



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Estudio técnico-económico de mejoras en la piscina cubierta de la Aljorra

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: David García Ramos

Director: José Ramón García Cascales

Codirector: Francisco Javier Sánchez Velasco

Cartagena, 25 de Agosto de 2021



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Índice de contenido

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	Justificación:	8
1.2	Objetivos:.....	9
2	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	10
3	ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN CON CHEQ4 Y SOLAR.....	13
4	ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN CON MÉTODO PROPUESTO POR EL IDAE.....	30
5	ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN CON TRNSYS17	36
5.1	Definición del edificio con la herramienta TRNBuild:.....	39
5.2	Descripción del circuito de la instalación solar:	47
5.3	Descripción del circuito de la piscina:	55
5.4	Descripción del circuito de calentamiento de ACS:	62
5.5	Descripción del control:	66
6	PROPUESTA Y ANÁLISIS DE MEJORAS DE LA INSTALACIÓN EXISTENTE.....	69
6.1	Instalación existente con campo de captadores solares aumentado:.....	69
6.2	Instalación aumentada con caldera de biomasa:	76
6.3	Instalación aumentada con caldera de biomasa y caldera de gasóleo:.....	82
7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	85
8	CONCLUSIONES	93
9	BIBLIOGRAFÍA.....	94

Índice de figuras

Figura 1. Plano de situación de la piscina municipal de La Aljorra.	10
Figura 2. Detalle de la geometría del vaso de la piscina.	11
Figura 3. Vista aérea de los captadores solares.	11
Figura 4. Caldera de gasóleo.	12
Figura 5. Interacumulador solar (izquierda) e interacumulador de ACS (derecha).	12
Figura 6. Recinto interior de la piscina.	13
Figura 7. Pestaña de Localización Cheq4.	15
Figura 8. Pestaña de Configuración Cheq4.	15
Figura 9. Pestaña de Demanda Cheq4.	16
Figura 10. Vista en planta del edificio con los captadores.	17
Figura 11. Espesores mínimos de aislamiento exterior según RITE.	18
Figura 12. Pestaña de Solar/Apoyo Cheq4.	18
Figura 13. Espesores mínimos de aislamiento interior según RITE.	19
Figura 14. Pestaña de Otros Parámetros Cheq4.	19
Figura 15. Pestaña de Resultados Cheq4.	20
Figura 16. Pestaña de Datos Generales SOLAR.	21
Figura 17. Pestaña de Demanda A.C.S. SOLAR.	21
Figura 18. Pestaña de Demanda Piscinas SOLAR.	22
Figura 19. Pestaña de Cond. Ambientales SOLAR.	23
Figura 20. Pestaña de Colectores SOLAR Veissmann.	24
Figura 21. Pestaña de Sistema SOLAR.	25
Figura 22. Pestaña de Orientación/Sombras SOLAR.	26
Figura 23. Pestaña de Análisis de sensibilidad SOLAR.	26
Figura 24. Pestaña de Estudio de un caso SOLAR Veissmann.	27
Figura 25. Curva de eficiencia colector Trisolar SS-2018U.	28
Figura 26. Pestaña de Colectores SOLAR Trisolar.	29
Figura 27. Pestaña de Estudio de un caso SOLAR Trisolar.	29
Figura 28. Gráfica de fracción de aporte/nº de colectores Trisolar.	30
Figura 29. Detalle de elementos conectados en área de trabajo Trnsys17.	36

Figura 30. Esquema general de la instalación existente.	38
Figura 31. Vista general de la instalación en Trnsys17.	39
Figura 32. Información de materiales según proyecto.	40
Figura 33. Información de materiales según CTE WEB.	40
Figura 34. Pestaña de Layers TRNBuild.	41
Figura 35. Pestaña de Walls TRNBuild.	41
Figura 36. Orientaciones TRNBuild.	42
Figura 37. Ventana de superficies y huecos TRNBuild.	43
Figura 38. Zonas definidas TRNBuild.	43
Figura 39. Detalle cubierta inclinada.	44
Figura 40. Cuadro de Modelos de humedad TRNBuild.	45
Figura 41. Cuadro de Gains TRNBuild.	46
Figura 42. Detalle de las conexiones de Building.	47
Figura 43. Circuito de la instalación solar.	48
Figura 44. Diverter.	49
Figura 45. Resistencia térmica del interacumulador solar.	51
Figura 46. Hoja de características del serpentín.	52
Figura 47. Temperaturas de intercambiadores en función de su uso.	53
Figura 48. Parámetros utilizados para el diseño del intercambiador solar en SSPG8.	54
Figura 49. Resultados obtenidos en el diseño del intercambiador solar en SSPG8.	54
Figura 50. Circuito de la piscina.	56
Figura 51. Parámetros utilizados para el diseño del intercambiador solar en SSPG8.	58
Figura 52. Resultados obtenidos en el diseño del intercambiador solar en SSPG8.	58
Figura 53. Perfil de temperaturas de red creado por Trnsys.	59
Figura 54. Perfil de bañistas creado por Trnsys.	60
Figura 55. Circuito de calentamiento de ACS.	62
Figura 56. Programa DemandaACS.	65
Figura 57. Perfil de Usuarios ACS.	66
Figura 58. Monitores, calculadoras e integradores Trnsys.	68
Figura 59. Esquema instalación con captadores aumentados Trnsys.	69
Figura 60. Situación propuesta para ubicación de ampliación del campo de colectores.	70

Figura 61. Detalle del intercambiador con acumulador en Trnsys.....	71
Figura 62. Acumulador MXV 200 RB de Lapesa.	73
Figura 63. Esquema general de la instalación ampliada con caldera de biomasa.	76
Figura 64. Esquema instalación ampliada con caldera de biomasa Trnsys.....	77
Figura 65. Detalle de la zona de caldera de biomasa Trnsys.....	77
Figura 66. Esquema general de la instalación ampliada con caldera de biomasa y caldera de gasóleo.	83
Figura 67. Esquema instalación ampliada con caldera de biomasa y caldera de gasóleo Trnsys.	83
Figura 68. Detalle de la zona de caldera de biomasa + gasóleo Trnsys.	84
Figura 69. Resultados de Cheq4 para captador similar al existente.	86
Figura 70. Gráficas Trnsys.	86
Figura 71. Factores de conversión de energía primaria a final en España.	90
Figura 72. Valores de energía primaria de las diferentes variantes de la instalación....	91
Figura 73 . Factores de conversión de kg de CO ₂ a energía final en España.	91
Figura 74. Valores de emisiones en kg de CO ₂ de las diferentes variantes de la instalación.....	92

Índice de tablas

Tabla 1. Pérdidas de energía piscina.	31
Tabla 2. Pérdidas de energía por reposición piscina.	32
Tabla 3. Demanda total piscina.	32
Tabla 4. Demanda total ACS.	33
Tabla 5. Demanda térmica total.	33
Tabla 6. Demanda térmica bruta.	34
Tabla 7. Radiación disponible e incidencia solar.	34
Tabla 8. Rendimiento del colector.	35
Tabla 9. Fracción de aporte solar.	35
Tabla 10. Parámetros colector solar Trnsys.	48
Tabla 11. Parámetros bomba primario Trnsys.	50
Tabla 12. Parámetros interacumulador solar Trnsys.	52
Tabla 13. Parámetros bomba piscina Trnsys.	56
Tabla 14. Parámetros caldera piscina Trnsys.	57
Tabla 15. Parámetros bomba caldera piscina Trnsys.	57
Tabla 16. Valores medios mensuales de la temperatura de red.	59
Tabla 17. Valores de bañistas según la franja horaria.	60
Tabla 18. Inputs vaso piscina Trnsys.	61
Tabla 19. Parámetros interacumulador caldera Trnsys.	63
Tabla 20. Parámetros bomba caldera ACS Trnsys.	64
Tabla 21. Parámetros caldera ACS Trnsys.	64
Tabla 22. Parámetros colectores instalación ampliada Trnsys.	71
Tabla 23. Parámetros bomba primario instalación ampliada Trnsys.	71
Tabla 24. Parámetros bomba secundario instalación ampliada Trnsys.	72
Tabla 25. Parámetros acumulador ACS instalación ampliada Trnsys.	74
Tabla 26. Parámetros caldera biomasa Trnsys.	78
Tabla 27. Parámetros acumulador de inercia biomasa Trnsys.	79
Tabla 28. Parámetros bomba caldera biomasa Trnsys.	79
Tabla 29. Parámetros bomba inercia biomasa Trnsys.	80

Tabla 30. Consumo de gasóleo real de la instalación.....	85
Tabla 31. Resultados de cada uno de los programas de la instalación existente.....	87
Tabla 32. PCI y Precio astilla y pellets.....	88
Tabla 33. Resultados económicos de las diferentes variantes de la instalación.....	89
Tabla 34. Valores de energía primaria de las diferentes variantes de la instalación.....	90
Tabla 35. Valores de emisiones en kg de CO ₂ de las diferentes variantes de la instalación.....	92

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación:

Desde la antigüedad, el ser humano ha hecho uso de la energía térmica para poder satisfacer sus necesidades. Con el descubrimiento del fuego y el posterior uso de combustibles fósiles se ha podido dar solución a estas necesidades calentando las ciudades, diseñando vehículos con motores de combustión que pueden viajar durante cientos de miles de kilómetros y siendo un componente fundamental en la industria entre muchas otras aplicaciones.

Los combustibles fósiles como los derivados del petróleo, el carbón o el gas natural tienen la ventaja de tener la capacidad de crear gran cantidad de energía térmica y de tener una obtención relativamente sencilla, pero también tienen un gran inconveniente, la contaminación. Al producirse la quema de estos combustibles se producen una serie de gases perjudiciales como por ejemplo el dióxido de carbono, el cual se considera como uno de los elementos que produce el tan conocido efecto invernadero, y también otros productos como el monóxido de carbono u otros óxidos como puede ser el de nitrógeno o el de azufre los cuales son tóxicos para el ser humano y el medio ambiente y crean una atmósfera que es nociva y trae consigo problemas de salud en los humanos y animales, así como la destrucción y el deterioro de espacios naturales.

En el pasado, el uso de estos combustibles no estaba tan extendido, pero actualmente, con una sociedad globalizada y habiendo más personas con acceso a estos medios, se hace uso masivo de ellos, lo cual ha creado una gran preocupación por los efectos negativos que pueda tener esta contaminación a corto y largo plazo en nuestro mundo.

Siendo el ser humano cada vez más consciente de estos problemas, surge la necesidad de aprovechar más la energía que hasta ahora se perdía en forma de calor y de buscar también otras fuentes alternativas de energía que sean más limpias como pueden ser las fuentes de energía renovables, las cuales utilizan elementos de la naturaleza como puede ser el sol, el viento, las corrientes de agua, la biomasa o el propio calor proveniente del interior terrestre para generar energía.

Con el objetivo de que se usen estas fuentes de energía los gobiernos crean herramientas como por ejemplo el HE que es el Documento Básico de Ahorro de energía, el cual se divide en seis partes que indican cómo cumplir con el ahorro de energía en diferentes ámbitos como puede ser la iluminación, la composición de los cerramientos de un edificio o la generación de ACS en la cual exigen un porcentaje mínimo de energía aportada mediante captadores solares.

En el pasado, los lugares de baño con aguas calientes recibían el calor del interior de la Tierra, pero actualmente esto es sólo posible en algunos casos ya que existen multitud

de balnearios y piscinas municipales para climatizar. Una piscina cubierta es un buen ejemplo de que utilizar estas fuentes de energía renovables para sus necesidades energéticas es una gran opción, ya que estas requieren una gran cantidad de energía lo cual se traduce en una gran cantidad de combustibles fósiles quemados si no se usan energías renovables, con los consecuentes efectos de contaminación antes mencionados, así como un mayor costo económico, ya que existen fuentes de energía que tienen un coste mínimo de explotación.

La gran cantidad de energía requerida para la climatización de las piscinas viene dada por las pérdidas de calor producidas por la evaporación del agua, por conducción, convección, radiación y el calentamiento de un porcentaje del agua que se renueva diariamente, así como la adecuación de las condiciones de humedad y temperatura del aire que la rodea.

1.2 Objetivos:

Como se ha expuesto anteriormente, una piscina cubierta es un buen caso en el que la utilización de energías renovables mejoraría notablemente las emisiones de contaminantes a la atmósfera y generaría ahorro de dinero debido a la gran cantidad de energía que precisa, por eso se va a aprovechar este trabajo para realizar un estudio energético, económico y medioambiental de una piscina cubierta climatizada.

El grupo de investigación Modelado de Sistemas Térmicos y Energéticos de la Universidad Politécnica de Cartagena ha estado colaborando en los últimos meses con la cátedra del Ayuntamiento de Cartagena en el análisis de diferentes instalaciones deportivas que en su mayoría correspondían a piscinas climatizadas de este. En este marco se ha realizado una valoración de las instalaciones existentes y se ha realizado una propuesta de mejoras en el caso de que fueran necesarias para así mejorar su eficiencia energética. Igualmente, este trabajo se realiza en el marco de esta colaboración y su objetivo principal es el análisis dinámico mediante la herramienta de simulación Trnsys de la piscina municipal cubierta de La Aljorra, pueblo situado en la zona noroeste del municipio de Cartagena.

Para comprobar y contrastar los resultados obtenidos de este análisis se va a comparar con un método de cálculo propuesto por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y varios programas informáticos en los cuales se van a aplicar conocimientos de diferentes materias como pueden ser la programación, la termodinámica, la transmisión del calor, la eficiencia energética, la ingeniería de fluidos, entre otras, para modelar el comportamiento de la piscina y el recinto que la envuelve.

En primer lugar y a modo de precálculo se va a utilizar este método propuesto por el IDAE, el programa Cheq4 y el programa SOLAR de la Universidad Politécnica de

Valencia para hallar una primera estimación de los valores de la demanda energética de la piscina y del factor de aporte solar

Más tarde con el programa Trnsys17, el cual es una herramienta muy potente y completa de simulación dinámica, se va a realizar un estudio minucioso de todos los elementos de la instalación para ya sacar unos resultados más serios y compararlos con los obtenidos en el precálculo con herramientas más sencillas.

Finalmente se propondrán tres posibles modificaciones de la instalación que traerían consigo una mejora en la eficiencia energética, una mejora en las emisiones de contaminantes y un ahorro de dinero a largo plazo. Estas alternativas se modelarán también con el programa Trnsys17 y se realizará una estimación del coste de su implementación y una comparación en diversos aspectos entre estas tres alternativas y la instalación original.

2 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

La piscina municipal de la Aljorra se encuentra en la parte noreste de la Aljorra, concretamente en la Calle Américo Vespucio.



Figura 1. Plano de situación de la piscina municipal de La Aljorra.

La edificación cuenta con zona de gimnasio, vestuarios, despachos, piscina y otras áreas destinadas a otros usos.

La piscina cuenta con una superficie del vaso de 212,5 m² y un volumen de 261,43 m³.



Figura 2. Detalle de la geometría del vaso de la piscina.

Para poder extender el uso de la piscina durante todo el año y no sólo en los meses más cálidos se ha proyectado la cubrición del espacio de la piscina, así como la climatización tanto del vaso de la piscina, como del ambiente que la rodea para sí crear unas condiciones óptimas que generen confort durante su uso y funcionamiento. La cubrición consiste en una cubierta completa tipo sándwich formada por dos chapas de acero con plancha de fibra de vidrio intermedia situada sobre un entramado de vigas y correas de madera laminadas.

El sistema diseñado para satisfacer las necesidades energéticas demandadas para el calentamiento de ACS y el agua del vaso de la piscina consiste en captadores solares de tubos de vacío situados en parte de la cubierta de las instalaciones, concretamente 30 captadores del fabricante Trisol solar modelo SS-2018U con una superficie de apertura unitaria de 2,4 m². Los captadores están inclinados 45° orientados completamente al sur (azimut 0°).

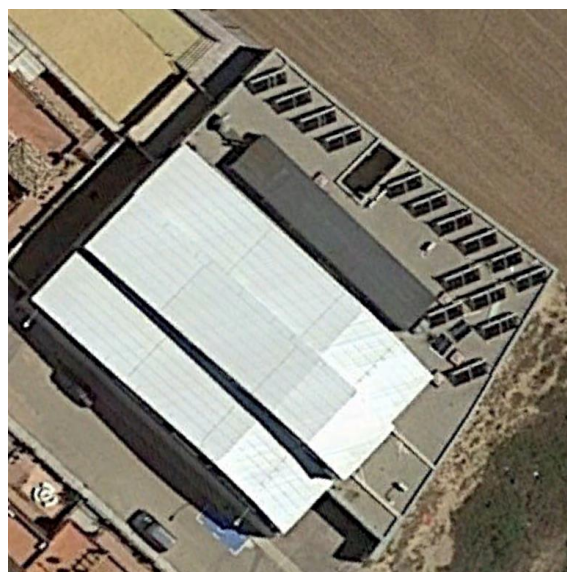


Figura 3. Vista aérea de los captadores solares.

Debido a que los captadores solares no son suficientes para satisfacer el 100% de la demanda energética de las instalaciones, estos están apoyados por dos calderas de gasóleo del fabricante BAXIROCA, una de 151,16 kW para el calentamiento de ACS y otra de 348,9 kW para el calentamiento del vaso de la piscina alimentadas desde un depósito de gasóleo de 5.000 l.



Figura 4. Caldera de gasóleo.

La instalación cuenta con un interacumulador solar de 3.000 litros y un interacumulador de ACS de 738 litros, como muestra la figura 5.



Figura 5. Interacumulador solar (izquierda) e interacumulador de ACS (derecha).

Para el transporte del agua y la energía a través de la piscina y las diferentes fuentes de calor existe también un sistema formado por varias bombas de diferentes características y dos intercambiadores de calor de placas para transmitir el calor al agua contenida en el vaso de la piscina y para controlar el valor de la humedad relativa del aire del recinto

(figura 6) y que no suba por encima de ciertos valores debido a la evaporación del agua se dispone de una deshumectadora.



Figura 6. Recinto interior de la piscina.

3 ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN CON CHEQ4 Y SOLAR

En primer lugar y a modo de precálculo, como ya se ha comentado en apartados anteriores, se ha realizado un estudio de la instalación con los programas SOLAR y Cheq4.

SOLAR es una herramienta simplificada de cálculo estático desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia para el cálculo de instalaciones solares térmicas y utiliza un método desarrollado por la universidad de Wisconsin, conocido como f-chart., el cual está muy extendido y es utilizado para determinar el factor de aporte solar de una instalación que tiene una determinada demanda energética DE mediante una relación de los valores mensuales de los parámetros adimensionales X_i e Y_i , que se obtienen a partir de las siguientes variables:

- **Información de la superficie de captadores:**
 - Superficie de apertura por captador en m^2 .
 - Número de captadores.
 - Factor de eficiencia óptica de los captadores: $FR(\tau\alpha)=\eta_0$.
 - Coeficiente global de pérdidas FRUL dado en $W/(m^2 \cdot K)$, obtenido de la curva de eficiencia del captador $FRUL=a_1+40a_2$, siendo a_1 y a_2 los coeficientes lineal y cuadrático respectivamente.

- **Relación entre el volumen de acumulación y el área de captadores V/A en l/m².**
- **Información en el intercambiador:**
 - Caudales máxicos del primario y del secundario m_1 y m_2 en kg/(s·m²).
 - Calores específicos de los fluidos del primario y del secundario C_{p1} y C_{p2} en J/(kg·K).
 - Efectividad del intercambiador ε .
- **Demanda de energía mensual DE_i .**
- **Irradiación solar incidente diaria media mensual HT_i en J/m².**
- **Otros parámetros:**
 - Cantidad de segundos del mes Δt_i .
 - Temperatura ambiente media mensual Ta_i .
 - Días del mes N_i .

