que permite independizar el suministro de calor solar del consumo, puesto que el perfil temporal de la entrada de energía no suele corresponder con el consumo energético. El periodo de tiempo de acumulación varía entre unas pocas horas, días o en caso de acumulador estacional hasta meses, y depende en gran parte de la aplicación y la fracción solar deseada.

El objetivo que persigue es acumular la energía solar disponible de la mejor forma durante periodos de escasa demanda, para después poder suministrar esa energía de la manera más eficaz cuando se necesite.

Los requisitos que se exigen de un acumulador son los siguientes:

- Alto calor específico del medio de acumulación.
- Pérdidas térmicas bajas.
- Buena estratificación de temperaturas en el acumulador.
- Vida útil de aproximadamente 25 años.
- Bajos costes y fácil disponibilidad del medio de acumulación.
- El medio de acumulación y tanque deben poseer buenas propiedades medioambientales y de higiene.
- Debe ser capaz de soportar las presiones y temperaturas de trabajo previstas.

Conectado en serie, para gran volumen de acumulación.

El volumen de acumulación debe favorecer la estratificación del líquido evitando mezclas y circulaciones internas, así como, minimizar las pérdidas de calor. El acumulador propuesto será también de TERMICOL DE INERCIA directo el modelo ATB 5000 INS para satisfacer la demanda que veremos más adelante.

Características:

- Acumuladores de verticales de inercia de acero al carbono específicos para sistemas de calefacción
- Serpentines en acero al carbono de gran superficie de intercambio.
- 5 años de garantía



Figura 4.20 Acumulador ATB 5000 IND

Características	100	150	200	300	500	800	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Superficie de intercambio (m ²)	0,38	0,48	0,64	1,8	1,8	3,1	3,1	4,5	5,5	6,5	6,5	7,5	8,5
Peso acumulador directo (kg)	50	60	75	77	103	129	150	196	301	310	316	414	481
Peso acumulador indirecto (kg)				96	123	158	178	240	346	354	392	491	557
Presión máx. de trabajo (bar)	6												
Temperatura máxima (°C)	95												

Figura 4.21 Características del acumulador ATB 5000 INS

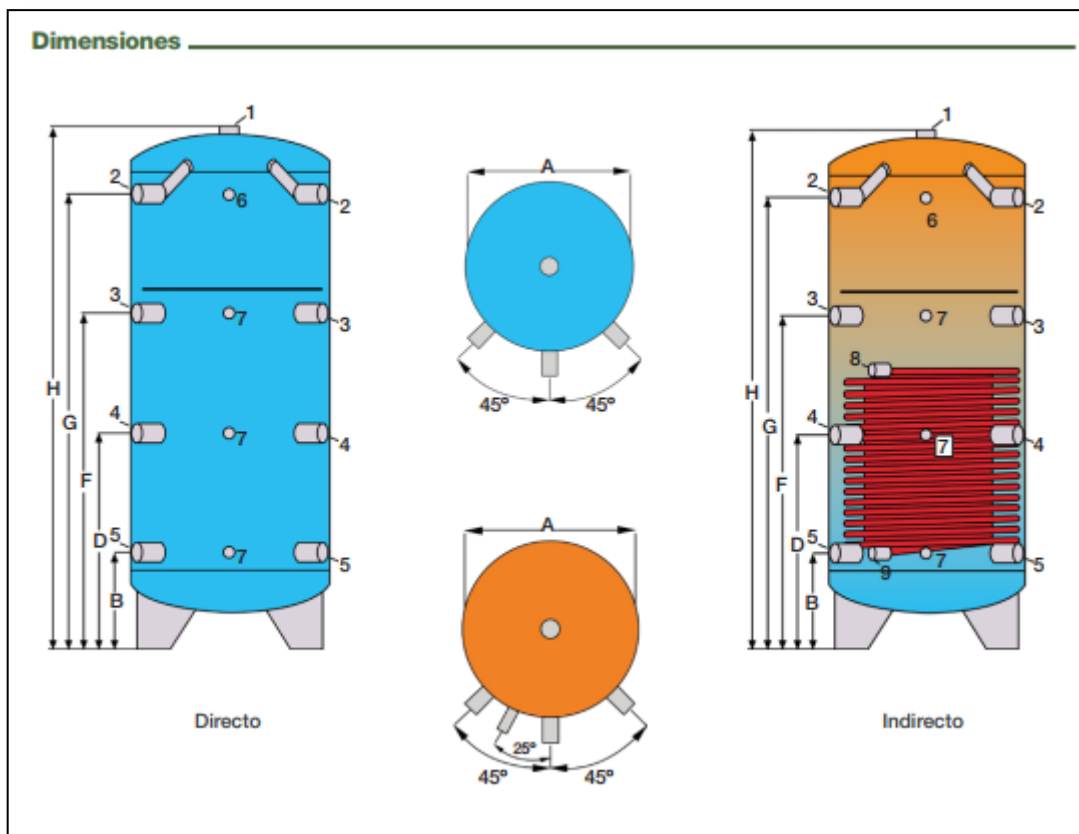


Figura 4.22 Dimensiones acumulador ATB 5000 INS

Capacidad (litros)	A	B	D	E	F	G	H	Nº	Descripción	ATB 300...5000
300	500	235	605	835	975	1345	1565	1	Respiradero	1"1/4
500	650	330	710	710	1090	1470	1695	2	Impulsión caldera	1"1/2
800	790	340	720	720	1095	1470	1725	3	Impulsión calefacción	1"1/2
1000	790	340	800	800	1260	1720	1975	4	Retorno calefacción a 50º	1"1/2
1500	1000	390	850	850	1310	1770	2090	5	Retorno calefacción a 30º	1"1/2
2000	1100	390	950	950	1510	2070	2405	6	Termómetro	1/2"
2500	1250	395	855	855	1315	1775	2145	7	Sonda	1/2"
3000	1250	390	1020	1020	1650	2280	2645	8	Impulsión energía solar	1"
4000	1500	470	1030	1030	1590	2150	2575	9	Retorno energía solar	1"
5000	1600	465	1100	1100	1730	2355	2795			

Acumuladores de Inercia con Serpentín fijo

Modelo	Capacidad (litros)	Aislamiento Exterior	Referencia	P.V.P €
ATB 150 INS	150	Poliuretano flexible con forro de PVC desmontable	603B0151	755
ATB 200 INS	200		603B0201	941
ATB 300 INS	300		603B0301	958
ATB 500 INS	500		603B0501	1197
ATB 750 INS	750		603B0801	1527
ATB 1000 INS	1000		603B1001	1796
ATB 1500 INS	1500		603B1501	2425
ATB 2000 INS	2000		603B2001	3075
ATB 2500 INS	2500		603B2501	3430
ATB 3000 INS	3000		603B3001	4400
ATB 4000 INS	4000		603B4001	5945
ATB 5000 INS	5000		603B5001	6717

Figura 4.23 Volumen acumulador ATB 5000 INS

4.2.6.3 Intercambiadores de placas termo soldados para ACS

El intercambiador de placas, con referencia 702PTACS70, fluido de trabajo propilenglicol, marca del fabricante y temperaturas dentro del rango de operación. Es importante la obtención de un aislamiento para minimizar lo máximo posible las pérdidas entre los circuitos primarios y secundarios.

Intercambiadores de placas termosoldados para ACS

Condiciones de diseño:

- Temperatura de entrada del fluido primario = 60 °C
- Temperatura de salida de fluido secundario = 50°C
- Fluido de trabajo de primario = propilenglicol 30 %
- Fluido de trabajo de secundario = agua



Área de Captación (m²)	Potencia	Tomas	Referencia	P.V.P €
28,8	6 - 15 kW	3/4"	702PTACS012	177
48	16 - 24 kW	3/4"	702PTACS020	239
84	25 - 42 kW	1"	702PTACS035	307
120	43 - 60 kW	1"	702PTACS050	359
144	61 - 72 kW	1"	702PTACS060	619
168	73 - 84 kW	1"	702PTACS070	692
216	85 - 108 kW	1"	702PTACS090	764
240	109 - 120 kW	1 1/4"	702PTACS100	884



Aislamiento hasta	Referencia	P.V.P €
48 m² de captación	702PTAIS020	255
84 m² de captación	702PTAIS035	305
144 m² de captación	702PTAIS060	317
216 m² de captación	702PTAIS090	317
240 m² de captación	702PTAIS120	400

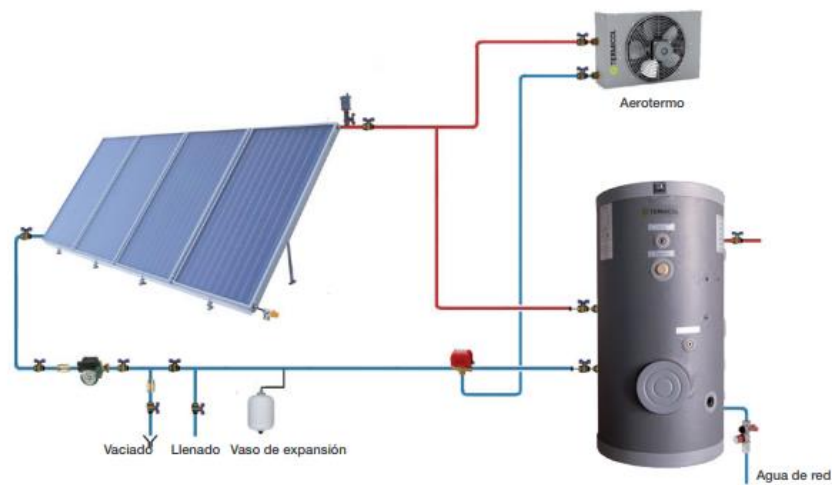
Figura 4.24 Intercambiador termosoldado

4.2.6.4 Disipador de calor para energía solar térmica

Este dispositivo, evita problemas relacionado con el sobrecalentamiento de los colectores solares, corrosiones e incrustaciones en el interior de los colectores, cavitación de electrobombas y en resumen un envejecimiento de la instalación.

Con una potencia de 106 kW, será más que suficiente para asegurar un buen mantenimiento de la instalación.

Disipadores dinámicos



Modelos



Aerotermos

Nº Captadores	Modelos Captadores	Descripción	Referencia	P.V.P €
1 - 4 1 - 5	S26, T25, S21, T20, P21	8 kW	705DI008M	525
5 - 9 6 - 12	S26, T25, S21, T20, P21	18 kW	705DI018M	588
10 - 13 13 - 16	S26, T25, S21, T20, P21	24 kW	705DI024M	702
14 - 21 17 - 26	S26, T25, S21, T20, P21	40 kW	705DI040M	1076
22 - 27 27 - 34	S26, T25, S21, T20, P21	52 kW	705DI052M	1191
28 - 32 35 - 40	S26, T25, S21, T20, P21	61 kW	705DI061M	1440
33 - 40 41 - 50	S26, T25, S21, T20, P21	76 kW	705DI076M	1586
41 - 50 51 - 70	S26, T25, S21, T20, P21	106 kW *	705DI106T	2527
51 - 80 71 - 100	S26, T25, S21, T20, P21	152 kW *	705DI152T	2943
81 - 100 101 - 125	S26, T25, S21, T20, P21	190 kW *	705DI190T	3224

*Los disipadores de 106 kW, 152 kW y 190 kW son trifásicos, el resto son monofásicos

Condiciones de diseño
 - Temperatura de entrada del fluido = 90°C
 - Temperatura de entrada del aire = 35°C
 - Fluido de trabajo propilenglicol 30 %

***Consultar con departamento técnico para modelos de más potencia y disipación


Figura 4.25 Disipadores aérotérmos dinámicos

4.2.6.5 Bombas de circulación

La bomba de circulación para el circuito primario ha sido diseñada para esta instalación termosolar con todos los componentes de Termicol. La instalación se ubicará en una zona llana, con base de hormigón libre de desniveles. Las pérdidas de carga vienen dadas por el fabricante para un diseño impuesto a un número de colectores determinado.

La bomba a seleccionar es para 30 colectores, altura máxima (m) = 7,7, una para cada grupo dispuestas en paralelo.