Por otro lado Cheq4 es otra herramienta simplificada para el cálculo del aporte solar en instalaciones de ACS y de calentamiento de piscinas, el cual utiliza el método MetaSol, que es parecido al f-chart. Este programa, al igual que el anterior se trata de un método de cálculo estático y utiliza también valores mensuales en las simulaciones, con la diferencia de que este utiliza las condiciones climáticas y de demanda que establece la norma española y sirve como herramienta de verificación de aplicaciones generales. Para el cálculo se parte de ocho modelos diferentes en los cuales se especificarán las variables necesarias. Para una mejor precisión en los resultados, se parte de modelos con gran detalle obtenidos del programa TRANSOL en el cual se realizan gran cantidad de simulaciones para establecer los resultados en función de las variables que intervienen en cada sistema. Debido a esta sencillez y precisión es la herramienta simplificada más usada y aceptada.

Para comenzar con el análisis, ha de tenerse en cuenta que en la instalación actual se encuentran 30 captadores solares de la marca Trisolar, concretamente los SS-2018U, mientras que según proyecto deberían haber 40 colectores de la marca Viessmann, modelo Vitosol 200T, por ello debemos estudiar qué efecto tendrá esta variación.

En primer lugar se utilizará la herramienta Cheq4 para comprobar el resultado si se hubieran utilizado los 40 captadores Viessmann proyectados.

Cheq4 tiene seis pestañas, cinco destinadas a la introducción de datos y una sexta en la cual se muestran los resultados del análisis. En la primera pestaña, que es la correspondiente a la **Localización**, se introducen los datos de provincia y municipio para así definir la zona climática definida según el Anejo B de la normativa HE, y con ella los valores de radiación solar, temperatura ambiente y del agua de red media mensual. En el caso de la piscina cubierta de la Aljorra y como ya se ha descrito con anterioridad, la instalación se encuentra en la provincia de Murcia y en el municipio de Cartagena.

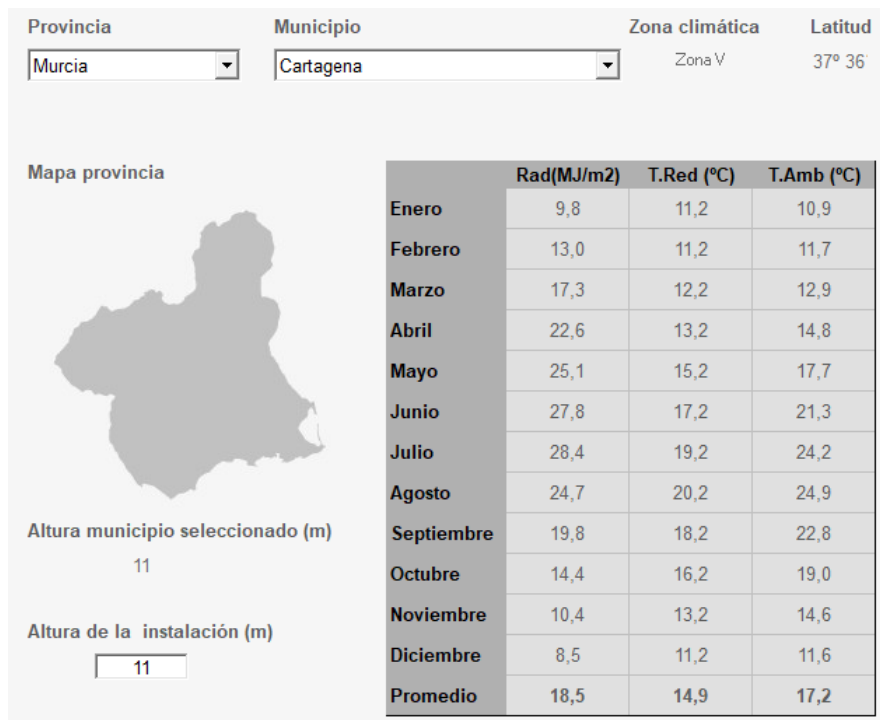


Figura 7. Pestaña de Localización Cheq4.

La segunda pestaña tiene el nombre de **Configuración** y en ella se escoge entre diferentes esquemas de instalaciones preestablecidos. En el caso de la instalación de la Aljorra y teniendo en cuenta los equipos presentes en la instalación que se han descrito en el apartado de descripción de las instalaciones, el esquema que se adapta a ella es el definido como “Instalación con intercambiador independiente y piscina cubierta”.

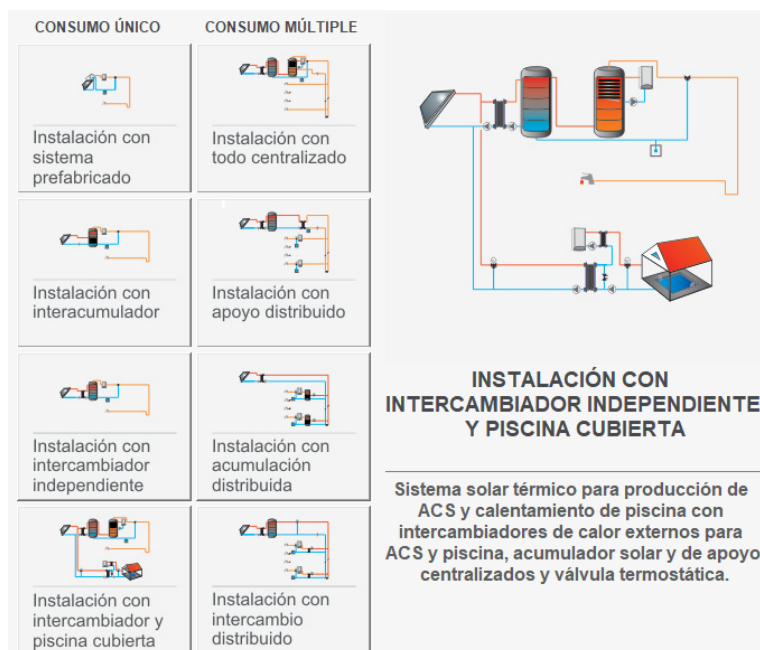


Figura 8. Pestaña de Configuración Cheq4.

La tercera pestaña es la de **Demanda**, y como su nombre indica, en ella se define la demanda diaria en litros de ACS. Esto viene descrito también en el Anejo F del documento de la HE. Aparte de esta demanda debida al uso también se permite definir otras demandas debidas a otros usos. En el caso de la instalación de la Aljorra, se corresponde con el uso de “Gimnasio”, el cual establece 21 litros de ACS por persona y día. Según proyecto, a fin de llevar a cabo estos cálculos se tendrán en cuenta una ocupación de 92 personas, dando como resultado una cantidad de 1.932 litros diarios de ACS a 60 °C.

CONSUMO ÚNICO

Aplicación
Gimnasios

Número de personas
92

Demanda calculada (l/día a 60 °C) 1.932

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	0	0		
Tipo B	0	0		
Tipo C	0	0		
Tipo D	0	0		

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C) 0

Demanda total (l/día a 60°C) 1.932

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100	100
Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
100	100	100	100	100	100	100

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 60%

Caso piscina FS 70%

Figura 9. Pestaña de Demanda Cheq4.

La cuarta pestaña, llamada **Solar/Apoyo**, es la destinada a definir el sistema de captación solar, el circuito primario y el secundario, y el sistema de apoyo.

Los captadores solares se eligen de una lista definida por el fabricante y el modelo sin posibilidad de introducir otros captadores diferentes a partir de su curva de eficiencia. Los captadores proyectados (los Viessmann, modelo Vitosol 200T) se encuentran en la lista, por ello realizaremos primero el estudio con estos, pero como los captadores existentes no se encuentran en ella, se realizará posteriormente un estudio de los captadores proyectados con el programa SOLAR (en el que sí se pueden introducir captadores a partir de su curva) para así comparar resultados y extrapolarlo al caso de los captadores existentes para así obtener un resultado más parecido al que daría la herramienta aceptada de verificación de la normativa que es el programa Cheq4.

El programa muestra en una tabla la información de la curva de eficiencia, área y otra información de interés del captador seleccionado. En proyecto se encuentran 40 captadores del modelo antes mencionado orientados al sur (0°) con una inclinación de

45° y analizando las posibles sombras que pudieran proyectar sobre ellos las estructuras adyacentes se ha determinado unas pérdidas por sombras del 0%.

El caudal del primario y del secundario se corresponde con el caudal de pruebas, que como vemos en la tabla es de 72 litros a la hora por metro cuadrado, dando 9.187 l/h. Se ha supuesto un valor del 20% de anticongelante en el primario, el cual suele ser un valor que suele estar alrededor de ese porcentaje en la mayoría de instalaciones. Para la longitud del circuito se ha tenido en cuenta el plano en planta del edificio con la distribución de los captadores y se ha hecho una aproximación ligeramente al alza de esta teniendo en cuenta las medidas del edificio obteniendo unos 200 metros.

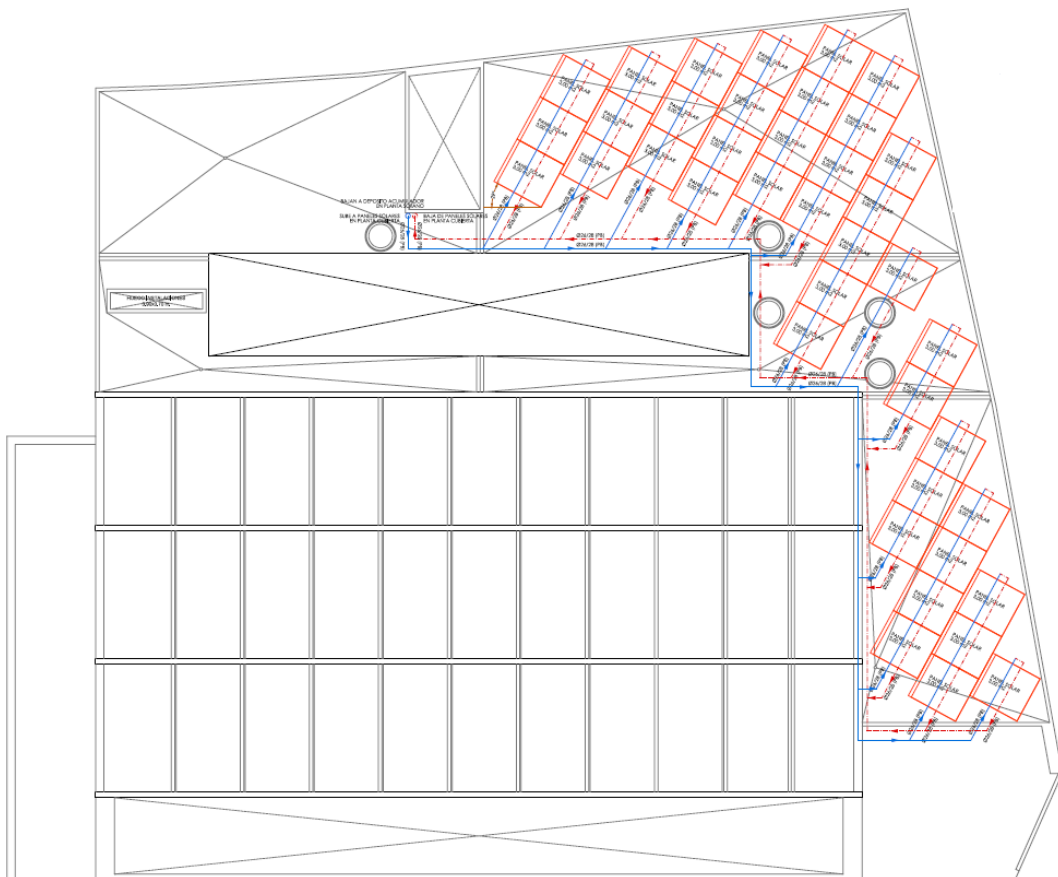


Figura 10. Vista en planta del edificio con los captadores.

El diámetro de las tuberías del primario es de 26/28 mm, por ello y por ir la mayor parte del circuito por el exterior con una temperatura superior a 60 °C le corresponde un aislante de 35 mm de espesor según el RITE. El aislante observado en la visita de la instalación es espuma elastomérica.

Tabla 1.2.4.2.2: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60

Figura 11. Espesores mínimos de aislamiento exterior según RITE.

El sistema de captadores se apoya de dos calderas convencionales de gasóleo como ya se describió anteriormente.

CAPTADORES

Empresa:

Marca/Modelo:

AVISO:
Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.

Datos de ensayo

Área (m2)	3,19
n0 (-)	0,761
a1 (W/m2K)	1,047
a2 (W/m2K2)	0,007
Qtest(l/hm2)	72
k50	1
Laboratorio	TÜVRheinland
Certificación	NPS-8416




CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: Captadores en serie: Pérdidas sombras (%):

Orientación (°): Inclinación (°): Área total captadores (m2): 127,60

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 12. Pestaña de Solar/Apoyo Cheq4.

La quinta pestaña es **Otros parámetros** y está dedicada a definir el sistema de acumulación, el sistema de distribución y la piscina. De acumulación ya se vio que había un acumulador y un interacumulador con un volumen total de 3.738 l. La relación volumen/área de captación debe ser inferior a 50 l/m², en este caso es de 29,29.

La longitud del sistema de distribución se ha determinado de la misma forma aproximada que la longitud del primario y del secundario. Esta vez el programa sí deja introducir el diámetro de la tubería que es de 40 mm según los planos situados en el

documento del proyecto. La temperatura de impulsión se supondrá de 60 °C, ya que por razones sanitarias y de prevención de la legionelosis tiene que impulsarse el agua a 50-60 °C. Para este diámetro, esta temperatura y teniendo en cuenta que el circuito de distribución discurre por el interior del edificio, el RITE establece ahora un espesor de aislante de 30 mm. El aislante es el mismo que el del circuito primario y el secundario, espuma elastomérica.

Tabla 1.2.4.2.1: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Figura 13. Espesores mínimos de aislamiento interior según RITE.

La información requerida de la piscina es la altura media, la cual es de 1,23 m y ha sido obtenida de dividir el volumen de la piscina entre la superficie lámina de esta que es 212,5 m²; la apertura diaria que es de 12 horas; la humedad relativa del aire límite es de 65% según el RITE, por ello y teniendo en cuenta que la instalación se encuentra en una región húmeda, se fijará este valor;

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Volumen total (l)



Vol/Área (l/m2)

DISTRIBUCIÓN

Long. circuito (m) 

Diám.tubería (mm)

Esp. aislante (mm) T. imp.(°C)

Aislante

PISCINA CUBIERTA

Altura (m) Temp. ambiente (°C)

Apertura diaria (h) Temp. piscina (°C)

Superficie lámina (m2) Renov. volumen día (%)

Humedad relativa (%) Ocupación (pers/m2)



VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES

Tipo A (l) Tipo C (l)

Tipo B (l) Tipo D (l)

Volumen total (l) Vol/Área (l/m2)

DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES

Long. total (m)

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm)

Aislante

Figura 14. Pestaña de Otros Parámetros Cheq4.

las temperaturas del ambiente y del vaso de la piscina serán de 29 y 28 °C respectivamente, lo cual son unos valores realistas para la zona en la que se encuentra la instalación y además cumple la norma del RITE que establece la temperatura del ambiente 1-2 °C por encima de la temperatura del vaso de la piscina; una renovación diaria de un 2,5% del volumen de la piscina, la cual se hace por motivos de salubridad y así garantizar unas condiciones óptimas del agua del vaso; y una ocupación de 0,056 personas por m² que corresponde a unas 12 personas simultaneas.

La última pestaña es la de **Resultados**, en ella se muestra una tabla con la demanda bruta y neta, la fracción solar, el aporte solar, el consumo de energía auxiliar y la reducción de CO₂, y una gráfica con estos datos representados mes a mes. Para los parámetros introducidos en el programa, muestra un aporte solar de un 63%, el cual está lejos del 70% exigido. También vemos una demanda neta de 287.350 kWh.

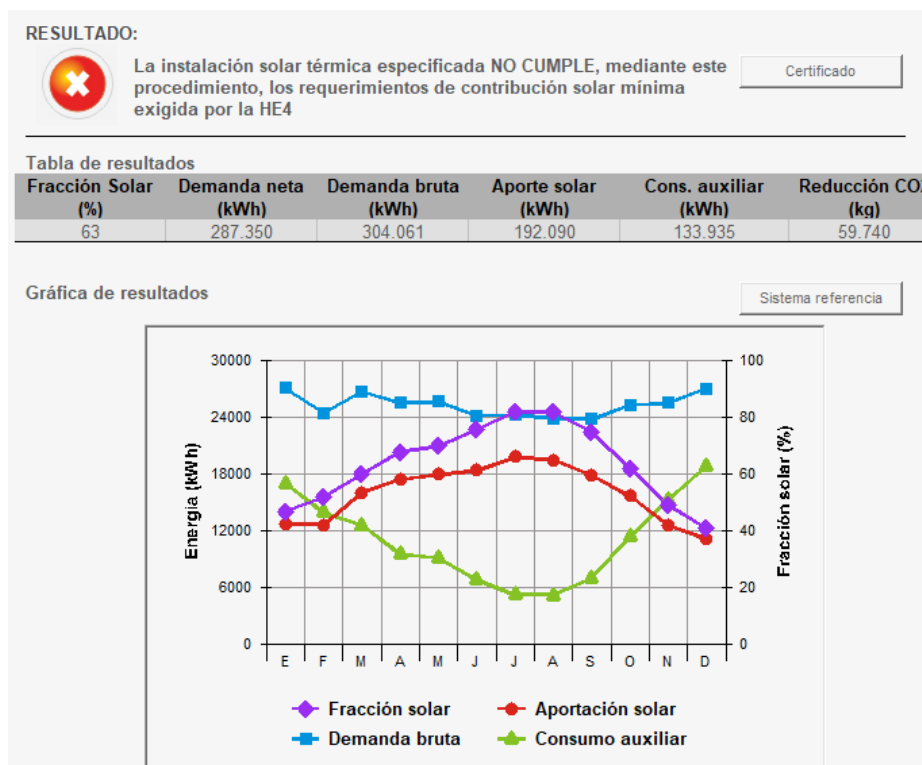


Figura 15. Pestaña de Resultados Cheq4.

Para llegar al 70% de aporte solar exigido para la zona climática del edificio harían falta 46 colectores según la herramienta Cheq4, lo cual es un número superior al proyectado con ese tipo de colectores.

A continuación se va a exponer el análisis con el programa SOLAR para la misma configuración estudiada con Cheq4. De igual forma que Cheq4, SOLAR es un programa que se divide en una serie de pestañas, en este caso nueve para los diferentes parámetros a introducir y resultados y gráficas a obtener a partir de estos introducidos. A

continuación se va a describir cada una de las pestañas, sin hacer hincapié en los datos ya presentados anteriormente.

La primera pestaña es la de **Datos Generales** y en ella, de igual forma que en la pestaña de Localización de Cheq 4, se introducen los datos de provincia, municipio y altura sobre el nivel del mar para establecer la zona climática. También se pueden introducir otros datos como pueden ser en nombre del edificio, información del proyectista y otra información del edificio, pero a efectos del cálculo no tendrán ningún efecto, de ahí que se puedan encontrar estas casillas sin rellenar.

The image shows two tabs from a software interface: 'Edificio' and 'Proyectista'.
Edificio tab: Contains fields for 'Nombre edificio:', 'Ref. catastral/s:', 'Año construcción:', 'Dirección:', 'Provincia:' (dropdown menu set to Murcia), 'Municipio:' (dropdown menu set to Cartagena), 'CP:', 'Comunidad Autónoma:' (dropdown menu set to Murcia), 'a.s.n.m.' (input field with '11'), 'latitud(°)' (input field with '37,61'), 'Zona climática:' (dropdown menu set to 'Temperatura (HE1) B3'), and 'Radiación (HE4)' (checkbox checked).
Proyectista tab: Contains fields for 'Nombre apellidos:', 'Razón social:', 'Domicilio:', 'Provincia:' (dropdown menu set to Murcia), 'Municipio:' (dropdown menu set to Murcia), 'CP:', 'Comunidad Autónoma:' (dropdown menu set to Murcia), 'e-mail:', 'Titulación habilitante:', 'NIF:', 'CIF:', and 'Telefono:'.

Figura 16. Pestaña de Datos Generales SOLAR.

La segunda pestaña es la correspondiente a la **Demanda de ACS** y en ella se debe introducir otra vez el uso destinado a la instalación, el número de personas y el porcentaje de ocupación.

○ Criterio de demanda para ACS a 60°C (litros/día persona)

- Vivienda Unifamiliar (28 por persona).....
- Edificios Viviendas Multifamiliares (28 por persona).....
- Hospitales y clínicas (55 por persona).....
- Ambulatorio y Centro de salud (41 por persona).....
- Hotel**** (63 por persona).....
- Hotel**** (55 por persona).....
- Hotel*** (41 por persona).....
- Hotel/Hostal** (34 por persona).....
- Camping (21 por persona).....
- Hostal/pensión * (28 por persona).....
- Residencia (ancianos, estudiantes, etc) (41 por persona).....
- Centro penitenciario (28 por persona).....
- Albergue (24 por persona).....
- Vestuarios/Duchas colectivas (21 por persona).....
- Escuelas sin ducha (4 por persona).....
- Escuelas con ducha (21 por persona).....
- Cuarteles (28 por persona).....
- Fábricas y talleres (21 por persona).....
- Oficinas (2 por persona).....
- Gimnasios (21 por persona)..... 92 personas
- Restaurantes (8 por persona).....
- Cafeterías (1 por persona).....
- Otro (1 por persona).....

% de ocupación

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

○ Especificar consumo mensual (ACS a 60°C)

Consumo de ACS (litros/día)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1932	1932	1932	1932	1932	1932	1932	1932	1932	1932	1932	1932

○ Sin consumo ACS

Consumo energía para ACS (kWh/mes)

3388	3060	3318	3157	3123	2887	2844	2774	2820	3039	3144	3388
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Figura 17. Pestaña de Demanda A.C.S. SOLAR.

La tercera pestaña es la destinada a la **Demanda de Piscinas**, en ella se requiere la información de la superficie de la piscina, la temperatura del agua de la piscina, la temperatura del ambiente, la humedad relativa y si se trata de una piscina terapéutica o si se encuentra protegida por una manta térmica nocturna. En el caso de SOLAR, no se permite introducir una temperatura del agua de la piscina superior a 26°C. En Cheq4 se definió una temperatura del agua de la piscina de 28 °C, que es una temperatura más realista para la zona de la Aljorra, pero debido a estas limitaciones en el programa SOLAR se ha introducido al temperatura máxima permitida que es de 26°C. Como temperatura del ambiente, el RITE establece que tiene que encontrarse 1 o 2 °C por encima de la del vaso de la piscina, por ello se ha adoptado el límite de 2°C y se ha fijado en 28°C. La humedad relativa se sitúa en el límite también según el RITE y se hace uso de manta térmica nocturna para minimizar las pérdidas de temperatura y así evitar hacer uso excesivo de la energía. El porcentaje de funcionamiento se supone del 100%.

- Climatización de piscinas cubiertas (Pliego condiciones técnicas IDAE)
- Climatización de piscinas cubiertas (detallado)
- No existe piscina cubierta

Superficie (m2) Piscina terapéutica

Temp. agua piscina °C Protección nocturna

Temp. ambiente seca °C Humedad relativa %

% de funcionamiento

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiemb.	Octubre	Noviemb.	Diciemb.
<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>

Detalle de pérdidas de energía (kWh/mes)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Convección	-159	-144	-159	-154	-159	-154	-159	-159	-154	-159	-154	-159
Radiación	4211	3804	4211	3583	2380	1239	-125	-208	921	2096	3929	4211
Evaporación	15253	13777	15253	14761	15253	14761	15253	15253	14761	15253	14761	15253
Perd.playa+pers.	161	145	150	137	119	94	75	64	83	106	135	161

Consumo energía para calentamiento agua piscina (kWh/mes)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	19466	17582	19455	18327	17593	15940	15044	14950	15611	17296	18671	19466

Aceptar

Figura 18. Pestaña de Demanda Piscinas SOLAR.

La cuarta pestaña es la de **Condiciones Ambientales**, y en ella se pueden seleccionar los datos de radiación, temperatura ambiente y temperatura del agua de red según datos predefinidos según la zona climática por la HE, o bien se pueden introducir manualmente los datos. En el caso de este estudio, se ha optado por hacer uso de los datos aportados por el programa para la zona climática establecida anteriormente.

La quinta pestaña está dedicada a los **Colectores** y se definen según su curva de eficiencia, el área útil por colector, la longitud del colector, las condiciones de ensayo,

el caudal volumétrico de ensayo, el calor específico del fluido de ensayo y el tipo de cristal. Para el caso del colector Vesissmann mostrado en el programa Cheq4, se han utilizado los datos mostrados en la tabla de la parte superior de la pestaña **Solar/Apoyo** para este colector teniendo un área útil por colector de 3,19 m², una longitud del colector de 2,12 m y con condiciones de ensayo según EN UNE 12975.

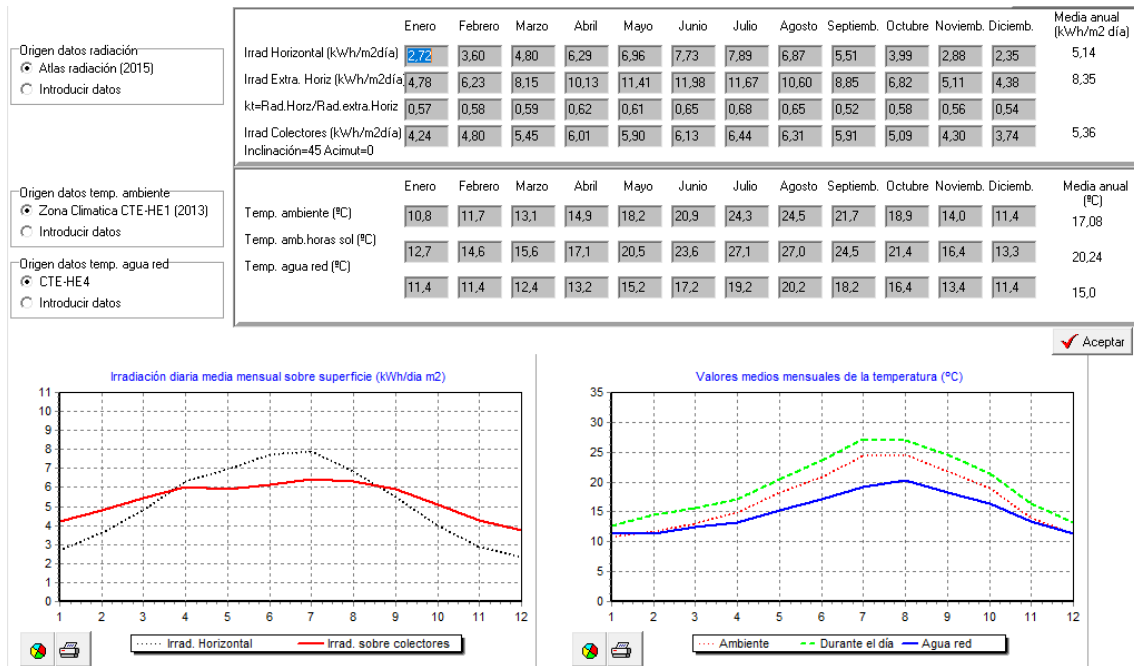


Figura 19. Pestaña de Cond. Ambientales SOLAR.

El caudal volumétrico de 72 l/(h·m²), calor específico de ensayo de 4190 J/(kg·K) (agua), cristal simple, y unos valores de la curva de eficiencia de 0,761 para el primer coeficiente, 1,047 para el coeficiente lineal y 0,007 para el coeficiente cuadrático.

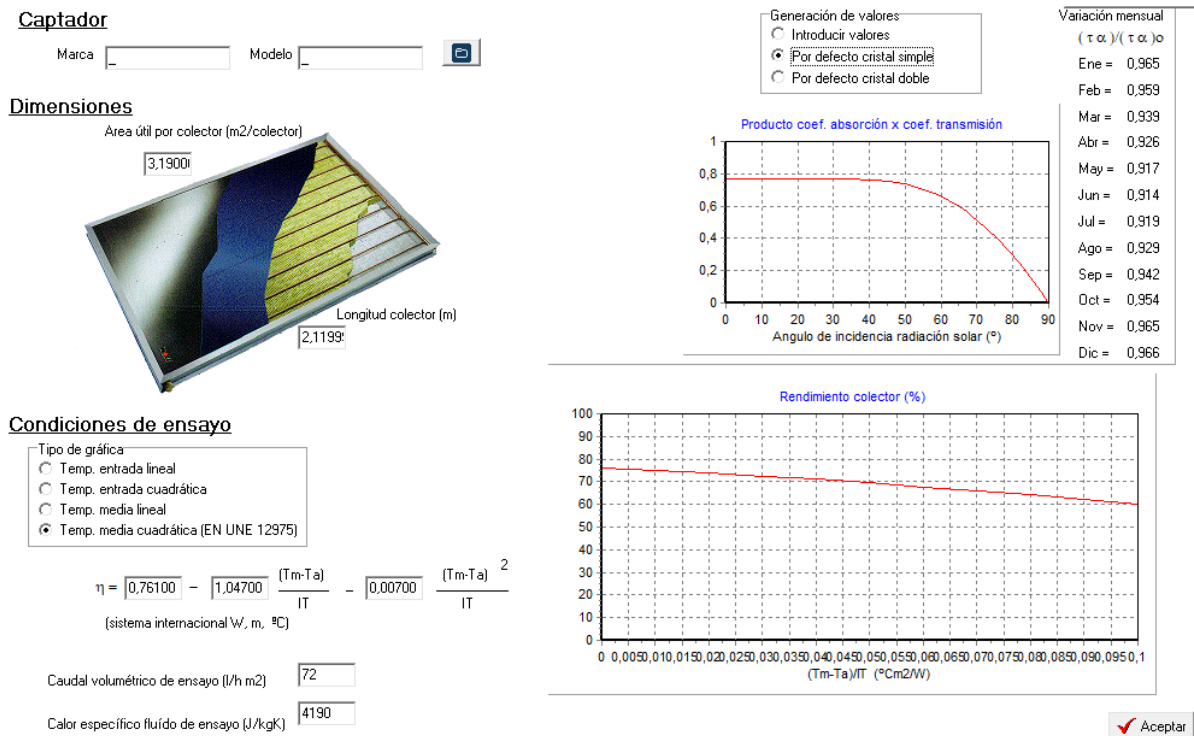


Figura 20. Pestaña de Colectores SOLAR Veissmann.

La sexta pestaña, llamada **Sistema**, es la destinada a definir algunos parámetros como pueden ser la potencia del intercambiador de calor que se encuentra entre el primario y el secundario del circuito de los captadores, el tipo y el porcentaje de anticongelante que va mezclado con el agua en el primario, el rendimiento del sistema de apoyo, el caudal que pasa por los colectores o las pérdidas de energía por el aislante en tuberías y en el depósito, que esta vez, en vez de pedir datos de longitudes de tuberías, tipo y espesor de aislante, se pide en porcentaje directamente.

Como potencia del intercambiador hemos supuesto una potencia de 600 W/m^2 , ya que ante el desconocimiento de la potencia del intercambiador existente, se ha optado por un intercambiador que pueda ceder todo el calor que sea necesario para así no crear ningún cuello de botella en esta zona de la instalación. El rendimiento de las calderas de gasóleo es de alrededor de un 90%. El caudal de los colectores es el mismo utilizado para las pruebas de estos, $72 \text{ l/(h}\cdot\text{m}^2)$, el fluido del primario se ha seleccionado como agua con propilenglicol en un 25% (porcentaje real desconocido, pero se acerca a lo utilizado usualmente en instalaciones reales), ya que el etilenglicol es tóxico, y por último se han estimado unas pérdidas en las tuberías y en el depósito de un 6%.

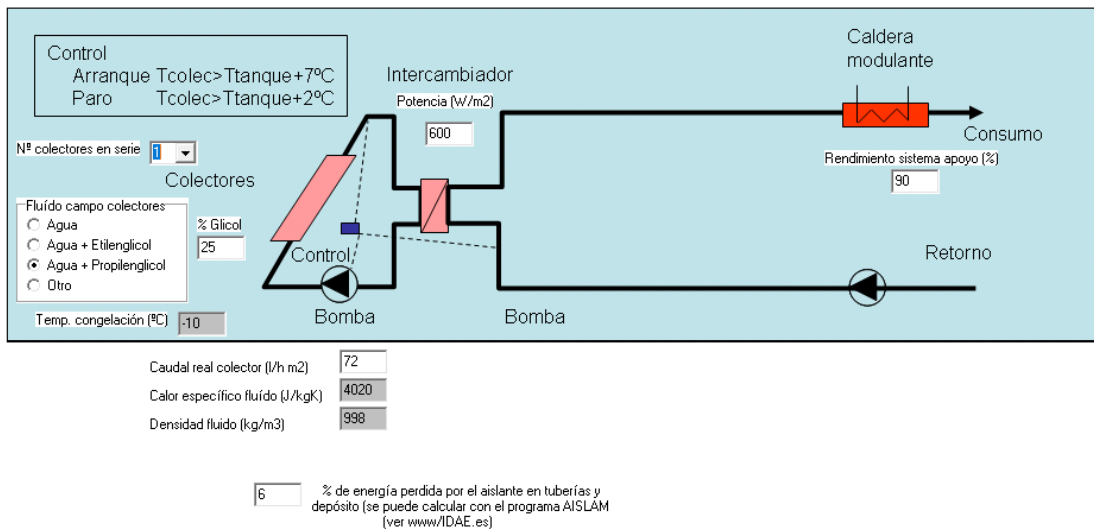


Figura 21. Pestaña de Sistema SOLAR.

La séptima pestaña es la de **Orientación/Sombras** y en ella se definen variables que afectan a los captadores tales como la orientación, la inclinación y la situación de posibles obstáculos que pudieran proyectar sombras sobre ellos. Estas variables ya se comentaron en el apartado de **Solar/Apoyo** de Cheq4, por lo que no se le dará mayor extensión en este, sólo confirmar otra vez más unas pérdidas consideradas del 0%.

La octava y la novena pestaña son las de **Análisis de sensibilidad** y **Estudio de un caso**. En la primera de ellas se puede ver cómo varían algunos parámetros conforme aumenta o disminuye el número de colectores. Estos parámetros son la energía solar incidente y la aportada, la energía auxiliar necesaria para satisfacer la demanda existente, la fracción de aporte solas y el rendimiento del sistema solar. Podemos ver en las gráficas cómo el rendimiento del sistema y la energía auxiliar necesaria disminuyen conforme aumenta el número de colectores, mientras que el resto de parámetros nombrados aumentan y la demanda, como es lógico, se mantiene constante.

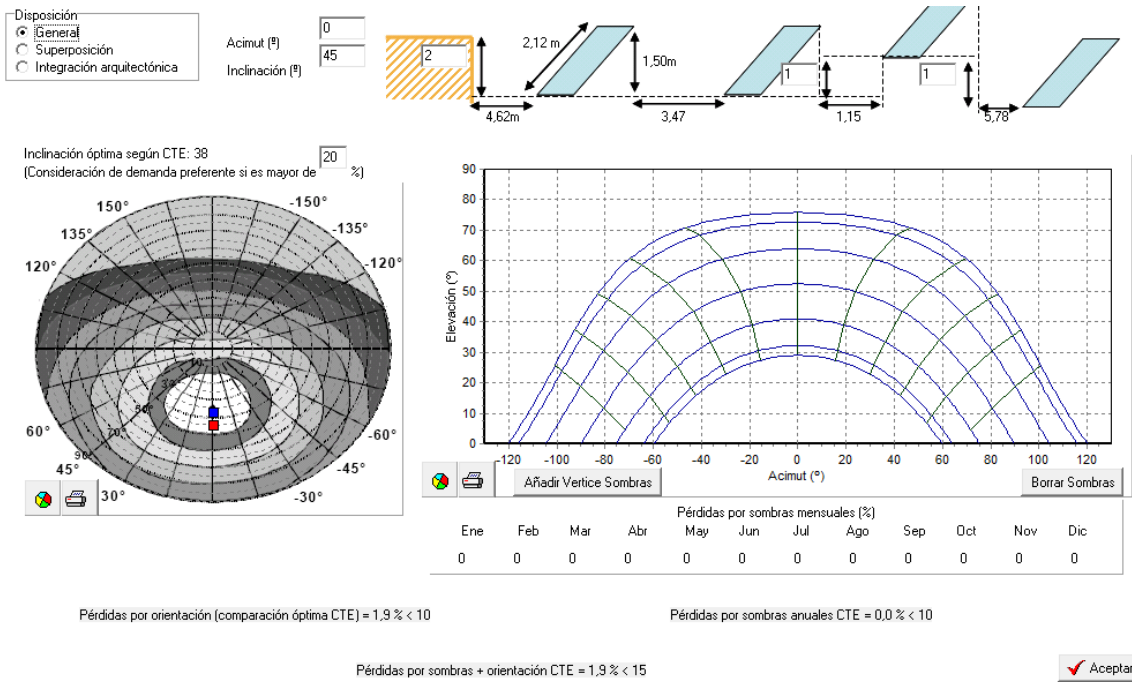


Figura 22. Pestaña de Orientación/Sombras SOLAR.