Para circuitos primarios: Bombas simples
For primary circuits: Simple pumps
Para os circuitos primários: Bombas simples



Referencia Reference Referência		701BP015R ¹	701BP020R ¹	701BP030R ¹	701BP040R ¹	701BP050R ¹	701BP080B ²	701BP100B ²
P.V.P € / RP € / P.V.P €		281	437	692	770	910	1.440	1.716
Nº Captadores Nº Collectors Nº Colectores	Q(m³/h)	H _{max} (m)	H _{max} (m)	H _{max} (m)	H _{max} (m)	H _{max} (m)	H _{max} (m)	H _{max} (m)
5	0,48	5,7						
10	0,96	4,8	6					
15	1,44	4	5,6					
20	1,92	3,1	4,7	6,2				
25	2,40	2,4	4	6,1	8			
30	2,88		3,2	5,8	7,7	9,6		
40	3,84			4,8	6,6	8,4	11,9	
50	4,80			4	5,5	7,1	11,1	
60	5,76				4,5	6	10,3	12
70	6,72					4,8	9,7	11,7
80	7,68						9,1	11,3
90	8,64						8,5	10,8
100	9,60						7,8	10,1

¹ Incorporan sus racores de conexión / Include their connection joints / Incorporam seus elementos de conexão
² Incorporan bridas / Include flanges / Incorporam a suas flanges

Figura 4.26 Características bomba primaria

En el circuito secundario, la recirculación del fluido frío hacia el circuito primario, se estima una pérdida de carga mayor. El mismo caso de antes, 30 colectores y altura máxima 8,1.

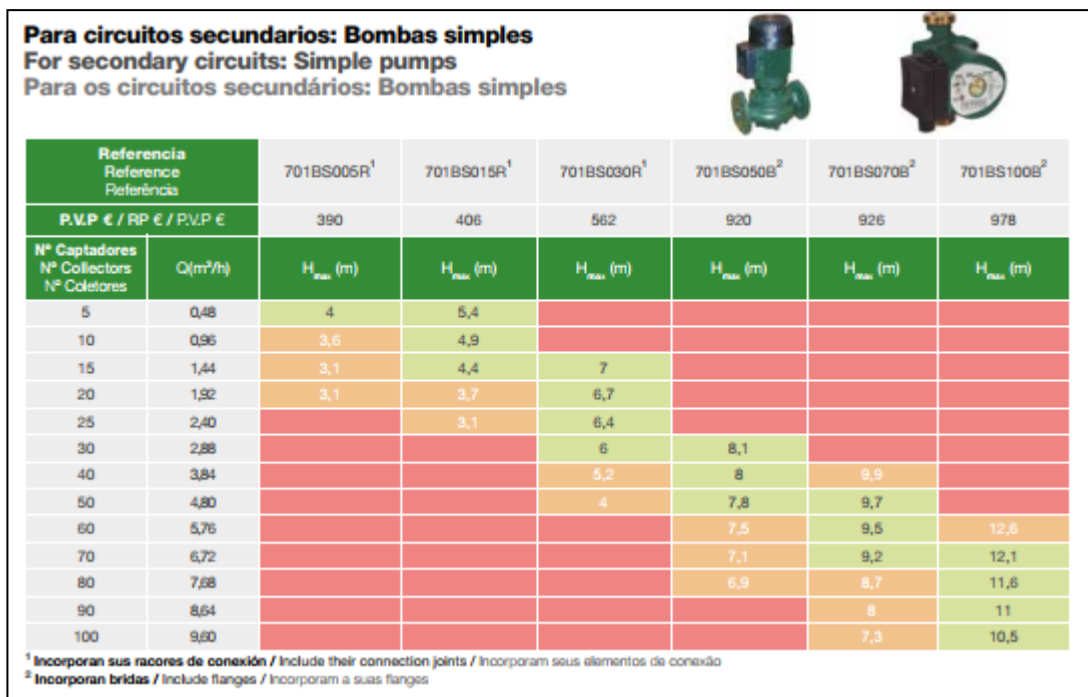


Figura 4.27 Características bomba secundaria

4.2.6.6 Accesorios de la instalación termosolar.



Figura 4.28. Válvulas mezcladoras con antirretornos

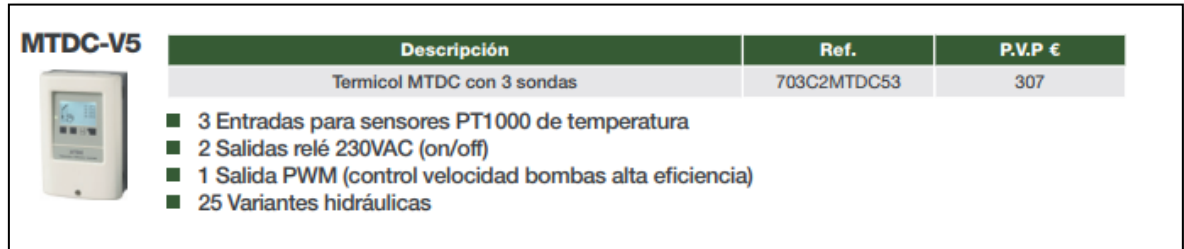


Figura 4.29. Control y sensores

Fluido Caloportador




Para circuitos primarios

Anticongelante concentrado "Fluidosol"	Referencia	P.V.P €
2 L	707CGF0002	15
5 L	707CGF0005	38
10 L	707CGF0010	75
25 L	707CGF0025	180
210 L	707CGF0210	1470
1.000 L	707CGF1000	6875

Figura 4.30. Fluido portador de calor

Sistemas de Expansión



Vasos expansión	Circuitos Primarios						ACS	
	Solares		Calefacción		Intermedios		Referencia	P.V.P €
	Referencia	P.V.P €	Referencia	P.V.P €	Referencia	P.V.P €		
5 L	—	—	708VCR005	48	708VIN005	40	—	—
8 L	708SOL008	48	708VCR008	50	708VIN008	42	708VAC008	60
12 L	708SOL012	56	708VCR012	52	708VIN012	45	708VAC011	67
18 L	708SOL018	80	708VCR018	58	708VIN018	51	708VAC018	73
25 L	708SOL025	70	708VCR025	72	708VIN024	59	708VAC024	93
35 L	708SOL035	208	708VCR035	110	708VIN035	95	708VAC035	250
50 L	708SOL050	242	708VCR050	162	708VIN050	125	708VAC050	300
80 L	708SOL080	305	708VCR080	237	—	—	708VAC080	365
100 L	708SOL100	430	708VCR100	325	708VIN100	218	708VAC100	490
140 L	—	—	708VCR140	390	—	—	708VAC150	1102
200 L	708SOL220	868	708VCR200	500	708VIN200	492	708VAC200	1352
250 L	—	—	708VCR250	570	—	—	—	—
300 L	708SOL350	1082	708VCR300	725	708VIN300	632	708VAC350	1633
400 L	—	—	708VCR400	850	—	—	—	—
500 L	708SOL500	1518	708VCR500	1373	—	—	708VAC500	2142
600 L	—	—	708VCR600	1612	—	—	—	—
700 L	708SOL700	2548	—	—	—	—	708VAC700	3286
800 L	—	—	708VCR800	2142	—	—	—	—
Set de conexión***	704SETCGB	47	704SETCGB	47	—	—	704SETCGB	47

Figura 4.31. Vaso de expansión


Válvula de equilibrado estático



Descripción	Referencia	P.V.P €
½"H kv 0,1-4,47 m³/h DN15	708EQES012H	76
¾"H kv 0,13-5,9 m³/h DN20	708EQES034H	87
1"H kv 0,17-8,52 m³/h DN25	708EQES100H	104

Figura 4.32. Válvula de equilibrado estático.

Sistemas de llenado y vaciado



Equipo digital

Nº Captadores	Descripción	Referencia	P.V.P €
6 - 15	120 L	712LLVD0120	4192
16 - 25	200 L	712LLVD0200	4418
26 - 35	300 L	712LLVD0300	4728
36 - 50	500 L	712LLVD0500	5310
51 - 120	1000 L	712LLVD0900	6087

Figura 4.33. Sistemas de llenado y vaciado

4.2.7 Esquema de la instalación termosolar

El esquema basado en el plano número 4 de los anexos:

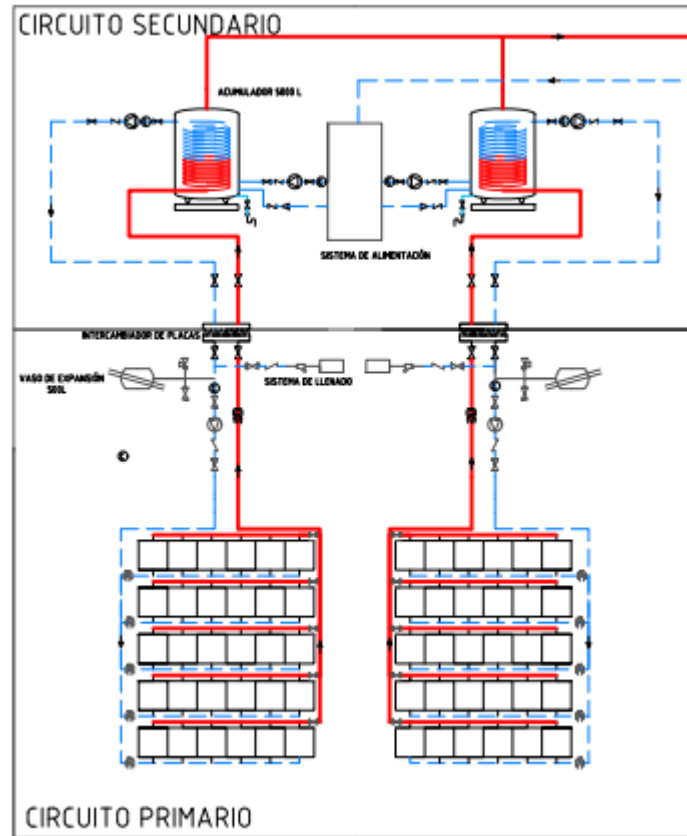


Figura 4.34 Circuitos primario y secundario de la instalación termosolar


4.2.8 Simulación instalación termosolar con CHEQ-4 software

El IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) y ASIT (la Asociación Solar de la Industria Térmica) han elaborado el CHEQ4, un programa informático con el fin de facilitar a todos los agentes participantes en el sector de la energía solar térmica de baja temperatura la aplicación, cumplimiento y evaluación de la sección HE4 incluida en la exigencia básica HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Introduciendo los datos, para la situación geográfica de RIOSA:

Provincia	Municipio	Zona climática	Latitud
Jaén	Ibros	Zona V	38° 1'

Mapa provincia



Altura municipio seleccionado (m)
595

Altura de la instalación (m)

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	9,6	8,9	8,5
Febrero	12,9	9,9	9,7
Marzo	17,8	10,9	11,8
Abril	21,8	12,9	14,1
Mayo	24,7	15,9	18,3
Junio	28,6	18,9	22,9
Julio	29,2	20,9	27,0
Agosto	25,8	20,9	26,9
Septiembre	20,5	18,9	23,4
Octubre	14,2	14,9	17,4
Noviembre	10,2	11,9	12,0
Diciembre	8,2	8,9	8,5
Promedio	18,6	14,5	16,7

Figura 4.35 Localización CHEQ4

La configuración de nuestro sistema termosolar, en el caso según CHEQ4 para industria y calefacción:



Figura 4.36 Configuración CHEQ4

Demanda, donde 70 es la relación existente entre el consumo de los depósitos de producto primario, y el consumo de personas estimado por el software:

CONSUMO ÚNICO

Aplicación

Número de personas

Demanda calculada (l/día a 60 °C) 1.470

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo B	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo C	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo D	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

CONSUMO TOTAL		OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)					
Otras demandas (l/día a 60°C)	<input type="text" value="1500"/>	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Demanda total (l/día a 60°C)	2.970	100	100	100	100	100	100
		Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
		100	100	100	100	100	100

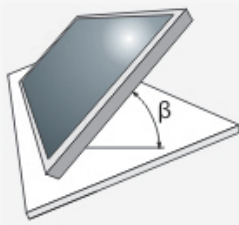
CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 60%

Caso piscina FS 70%

Figura 4.37 Demanda CHEQ4

Campo de colectores, circuitos secundarios, primario y sistema de apoyo. Utilizando los mismos datos, del método f-Chart y metiendo la longitud equivalente:


CAPTADORES		Datos de ensayo		
Empresa <input type="text" value="Termicol"/>	Marca/Modelo <input type="text" value="TERMICOL G26M"/>	Área (m2) 2,56	n0 (-) 0,731	
		a1 (W/m2K) 3,36	a2 (W/m2K2) 0,01	
		Qtest(l/hm2) 72	k50 0,93	
		Laboratorio CENER	Certificación NPS-9819	

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores
 Captadores en serie
 Pérdidas sombras (%)

Orientación (°)
 Inclinación (°)
 Área total captadores (m2) 153,60

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim.(l/h)
 Anticongelante (%)
 Long. circuito (m)


Diám. tubería (mm)
 Esp. aislante (mm)
 Aislante

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema

Tipo de combustible




Figura 4.38 Colectores solares y sistema de apoyo CHEQ4

Acumulador y sistemas de apoyo:

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN			VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES	
Volumen total (l) <input type="text" value="10000"/>			Tipo A (l) <input type="text"/>	Tipo C (l) <input type="text"/>
		Tipo B (l) <input type="text"/>	Tipo D (l) <input type="text"/>	
Vol/Área (l/m2) 65,10		Volumen total (l) 0	Vol/Área (l/m2)	
DISTRIBUCIÓN			DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES	
Long. circuito (m) <input type="text" value="900"/>			Long. total (m) <input type="text"/>	<input type="text"/>
Diám.tubería (mm) <input type="text" value="25"/>		Diám. tubería (mm) <input type="text"/>		
Esp. aislante (mm) <input type="text" value="30"/>	T. imp.(°C) <input type="text" value="60"/>	Esp. aislante (mm) <input type="text"/>		
Aislante <input type="text" value="lana de vidrio"/>		Aislante <input type="text"/>		
PISCINA CUBIERTA				
Altura (m) <input type="text"/>	Temp. ambiente (°C) <input type="text"/>			
Apertura diaria (h) <input type="text"/>	Temp. piscina (°C) <input type="text"/>			
Superficie lámina (m2) <input type="text"/>	Renov. volumen día (%) <input type="text"/>			
Humedad relativa (%) <input type="text"/>	Ocupación (pers/m2) <input type="text"/>			

Figura 4.39 Volumen de acumulación y distribución CHEQ4

Como se pueden apreciar en los resultados y la curva f-Chart, cumple con los requisitos, aunque se pierda fracción solar, un 10% de diferencia con los cálculos anteriores:

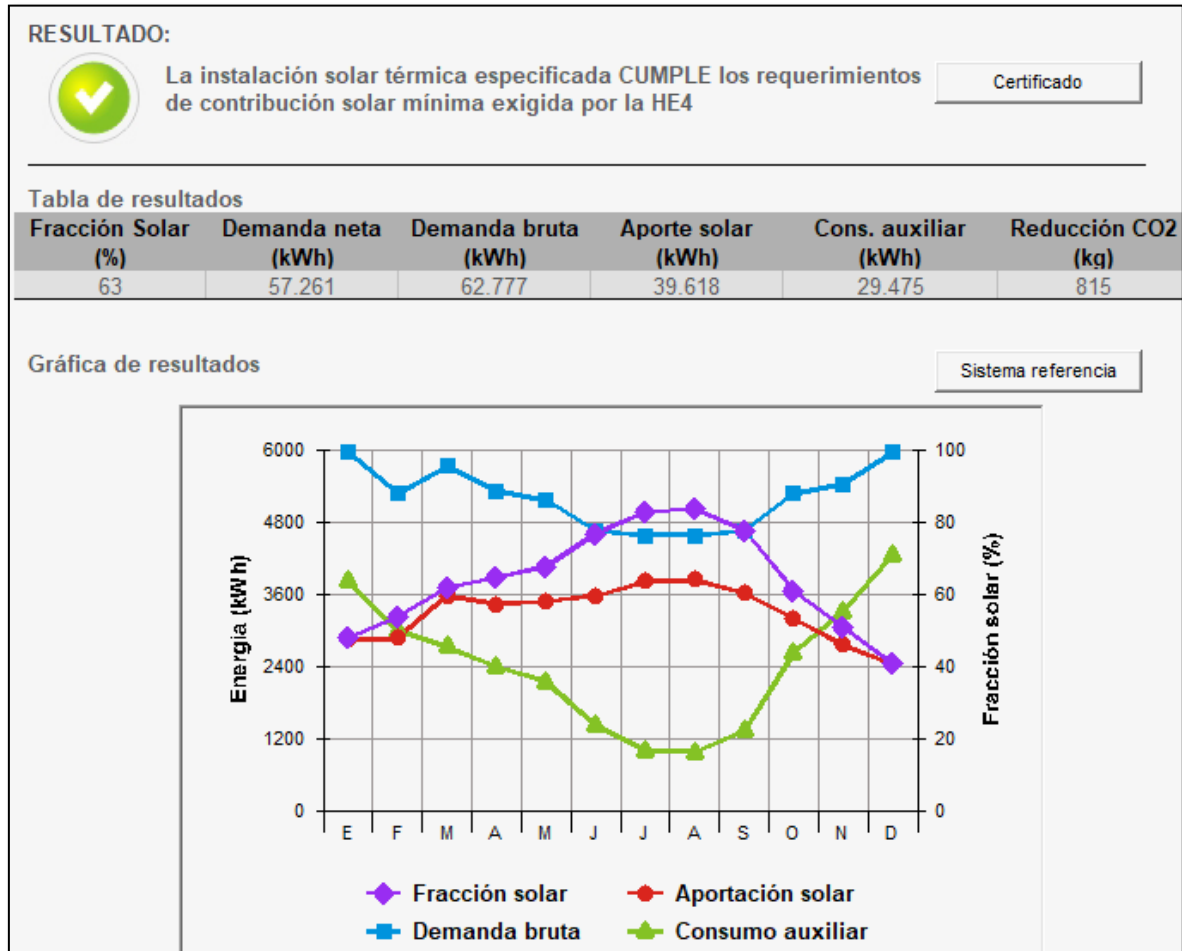


Figura 4.40 Fracción solar CHEQ4

4.3 Caldera auxiliar

Tras analizar las pérdidas de los depósitos de la “Zona 2 de almacenamiento de producto terminado” la segunda propuesta para apoyar a la caldera actual de la planta es la adquisición de una caldera auxiliar de pequeña potencia térmica capaz de satisfacer la demanda energética.

Esta propuesta tiene el mismo objetivo propuesto para la instalación termosolar, enfrentando ambas propuestas para tratar de analizar cuál de las dos será la más eficiente energéticamente y económicamente hablando.

4.3.1 *Instalación de la caldera auxiliar*

Para la instalación de la caldera auxiliar, se han estimado unas dimensiones de 5x2,5 metros para habilitar la instalación, espacio suficiente en el almacén del material y, además, cercana a la alberca de donde se colocará la bomba hidráulica de alimentación de agua caliente. Debido a la lejanía de la posición de la caldera y los depósitos se ha de tener en cuenta las pérdidas de calor en las tuberías.

El conexionado de la salida de humos de la caldera auxiliar a la chimenea de la caldera actual, provocaría una cercanía aun mayor a este edificio, aprovechando el espacio disponible y el ahorro en costo de construcción para una nueva chimenea junto con los accesorios que esta conlleva.

4.3.2 Cálculo de la potencia térmica

Para el cálculo de la potencia térmica utilizaremos los datos de los depósitos, calculados previamente con la temperatura de diseño y las propiedades de las pastas que estas contienen “2.4.2”.

Teniendo en cuenta el proceso productivo de la empresa, según la demanda que tienen como media. La carga y descarga se producen dos veces a la semana, esto junto que tanto en la carga como en la descarga las pastas deben de estar a 80 °C, nos dejan un margen de temperaturas en las que opera la caldera auxiliar de 30-50 °C.

Tabla 53. Parámetros para la potencia térmica de las pastas

Temperatura de las pastas inicial (° C)	40
Temperatura de las pastas final (° C)	55
Temperatura promedio de las pastas (° C)	40
Masa total de las pastas (Kg)	53742
Calor específico promedio de las pastas (kJ/Kg ° C)	1,853

Utilizando la siguiente formula:

$$t \cdot Q = C_p \cdot m \cdot \Delta T \quad (44)$$

Estimando un periodo determinado de 8 horas, tendríamos una potencia térmica de 51,86 kW para un depósito. Esta sería la potencia térmica teórica necesaria que debe aportar el agua en el serpentín.

4.3.3 Cálculo del coeficiente de película del agua

Teniendo una referencia de la potencia térmica necesaria para aportar a las pastas por medio del agua, hay que establecer los parámetros de este sistema. Debido a la semejanza de este problema con el apartado 3.2, se van a seguir los mismos pasos hasta alcanzar la solución. En primer lugar, se halla el flujo masico necesario para aplicar tal potencia térmica: Sustituyendo en (17)

Tabla 54. Propiedades del agua de intercambio en el serpentín a las condiciones propuestas.

Temperatura media de agua de entrada (K)	335,5
Temperatura de superficie interior (K)	334
Temperatura promedio (K)	334,75
Diámetro interior del serpentín (m)	0,033
Diametro exterior del serpentín (m)	0,035
Longitud del serpentín (m)	94,6
Flujo masico (kg/s)	0,33
Tasa de calor necesaria (W)	51866,62
Viscosidad dinámica (kg/m·s)	$455 \cdot 10^{-4}$
Conductividad térmica (W/m·s)	0,6557
Calor específico (kJ/kgK)	4,1859
Prandtl	2,8935

Utilizando la ecuación de Reynolds (18), al ser un flujo interno de convección forzada a elevado caudal, tenemos un régimen turbulento y sin cambio de fase. Se utiliza entonces las correlaciones de Dittus-Boelter:

$$Nu_D = 0,023 \cdot Re_D^{4/5} \cdot Pr^n. \quad (45)$$

Donde $n=0.3$ al ser para enfriamientos, despejando en la ecuación para obtener el coeficiente de película obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 55. Resultado del coeficiente de película provisional del agua

Número de Reynolds	27995,59
Número de Nusselt	114,24
Coeficiente de película del agua (W/m ² ·K)	2269,95

4.3.4 Cálculo del coeficiente de película del aceite

Para la misma temperatura de superficie, se hallará el coeficiente de película del aceite alrededor del serpentín y posteriormente ajustar la temperatura de superficie propuesta.

Tabla 56. Distribución de temperaturas del aceite en la superficie interior.

Temperatura del aceite (K)	313
Temperatura superficie interior (K)	334
Temperatura promedio (K)	323,5

Con esta temperatura promedio, las propiedades del aceite son:

Tabla 57. Propiedades del aceite.

Viscosidad cinemática (m ² /s)	$3,343 \cdot 10^{-5}$
Conductividad térmica (W/m·K)	0,1708
Difusividad térmica (m ² /s)	$1,0043 \cdot 10^{-7}$
Coefficiente de temperatura de la conductividad térmica (K ⁻¹)	$3,091 \cdot 10^{-3}$
Calor específico a presión constante (J/g·K)	1,915

Utilizando las ecuaciones de Rayleigh y Nusselt para esta correlación, igual que en el apartado 3.2.2, las soluciones son:

Tabla 58. Resultado del coeficiente provisional del aceite

Número de Rayleigh	$6,67 \cdot 10^6$
Número de Nusselt	24,48
Coefficiente de película del aceite (W/m ² ·K)	126,75

4.3.5 Potencia térmica de la caldera auxiliar

Siguiendo los mismos pasos que en el apartado, sacamos la siguiente tabla:

Tabla 59. Proceso iterativo para la superficie interior.

Iteración	Tª Superficie interior (K)	Flujo de calor proporcionado por el agua (W/m²)	Flujo de calor proporcionado por el aceite (W/m²)
1	334	3404,93	2661,79
2	334,5	2275	2745,28
3	334,2	2953,57	2695,104
4	334,3	2727,59	2711,80

Tras la cuarta iteración, la temperatura de superficie queda ajustada a 334,3K. Los nuevos coeficientes de película son:

Tabla 60. Coeficientes de película.

Coeficiente de película del agua (W/m²·K)	2269,95
Coeficiente de película del aceite (W/m²·K)	126,75

Por último, se aplicará la correlación para un coeficiente de película del agua medio, y se obtendrá el parámetro para resolver la temperatura de salida del flujo de agua.

Tabla 61. Potencia térmica para la caldera auxiliar.

Coeficiente global de transmisión de calor (W/m²·K)	120,56
Diferencia media de temperatura logarítmica (K)	43,86
Calor aportado a las pastas (W)	51866,62
Temperatura de entrada del flujo de agua (K)	353
Temperatura de salida del flujo de agua (K)	319,2
Temperatura de las pastas (K)	313
Flujo masico del agua (kg/s)	0.33

Como se necesita agua a 70-80 °C de funcionalidad y una potencia térmica de 51,86 W que para 6 depósitos sumaría un total de 311,16 kW. La potencia térmica de la caldera a escoger es de 500 kW para posibles ampliaciones y mayor capacidad.

4.3.6 Elección de caldera auxiliar

Tras una investigación en el mercado de calderas de biomasa de pequeña potencia térmica, he escogido a la empresa Ferroli, recomendada por los técnicos de RIOSA. Dedicada en parte a la fabricación de calderas de biomasa para uso industrial, continuos desarrollos en investigación, experiencia en el mercado de 50 años y un servicio de asistencia técnica la abalan como una elección más que óptima.