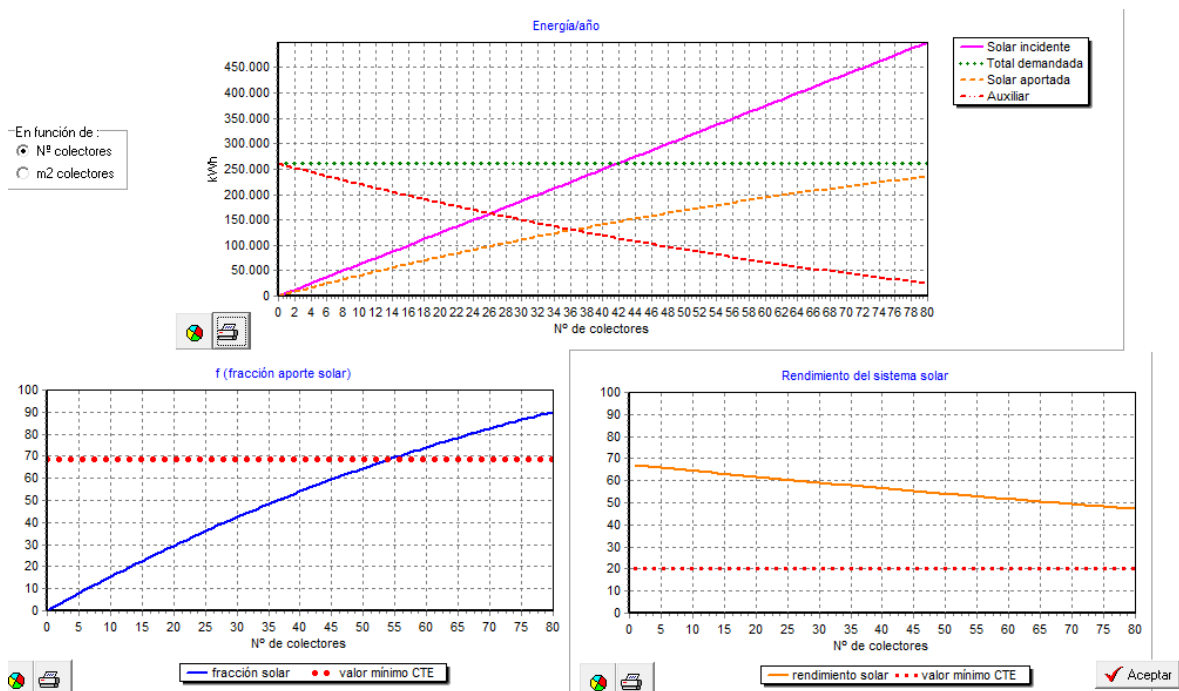


Figura 23. Pestaña de Análisis de sensibilidad SOLAR.

La última pestaña que se ha nombrado, la novena, se divide en tres subpestañas. La primera de estas subpestañas es la de definición de un caso y en ella se introduce el número de colectores que tiene la instalación a estudiar y devuelve valores orientativos que podría tener la instalación como pueden ser los caudales de las bombas, el volumen del acumulador. etc. Esta subpestaña también muestra cuántos colectores tendría que

tener la instalación como mínimo para cumplir con las exigencias del CTE en función de su método de cálculo y permite calcular la inclinación óptima de los colectores.

Número de colectores elegido Superficie útil 127,60 m² Aceptar Calcular inclinación óptima

Número colectores para cumplir el valor mínimo de aporte según CTE =55

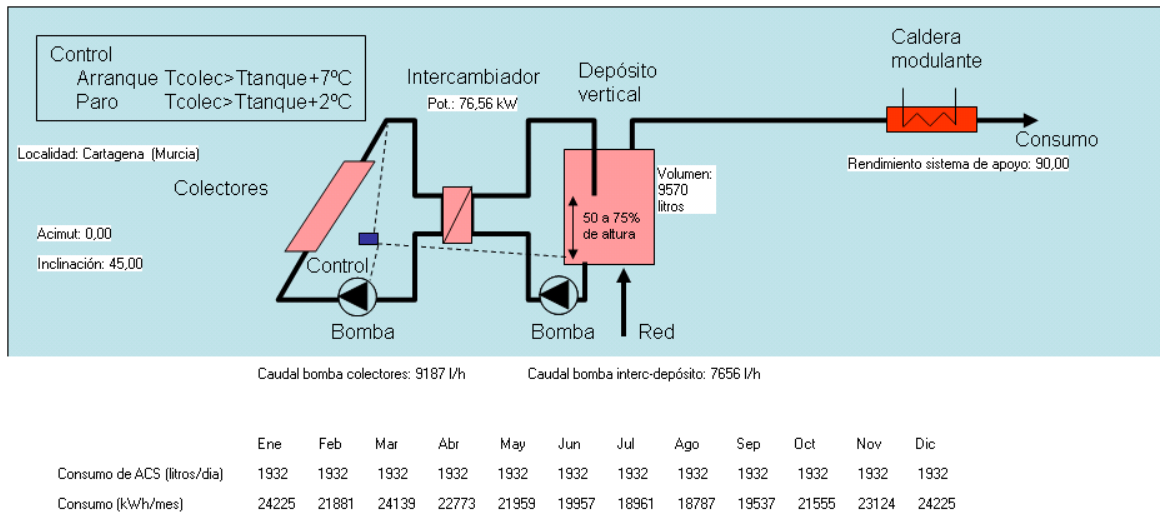


Figura 24. Pestaña de Estudio de un caso SOLAR Veissmann.

Se puede ver cómo, según el criterio de este programa, harían falta 55 colectores para cumplir con el 70% de fracción de aporte solar necesaria para cumplir con las exigencias del CTE.

Las otras dos subpestañas, de menor importancia para nuestro estudio, permiten hacer un análisis económico de la instalación y ver la evolución de la fracción de aporte solar mes a mes.

A simple vista se puede observar que el número de colectores necesarios según el programa SOLAR (55) es superior al número de colectores necesarios según el programa Cheq4 (46). Analizando la diferencia se obtiene un 19,56% más de colectores necesarios según el programa SOLAR.

Como ya se expuso anteriormente, no se pueden introducir los captadores existentes en Cheq4, que es la herramienta aceptada para la verificación de la normativa de ahorro energético, por lo que se introducirán en el programa SOLAR a partir de su curva y con los resultados obtenidos anteriormente se obtendrá una aproximación de los resultados que se podrían obtener con los colectores existentes de estar incluidos en Cheq4.

A la hora de realizar el análisis de la instalación con los captadores reales sólo cambia la información introducida en la pestaña de **Colectores** (Figura 26) por introducir unos completamente diferentes y la de **Estudio de un caso** (Figura 27) al reducirse el número de colectores de 40 a 30.

En primer lugar es necesario conocer la información del colector existente que, como ya se comentó en la descripción de las instalaciones, se trata de unos colectores de tubos de vacío del fabricante Trisolar, modelo SS-2018U, para ello se ha hecho uso de su ficha técnica para encontrar información importante como la curva de eficiencia, el caudal aconsejable para el correcto funcionamiento del colector o el área de absorción.

Estos colectores solares tienen un área de absorción de 2,1 m², un caudal aconsejable de entre 120-180 l/h por colector y una curva de eficiencia dada según la Figura 25.

Resultados de ensayo según norma europea UNE - EN 12975

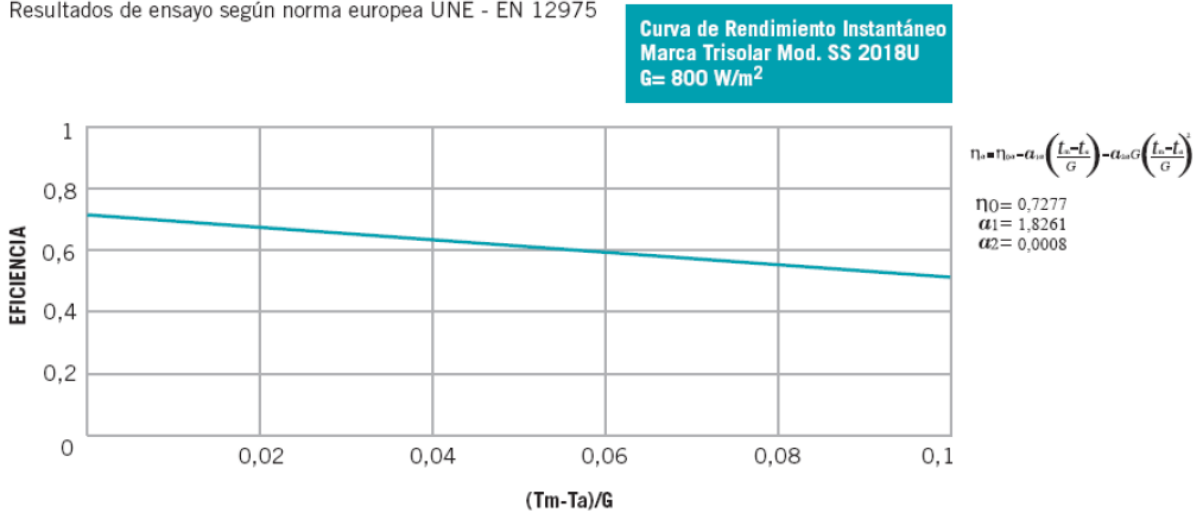


Figura 25. Curva de eficiencia colector Trisolar SS-2018U.

Se puede ver como el número de colectores existente es menor, que tienen menor área de captación que los proyectados y que la curva de eficiencia es ligeramente inferior a la del colector Veissmann, lo cual puede indicar que si la instalación proyectada no cumple, la existente cumplirá menos aún. Esto se comprobará a continuación.

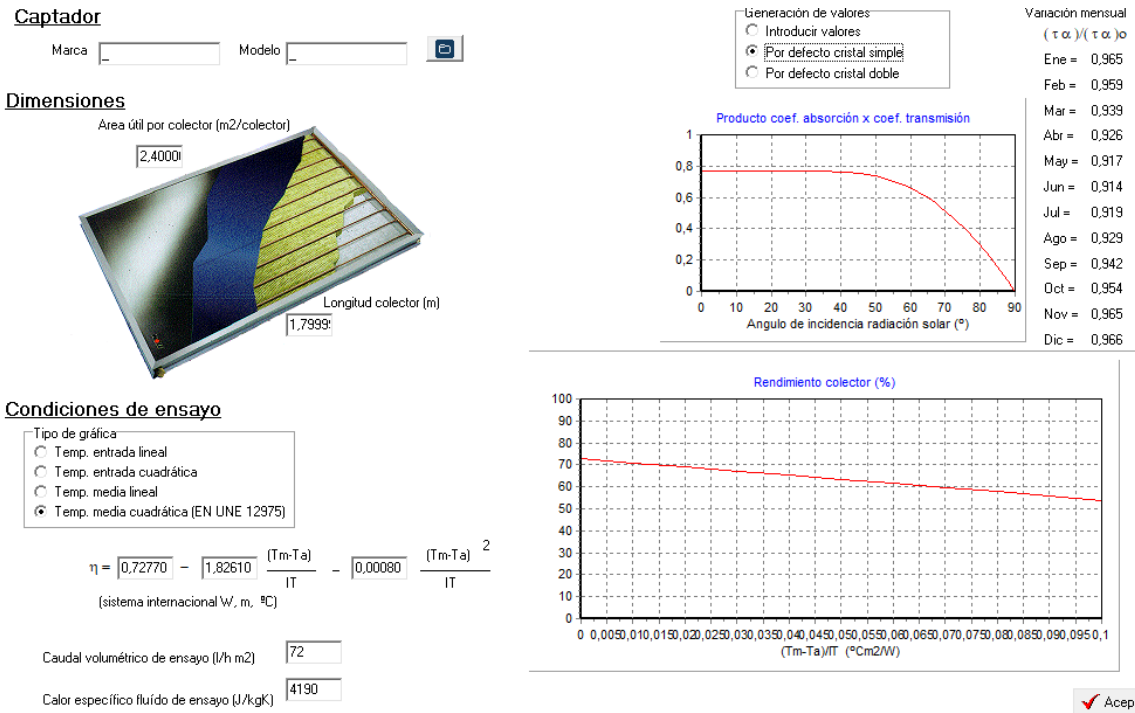


Figura 26. Pestaña de Colectores SOLAR Trisolar.

Introduciendo ahora los 30 colectores en la pestaña de Estudio de un caso, se llega a un resultado que indica que harían falta 79 colectores para cumplir con las exigencias del CTE.

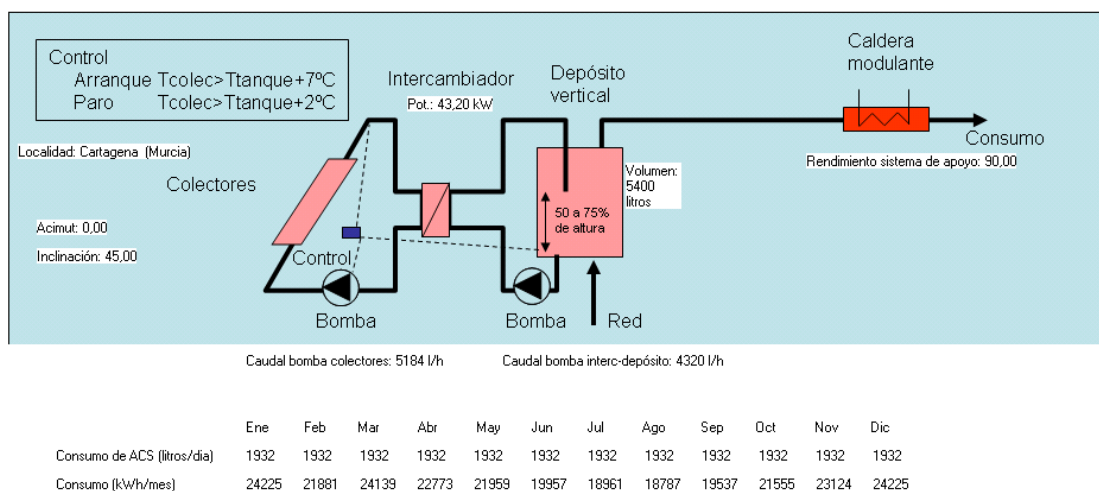
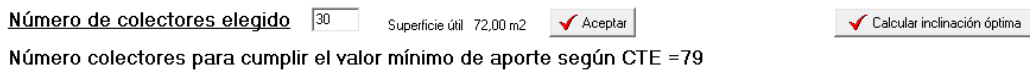


Figura 27. Pestaña de Estudio de un caso SOLAR Trisolar.

Esto puede verse también en la gráfica de fracción de aporte en función del número de colectores de la pestaña de **Estudio de sensibilidad** (Figura 28) cruzándose las dos líneas en el valor de 79 colectores.

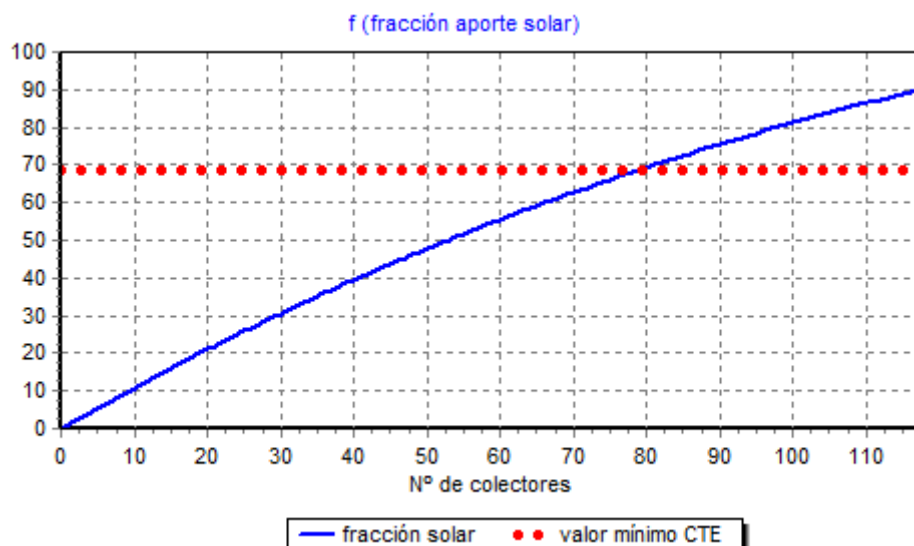


Figura 28. Gráfica de fracción de aporte/nº de colectores Trisolar.

Si se tiene en cuenta la comparación entre Cheq4 y SOLAR hecha anteriormente, se había obtenido que el programa SOLAR daba aproximadamente unos resultados un 19,56% más elevados que el programa Cheq4, luego si el programa SOLAR muestra que el número de colectores necesarios para cumplir con las exigencias del CTE es 79, extrapolando esto se obtendría aproximadamente 66 colectores necesarios con el programa Cheq4, cifra que dista de forma amplia de la cifra de colectores presentes en la instalación real y da también un aporte solar aproximado de un 31% según SOLAR.

4 ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN CON MÉTODO PROPUESTO POR EL IDAE

En este apartado se estudia la instalación térmica correspondiente a la Piscina Climatizada de la Aljorra mediante el método propuesto por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en IDAE, 2020.

El IDAE establece en su Guía Técnica de Energía Solar Térmica unas expresiones matemáticas para poder calcular las pérdidas energéticas en la piscina y así obtener la demanda energética de esta. El calor se pierde a través de tres formas: por evaporación, por radiación y por conducción. Se considera que las pérdidas por evaporación son un 80% de las pérdidas totales y que las pérdidas de calor por radiación son un 20% del total, siendo despreciables las pérdidas por conducción.

Se establece la siguiente fórmula empírica para el cálculo de las pérdidas en piscinas cubiertas en kW:

$$P = (130 - 3 \cdot T_{AP} + 0,2 \cdot T_{AP}^2) \cdot (S_{VP}/1.000) \quad (1)$$

Siendo T_{AP} la temperatura del agua de la piscina en °C y S_{VP} la superficie del vaso de la piscina en m^2 . Con una temperatura del agua de la piscina de 28°C y los 212,5 m^2 de superficie del vaso de la piscina se obtienen una potencia necesaria de **43,095 kW**.

Multiplicando este valor por el número de días de cada mes y por el número de horas de uso de la piscina, que son 12 horas al día, se puede obtener las pérdidas energéticas de la piscina mes a mes como se puede ver en la Tabla 1.

Mes	Días/mes	Pérdidas piscina (kWh)
Enero	31	16031,34
Febrero	28	14479,92
Marzo	31	16031,34
Abril	30	15514,2
Mayo	31	16031,34
Junio	30	15514,2
Julio	31	16031,34
Agosto	31	16031,34
Septiembre	30	15514,2
Octubre	31	16031,34
Noviembre	30	15514,2
Diciembre	31	16031,34

Tabla 1. Pérdidas de energía piscina.

A estas pérdidas energéticas hay que añadirle las correspondientes a elevar la cantidad de agua renovada diariamente a la temperatura de la piscina, para hallar esta demanda de reposición mensual en kWh se utilizará la siguiente expresión termodinámica:

$$D_{REP} = \%renov \cdot V_p \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{AP} - T_{red}) \cdot (Días\ por\ mes/3.600) \quad (2)$$

El porcentaje de renovación se expresa en tanto por uno y en este caso se ha optado por un 2,5% del volumen total de la piscina que es V_p y se expresa en m^3 . ρ es la densidad del agua que es $1.000\ kg/m^3$, C_p es su calor específico que es $4,184\ kJ/(kg \cdot K)$ y T_{red} es la temperatura media mensual del agua de red utilizada para la reposición, la cual ha sido obtenida de bases de datos del lugar y se recoge en la Tabla 2 junto a la demanda por reposición.

Mes	Tred (°C)	Demanda reposición (kWh)
Enero	11,2	3955,993617
Febrero	11,2	3573,155525
Marzo	12,2	3720,517807
Abril	13,2	3372,621287
Mayo	15,2	3014,090375
Junio	17,2	2461,10202
Julio	19,2	2072,187133
Agosto	20,2	1836,711322
Septiembre	18,2	2233,222203
Octubre	16,2	2778,614565
Noviembre	13,2	3372,621287
Diciembre	11,2	3955,993617

Tabla 2. Pérdidas de energía por reposición piscina.

Si se suman las pérdidas energéticas de la piscina por pérdida de calor y por reposición se obtienen la demanda energética total de la piscina.