Además del asesoramiento de un equipo de ingenieros especializados de preventa que han facilitado la resolución a este problema.



MODELOS 130 - 4100
(cuadro eléctrico no incluido)

La instalación de las calderas es sencilla, así como, su utilización y mantenimiento. Diseñadas para inspecciones y limpiezas periódicas.

Figura 4.41 Caldera Ares de biomasa de agua caliente.

La puesta en servicio es incluida en modelos de hasta 400 kW, estos conceptos que están incluidos en la Puesta en Servicio son la mano de obra necesaria para poner en servicio la caldera en un periodo de tiempo máximo de 6 horas, a una distancia máxima desde núcleo urbano no superior a 20 Km en poblaciones superiores a 30.000 habitantes.

El modelo en cuestión, para una potencia térmica de 500 kW es el ARES 500:

GAMA ARES - Calderas de biomasa de agua caliente						
	PRODUCTO	POTENCIA ÚTIL (kW)	RENDIMIENTO (%)	VOLUMEN TOLVA INCORPORADA (L)	PRECIO (€)	
1D3000607	ARES 60	60	88,5	190	9.360	
1D3000807	ARES 80	80	88,6	190	10.444	
1D3001007	ARES 100	100	90,0	190	11.950	
1D3001307	ARES 130	130	90,1	500	17.630	
1D3001807	ARES 180	180	90,1	500	21.717	
1D3002307	ARES 230	230	90,1	500	25.716	
1D3003007	ARES 300	300	90,2	1.050	35.494	
1D3004007	ARES 400	400	> 89	1.050	43.873	
1D3005007	ARES 500	500	> 89	1.050	51.299	
1D3006507	ARES 650	650	> 97,4	1.350	64.879	
1D3008007	ARES 800	800	> 97,4	1.350	75.396	
1D3009507	ARES 950	950	> 97,4	1.350	85.914	
1D3013007	ARES 1300	1300	> 96,8	1.800	101.984	
1D3016507	ARES 1650	1650	> 96,8	1.800	116.134	
1D3020007	ARES 2000	2000	> 96,8	1.800	130.285	
1D3027007	ARES 2700	2700	> 89	3.800	171.184	
1D3034007	ARES 3400	3400	> 89	3.800	205.637	
1D3041007	ARES 4100	4100	> 89	3.800	239.944	

* Puesta en servicio incluida en modelos de hasta 400 kW *Los conceptos incluidos en la Puesta en Servicio son la mano de obra necesaria para poner en servicio la caldera en un periodo máximo de 6 horas, a una distancia máxima desde núcleo urbano no superior a 20 Km en poblaciones superiores a 30.000 habitantes.

Figura 4.42 Caldera de biomasa gama ARES 500 kW

4.3.6.1 Datos técnicos

MODELOS		ARES 130	ARES 180	ARES 230	ARES 300	ARES 400	ARES 500	
Potencia nominal útil	kW	130	180	230	300	400	500	
Potencia quemada	kW	144,3	199,8	255,3	332,6	444	554	
Rendimiento térmico	%	90,1			90,2	> 89		
Presión máxima de trabajo	bar						3	
Presión de prueba hidráulica	bar						4,5	
Temperatura máxima de trabajo	°C						90	
Tensión	V						400 (50-60 Hz)	
Potencia eléctrica consumida (sin opcionales)	kWh	1,04			2,4			
Consumo combustible a régimen	Kg./h	29,4	40,8	52,1	67,9	90,6	113,1	
Volumen tolva	dm ³	500			1050			
Autonomía tolva (consumo de régimen)	h/min	11 h	8 h	6 h	10 h	7 h 30'	6 h	
Pérdida de carga en agua (10°C)	mbar	141	196	250	326	355	384	
Pérdida de carga en agua (20°C)	mbar	80	110	140	184	203	221	
Temperatura mínima activación bomba	°C						40	
Contenido agua caldera	L	450	580	740	1.015	1.250	1.485	
Temperatura media humos (con caldera limpia)	°C						180 (±20%)	
Depresión chimenea requerida	Pa						-20 (±30%)	
Diámetro chimenea	mm	300			350			
Caudal medio humos (al 10% O ₂)	Nm ³ /h	300	450	600	750	1.000	1.250	
Volumen cámara de combustión	dm ³	350	467	584	800	996	1.195	
Dimensión de apertura cámara de combustión L x H	mm	730 x 460			850 x 670			
Caudal válvula descarga térmica del disparador	L/h	590			1490			
Peso caldera vacía (tolerancia ± 5%)	Kg	1.400	1.700	1.900	3.200	3.600	4.000	

Figura 4.43 Datos técnicos de la gama ARES 130-500 kW.

- Gama de potencias disponibles entre 60 kW y 4.100 kW con 3 pasos de humos.
- Cuerpo de caldera en acero con quemador de hierro fundido por floración con sistema de alimentación mecánico.
- Presión máxima de trabajo: 3 bar (posible fabricación especial a 6 bar).
- Puerta de caldera aislada para inspección y limpieza de caldera.
- Con tolva de alimentación de combustible de entre 190 litros y 3.800 litros en función de la potencia de la caldera.
- Con la posibilidad de tener la tolva a la derecha o a la izquierda de la caldera en modelos de hasta 100 kW (indicándolo a la hora de realizar el pedido).
- Con sinfín para el transporte de combustible con velocidad variable.
- Con control tanto de aire primario como secundario.
- Con rendimiento de hasta el 97,4 %.
- Calderas clasificadas CLASE 3 (UNE EN 303).
- Múltiples accesorios para poder adaptarnos a cualquier necesidad de instalación.



Figura 4.44. Tipos de combustible.

4.3.6.2 Dimensiones y conexiones calderas ARES 130 a 950 kW

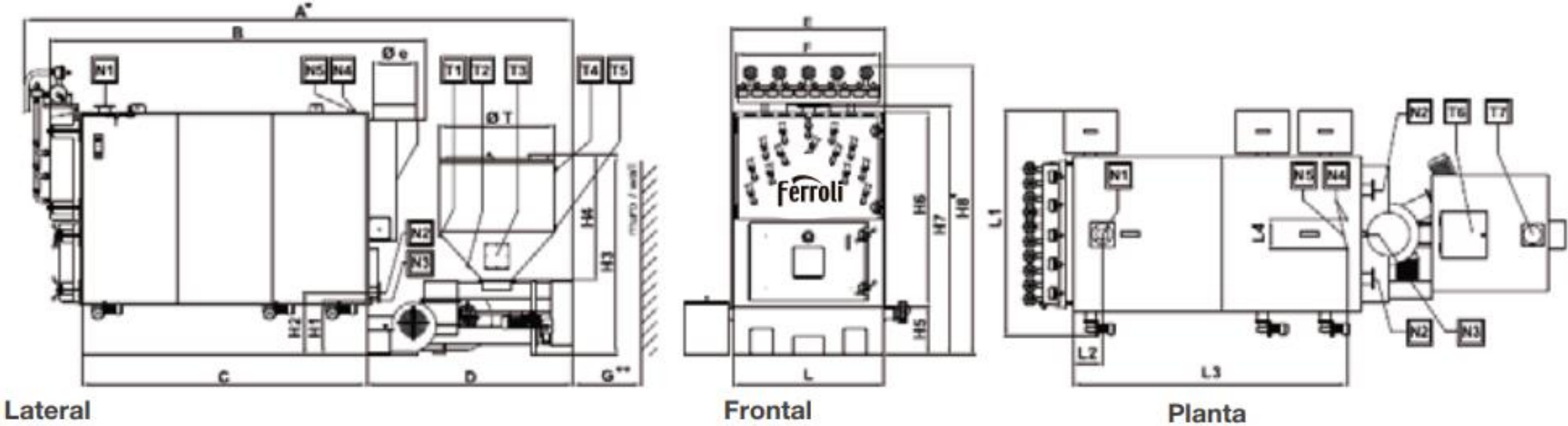


Figura 4.45 Vistas de la caldera ARES 130 a 950 kW

CÓDIGO	DIMENSIONES	ARES 130	ARES 180	ARES 230	ARES 300	ARES 400	ARES 500	ARES 650	ARES 800	ARES 950
A*	mm		3.400			4.450			5.750	
B	mm	1.600	1.900	2.200	2.200	2.550	2.900	3.050	3.500	3.950
C	mm	950	1.250	1.550	1.450	1.800	2.150	2.050	2.500	2.950
D	mm	1.820	1.520	1.220	2.250	2.200	1.850	3.050	2.600	2.150
E	mm		1.000			1.300			1.600	
F	mm		900			1.200			1.500	
G**	mm		2.000			3.100			4.100	
H1	mm		380			490			550	
H2	mm		440			560			640	
H3	mm		1.700			1.970			2.100	
H4	mm		1.110			1.170			1.250	
H5	mm		340			450			500	
H6			1.330			1.700			2.000	
H7	DN		1.740			2.250			2.600	
H8*	DN		1.900			2.400			3.000	
L			950			1.270			1.560	
L1	mm		1.650			2.000			2.350	
L2	DN		150			200			300	
L3	mm	880	1.180	1.480	1.330	1.680	2.030	1.940	2.390	2.840
L4	DN		290			300			300	
T			750			1.100			1.200	
Ø			300			350			450	

G**: distancia mínima necesaria para extraer el sinfín de alimentación (consultar manual de uso y mantenimiento).

A* y H8*: Incluyen la instalación de kit de limpieza neumática (opcional).

Figura 4.46 Dimensiones de la caldera ARES 300 kW.

Conexiones de servicio				
POS	DESCRIPCIÓN	TIPO	Uds.	DIMENSIÓN
T1	Toma conexión válvula anti-incendio	Toma	ISO7/1 -DN	20
T2	Conexión sonda anti-incendio	Manguito	ISO7/1 -DN	15
T3	Boca de inspección	Boca cuadrada	mm	300X300
T4	Predisposición para sonda de nivel máx. (opcional)	Tubo+brida	mm	480X480
T5	Predisposición carga automática del combustible	Boca cuadrada	mm	50
T6	Boca para carga manual	Hueco	mm	50
T7	Predisposición para sonda de nivel mín. (opcional)	Hueco	mm	Ø190 (Ares 130-500) Ø220 (Ares 550-950)

Conexiones de hidráulicas							
POS	DESCRIPCIÓN	TIPO	Uds.	ARES 130-230	ARES 300-500	Uds.	ARES 650-950
N1	Ida	Brida UNI 2276-67	1	DN 65	DN 80	1	DN 100
N2	Retorno	Brida UNI 2276-67	1	DN 65	DN 80	1	DN 100
N3	Descarga	Manguito	1	DN 40	DN 40	1	DN 100
N4	Entrada/salida disipador de calor	Toma	2	DN25	DN25	2	DN 25
N5	Toma sonda disipador de calor	Manguito	1	DN15	DN15	1	DN 15

4.3.6.3 Accesorios de la caldera auxiliar gama ARES

	CÓDIGO	PRODUCTO	OBSERVACIONES/PRESTACIONES	VÁLIDO PARA	PRECIO (€)
	C41016550	Panel de control electrónico F 1	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama,	ARES 60-100	967
	C41016560	Panel de control electrónico F 2	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama Sonda lambda,	ARES 60-100	2.344
	C41016570	Panel de control electromecánico F 3	Mantenimiento de quemador encendido	ARES 130-500	5.859
	C41016580	Panel de control electromecánico F 4	Mantenimiento de quemador encendido	ARES 650-2000	8.057
	C41016590	Panel de control electromecánico F 5	Mantenimiento de quemador encendido	ARES 2700-4100	11.719
	C41016600	Panel de control electrónico F 6	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama, Predisposición para telecontrol	ARES 130-500	9.522
	C41016610	Panel de control electrónico F 7	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama, Predisposición para telecontrol	ARES 650-2000	13.916
	C41016620	Panel de control electrónico F 8	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama, Predisposición para telecontrol	ARES 2700-4100	21.973
	C41016630	Panel de control electrónico F 9	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama, Predisposición para telecontrol Sonda lambda	ARES 130-500	11.719
	C41016640	Panel de control electrónico F 10	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama, Predisposición para telecontrol Sonda lambda	ARES 650-2000	16.846
	C41016650	Panel de control electrónico F 11	Encendido automático, Mantenimiento de quemador encendido, Modulación llama, Predisposición para telecontrol Sonda lambda	ARES 2700-4100	24.903
	C41016660	Extractor de limpieza de cenizas automático	Eficiencia de limpieza 60 - 70% Numero maximo de extractores posibles: 2 Precio indicado de extractor unitario	ARES 60-100	1.318
	C41016670	Extractor de limpieza de cenizas automático	Eficiencia de limpieza 60 - 70% Numero maximo de extractores posibles: modelo 130: 1 modelos 180 y 230: 2 Precio indicado de extractor unitario	ARES 130-230	2.197
	C41016680	Extractor de limpieza de cenizas automático	Eficiencia de limpieza 60 - 70% Numero maximo de extractores posibles: 2 Precio indicado de extractor unitario	ARES 300-500	2.783
	C41016690	Extractor de limpieza de cenizas automático	Eficiencia de limpieza 60 - 70% Numero maximo de extractores posibles: modelos 650 y 800: 2 modelo 950: 3 Precio indicado de extractor unitario	ARES 650-950	3.149
	C41016700	Extractor de limpieza de cenizas automático	Eficiencia de limpieza 60 - 70% Numero maximo de extractores posibles: modelo 1300: 2 modelos 1650 y 2000: 3 Precio indicado de extractor unitario	ARES 1300-2000	3.516
	C41016710	Extractor de limpieza de cenizas automático	Eficiencia de limpieza 60 - 70% Numero maximo de extractores posibles: 3 Precio indicado de extractor unitario	ARES 2700-4100	4.395

Figura 4.47 Accesorios de la caldera ARES

	CÓDIGO	PRODUCTO	OBSERVACIONES/PRESTACIONES	VÁLIDO PARA	PRECIO (€)
	C41016720	Panel refractario cámara de combustión	Recomendado para utilización de combustibles humedos	ARES 60-100	732
	C41016730			ARES 130-230	1.377
	C41016740			ARES 300-500	2.607
	C41016750			ARES 650-950	4.307
	C41016760			ARES 1300-2000	9.668
	C41016770			ARES 2700-4100	18.311
	C41016780	Turbuladores	Con su uso conseguimos una importante ganancia de rendimiento. Se recomienda su uso siempre que: - dispongamos de multiciclón (debido a la mayor pérdida de carga generada). - Se disponga de limpieza neumatica (o se asegure un buen mantenimiento de alguna otra forma).	ARES 60	205
	C41016790			ARES 80	278
	C41016800			ARES 100	322
	C41016810			ARES 130	630
	C41016820			ARES 180	820
	C41016830			ARES 230	996
	C41016840			ARES 300	1.187
	C41016850			ARES 400	1.450
	C41016860			ARES 500	1.729
	C41016870			ARES 650	2.725
	C41016880			ARES 800	3.296
	C41016890			ARES 950	3.926
	C41016900			ARES 1300	6.094
	C41016910			ARES 1650	7.090
C41016920	ARES 2000	8.086			
C41016930	ARES 2700	10.693			
C41016940	ARES 3400	12.451			
C41016950	ARES 4100	14.209			
	C41016960	Tornillo sinfin de carga para alimentacion de combustible	Valido para combustibles: Pellet y Hueso de aceituna. Con cuadro de control y sondas de nivel. Longitud: 3 m	ARES 60-100	2.022
	C41016970		Valido para combustibles: Pellet y Hueso de aceituna. Con cuadro de control y sondas de nivel. Longitud: 6 m	ARES 130-500	3.955
	C41016980		Valido para combustibles: Pellet y Hueso de aceituna. Con cuadro de control y sondas de nivel. Longitud: 6 m	ARES 650 - 2000	4.395
	C41016990		Valido para combustibles: Pellet y Hueso de aceituna. Con cuadro de control y sondas de nivel. Longitud: 6 m	ARES 2700 - 4100	5.859
	C41017000	Válvula hidrica	Elemento de seguridad de antincendio en tolva (por retroceso de T ³ , provoca entrada de agua de red o de depósito superior)	GAMA ARES	366
	C41017010	Válvula de estrella	Elemento de seguridad de antincendio en tolva (clapeta de cierre en alimentador que impide retroceso de llama a tolva)	ARES 60-100	615
	C41017020			ARES 130-230	1.904
	C41017030			ARES 300-2000	2.490
	C41017040			ARES 2700-4100	3.662
	C41017050	Sistema limpieza neumatica pasos de humos	Limpieza neumatica de los pasos de humos a base de golpes de aire. Compresor de aire no suministrado.	ARES 60-100	1.758
	C41017060			ARES 130-230	6.445
	C41017070			ARES 300-500	9.375
	C41017080			ARES 650-950	14.649
	C41017090			ARES 1300-2000	23.438
	C41017100			ARES 2700-4100	41.016
	C41017110	Multiciclón	Elemento para realizar una depuracion de ceniza por decantacion. Asegura la depresion necesaria en caldera para un correcto funcionamiento de la misma, mejorando la combustion y asegurando el obtener la potencia maxima de diseño de caldera. Recomendable en toda la gama, y sobre todo en potencias igual o superior a 130 kW	ARES 60-100	5.273
	C41017120			ARES 130-230	9.229
	C41017130			ARES 300-500	14.458
	C41017140			ARES 650-950	20.303
	C41017150			ARES 1300-2000	27.686
	C41017160			ARES 2700-4100	48.340

Figura 4.48 Accesorios 2 de la caldera de la gama ARES

4.3.7 Investigación de mercado para el combustible

Se va a realizar un estudio comparativo en el cual se enfrentarán los diferentes combustibles en el mercado actual y con diferentes tipos de caldera. Para llevar a cabo este estudio es necesario saber las horas de funcionamiento, poder calorífico inferior de cada uno de los combustibles, coste de la caldera junto con accesorios y teniendo en cuenta las subvenciones que propone la junta de Andalucía para calderas de biomasa.

Tabla 62. Comparativa de calderas

Combustible/Biomasa	Rendimiento de caldera (%)	PCI Combustible (kJ/kg)	Precio de mercado actual (2018) (€)
Gas natural	91,1	40185,6	0,105 €/kWh
Gasóleo de calefacción	91,1	42571,62	1,094 €/ton
Pellets a granel (<15% H)	92	18079,334	235 €/ton
Hueso de aceituna seco a granel (15 % de humedad)	92	16157,96	165,09 €/ton
Astillas de pino triturada (<20% humedad)	88	15103,088	108,31 €/ton
Orujo y cascaras de almendra	85	17083,4	91,5 €/ton

Tabla 63. Comparativa de combustibles.

Combustible	Coste total de inversión. Costes fijos (€)	Coste de mantenimiento (€)
Gas natural	121,22	5
Gasóleo de calefacción	125,71	5,8
Pellet	350	10,2
Hueso de aceituna	350	10,2
Astilla de madera	370	10,2
Orujo y cascaras de almendra	320	8

Tabla 64. Comparativa de previsión de costes de inversión por calderas.

		GASOLEO DE CALEFACCION									
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costes fijos	Coste inversion inicial	10056,8									
	Subvencion	0									
	inversion final	10056,8									
Variables	Coste COMBUSTIBLE	9614,23087	10094,9424	10599,6895	11129,674	11686,1577	12270,4656	12883,9889	13528,1883	14204,5977	14914,8276
	Coste mantenimiento	464	468,64	473,3264	478,059664	482,840261	487,668663	492,54535	497,470803	502,445511	507,469967
Balance acumulado		20135,0309	30698,6133	41771,6292	53379,3629	65548,3609	78306,4951	91683,0294	105708,689	120415,732	135838,029

		GAS NATURAL									
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costes fijos	Coste inversion inicial	9697,6									
	Subvencion	0									
	inversion final	9697,6									
Variables	Coste COMBUSTIBLE	9220,63666	9681,6685	10165,7519	10674,0395	11207,7415	11768,1286	12356,535	12974,3617	13623,0798	14304,2338
	Coste mantenimiento	400	404	408,04	412,1204	416,241604	420,40402	424,60806	428,854141	433,142682	437,474109
Balance acumulado		19318,2367	29403,9052	39977,6971	51063,857	62687,8401	74876,3727	87657,5157	101060,732	115116,954	129858,662

		PELLET									
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costes fijos	Coste inversion inicial	28000									
	Subvencion	7000									
	inversion final	21000									
Variables	Coste COMBUSTIBLE	4069,02253	4130,05787	4192,00874	4254,88887	4318,7122	4383,49288	4449,24528	4515,98396	4583,72372	4652,47957
	Coste mantenimiento	816	824,16	832,4016	840,725616	849,132872	857,624201	866,200443	874,862447	883,611072	892,447183
Balance acumulado		25885,0225	30839,2404	35863,6507	40959,2652	46127,1103	51368,2274	56683,6731	62074,5195	67541,8543	73086,781

		HUESO DE ACEITUNA									
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costes fijos	Coste inversion inicial	28000									
	Subvencion	7000									
	inversion final	21000									
Variables	Coste COMBUSTIBLE	3198,44509	3246,42177	3295,11809	3344,54486	3394,71304	3445,63373	3497,31824	3549,77801	3603,02468	3657,07005
	Coste mantenimiento	816	824,16	832,4016	840,725616	849,132872	857,624201	866,200443	874,862447	883,611072	892,447183
Balance acumulado		25014,4451	29085,0269	33212,5465	37397,817	41641,6629	45944,9209	50308,4396	54733,08	59219,7158	63769,233

		ASTILLA DE MADERA									
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costes fijos	Coste inversion inicial	29600									
	Subvencion	7400									
	inversion final	22200									
Variables	Coste COMBUSTIBLE	2346,99745	2382,20242	2417,93545	2454,20448	2491,01755	2528,38281	2566,30856	2604,80319	2643,87523	2683,53336
	Coste mantenimiento	816	824,16	832,4016	840,725616	849,132872	857,624201	866,200443	874,862447	883,611072	892,447183
Balance acumulado		25362,9975	28569,3599	31819,6969	35114,627	38454,7774	41840,7845	45273,2935	48752,9591	52280,4454	55856,4259

		ORUJILLO Y CASCARAS DE ALMENDRA									
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costes fijos	Coste inversion inicial	12000									
	Subvencion	3600									
	inversion final	8400									
Variables	Coste COMBUSTIBLE	2120,85	2226,8925	2338,23713	2455,14898	2577,90643	2706,80175	2842,14184	2984,24893	3133,46138	3290,13445
	Coste mantenimiento	400	404	408,04	412,1204	416,241604	420,40402	424,60806	428,854141	433,142682	437,474109
Balance acumulado		10920,85	13551,7425	16298,0196	19165,289	22159,437	25286,6428	28553,3927	31966,4958	35533,0998	39260,7084

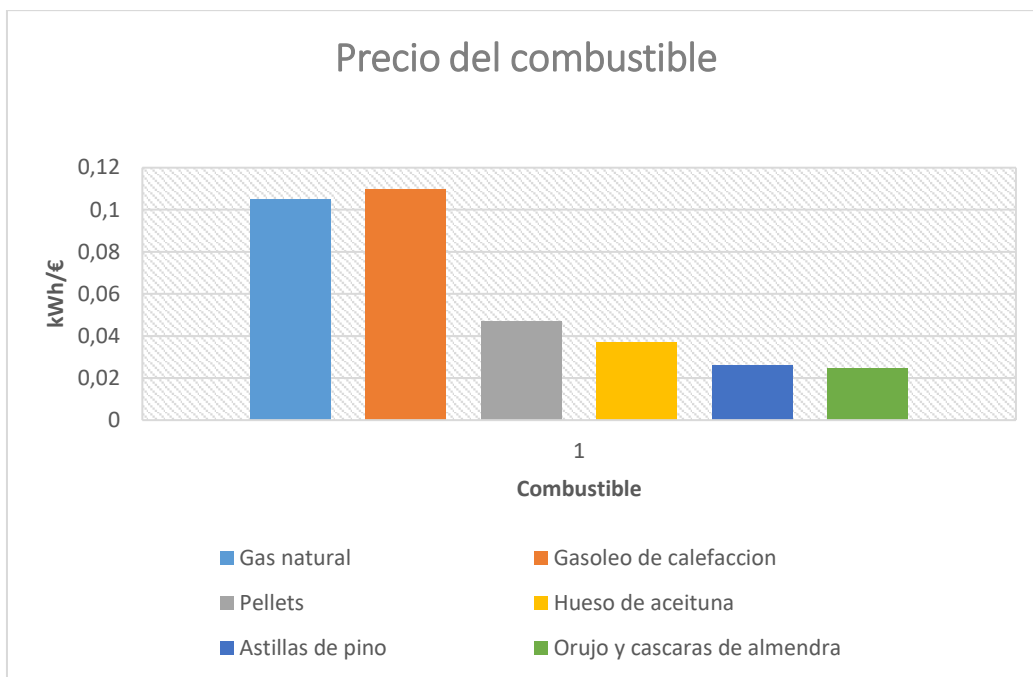


Figura 4.49 Comparativa por precio de combustible.