Mes	Demanda total piscina (kWh)
Enero	19987,33362
Febrero	18053,07553
Marzo	19751,85781
Abril	18886,82129
Mayo	19045,43038
Junio	17975,30202
Julio	18103,52713
Agosto	17868,05132
Septiembre	17747,4222
Octubre	18809,95456
Noviembre	18886,82129
Diciembre	19987,33362
Anual	225102,9308

Tabla 3. Demanda total piscina.

Una vez obtenida la demanda energética de la piscina, hay que obtener la demanda energética de la generación de ACS la cual, para una temperatura de ACS producido de 60°C, se obtiene como:

$$D_{REP} = \dot{V}_p \cdot \rho \cdot C_p \cdot (60 - T_{red}) \cdot (\text{Días por mes}/3600) \quad (3)$$

El único término desconocido que no se haya definido antes es el primero que es el de volumen diario que, como ya se comentó, para un uso de Gimnasio es de 21 litros por

persona y día, y para una cantidad proyectada de 92 personas resulta en 1.932 litros por día. Con esto definido resulta la demanda energética de ACS recogida en la Tabla 4.

Mes	Demanda total ACS (kWh)
Enero	3396,861291
Febrero	3068,132779
Marzo	3327,253477
Abril	3152,56032
Mayo	3118,430037
Junio	2883,11072
Julio	2839,998784
Agosto	2770,390971
Septiembre	2815,74832
Octubre	3048,822224
Noviembre	3152,56032
Diciembre	3396,861291
Anual	36970,73053

Tabla 4. Demanda total ACS.

La demanda total será el resultado de sumar la demanda de la piscina y la demanda de ACS.

Mes	Demanda térmica total (kWh)
Enero	23384,19491
Febrero	21121,2083
Marzo	23079,11128
Abril	22039,38161
Mayo	22163,86041
Junio	20858,41274
Julio	20943,52592
Agosto	20638,44229
Septiembre	20563,17052
Octubre	21858,77679
Noviembre	22039,38161
Diciembre	23384,19491
Anual	262073,6613

Tabla 5. Demanda térmica total.

Si se tiene en cuenta las pérdidas energéticas producidas durante el transporte y la acumulación del agua se obtiene la demanda bruta:

$$D_{BRUTA} = D_T \cdot (1 + \%p\u00e9rdidas) \quad (4)$$

Siendo D_T la demanda térmica total y el porcentaje de pérdidas en tanto por uno considerado como un 10% se obtiene la demanda bruta recogida en la Tabla 6.

Mes	Demanda bruta (kWh)
Enero	25722,6144
Febrero	23233,32913
Marzo	25387,02241
Abril	24243,31977
Mayo	24380,24645
Junio	22944,25401
Julio	23037,87851
Agosto	22702,28652
Septiembre	22619,48758
Octubre	24044,65447
Noviembre	24243,31977
Diciembre	25722,6144
Anual	288281,0274

Tabla 6. Demanda térmica bruta.

Con la demanda bruta obtenida, lo próximo que interesa obtener es la fracción de aporte solar y para ello se parte de los valores medios mensuales de radiación disponible en kWh/(m²·día) obtenidos de una base de datos del municipio de Cartagena. Multiplicando este valor por el número de días de cada mes se obtiene la radiación disponible en kWh/m² y multiplicando este último valor por la cantidad de metros cuadrados de colectores obtenemos la incidencia solar en kWh. Como hay 30 colectores de 2,1 m² de superficie, esta superficie será de 63 m².

Mes	Radiación disponible (kWh/m ² ·día)	Radiación disponible (kWh/m ²)	Incidencia solar
Enero	4,28	132,68	8358,84
Febrero	4,83	135,24	8520,12
Marzo	5,48	169,88	10702,44
Abril	6,03	180,9	11396,7
Mayo	5,92	183,52	11561,76
Junio	6,16	184,8	11642,4
Julio	6,47	200,57	12635,91
Agosto	6,34	196,54	12382,02
Septiembre	5,93	177,9	11207,7
Octubre	5,11	158,41	9979,83
Noviembre	4,34	130,2	8202,6
Diciembre	3,77	116,87	7362,81

Tabla 7. Radiación disponible e incidencia solar.

La fracción de aporte solar se define como la relación entre el aporte solar y la demanda bruta.

$$f = \frac{\text{Aporte}}{D_{BRUTA}} \quad (5)$$

La demanda bruta es un dato que ha sido hallado ya, pero el aporte es la incidencia solar con las correcciones referentes al rendimiento del colector y a las pérdidas por orientación o inclinación. El rendimiento del colector se obtiene de su curva de eficiencia (Figura 25) siendo T_m la temperatura media entre la entrada y la salida de un colector supuesta como 35 °C, T_a la temperatura ambiente y G obtenida de convertir la radiación disponible a W/m^2 multiplicando por mil y dividiendo entre veinticuatro al encontrarse en $kWh/(m^2 \cdot \text{día})$, teniendo un valor máximo de $800 W/m^2$.

Mes	Tamb (°C)	Rendimiento colector
Enero	10,8	0,60107
Febrero	11,7	0,62374
Marzo	13,1	0,64334
Abril	14,9	0,66056
Mayo	18,2	0,67646
Junio	20,9	0,69062
Julio	24,3	0,70871
Agosto	24,5	0,70624
Septiembre	21,7	0,69141
Octubre	18,9	0,67007
Noviembre	14	0,62526
Diciembre	11,4	0,59099

Tabla 8. Rendimiento del colector.

Con esto y utilizando la expresión 5 se consigue obtener el valor de la fracción de aporte solar mensual y su promedio anual siendo este de un 28,19%.

Mes	Fracción solar
Enero	0,1914
Febrero	0,2242
Marzo	0,2658
Abril	0,3043
Mayo	0,3144
Junio	0,3434
Julio	0,3809
Agosto	0,3775
Septiembre	0,3357
Octubre	0,2726
Noviembre	0,2073
Diciembre	0,1658
Promedio	0,2819

Tabla 9. Fracción de aporte solar.

5 ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN CON TRNSYS17

Trnsys es un programa de simulación dinámica con gran potencial de cálculo debido a la cantidad de variables con las que se pueden configurar cada uno de sus componentes y al gran abanico de posibilidades que el programa presenta a la hora de abordar el estudio de una instalación.

Este programa es uno de los principales programas utilizados por ingenieros desde hace años para la simulación de instalaciones térmicas, como pueden ser edificaciones, sistemas de cogeneración, sistemas solares, sistemas de energía renovables, piscinas climatizadas...

El programa trabaja con dos elementos que permiten su funcionamiento, por una parte está el motor de trabajo o kernel, el cual se encarga de leer y procesar los archivos de entrada, resuelve el sistema de forma iterativa y establece representaciones gráficas de las variables deseadas; y la biblioteca de componentes, la cual está formada por más de cien componentes que pueden ser conectados entre sí, los cuales están descritos según un modelo matemático que permite relacionar sus variables de entrada, salida y parámetros para poder resolver el sistema con el motor de trabajo o kernel.

La versión usada de este programa para el estudio de la piscina climatizada de la Aljorra es Trnsys17, el cual se divide en varias herramientas, de las cuales utilizaremos dos principalmente: Simulation Studio y TRNBuild.

Simulation Studio es la herramienta principal de trabajo, el cual consiste en un área de trabajo en la cual se sitúan los diferentes componentes que constituyen la instalación. Los componentes son denominados "Types" en el programa. El programa cuenta con una biblioteca de componentes que se pueden utilizar para el modelado de las instalaciones. Igualmente, el programa permite desarrollo e incorporación de nuevos componentes. Se representan con iconos que se suelen conectar unos a otros mediante líneas que. De forma que algunas o todas las salidas (outputs) de un componente pueden ser las entradas (inputs) de otros. Estas inputs le dan a cada elemento información para, mediante las ecuaciones de definición que tiene cada uno, proporcionar una output que a su vez servirá como input para otro elemento.

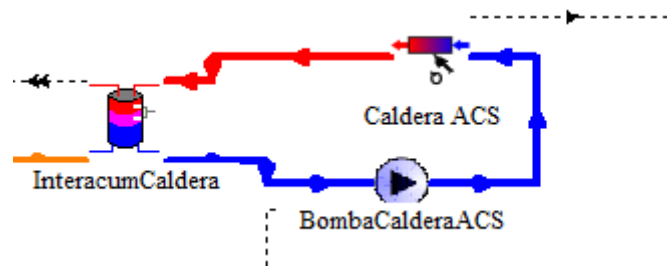


Figura 29. Detalle de elementos conectados en área de trabajo Trnsys17.

Aparte de la biblioteca de elementos predefinidos de Trnsys, gracias a su versatilidad también existe la posibilidad de programar otros elementos que no estuvieran en ella mediante un lenguaje de programación parecido a C++ llamado W de forma que permite ampliar las posibilidades y posibles aplicaciones del programa según se necesite.

La otra herramienta es TRNBuild, la cual es utilizada para definir las características del edificio que se encuentra en nuestra instalación en caso de existir, definiendo cada uno de sus cerramientos, orientaciones y equipos de climatización.

En primer lugar, lo primero que hay que tener en cuenta a la hora de estudiar una instalación con Trnsys es cuáles son cada uno de los elementos presentes en la instalación y cómo se encuentran o cómo se van a encontrar conectados estos entre sí en la instalación real, para ello se realizará primero un estudio de los planos de esta y si es posible y la instalación ya existe, como es el caso de la piscina de la Aljorra, se realizará una visita a esta para poder esclarecer y obtener toda la información posible.

Como ya se describió en el apartado de descripción de las instalaciones, estas se componen de dos demandas energéticas que hay que satisfacer, las cuales con la producción de ACS y el mantenimiento del agua de la piscina en unas determinadas condiciones. Para esto se cuenta con dos calderas de gasóleo y un sistema de colectores solares. El esquema general de la instalación existente es el mostrado en la Figura 30. Para entender este esquema de manera sencilla, se dividirá la instalación general en tres subcircuitos.

El primer subcircuito a describir es el **circuito de la instalación solar**, el cual se empezará a describir por la zona superior izquierda de este, por la zona marcada con un sol. El elemento situado a la derecha del sol se corresponde con los captadores solares, los cuales están en un circuito cerrado el cual, mediante una válvula de tres vías, desvía el fluido caliente a un intercambiador de placas que aporta calor a la piscina (tubo que sale de la válvula hacia abajo) y a un interacumulador, el cual es un depósito aislado el cual tiene un serpentín dentro que es por el que pasa el fluido para aportar calor al agua de red que se quiere calentar para producir ACS (tubo que sale de la válvula hacia la derecha). Una vez el fluido caliente ha pasado por el intercambiador de placas y por el interacumulador, los dos tubos se vuelven a juntar en uno para, mediante el empuje proporcionado por una bomba, volver a pasar por los colectores solares y así volver a realizar el circuito.

El segundo subcircuito en el que se dividirá la instalación es el **circuito de la piscina**, el cual es otro circuito cerrado. La piscina es el elemento situado debajo del símbolo de los colectores. Se puede ver como de esta sale una tubería que se introduce en el intercambiador de placas de la instalación solar mencionado en la descripción del circuito solar y tras pasar este se introduce en otro intercambiador de placas en el cual recibe el calor faltante para llevar el agua de la piscina a la temperatura de consigna. Este otro intercambiador de placas está conectado a una de las calderas de gasóleo

(representadas a la derecha del esquema) y a su salida el agua vuelve a entrar a la piscina gracias a una bomba que trabaja solo para este circuito de la piscina.

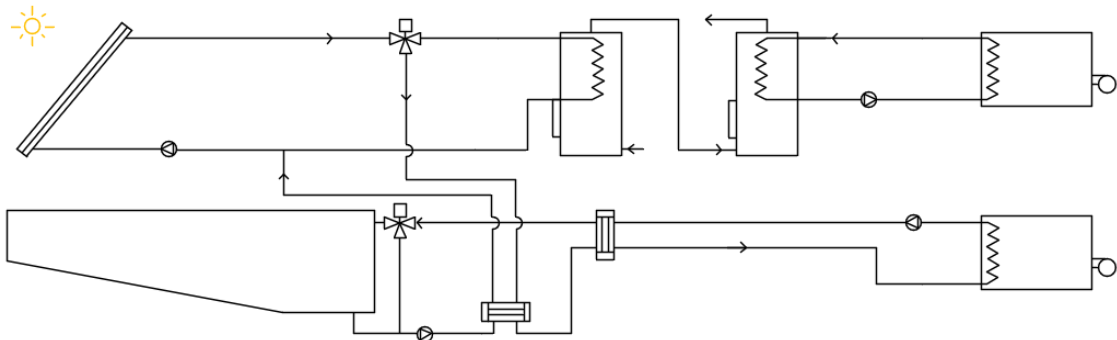


Figura 30. Esquema general de la instalación existente.

Por último está también el **circuito de calentamiento de ACS**, el cual es un circuito abierto, ya que a él entra el agua de la red a temperatura de red y, tras pasar por dos interacumuladores con sus serpentines, sale a consumo a una temperatura de unos 60 °C y no es siempre la misma agua. Uno de los serpentines de los interacumuladores va a la instalación solar como ya se ha comentado y el otro a la otra caldera de gasóleo, la cual aporta el calor que le falta para alcanzar la temperatura deseada.

La vista general de la instalación existente en Trnsys es la que se muestra en la Figura 31. Como se puede apreciar, esta vista general es algo confusa y por eso se va a describir según los tres subcircuitos mencionados. En primer lugar se va a describir cómo se ha definido el edificio con la herramienta TRNBuild y más tarde cada uno de los elementos de los circuitos y el resto de componentes del esquema.

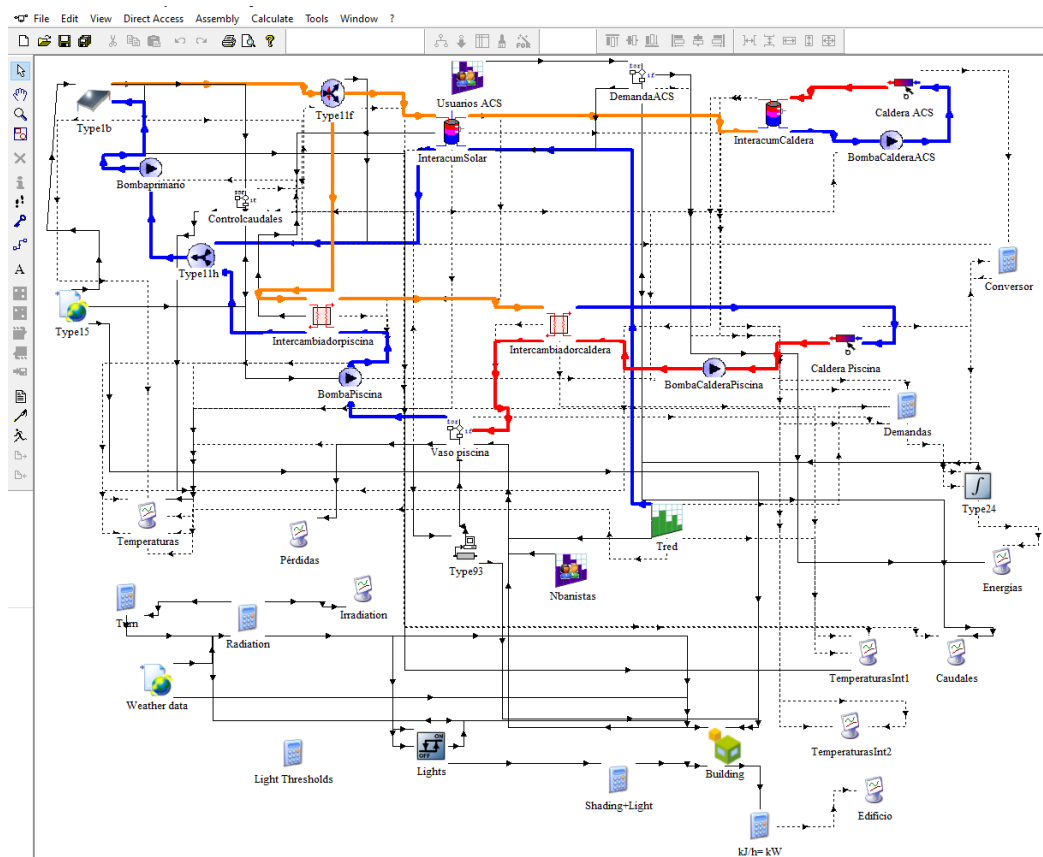


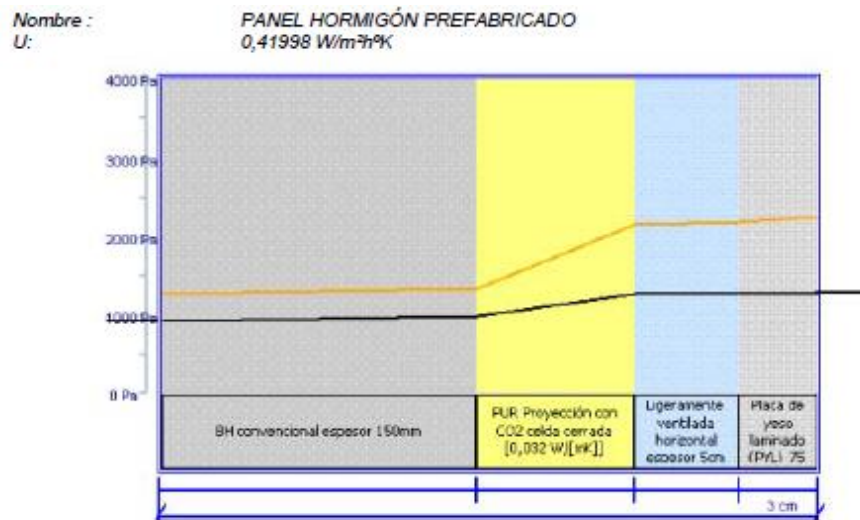
Figura 31. Vista general de la instalación en Trnsys17.

5.1 Definición del edificio con la herramienta TRNBuild:

Uno de los elementos introducidos en el área de trabajo definido como Building es el referente al edificio. Este elemento es generado por la herramienta TRNBuild, se define en la biblioteca de Trnsys como *Type56* y se encuentra en la carpeta de *Loads and Structures* y en la subcarpeta de *Multi-Zone Building*.

En primer lugar se definirá la composición de cada uno de los cerramientos, para ello se recurre al documento del proyecto en el cual se describe cada uno de ellos. Las paredes exteriores están formadas por panel de hormigón prefabricado, el suelo está compuesto por un forjado sanitario, y la cubierta está formada por dos tipos diferentes de cerramientos: una cubierta plana en grava y una cubierta inclinada formada por dos chapas de acero con plancha de fibra de vidrio intermedia.

Para definir cada uno de los cerramientos hay que definir antes cada una de las capas en las cuales se dividen estos, para esto se abre la pestaña *Typemanager* de TRNBuild y se selecciona *Layers*. Dentro de *Layers* se puede definir la densidad del material, la capacidad y la conductividad térmicas. Para obtener esta información se parte de información del proyecto como se puede observar en la Figura 32 en la cual se muestra la conductividad,



Materiales:
 BH convencional espesor 150mm
 Espesor (cm): 12
 Cond. (W/m²K): 0,789
 PUR Proyección con CO2 celda cerrada [0,032 W/[mK]]
 Espesor (cm): 6
 Cond. (W/m²K): 0,032
 Ligerante ventilada horizontal espesor 5cm
 Espesor (cm): 4
 Cond. (W/m²K): 0,625
 Placa de yeso laminado (PYL) 750<d<900
 Espesor (cm): 3
 Cond. (W/m²K): 0,25

Figura 32. Información de materiales según proyecto.

y también se hace uso del apartado de materiales del prontuario de soluciones constructivas que se encuentra en la página web del CTE (Figura 33) para obtener la densidad y la capacidad térmica.