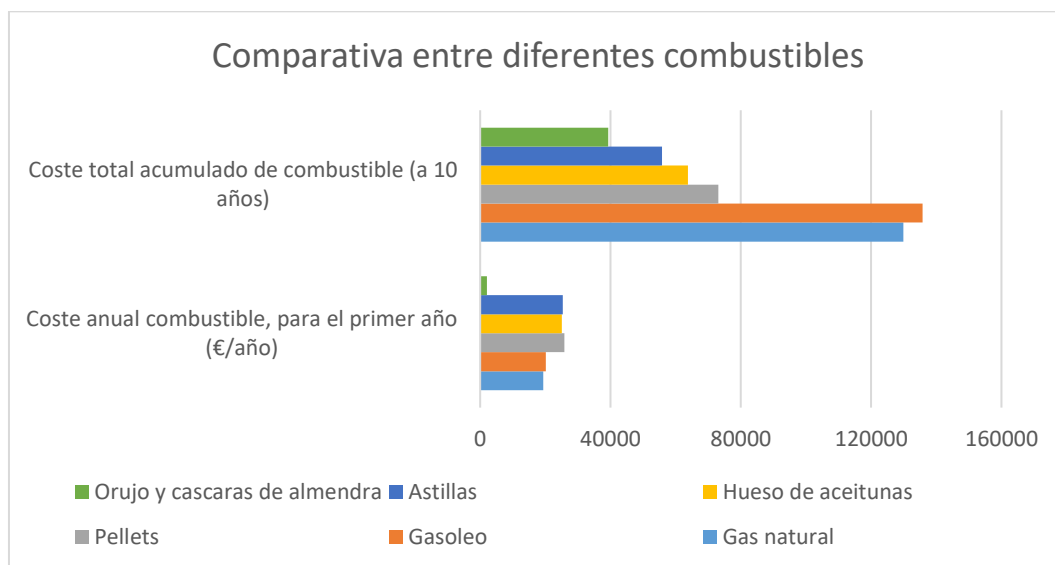


Figura 4.50 Comparativa por previsión de precio de combustible.

Tras comparar los resultados, el precio del combustible que utiliza RIOSA, tanto para la caldera actual como para la auxiliar es muy inferior al resto de combustibles. Junto con la subvención y la pequeña potencia térmica de la caldera escogida la hace muy asequible para la demanda prevista.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

5.1 Costes de la caldera NOVA PA-2000 pirotubular

5.1.1 Precio de caldera

El importe económico de la caldera de vapor NOVA PA-2000 de Cinco pasos de humos, con cámara de combustión, y todo el equipamiento y características relacionadas en los aparatos mencionados con anterioridad, consuman un total de 129867 €.

Una vez calculado el costo de la instalación la junta de Andalucía ofrece una subvención del pago del 15% de la instalación por la instalación de una caldera de biomasa industrial, promoviendo el uso de energías renovables y contribuyendo con el medio ambiente de la comunidad.

5.1.2 Complementos A

El paquete de complementos A como se mencionó en el capítulo 4.1.14.1 lo componen:

- Conducto de gases; para la unión de la caldera, unión de depurador de gases y de unión para el ventilador extractor.
- Micro-multiciclón depurador de gases RCB
- Ventilador de gases con variador de frecuencia.

En conjunto suman un total de 23.943 €

5.1.3 Complementos B

- Extracción automática de cenizas en caldera: Incorporación en la cámara de combustión de un sistema automático de extracción de cenizas compuesto:
 - a. Sinfín – extractor de cenizas.
 - b. Motorreductor de accionamiento del sinfín.
 - c. Recipiente de recogida de cenizas.
 - d. Adaptación del conjunto en la cámara.
 - e. Automatización del sistema.

- Sistema de soplado automático en los tubos de caldera: Software instalado en el autómatas del cuadro de control y maniobra de caldera.

CALDERA NUEVA NOVA PA-2000 PIROTUBULAR			
Descripción	Cantidad	V.UNITARIO	V.TOTAL.
Caldera NOVA PA-2000 PIROTUBULAR	1	129.867,00	129.867,00
Complementos A	3	23.943,00	23.943,00
Complementos B	2	24.100,00	24.100,00
Chimenea	1	8.415,00	8.415,00
Montaje caldera	1	8.800,00	8.800,00
Sistema de soplado	1	12.749,00	12.749,00
Filtro de mangas	1	112.750,00	112.750,00
Puesta en marcha	1	8.800,00	8.800,00
		Subtotal	333.575,00
			€
		Subvención	15%
		IVA	12%
		Total	280.355,88
			€

5.2 Costes de la instalación termosolar

5.2.1 Costes circuito primario y secundario

INSTALACION TERMOSOLAR TERMICOL			
Concepto	Cantidad	V.UNITARIO	V.TOTAL.
Circuito primario			
Colector	60	550,00	33.000,00
Cubierta plana	10	847,00	8.470,00
Racores de conexión	100	5,00	500,00
Conexión de batería	10	120,00	1.200,00
Racores del circuito hidráulico	24	24,00	576,00
Bomba del circuito primario	2	770,00	1.540,00
Fluido portador de calor (1000 l)	1	6.875,00	6.875,00
Válvulas antirretornos	2	1.280,00	2.560,00
Válvulas equilibrado	27	87,00	2.349,00
CIRCUITO SECUNDARIO			
Válvulas equilibrado	8	87,00	696,00
Acumulador	2	6.717,00	13.434,00
Bomba del circuito secundario	2	562,00	1.124,00
INTERMEDIOS			
Intercambiador de placas	2	692,00	1.384,00
Aislamientos intercambiadores	2	317,00	634,00
Aereotermos disipadores	2	2.527,00	5.054,00
Sistemas de control	2	307,00	614,00
Sistema de expansión	2	500,00	1000,00
Sistema de llenado y vaciado digital	2	6087,00	12.174,00
MANO DE OBRA			
Mano de obra directa	6	1.025,00	6.150,00
Técnicos de ejecución	2	1.800,00	3.600,00
Subtotal			102.934,00
Subvención			15%
IVA			12%
Total			86.464,56 €

La instalación termosolar tiene un periodo de vida útil 15 años, según la garantía de la fábrica. La junta de Andalucía, como se comentó en el capítulo anterior ofrece una subvención del 15% para instalaciones de este tipo apoyando en la energía termosolar para satisfacer la demanda térmica en el sector industrial.

5.3 Costes de la caldera auxiliar

5.3.1 Coste caldera auxiliar y accesorios

CALDERA AUXILIAR GAMA ARES 500			
Descripción	Cantidad	V.UNITARIO	V.TOTAL.
Caldera ARES 500	1	51,299,00	51,299,00
Panel de control F9	1	11.719,00	11.719,00
Extractor de limpieza automático	1	2.783,00	2.783,00
Panel refractario cámara de combustión	1	2.607,00	2.607,00
Tabuladores	1	1.729,00	1.729,00
Tornillo sin fin	1	3.955,00	3.955,00
Válvula estrella	1	2.490,00	2.490,00
Multiciclón	1	14.458,00	14.458,00
		Subtotal	91.047,00 €
		Subvención	15%
		IVA	12%
		Total	76.473,00 €

5.3.2 Coste por mano de obra

CALDERA AUXILIAR GAMA ARES 500			
Descripción	Cantidad	V.UNITARIO	V.TOTAL.
Mano de obra	5	8.000,00	8.000,00
Instalación	1	2.399,00	2.399,00
Puesta en marcha y asesoramiento	1	1.000,00	1.000,00
		Subtotal	11.399,00 €
		Total	87.872,60€

El coste total, se asemeja bastante la instalación termosolar, aunque gran parte de la diferencia radica en las condiciones propuestas por la empresa de Ferroli. Al contratar la mano de obra para su instalación y puesta en marcha no entra dentro del presupuesto de la caldera auxiliar.

6. CONCLUSIONES

El análisis de este estudio técnico ha provocado una confrontación con los intereses de la dirección de la fábrica. Es de especial interés valorar un posible estudio de mercado con el fin de esclarecer la productividad futura de la empresa. Este razonamiento viene provocado por la naturaleza de cada proyecto en lo que a las propuestas se refiere.

Comenzando por la sustitución de una nueva caldera de similares características que la caldera actual, es una inversión de coste muy elevado. Esta propuesta tiene una visión a largo plazo y depende estrechamente de las garantías que pueda ofrecer la demanda de productos en un futuro.

En su caso la instalación termosolar tiene un coste inicial considerable. en lo que a prestaciones se refiere, ya que, requiere de un buen mantenimiento y está ligado a condiciones climatológicas. Sin embargo, su periodo de amortización es breve en comparación con otras propuestas y conlleva un ahorro económico y energético importante.

Por último, la caldera auxiliar, de coste superior a la instalación termosolar ofrece mayor funcionalidad debido a que no depende de condiciones climatológicas. También ofrece una buena sinergia con la caldera actual ya que utilizan el mismo combustible. Aun teniendo buenas prestaciones ofrece la menor rentabilidad de las tres propuestas debido al coste combustible y depender de la demanda de producto.

Teniendo en cuenta el desarrollo en España de la energía solar, promoviendo programas y directivas de apoyo a la producción de calor, así como, las subvenciones proporcionadas tanto por la junta, como por el gobierno español, hacen de la instalación termosolar la propuesta con mejores garantías.

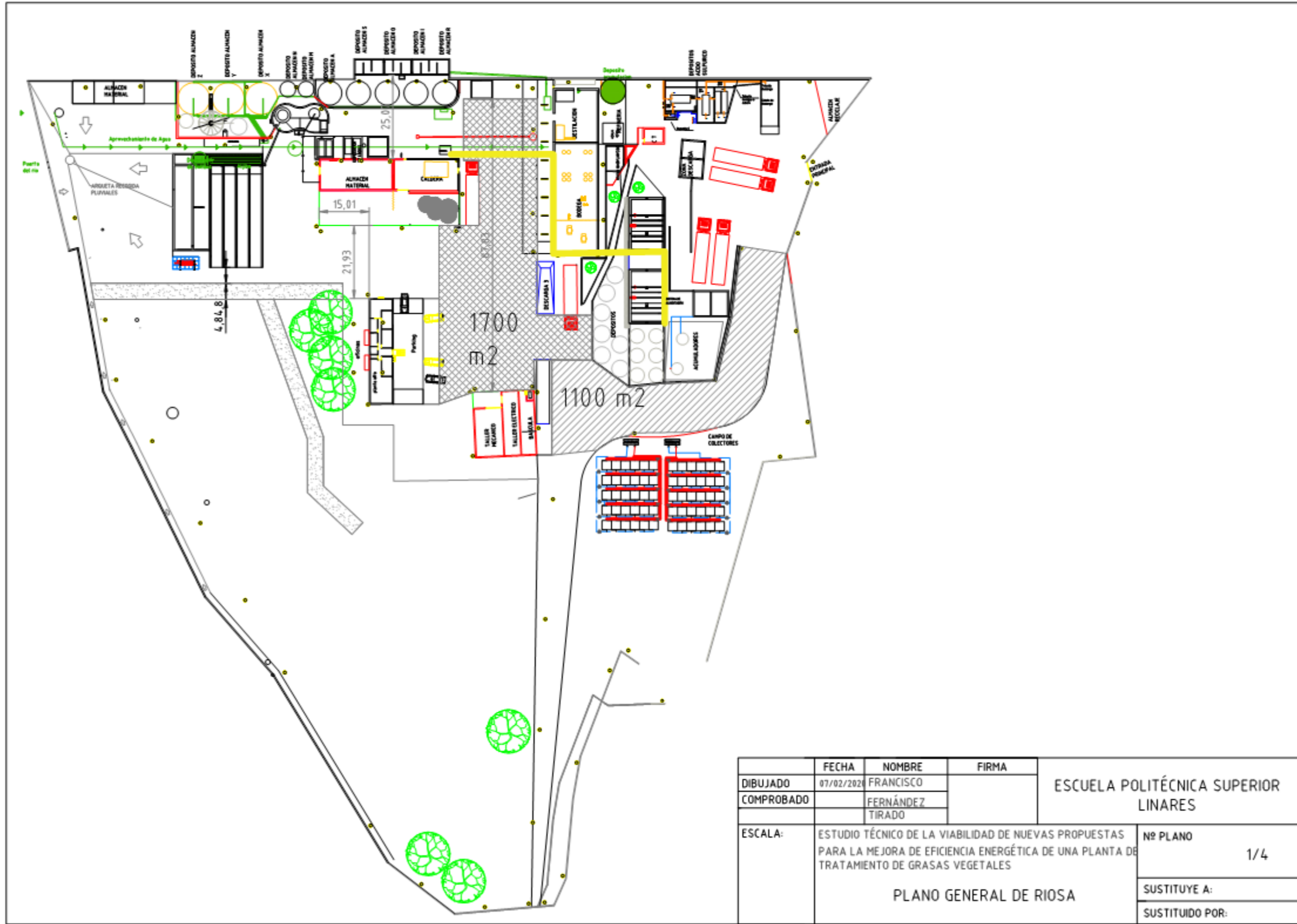
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia estatal de Meteorología (2019). *Datos climatológicos de Jaen*. Recuperado de: www.aemet.es
- Código Técnico de la Edificación (2017). *Temperatura media del agua fría*. Recuperado de: www.codigotecnico.org.
- .Sede electrónica de catastro (2019). *Parcela y ubicación geográfica de RIOSA*. Recuperado de: www.sedecatastro.gob.es
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2009). *Método de cálculo F-Chart*. Recuperado de: www.idae.es
- Agencia andaluza de la energía (2019) *Instalación térmica solar de baja temperatura*. Recuperado de: www.agenciaandaluzadelaenergia.es
- Termicol Energía Solar S.L. (2019). *Fabricante de paneles y sistemas solares térmicos*. Recuperado de: www.termicol.es
- Teican Ingeniería Medioambiental (2011). *Termocan calderas de biomasa*. Recuperado de: www.teican.com
- Incropera, F.P., y De Witt, D.P.(1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Prentice Hall, (Mexico): PEARSON Education.
- Cao, E. (2010). *Heat Transfer in process Engineering*. New York, (EEUU): Mc Graw Hill
- Çengel Y.A., y Boles M.A., (2006) *Termodinámica*. Ciudad de México, (Mexico): Mc Graw Hill
- Chapman A.J. (1965). *Transmisión de calor*. Madrid (España): Interciencia.
- Özişik N.M. (1979). *Transferencia de calor*. Bogotá (Colombia): Mc Graw Hill
- Kohan A.L. (2000). *Manual de calderas*. Madrid (España): Mc Graw Hill
- Palomar J. M. y Cruz F., (2016) *Maquinas y Motores Térmicos* (España): Universidad de Jaén.
- Peuser F.A., Remmers KH., y Schnauss M. (2005) *Sistemas solares térmicos* (Alemania) Solarpraxis.
- López de Ponce A. (2013) *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares* (España) IC Editorial.
- Fuente: Artículo RINCON, S. & MARTINEZ, D. Análisis del potencial de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. PALMAS, 2009, Anexos, 20-23.
-