Materiales	ρ	C_p
100mm espesor	1210	1000
150mm espesor	1040	1000
200mm espesor	860	1000
250mm espesor	620-750	1000
300mm espesor	500-670	1000

Figura 33. Información de materiales según CTE WEB.

Con esta información se puede ahora definir las capas nuevas presionando la N que se encuentra en la esquina inferior derecha de la pestaña *Layers*. Una vez pulsada la N, ya se puede introducir la información requerida y guardar la capa con un nombre como se puede ver por ejemplo en la Figura 34 para una capa de BH convencional.

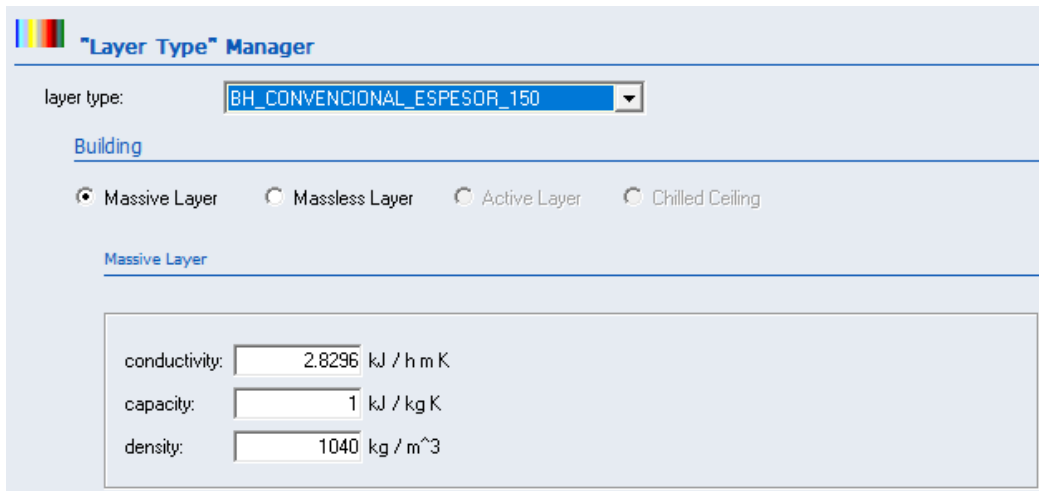


Figura 34. Pestaña de Layers TRNBuild.

Una vez se tienen definidas cada una de las capas en las cuales se divide cada cerramiento, se pueden definir los cerramientos propiamente dichos, para ello se ha de abrir otra vez la pestaña de *Typemanager* de TRNBuild para seleccionar esta vez *Walls*. Una vez abierto el cuadro de *Walls*, y teniendo en cuenta la información dada por proyecto (Figura 32), se define cada uno de los cerramientos haciendo click nuevamente en la N de la esquina inferior derecha e indicando el espesor y la composición de cada una de las capas.

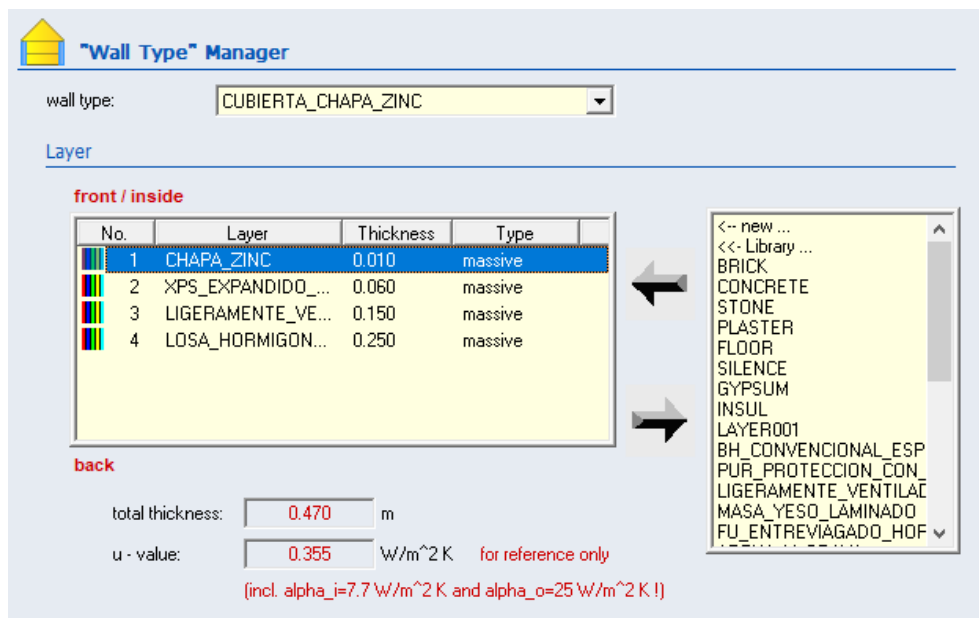


Figura 35. Pestaña de Walls TRNBuild.

A continuación, hay que definir las zonas en las que se quiere dividir la edificación. En el caso de la piscina de la Aljorra, esta se dividirá en una sola zona llamada PISCINA.

Dentro de cada zona han de definirse cada una de las superficies presentes (paredes, forjados, techos...), así como su superficie, sus orientaciones y sus huecos (rejillas, puertas, ventanas...).

Las orientaciones se definen en la pestaña inicial del proyecto llamada *Project*, así como el hemisferio en el que se encuentra la edificación. Se definen cinco orientaciones, cuatro de ellas que hacen 90° con el suelo, que son las correspondientes con las paredes que se orientan al norte, sur, este y oeste, y una quinta paralela al suelo (0°) llamada H.

No	Orientation	Calculation	Used by Surface
1	N_180_90	-	1; 10; 14; 20; 21...
2	E_270_90	-	2; 8; 16;
3	W_90_90	-	4; 9; 17; 18; 19;
4	H_0_0	-	5; 6; 7;
5	S_315_90	-	3; 11; 12; 13; 15...

Figura 36. Orientaciones TRNBuild.

Para definir cada una de las superficies se recurrirá también al proyecto de las instalaciones, ya que ahí vienen definidas cada una de las superficies y sus orientaciones. Se han definido doce superficies en total, cuatro para las paredes, una para el forjado, una para la cubierta de grava, y seis para la cubierta inclinada.

Dentro del navegador del programa, si se selecciona cualquiera de las opciones se abre la ventana en la cual, en la zona izquierda de esta (Figura 37), se definen cada una de las superficies. También hay que indicar el volumen contenido en el edificio, el cual ha sido calculado de forma aproximada a partir de los planos del edificio como 7.904 m³.

Para definir cada una de las superficies hay que indicar la composición de esta, la cual ha sido definida anteriormente en la pestaña *Walls*, su orientación, la cual se establece en base a los planos y a las orientaciones definidas, su superficie, la cual se ha sacado de los planos también, y el “view factor to sky”, el cual hace referencia a la inclinación de la superficie, que es

$$view\ factor = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (6)$$

siendo β el ángulo que forma la superficie con el suelo. Con esto, el “view factor to sky” adopta un valor de 0,5 para superficies verticales y 1 para superficies paralelas al suelo.

Dentro de cada una de las superficies se pueden definir también los huecos en la parte derecha de la ventana los cuales, de igual forma que los cerramientos, en la pestaña *Typemanager* y *Windows* se pueden definir según una composición de cristales, marcos,

porcentaje de marco y otros factores, y se caracterizan por su superficie, su composición y por su “view factor to sky”.

The screenshot displays the TRNBuild software interface for configuring a zone named 'PISCINA'. It is divided into several sections:

- Airnodes:** Shows the zone name 'PISCINA' and a 'number' field set to 1.
- Airnode Regime Data:** Includes 'volume: 7904 m³' and 'capacitance: 9484.8 kJ/K'. It also features icons for Infiltration, Heating, Gains, Initial Values, Ventilation, Cooling, Comfort, and Humidity.
- Therm. Zone:** Includes icons for Radiation Modes and Geometry Modes.
- Walls:** A table listing wall surfaces with columns for Surf, Type, Area, and Category.

Surf	Type	Area	Category
5	FORJADO_SANITARIO	1237.92	EXTERNAL H_0_0
6	CUBIERTA_NUEVA	64.29	EXTERNAL H_0_0
7	CUBIERTA_PLANA_GRAVA	578.75	EXTERNAL H_0_0
22	CUBIERTA_NUEVA	96.27	EXTERNAL N_180_90
23	CUBIERTA_NUEVA	64.55	EXTERNAL N_180_90
24	CUBIERTA_NUEVA	124.02	EXTERNAL N_180_90
25	CUBIERTA_NUEVA	186.03	EXTERNAL N_180_90
26	CUBIERTA_NUEVA	124.02	EXTERNAL S_315_90
- Windows:** A table listing window surfaces with columns for Surf, Type, Area, Category, u-Value, and g-Value.

Surf	Type	Area	Category	u-Value	g-Value
10	VENTANAS_GRADES	6.24	EXTERNAL	3	0.722
14	UGLASS	6.51	EXTERNAL	2.48	0.762
20	GARAJE	17.36	EXTERNAL	5.87	0.888
21	ENTRADA	9.00	EXTERNAL	5.73	0.818
- Configuration Panels:** Below the tables are detailed configuration fields for 'Surface-ID' 1 (Walls) and 'Surface-ID' 14 (Windows).
 - Surface-ID 1 (Walls):** wall type: EL_HORMIGON_PREFABRIC; area: 180.86 m²; category: EXTERNAL; geosurf: 0.1; surf. gain inside/outside: 0 kJ/h; orientation: N_180_90; view fac. to sky: 0.5.
 - Surface-ID 14 (Windows):** window type: UGLASS; area: 6.51 m²; category: EXTERNAL; geosurf: 0; surf. gain inside/outside: 0 kJ/h; orientation: N_180_90; view fac. to sky: 0.5.

Figura 37. Ventana de superficies y huecos TRNBuild.

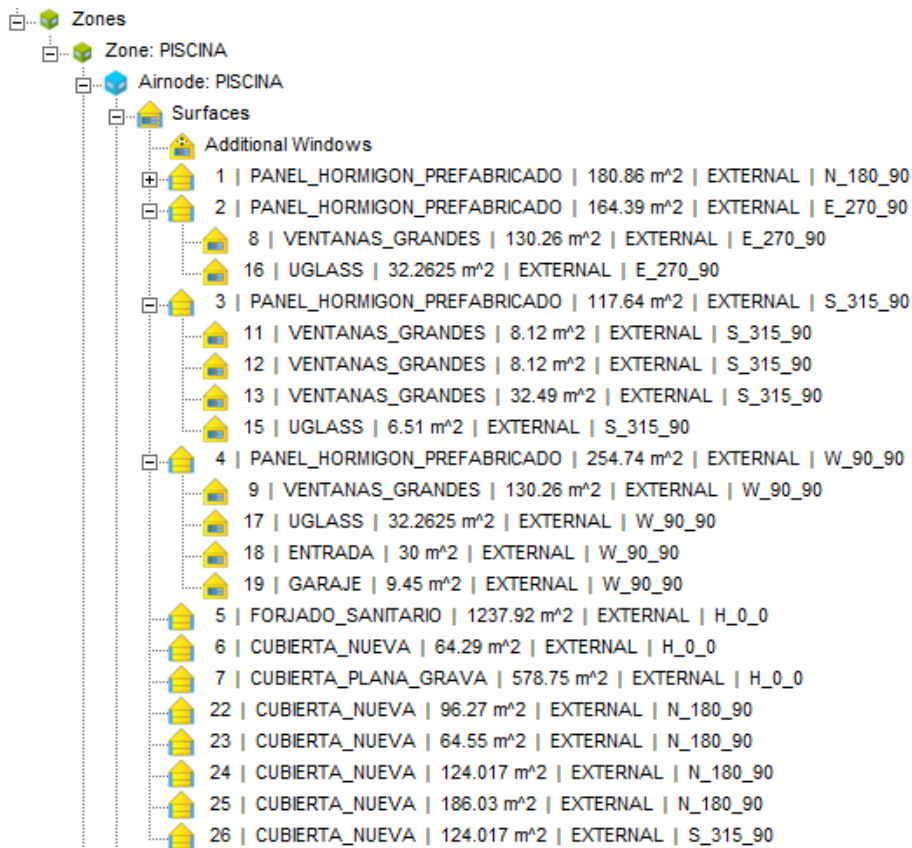


Figura 38. Zonas definidas TRNBuild.

En la Figura 38 se puede observar la distribución final de cerramientos con la información de su superficie, ventanas y su orientación. Los cerramientos llamados CUBIERTA NUEVA son los que forman la cubierta inclinada y están divididos en seis debido a que la inclinación de la cubierta no se mantiene constante (Figura 39), por eso se ha dividido las cubiertas laterales y la central en tres trozos cada una con diferentes valores de “view factor to sky”, variando este con valores entre 0,97 y 0,99.

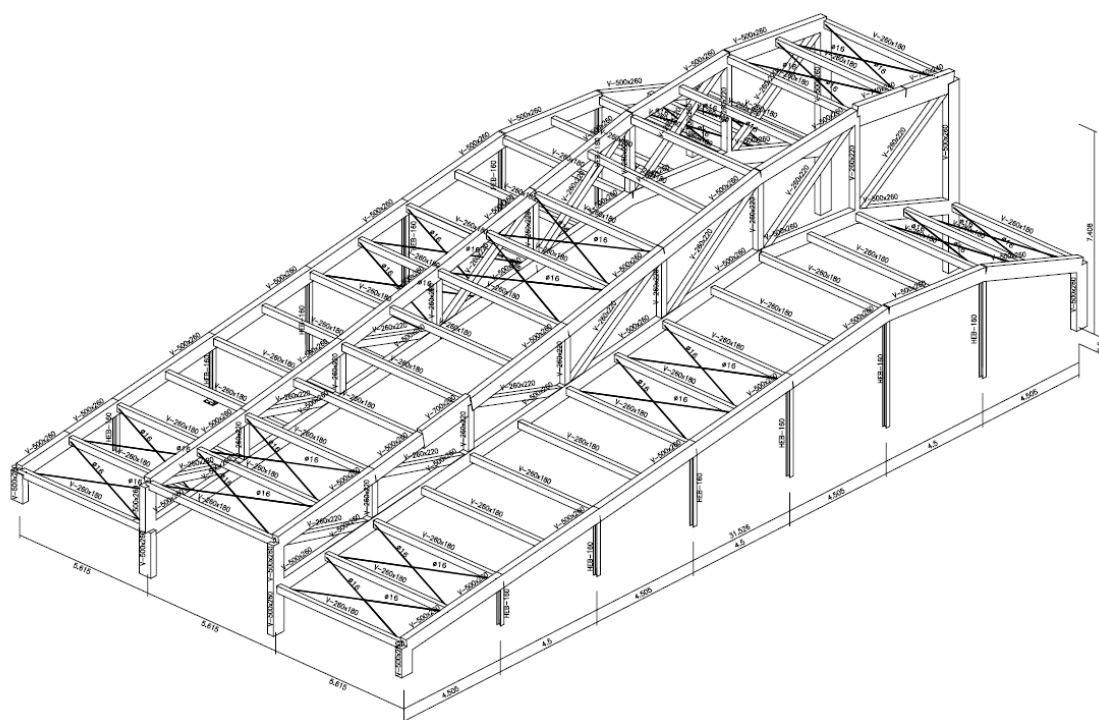


Figura 39. Detalle cubierta inclinada.

Para terminar de definir todo lo que ocupa la herramienta TRNBuild, faltaría plasmar las características de la deshumectadora en las pestañas de refrigeración y calefacción, definir las infiltraciones, las ganancias (Gains) y definir el modelo de humedad.

En la deshumectadora se encuentra una chapa metálica con la potencia de su bomba de calor, que es 187.186 kJ/h. La potencia de refrigeración de esta no se encuentra en la chapa, pero comparando varios catálogos de diferentes fabricantes con potencias caloríficas similares se ha estimado con un valor aproximado de 147600 kJ/h. Esta información se introduce en los cuadros de *Heating* y *Cooling* que se encuentran dentro de la pestaña de *Typemanager*. En la pestaña de *Cooling* también hay que activar la opción de deshumidificación e introducir un valor de humedad relativa de un 65%. En estos cuadros se define también las condiciones de encendido o apagado de estos sistemas que puede ser por ejemplo unas temperaturas de referencia. La temperatura a mantener en el interior de las instalaciones es la de 29 °C.

En cuanto a infiltraciones se dejará el modelo establecido por defecto como LEAKY con 0,2 renovaciones cada hora.

El modelo de humedad utilizado es el de *Moisture Capacitance Model* como se puede ver en la Figura 40, el cual simula un equipo que mantiene la humedad de las instalaciones almacenándola.

	Surface buffer storage	Deep buffer storage	
Gradient of sorptive isothermal line:	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="1"/>	kg(H2O) / kg(mat) / rel. humidity
Mass:	<input type="text" value="270"/>	<input type="text" value="15"/>	kg(mat)
Exchange coefficient:	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	kg(air) / h

Figura 40. Cuadro de Modelos de humedad TRNBuild.

En la pestaña de Gains se despreciarán aquellas relacionadas con equipos informáticos y luces, dejando sólo las referentes al número de personas que se encuentren en la instalación según la normativa ISO 7730 que vienen dadas según un perfil llamado BANISTAS y la actividad que realizan establecida como *Heavy work, athletics*, y las ganancias referentes al aporte de humedad producida por la evaporación del agua de la piscina (Figura 41).

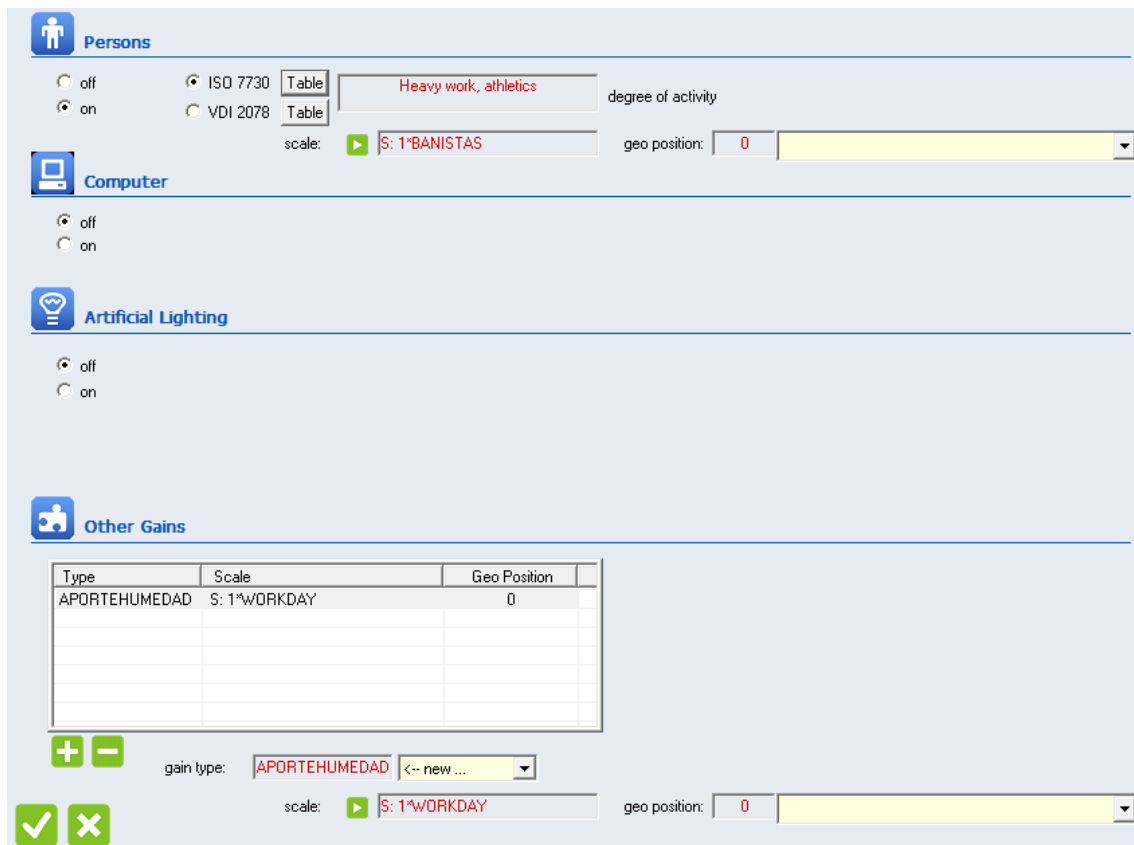


Figura 41. Cuadro de Gains TRNBuild.

El componente Building tiene múltiples inputs y outputs en Simulation Studio que permiten que este funcione como es debido así como aportar información a otros componentes.

Las entradas o inputs de este componente provienen del componente Weather Data, que es una base de datos con información del entorno en cada instante, como puede ser la humedad relativa del ambiente, la temperatura del aire del ambiente, el ángulo solar de cénit y acimut o variables relativas a la radiación sobre diferentes superficies...

También tiene conexión con el componente Bright que está conectado a otro fichero que le proporciona información sobre la iluminación del edificio, y con el componente del vaso de la piscina y con el Type 93 que aportan información necesaria de la piscina en forma de input y también se le aporta a esta en forma de output.

Algunas de estas inputs se crean automáticamente al introducir el componente, ya que necesita una información básica para poder funcionar.

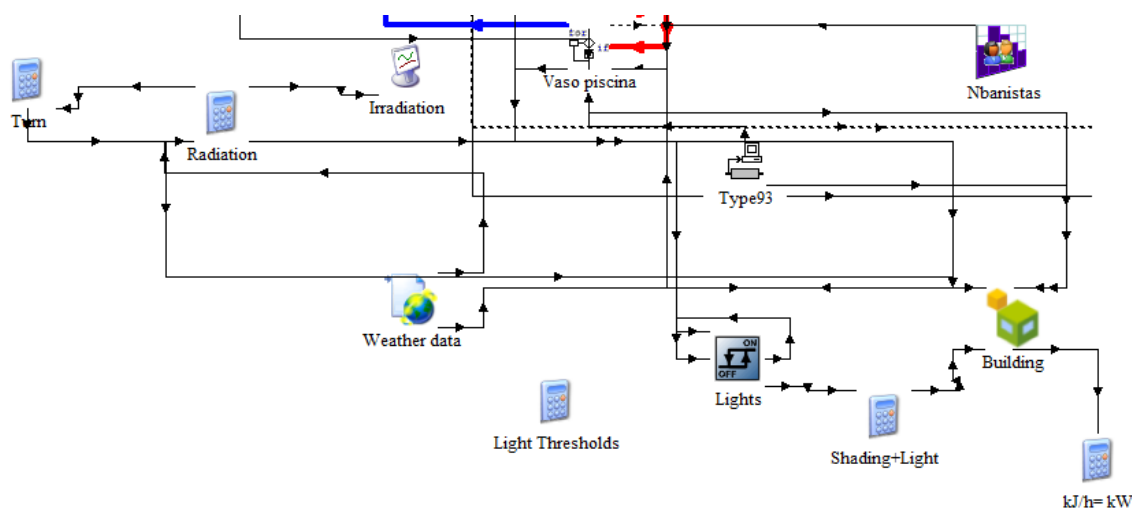


Figura 42. Detalle de las conexiones de Building.

5.2 Descripción del circuito de la instalación solar:

El circuito de la instalación solar se compone de seis componentes: los colectores solares (Type1b), la bomba de este circuito llamada bomba primario (Type3b) un diverter o válvula de tres vías (Type11f), un convertidor o T (Type11h), el interacumulador conectado a la instalación solar por su serpentín y al cual entra el agua de red (Type60), y el intercambiador de placas que calienta la piscina (Type5). Cada uno de los “Types” son los nombres por los cuales pueden ser encontrados cada uno de estos componentes en la biblioteca de componentes de Simulation Studio, la cual se encuentra por defecto en la zona derecha de la pantalla, o si se encuentra cerrada se abre presionando en la barra de opciones *View, Toolbar* y *Direct Access*.

Se puede ver también cómo el diverter y la bomba están conectados a otro fichero llamado Controlcaudales. Este fichero es el encargado de controlar el comportamiento de diferentes componentes de la instalación mediante un fichero programado en el lenguaje nombrado anteriormente como W y debido a su complejidad, este se explicará más adelante en un apartado independiente.

En la Figura 43 se puede apreciar claramente cuales son cada uno de los componentes que se acaban de nombrar.

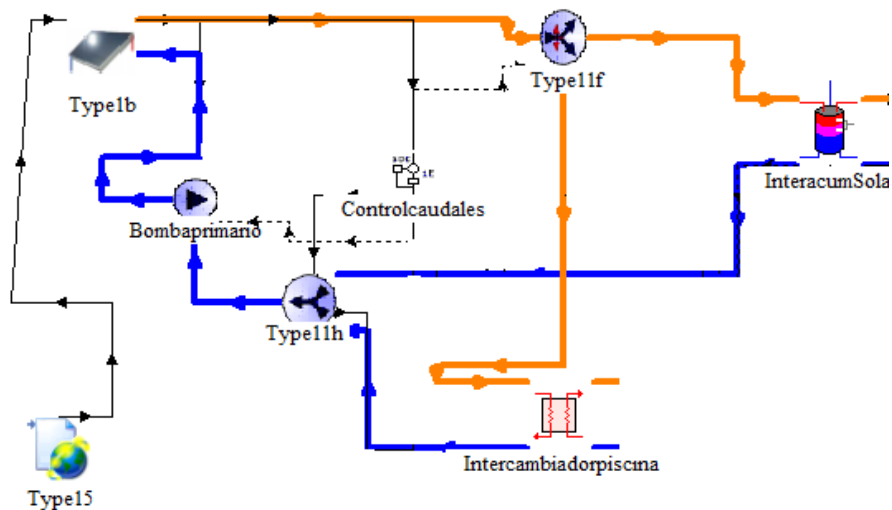


Figura 43. Circuito de la instalación solar.

A continuación se explicará de forma detallada cada uno de los componentes que se han nombrado con sus parámetros característicos, sus inputs, sus outputs y los criterios de diseño o selección de parámetros en el caso de ser necesarios:

- **Colectores:**

En cuanto a colectores, ya se dijo que hay 30 colectores del fabricante Trisolar y del modelo SS-2018U, los cuales tienen un área de absorción de $2,1 \text{ m}^2$, un área de apertura de $2,4 \text{ m}^2$, y una curva de eficiencia dada según la Figura 25. El caudal de operación se fija en un valor de $72 \text{ kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, el cual es el valor que se utiliza como caudal de ensayo según la UNE-EN 12975. Haciendo doble click sobre el componente una vez está en el área de trabajo se accede a un cuadro en el cual se pueden modificar sus parámetros. Los parámetros a modificar quedan según la Tabla 10, quedándose inalterados aquellos que no se encuentran en esta.

Parámetro	Valor	Unidad
Number in series	1	
Collector area	72	m^2
Fluid specific heat	4	$\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$
Efficiency mode	2	
Tested flow rate	0,02	$\text{kg}/\text{s}\cdot\text{m}^2$
intercept efficiency	0,7277	
Efficiency slope	1,8261	
Efficiency curvature	0,0008	

Tabla 10. Parámetros colector solar Trnsys.

A la hora de indicar el área de colectores ha de usarse el área bruta o área de apertura de este. El parámetro *Efficiency mode* hace referencia al modo en el que esta expresada la curva de eficiencia del colector en función de las temperaturas que aparecen en su expresión.

Como inputs en el componente de colectores se tiene por un lado la temperatura y el flujo másico proveniente de la bomba, y por otro lado tenemos la temperatura del bulbo seco utilizada como temperatura ambiente, la radiación total horizontal utilizada como radiación horizontal total, la radiación total difusa en la horizontal utilizada también como radiación horizontal difusa en el colector, la superficie inclinada de radiación utilizada como radiación incidente, el ángulo de incidencia, la inclinación de la superficie y la reflectancia del suelo. Estos valores de acimuth e inclinación se indican dentro de la pestaña Input del componente.

Como outputs solamente están la temperatura y el caudal másico al siguiente componente, que es el diverter.

- **Diverter:**

El diverter es el componente utilizado para caracterizar el comportamiento de una válvula de tres vías que no es otra cosa que un elemento el cual tiene una entrada y dos salidas, pudiendo regular qué porcentaje del flujo entrante se dirige a cada una de estas salidas, siendo posible desviar todo el flujo por sólo una salida o distribuirlo según el porcentaje que se crea oportuno. Este control de porcentajes se puede controlar a través de un controlador programado conectado a este.



Figura 44. Diverter.

Los inputs y los outputs de este componente son bien sencillos a excepción de uno, su control, ya que son simplemente el flujo másico y la temperatura del flujo proveniente de los colectores y los flujos másicos y las temperaturas de los flujos que se dirigen a los siguientes componentes que son el interacumulador y el intercambiador de placas del circuitos de la piscina. Como ya se comentó anteriormente, el control es un elemento aparte, el cual envía una señal al input *Control signal* y se detallará su funcionamiento en un apartado independiente.

- **Converter:**

Este elemento se encarga de juntar dos flujos, en este caso los provenientes del intercambiador de placas de la piscina y del interacumulador, en uno solo. Sus inputs serán las temperaturas y los flujos másicos de los flujos entrantes, y sus outputs la temperatura y el flujo másico del flujo saliente hacia la bomba.

- **Bomba del primario:**

Ante el desconocimiento de qué caudal circula exactamente por este circuito primario, se ha adoptado este valor de $72 \text{ kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, el cual da un caudal másico de $5.184 \text{ kg}/\text{h}$ utilizando el área de apertura para su cálculo. Como calor específico del fluido, se utilizará un valor de $4 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ en vez de los $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ del agua debido a que esta está mezclada en una proporción de entorno a un 20% de propilenglicol y reduce ligeramente su calor específico. El cuadro de parámetros queda entonces según lo recogido en la Tabla 11.

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	5184	kg/h
Fluid specific heat	4	kJ/kg·K

Tabla 11. Parámetros bomba primario Trnsys.

Aparte de estos parámetros, se pueden introducir tres parámetros más relativos a la potencia eléctrica de la bomba, a la cantidad de energía térmica que le aporta la bomba al fluido durante su funcionamiento (*) y establecer una relación entre el caudal másico en cada momento y la potencia eléctrica utilizada, pero no se han incluido y se han dejado en valores por defecto o nulos en caso del *Conversion coefficient* (*) debido a que no interesan en este estudio.

Como inputs y outputs, las bombas tienen la temperatura y el caudal másico del flujo de entrada y salida y una señal de control igual que el diverter para controlar en qué situaciones se encuentran estas en funcionamiento.

- **Interacumulador solar:**

El interacumulador es un depósito que en su interior se encuentra un intercambiador de calor generalmente en forma de serpentín. En el caso del interacumulador conectado a la instalación solar (Figura 5 izquierda), el fluido que pasa por el interior del serpentín es el que viene de los colectores solares, que es el agua mezclada con propilenglicol, el cual debe estar separado del fluido que se quiere calentar que es el agua proveniente de la red.

El modelo del interacumulador es un WW-EP 3000 de 3.000 litros del fabricante Arocam hecho en acero al carbono negro decapado químicamente y con un tratamiento interior de epoxi fenólico bicomponente el cual está homologado para el contacto alimentario.

En la pestaña de información del interacumulador se introducirá información detallada sobre este. Esta información viene dada en la ficha técnica del interacumulador y en la hoja de características técnicas del serpentín.

De la ficha técnica del interacumulador se obtiene: el volumen de este que es 3 m^3 , la altura del tanque que es 2,264 m, las alturas de la entrada y la salida del agua que son 0,492 m y 2,264 m respectivamente, el calor específico y la densidad del fluido contenido en su interior que se corresponde con el agua, el coeficiente de pérdidas del interacumulador obtenido como la inversa de la resistencia térmica incluida en la ficha técnica (Figura 45), la potencia de un elemento calefactor en caso de existir (en este caso no hay, de ahí su valor nulo), el fluido anticongelante del serpentín (*HX Fluid Indicator*) que en caso de ser propilenglicol adoptará un valor de 2, la proporción en la que este se encuentra en tanto por uno dada como 0,2, y la altura del serpentín que es 0,897 m.

ESPESOR d, mm	RESISTENCIA TÉRMICA $R_p, \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	CÓDIGO DESIGNACIÓN
EN 823	EN 12667 EN 12939	EN 13162
50	1,35	MW-EN-13162-T3-DS(23,90)-WSMU1-AW0,70-AFr5

Figura 45. Resistencia térmica del interacumulador solar.

De la hoja de características del serpentín (Figura 46) se obtiene: los diámetros interior y exterior del tubo del serpentín, el diámetro de las aletas (como no tiene es igual que el diámetro del tubo), el área y la longitud del serpentín y el número de aletas por longitud.

CARACTERÍSTICAS DEL TUBO DN25 (1")		VALOR						
Material		AISI 304 - AISI 316 L						
Diámetro Nominal (DN)		25						
Presión Nominal (PN)	Mpa	1,6						
Diámetro Exterior	mm	32,8						
Diámetro Interior	mm	26,5						
Boquete de Onda	mm	7,1						
Espesor de Pared	mm	0,3						
Temperatura de Operación	° C	20						
Fluidos Permitidos		Fluido Caloportador solar, Agua potable, Aire comprimido, Vapor, Gas Metano, Propano y Butano						

SERPENTÍN EXTRAIBLE DN25 (1")		MODELOS						
CARACTERÍSTICAS	UD	SE 2,15	SE 2,45	SE 2,90	SE 3,45	SE 4,00	SE 4,30	SE 4,60
Diámetro exterior (A)	mm	210	210	210	210	210	210	210
Longitud (B)	mm	750	950	1050	1150	1300	1600	1800
Conexiones(G)	"	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4
Longitud desarrollo	m	15	17	20	24	28	30	32
Superficie Intercambio (0,14350)	m ²	2,15	2,44	2,87	3,44	4,02	4,31	4,59
Peso (0,32)	kg	4,80	5,44	6,40	7,68	8,96	9,60	10,24
Volumen (0,655)	l	9,83	11,14	13,10	15,72	18,34	19,65	20,96

Figura 46. Hoja de características del serpentín.

Todas estas características a introducir en el cuadro de parámetros se encuentran resumidas en la Tabla 12.

Parámetro	Valor	Unidad
Tank volume	3	m ³
Tank height	2,264	m
Height of flow inlet 1	0,492	m
Height of flow outlet 1	2,264	m
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K
Fluid density	1000	kg/m ³
Tank loss coefficient	0,74	W/m ² K
Maximun heating rate of element 1 y 2	0	kJ/h
HX Fluid Indicator	2	
Fraction of glycol	0,2	
Heat exchanger inside diameter	0,0265	m
Heat exchanger outside diameter	0,0328	m
Heat exchanger fin diameter	0,0328	m
Total surface area of heat exchanger	4,02	m ²
Fins per meter for heat exchanger	0	
Heat exchanger length	28	m
Heat exchanger wall conductivity	16	W/m·K
Heat exchanger material conductivity	16	W/m·K
Height of heat exchanger inlet	0,897	m
Height of heat exchanger outlet	0,897	m

Tabla 12. Parámetros intercambiador solar Trnsys.

Como inputs se tienen la temperatura y el flujo másico del fluido del serpentín y del fluido entrante al depósito desde la red y como outputs se tienen la temperatura y el flujo másico del fluido saliente del depósito hacia el otro interacumulador, y la temperatura del fluido saliente del serpentín hacia el converter.

- **Intercambiador solar:**

La información obtenida del proyecto y de la visita de la instalación acerca de los intercambiadores de placas de la piscina es insuficiente para calcular el parámetro necesario para definirlos en Simulation Studio que es el coeficiente total de transmisión del calor de este, por ello se hará uno de un programa informático del fabricante SWEP llamado SSPG8 el cual permite el diseño de intercambiadores de calor a partir de unos valores de entrada que se le proporciona. Estos valores (Figura 47) de entrada serán extraídos a su vez de las recomendaciones hechas por el IDAE en su Guía Técnica de Energía Solar Térmica para el diseño de sistemas de intercambio en piscinas (Apartado 10.4.3 de esta).

<i>Aplicación</i>	<i>Temperatura entrada primario</i>	<i>Temperatura salida secundario</i>	<i>Temperatura entrada secundario</i>
Piscinas	50 °C	28 °C	24 °C
Agua caliente sanitaria	60 °C	50 °C	45 °C
Calefacción a baja temperatura	60 °C	50 °C	45 °C
Refrigeración/Calefacción	105 °C	90 °C	75 °C

Figura 47. Temperaturas de intercambiadores en función de su uso.

Una vez dentro del programa SSPG8 se selecciona la opción de *Single Phase* para el diseño del intercambiador. Dentro de esta pestaña hay que definir las características del circuito primario y del secundario, para ello se define el fluido del primario como una mezcla de agua con un 15% de propilenglicol y el del secundario como agua. También hay que definir las temperaturas del intercambiador, las cuales se establecen según la tabla de la Figura 47, y los caudales del primario y del secundario. El caudal del secundario viene fijado en proyecto como 11.500 kg/h y para fijar el caudal del primario habrá que hallar primero qué cantidad de la demanda total de energía es usada para calentar ACS y qué cantidad para calentar la piscina. Esto se puede hallar por ejemplo de los datos de demanda aportados por el programa SOLAR y se obtiene aproximadamente un 86,1% del total de la energía usada para calentar el agua de la piscina. De ahí obtenemos que el caudal que pasará por el primario sea un 86,1% del caudal total que pasa por los colectores, 4.463 kg/h.

Figura 48. Parámetros utilizados para el diseño del intercambiador solar en SSPG8.

Una vez introducidos estos parámetros y habiendo pulsado el botón de calcular se presenta en el lado derecho de la pantalla la opción más adecuada para lograr este salto de temperaturas como se ve en la Figura 49.