8. ANEXOS

8.1 Planos

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK



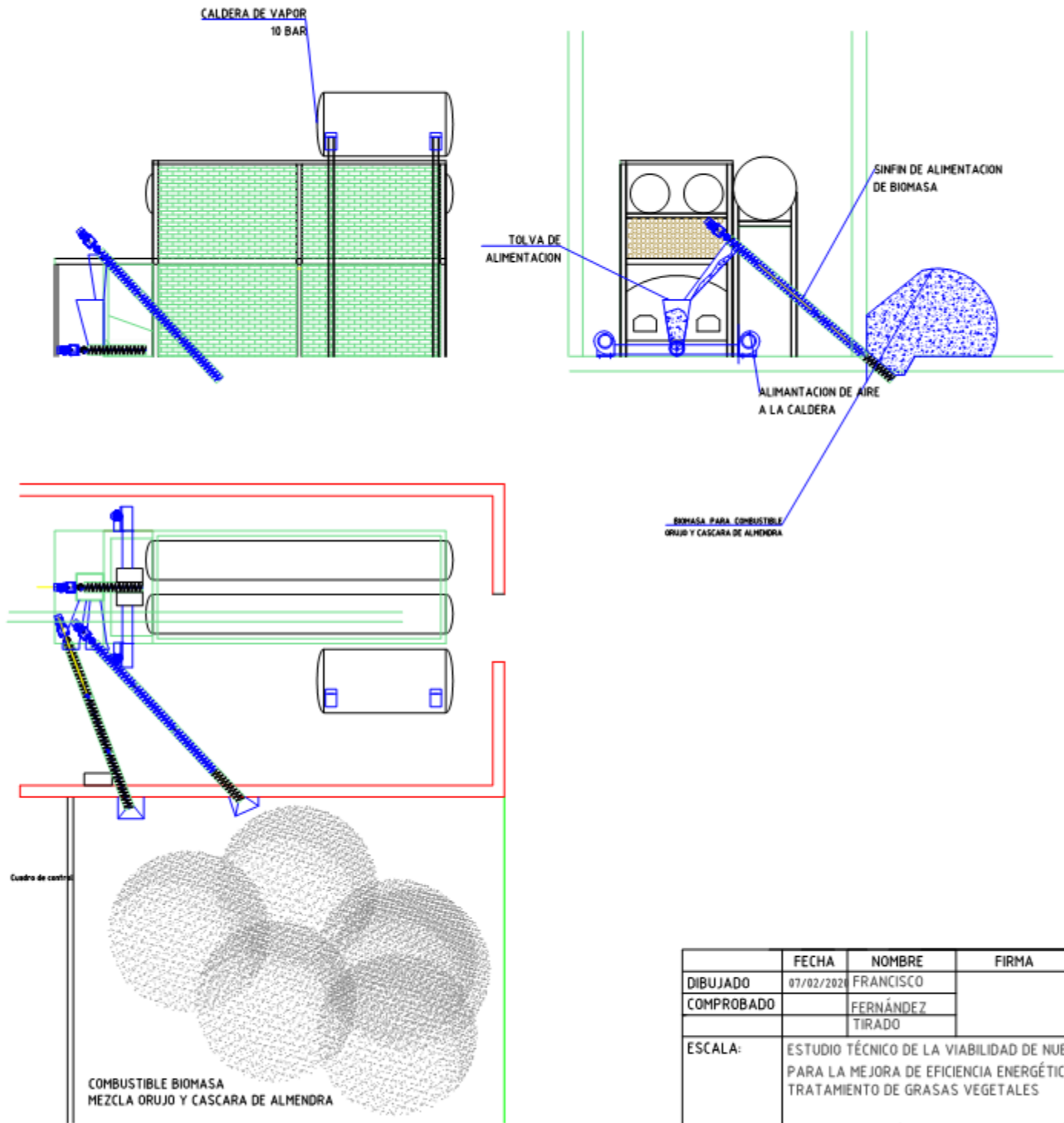
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	07/02/2021	FRANCISCO			
COMPROBADO		FERNÁNDEZ TIRADO			
ESCALA:	ESTUDIO TÉCNICO DE LA VIABILIDAD DE NUEVAS PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE GRASAS VEGETALES			Nº PLANO	1/4
	PLANO GENERAL DE RIOSA			SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

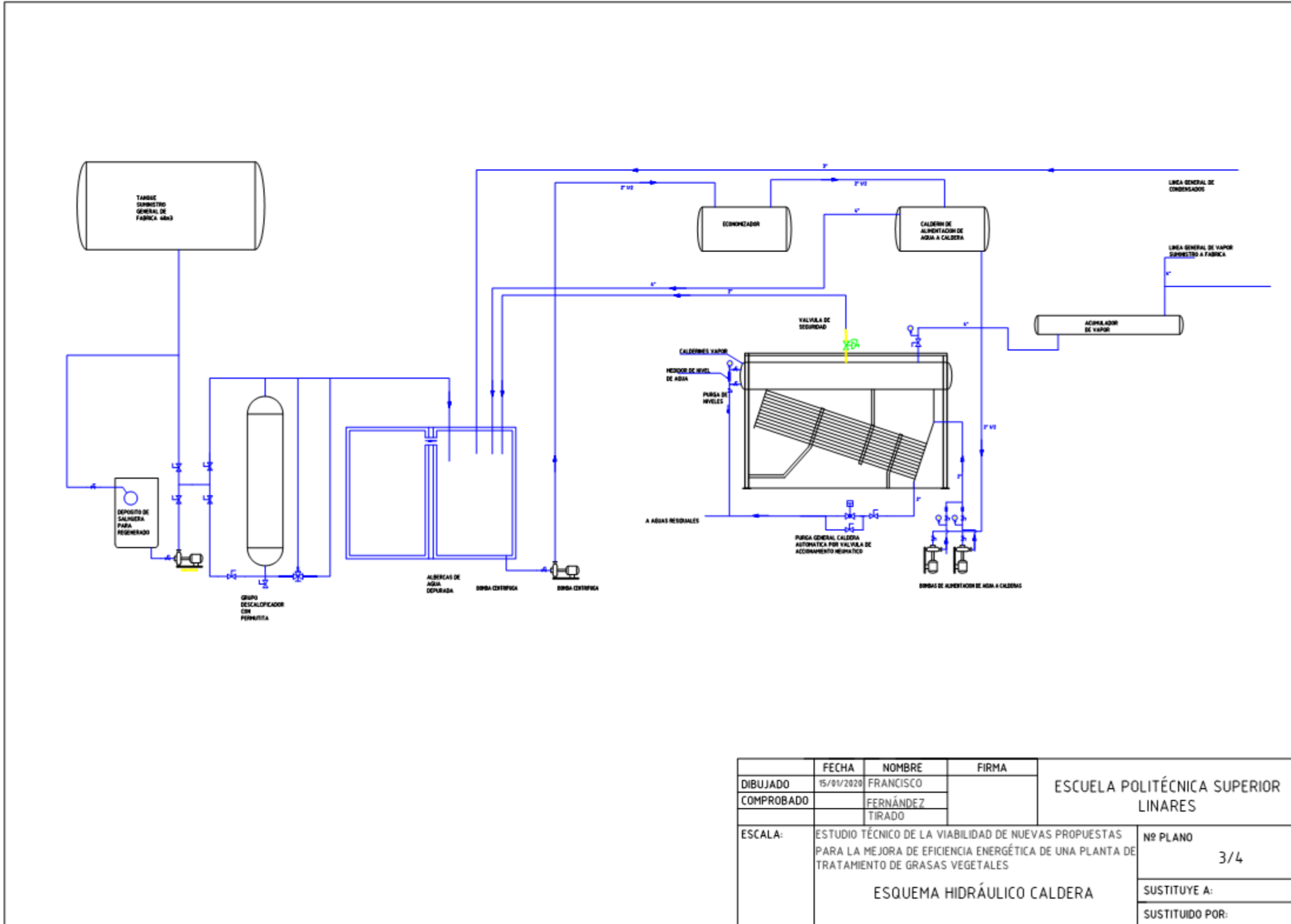
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

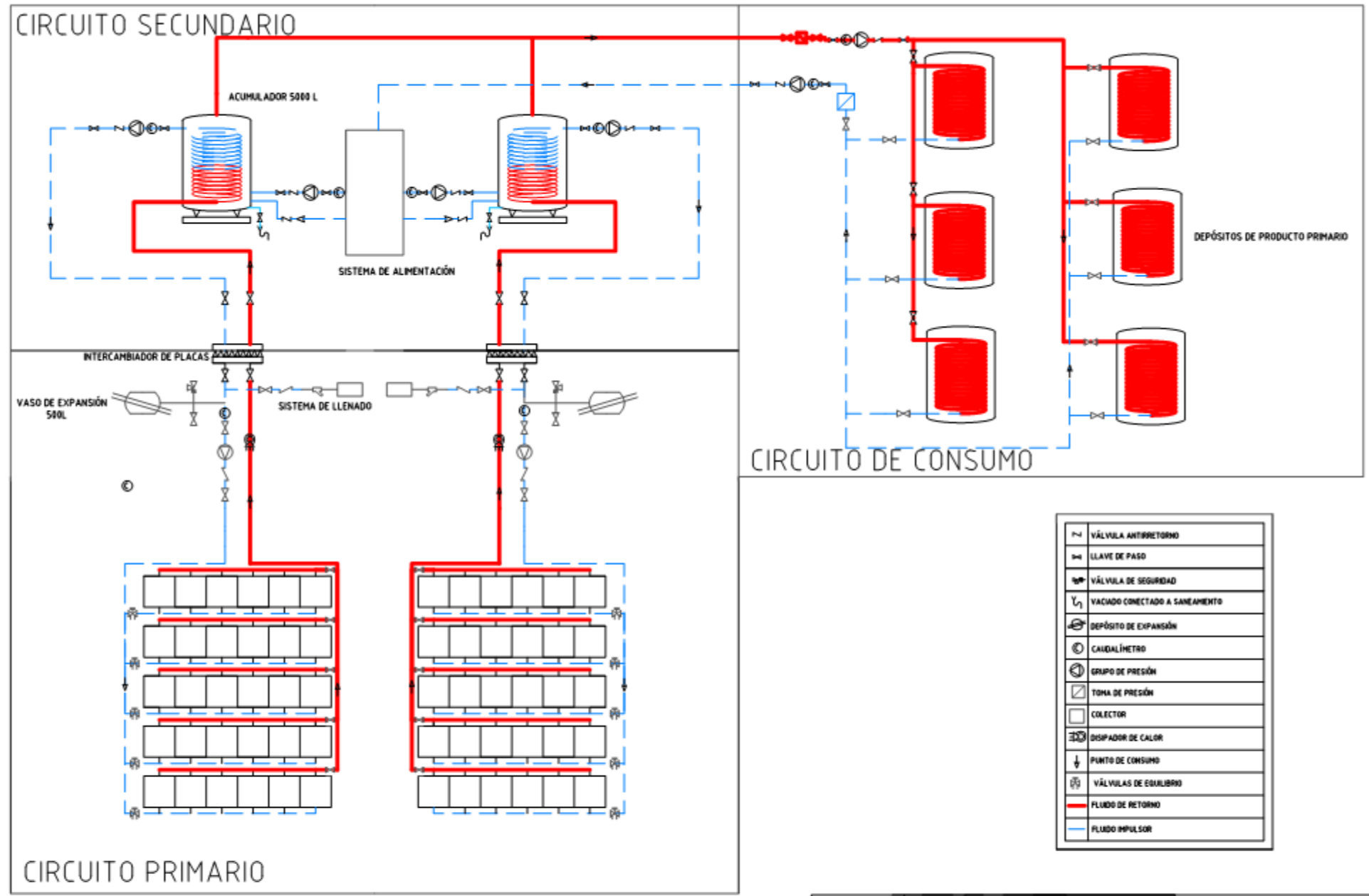


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	07/02/2020	FRANCISCO			
COMPROBADO		FERNÁNDEZ TIRADO			
ESCALA:	ESTUDIO TÉCNICO DE LA VIABILIDAD DE NUEVAS PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE GRASAS VEGETALES			Nº PLANO	2/4
	SINFÍN DE ALIMENTACIÓN CALDERA			SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	15/01/2020	FRANCISCO		
COMPROBADO		FERNÁNDEZ TIRADO		
ESCALA:	ESTUDIO TÉCNICO DE LA VIABILIDAD DE NUEVAS PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE GRASAS VEGETALES			Nº PLANO 3/4
	ESQUEMA HIDRÁULICO CALDERA			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	VÁLVULA ANTI-RETORNO
	LLAVE DE PASO
	VÁLVULA DE SEGURIDAD
	VACIADO CONECTADO A SANEAMIENTO
	DEPÓSITO DE EXPANSIÓN
	CAUDALÍMETRO
	GRUPO DE PRESIÓN
	TONA DE PRESIÓN
	COLECTOR
	DISIPADOR DE CALOR
	PUNTO DE CONSUMO
	VÁLVULAS DE EQUILIBRIO
	FLUIDO DE RETORNO
	FLUIDO IMPULSOR

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	15/01/2020	FRANCISCO		
COMPROBADO		FERNÁNDEZ TIRADO		
ESCALA:	ESTUDIO TÉCNICO DE LA VIABILIDAD DE NUEVAS PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE GRASAS VEGETALES			Nº PLANO 4/4
	INSTALACIÓN TERMOSOLAR			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

8.2 Tablas de propiedades termodinámicas

- Fuente: Palomar J. M. y Cruz F., (2016) *Maquinas y Motores Térmicos* (España): Universidad de Jaén.

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica*

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709

TABLA A.6 Propiedades termofísicas de agua saturada*

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^a	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m ²)		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\sigma_s \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_s \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperatura T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365

Tabla A.1 Continúa

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)														
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^4$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)														
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500					
Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218										
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146										
Aleación 195, vaciado (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925	1042											
Armco (99.75% puro)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4							
Berilio	1550	1850	1825	200	59.2	215	384	490	574	680	975	609	654							
Bismuto	545	9780	122	7.86	6.59	112	16.5	9.69	7.04											
Boro	2573	2500	1107	27.0	9.76	128	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85								
Cadmio	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7												
Cinc	693	7140	389	116	41.8	297	118	111	103											
Circonio	2125	6570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7	26.0	28.8	33.0						
Cromo	2118	7160	449	93.7	29.1	192	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4					
Cobalto	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5						
Cobre puro	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339								
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	252	356	397	417	433	451	480								
							785	460	545											

Tabla A.3 Continúa

Otros materiales (Continúa)

Descripción/composición	Temperatura (K)	Densidad ρ (kg/m ³)	Conductividad térmica, k (W/m · K)	Calor específico, c_p (J/kg · K)
Hielo	273	920	1.88	2040
	253	—	2.03	1945
Cuero (suela)	300	998	0.159	—
Papel	300	930	0.180	1340
Parafina	300	900	0.240	2890
Roca				
Granito, Barre	300	2630	2.79	775
Caliza, Salem	300	2320	2.15	810
Mármol, Halston	300	2680	2.80	830
Cuarcita, Sioux	300	2640	5.38	1105
Arenisca, Berea	300	2150	2.90	745
Caucho, vulcanizado				
Suave	300	1100	0.13	2010
Duro	300	1190	0.16	—
Arena	300	1515	0.27	800
Tierra vegetal	300	2050	0.52	1840
Nieve	273	110	0.049	—
		500	0.190	—
Teflón	300	2200	0.35	—
	400		0.45	

8.3 Propiedades del aceite de palma

Fuente: Artículo RINCON, S. & MARTINEZ, D. Análisis del potencial de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. PALMAS, 2009, Anexos, 20-23.

Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria

An Analysis of the Properties of Oil Palm in the Development of the its Industry

AUTORES

Sandra Milena Rinoón M.
Ingeniera química, M.Ing.
Investigador Asociado. Líder del Área de Usos Alternativos
Cenipalma. srinoon@cenipalma.org

Daniel Mauriolo Martínez C.
Ingeniero químico, Auxiliar de Investigación. Cenipalma

Palabras CLAVE

Aceite de palma, Propiedades físicas, Propiedades químicas, Energía, Alimentos, Oleoquímicos, Nutrición.

Palm Oil, Physical properties, Chemical properties, Energy, Food, Oleochemicals, Nutrition

Recibido: 30 Julio 2009

Resumen

El aceite de palma ha sido uno de los productos de mayor crecimiento en la industria colombiana. Para la evaluación y desarrollo de sus procesos y productos es fundamental conocer las propiedades del aceite a partir de las cuales se puedan obtener resultados confiables. Sin embargo, poca información se ha dispuesto al respecto. Mediante una recopilación bibliográfica, este estudio documenta las propiedades físicas, químicas y nutricionales del aceite de palma crudo. Usando la información relacionada con la estructura química, composición y polaridad del aceite de palma, se han definido sus propiedades nutricionales (basándose en la presencia de ácidos grasos insaturados y antioxidantes), sus características energéticas y de transporte (con base en la estructura de sus componentes), y su relación física con otras sustancias (miscibilidad y afinidad). A partir de ello, se generó una tabla de propiedades fisicoquímicas para el aceite de palma y se evidenció el potencial de su aplicación en diferentes industrias.

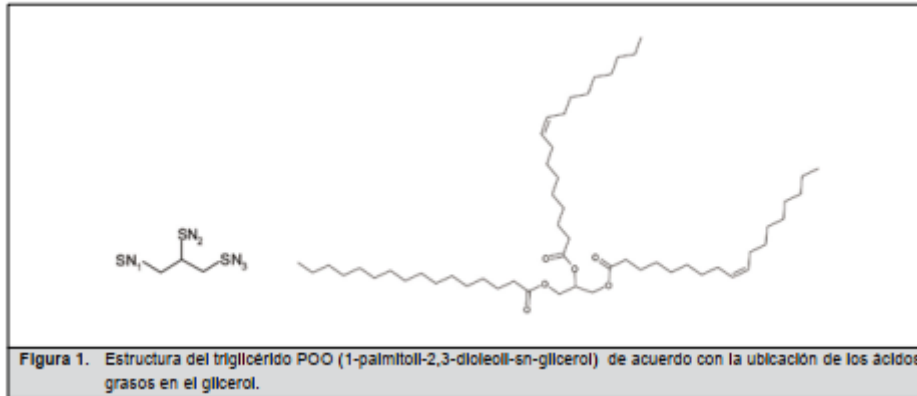
Summary

Palm Oil has been one of the products with highest growth in the Colombian industry. Palm oil properties are the most important feature for evaluation and development of Palm Oil based processes and products in order to get reliable results. However there is not complete information compiled, and this review described the compendium the crude palm oil physical, chemical and nutritional properties. Using the information related to palm oil chemical structure, composition and polarity, its nutritional properties have been defined (based on fatty acid insaturations and antioxidants compounds presence), its transport and energetic behavior (based on the structure of its components),

Introducción

Desde finales de 2007 y mediados de 2008, el Programa de Procesos y Usos de Cenipalma realizó una caracterización físico química del aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* jacq.) evaluando parámetros de identificación como perfil lipídico (NTC 5013), índice de yodo (NTC 283), punto de fusión (NTC 213), índice de refracción (NTC 289) y también los parámetros de calidad del aceite como ácidos grasos libres (%AGL) (NTC 218), índice de peróxidos (NTC 236), humedad e impurezas (NTC 287), con el fin de actualizar la Norma Técnica Colombia NTC 431. Dentro del estudio participaron empresas refinadoras de aceite tales como Grasco S.A., Alianza Team y Lloreda S.A., quienes realizaron las pruebas de porcentaje de ácidos grasos libres, punto de fusión, perfil de ácidos grasos y DOBI (Deterioration of Bleachability Index) (ISO 17932), mediante el diseño de ensayo de interlaboratorio. El total de muestras caracterizadas fue 25, provenientes de 12 plantas extractoras distribuidas a nivel nacional.

En este artículo se muestran los resultados obtenidos de la composición de triglicéridos, ácidos grasos y vitaminas, los parámetros de calidad y requisitos de identificación del aceite crudo de palma discriminados por cada una de las cuatro zonas palmeras y, a partir de una recopilación bibliográfica, lo relacionado con las propiedades de transporte, sus características energéticas, cambios de fases y condiciones críticas del aceite de palma. Adicional a la caracterización fisicoquímica del aceite, se exponen los resultados de DOBI en muestras de aceites de tanques de despacho que se han caracterizado en 2009. En el anexo 1 se encuentra el resultado de los parámetros de identificación y calidad que debe cumplir el aceite crudo de palma para ser comercializado a nivel nacional (NTC 431), y en el anexo 2, una tabla con el consolidado de las demás propiedades fisico-químicas del aceite crudo de palma.



Requisitos	Máximo	Mínimo
Densidad 50/20 °C	0,899	0,891
Índice de yodo	55	50
Índice de saponificación	209	190
Índice de refracción a 50 °C	1,4560	1,4540
Materia insaponificable (%)	1,2	
Humedad y material volátil (%)	0,5	
Punto de fusión	40	34
Acidez expresada como ácido palmítico (%)	5	
Impurezas insolubles (%)	0,10	
Plomo, expresado como Pb, en mg/kg	0,1	
Arsénico, expresado como As, en mg/kg	0,1	

Perfil de ácidos grasos del aceite crudo de palma africana		
Tipo	Nombre	Nivel (%)
C 12:0	Ácido láurico	< 0,5
C 14:0	Ácido mirístico	0,5 - 2,0
C 16:0	Ácido palmítico	39,3 - 47,5
C 16:1	Ácido palmitoléico	< 0,6
C 18:0	Ácido esteárico	3,5 - 6,0
C 18:1	Ácido oleico	36,0 - 44,0
C 18:2	Ácido linoleico	9,0- 12,0
C 18:3	Ácido linolénico	< 0,5
C 20:0	Ácido araquídico	< 1,0

Propiedad	Valor	Unidades	Condiciones	Ecuación	Características generales
Densidad	0,868-0,876	g/ml	ρ [kg/m ³]; 46<=T(*C)<=100	$\rho=-1,236*T+945,14$	Experimental
Viscosidad	0,0136-0,0378	kg/m*s (@343 y 313K)	μ [cP]; 313,15<=T(K)<=373,15	$\ln(\mu)=-8,849*\ln(T)+54,525$	Experimental
Capacidad calorífica			c_p [J/g** C]; 25<=T(*C)<=100	$c_p=0,0059*T+1,6172$	Experimental
Poder calorífico	36,95	J/kg			
Conductividad	0,15-0,17	W/m** C	Conductividad[W/m** C]; T[* C]	Conductividad= $(-5,87061*10^{-5})T+0,173774$	Experimental
Constante dieléctrica	1,75-2,7	ϵ_r	Medido con campo eléctrico de baja intensidad		Experimental