BPHE	A (m ²)	DP1 (kPa)	DP2 (kPa)	OS (%)	Weight (kg)	PF Rating
B12Lx48	1.29	3.37	17.8	0	6,88 - 8,70	
B12Hx114	3.14	3.53	20.8	298	14,8 - 16,6	
B28x136	8.04	3.72	21	810	24,4 - 49,3	
2 B10Tx52	3.1	3.68	20.4	348	14,2 - 12,3	
2 B25Tx86	10.6	3.63	21	950	38,3 - 32,6	
4 Bx8Tx46	4.05	3.52	21.1	395	15,3	
4 B15Tx56	7.34	3.46	20.1	690	28,3 - 25,8	

Heat exchanger: **B12Lx48**

DUTY REQUIREMENTS	UNIT	SIDE 1	SIDE 2
Fluid		Propylene Glycol - Water (15,0 mass%)	Water
Flow type			Counter-Current
Circuit		Inner	Outer
Heat load	kW		53,41
Inlet temperature	°C	50,00	24,00
Outlet temperature	°C	39,43	28,00
Flow rate	kg/h	4463	11500
Pressure drop (Design PD)	kPa	3,37 (20,00)	17,8 (20,00)
Thermal length		0,571	0,216

PLATE HEAT EXCHANGER	UNIT	SIDE 1	SIDE 2
Total heat transfer area	m ²		1,29
Heat flux	kW/m ²		41,5
Mean temperature difference	K		18,52
O.H.T.C. (available/required)	W/m ² ·°C		2200/2240
Pressure drop - total*	kPa	3,37	17,8

Figura 49. Resultados obtenidos en el diseño del intercambiador solar en SSPG8.

Se obtiene un intercambiador de 1,29 m² de superficie de intercambio, 53,41 kW de potencia y un coeficiente total de transmisión del calor de 2.240 W/(m²·K). Como

Simulation Studio pide este en W/K se multiplica por el área del intercambio para obtener 2.890 W/K.

Como comprobación final para aceptar este intercambiador obtenido como válido se usará otra condición propuesta por el IDAE en la guía mencionada anteriormente que indica que la potencia del intercambiador solar debe ser por lo menos de un 75% la potencia nominal del sistema de captación solar que es 0,7 kW/m².

$$POT_{IS} \geq 0,75 \cdot 0,7 \cdot A_{col} = 33 \text{ kW} \quad (7)$$

Se puede ver cómo se cumple el criterio al ser la potencia del intercambiador calculado 53,41 kW.

En cuanto a inputs y outputs, los intercambiadores tienen las temperaturas y los flujos másicos de los flujos entrantes y salientes hacia o desde los componentes que tengan conectados a ellos.

5.3 Descripción del circuito de la piscina:

El circuito de la piscina es un circuito cerrado compuesto por un intercambiador de placas (Type5) que ha sido definido en la descripción del circuito de la instalación solar, otro intercambiador de placas conectado a una caldera de gasóleo (Type6), una bomba (Type3b) que mueve el agua de la piscina hacia los intercambiadores para después volver a introducirla en esta, otra bomba para hacer circular el agua por la caldera y por el intercambiador antes mencionado y el componente del vaso de la piscina que necesita para funcionar otros cinco componentes que son el Type93, la temperatura del agua de red Tred (Type14), el número de bañistas (Type14), el componente Building (Type56) y la información de la localización (Type15).

El esquema de los componentes que se acaban de nombrar de este subcircuito viene dado en la Figura 50.

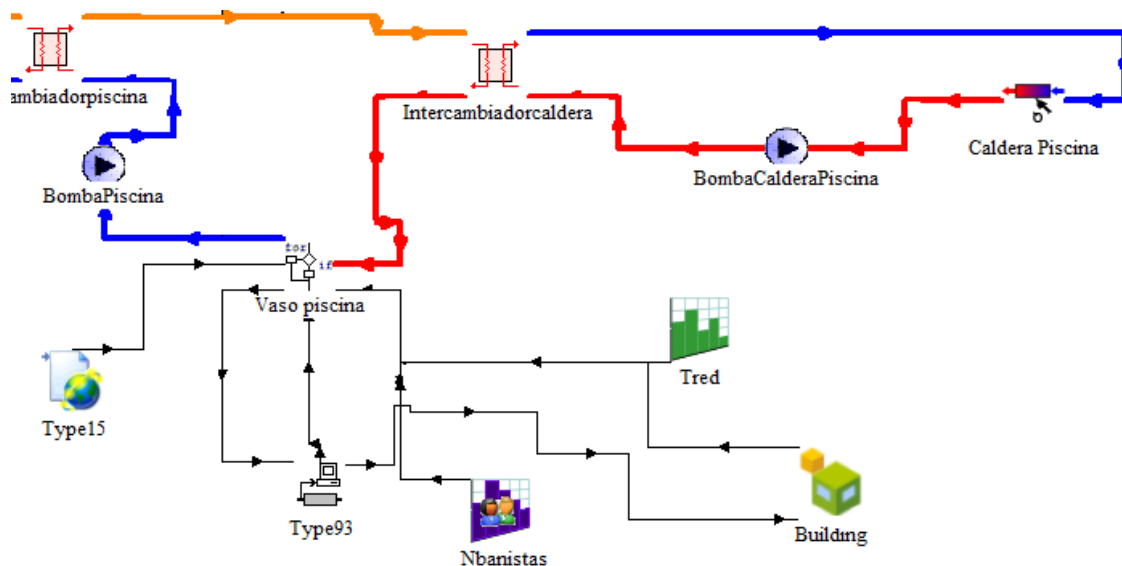


Figura 50. Circuito de la piscina.

A continuación se explicará de forma detallada cada uno de los componentes que se han nombrado con sus parámetros característicos, sus inputs, sus outputs y los criterios de diseño o selección de parámetros en el caso de ser necesarios como se ha hecho con el circuito de la instalación solar:

- **Bomba de la piscina:**

Como se ha comentado en el apartado de diseño del intercambiador que está conectado en la parte solar, el caudal del circuito cerrado de la piscina viene recogido en el documento del proyecto de las instalaciones y tiene un valor de 11.500 kg/h y el calor específico del fluido es ahora 4,18 kJ/(kg·K) al tratarse ahora de agua sin mezclar con anticongelante.

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	11500	kg/h
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K

Tabla 13. Parámetros bomba piscina Trnsys.

Dejando el resto de parámetros como los comentados en el apartado de la bomba del primario estaría definida la bomba de la piscina.

Sus inputs son la temperatura proveniente del componente del vaso de la piscina llamada como T_{final} y la señal de control de la bomba, y sus outputs son la temperatura

y el flujo másico que parte hacia el intercambiador de placas que hay conectado a la parte solar de la instalación.

- **Caldera de la piscina:**

Esta caldera es una CPA 300 del fabricante BAXIROCA la cual tiene, según su placa de características y su ficha técnica, una potencia útil máxima de 358,8 kW, una eficiencia de un 92% y un coeficiente de pérdidas estimado de alrededor de 0,1 kJ/(h·K). El fluido del circuito de la caldera será agua al transcurrir este por el interior de las instalaciones y no correr riesgo de congelación. Con esto, los parámetros a introducir en la pestaña de parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun heating rate	358,8	kW
Specific heat of fluid	4,18	kJ/kg·K
Overall loss coefficient for heater during operation	0,1	kJ/h·K
Efficiency of auxiliary heater	0,92	

Tabla 14. Parámetros caldera piscina Trnsys.

Las inputs de este componente serán la temperatura y el flujo másico proveniente del intercambiador de placas de la caldera de la piscina y una señal de control que se puede hacer uso de ella en caso de ser necesario. Muchas veces esta última señal de control no se utiliza debido a que cuando la bomba de la caldera no funciona y no pasa flujo por ella, no desprende calor en la simulación. En la pestaña de inputs habrá que introducir también una *Set point temperature*, que hace referencia a la temperatura de salida del fluido de la caldera después de ser calentado con un valor de 60 °C.

Sus outputs son la temperatura y el flujo másico dirigidos a la bomba.

- **Bomba de la caldera de la piscina:**

Según el proyecto, esta bomba mueve un caudal másico de 15.000 kg/h y el fluido, al ser el mismo que el de la caldera, será agua.

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	15000	kg/h
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K

Tabla 15. Parámetros bomba caldera piscina Trnsys.

Sus inputs y sus outputs son las temperaturas y los flujos másicos provenientes de la caldera y que van al intercambiador de placas que comunica con el circuito de la piscina.

- **Intercambiador caldera:**

Al conocer los flujos másicos del circuito de la piscina y del circuito de la caldera que son 11.500 kg/h y 15.000 kg/h y el criterio de la Figura 47 propuesto por el IDAE se puede volver a calcular un intercambiador de calor con el programa SSPG8. Se utilizarán los datos de entrada de la Figura 51.

Figura 51. Parámetros utilizados para el diseño del intercambiador solar en SSPG8.

BPHE	A (m ²)	DP1 (kPa)	DP2 (kPa)	OS (%)	Weight (kg)	PF Rating
B12Lx66	1.79	13.7	21	233	9,04 - 10,9	
2 B12Hx66	3.58	12.8	20.1	1190	21,7 - 18,1	
2 B10Tx80	4.84	13	20.7	1480	19,6 - 17,7	
2 B28x74	8.64	14.3	20.8	2800	28,5 - 78,2	
2 B25Tx136	16.9	12.6	20.9	4000	56,1 - 50,4	
5 Bx8Tx50	5.52	12.9	20.7	1690	20,6	
5 B15Tx58	9.52	12.9	20.6	2740	36,4 - 33,3	

....

Heat exchanger:

B12Lx66

DUTY REQUIREMENTS	UNIT	SIDE 1	SIDE 2
Fluid		Water	Water
Flow type		Counter-Current	
Circuit		Inner	Outer
Heat load	kW	53,41	
Inlet temperature	°C	24,00	60,00
Outlet temperature	°C	28,00	56,94
Flow rate	kg/h	11500	15000
Pressure drop (Design PD)	kPa	13,7 (20,00)	21,0 (20,00)
Thermal length		0,123	0,094
PLATE HEAT EXCHANGER	UNIT	SIDE 1	SIDE 2
Total heat transfer area	m ²	1,79	
Heat flux	kW/m ²	29,8	
Mean temperature difference	K	32,47	
O.H.T.C. (available/required)	W/m ² ,°C	3050/918	
Pressure drop - total*	kPa	13,7	21,0

Figura 52. Resultados obtenidos en el diseño del intercambiador solar en SSPG8.

Se obtienen los resultados de la Figura 52, obteniéndose un coeficiente global de transmisión del calor de 1.643,22 W/K.

Las inputs de este intercambiador son la temperatura y el flujo másico de la bomba de la caldera de la piscina en el lado de *source* y la temperatura y el flujo másico proveniente del intercambiador solar en el lado *load*.

Las outputs son la temperatura y el flujo másico hacia la caldera en el lado de *source* y la temperatura (*Tcaldera*) y el flujo másico (*caudal caldera*) hacia la piscina en el lado *load*.

- **Tred:**

Este componente permite establecer un perfil de temperaturas para el agua de la red. Para sacar sus valores se parte de información de la temperatura media mensual del agua del lugar (Tabla 16) para trazar un perfil a partir de ella (Figura 53).

Mes	Temperatura (°C)
1	11
2	12
3	13
4	15
5	17
6	19
7	20
8	18
9	16
10	13
11	11
12	11

Tabla 16. Valores medios mensuales de la temperatura de red.

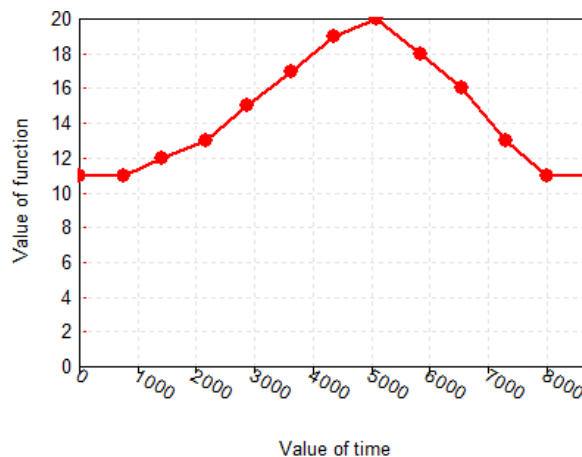


Figura 53. Perfil de temperaturas de red creado por Trnsys.

- **Nbanistas:**

De igual forma que el componente Tred, este componente crea un perfil para el número de bañistas que será utilizado como entrada por los componentes que lo necesiten a partir de unos datos de entrada organizados en este caso a lo largo de las 24 horas de un día. Según la guía del IDAE puede haber 0,2 bañistas por metro cuadrado durante 12 horas y ningún bañista durante las otras 12 horas, es decir 42 bañistas simultáneos máximo durante 12 horas y 12 horas de descanso sin uso después. Teniendo en cuenta esto y particularizando para la afluencia de personas que pueden acudir a una piscina con las características presentes en la Aljorra se han introducido los siguientes datos de bañistas (Tabla17):

Franja horaria	Bañistas
08-12	15
13-15	10
16-21	20
22-07	0

Tabla 17. Valores de bañistas según la franja horaria.

Una vez introducidos estos datos en el programa obtenemos el siguiente perfil de datos:

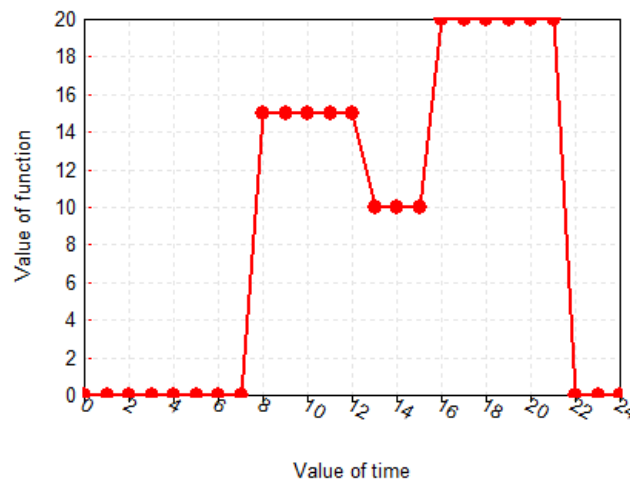


Figura 54. Perfil de bañistas creado por Trnsys.

- **Vaso piscina:**

El vaso de la piscina es uno de los componentes más importantes y a la vez más complejo y más dependiente de otros componentes que se usa en esta simulación.

El modelo utilizado en las simulaciones fue creado por Delgado Marín (2019).

Siguiendo lo descrito la referencia citada, se mantienen los componentes presentes para caracterizar el vaso de la piscina, pero particularizados para la piscina climatizada de la Aljorra. Estos componentes son el vaso de la piscina, el Type93, el Type15 que ya se ha dicho anteriormente que hace referencia a la información ambiental del lugar, Nbanistas y Tred, que ya han sido descritos, y Building haciendo referencia al edificio.

Como inputs en el componente del vaso de la piscina tenemos la temperatura del agua de red proveniente del componente Tred como *instantaneous value of function over the timestep*, el número de bañistas proveniente del componente Nbanistas como *instantaneous value of occupants*, la temperatura exterior proveniente del componente Type15 como *Dry bulb temperature*, la temperatura interior, la temperatura de las paredes y la humedad relativa del componente Building, y la salida del Type93. Este componente recibe información también de la temperatura saliente del intercambiador de calor de la caldera y envía información de la temperatura de salida del vaso en forma de output a la bomba del circuito de la piscina.

Por otra parte, el Type93 se encarga de mantener los valores de variables en instantes anteriores para su posterior utilización, en el caso del modelo de la piscina se encarga de establecer la temperatura del vaso antes y después de hacer el circuito de la piscina y sirve como entrada al vaso de la piscina, siendo esta temperatura la final del proceso anterior.

La descripción de este modelo se ha realizado de forma sencilla para evitar mayor complicación en su comprensión, para una mayor extensión en esta se puede recurrir a la Tesis antes mencionada.

Para particularizar este modelo al de la piscina climatizada de la Aljorra el componente a modificar es el del vaso de la piscina, quedando sus valores de la pestaña inputs de la siguiente forma:

Parámetro	Valor
Altura	75
Ancho	8,5
Largo	25
Profundidad media	1,23025
Ancho playa	8,5
Velocidad aire	0,2
Emitancia	0,87
Upared	3
Excavada	0
Ratio renovación	2,5

Tabla 18. Inputs vaso piscina Trnsys.

La altura, el largo, el ancho del vaso, la transmitancia de la pared y el chanco de playa han sido obtenidos del documento del proyecto de las instalaciones. La profundidad media es el resultado de dividir el volumen de la piscina entre su superficie. El ratio de renovación ha sido definido según los criterios establecidos en el RITE en el cual se establece que las piscinas entran dentro de la categoría IDA2 obteniéndose un caudal mínimo de renovación de $2,5 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ de superficie de la piscina. Para los valores restantes se ha seguido el modelo presentado y no han sido alterados, ya que estos son válidos para la gran mayoría de situaciones.

5.4 Descripción del circuito de calentamiento de ACS:

El circuito de calentamiento de ACS es un circuito abierto compuesto por dos interacumuladores (Type60) conectados en serie a cuyos serpentines están conectados el circuito de la instalación solar y otra caldera de gasóleo (Type5) que impulsa fluido caliente gracias a una bomba (Type3b). Para complementar la información necesaria se utilizan también los componentes Usuarios ACS (Type14), Tred (Type14) y DemandaACS (Type79).

En la Figura 55 se puede observar un esquema de este circuito y la conexión entre sus componentes.

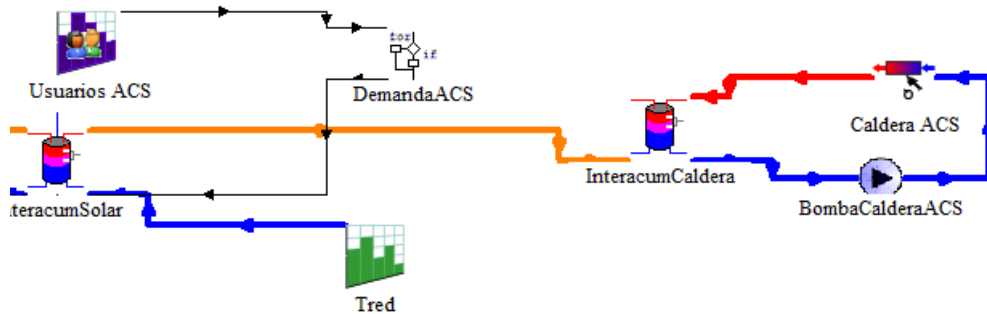


Figura 55. Circuito de calentamiento de ACS.

A continuación se va a describir cada uno de estos componentes de forma detallada:

- **Interacumulador solar:**

Este componente ya fue descrito de forma detallada en el apartado de la descripción del circuito de la instalación solar, pero se vuelve a nombrar ahora debido a que se debe

hacer hincapié en cuáles son sus inputs y sus outputs desde el punto de vista de este circuito.

Las inputs de este componente serán las del serpentín que han sido mencionadas anteriormente y el caudal másico y la temperatura del agua de red, los cuales se obtienen de los componentes Tred y DemandaACS mediante sus valores instantáneos.

Las outputs de este interacumulador serán la temperatura y el flujo másico del flujo de salida los cuales servirán como inputs para el interacumulador de la caldera.

- **Interacumulador caldera:**

Este interacumulador se puede observar en la parte derecha de la Figura 5. Esta vez los datos necesarios para rellenar el cuadro de parámetros han sido obtenidos de la placa de características de este y que se han recogido en la Tabla 19.

Parámetro	Valor	Unidad
Tank volume	0,738	m ³
Tank height	1,9	m
Height of flow inlet 1	0,8	m
Height of flow outlet 1	1,5	m
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K
Fluid density	1000	kg/m ³
Tank loss coefficient	0,62	W/m ² K
Maximun heating rate of element 1 y 2	0	kJ/h
HX Fluid Indicator	1	
Fraction of glycol	1	
Heat exchanger inside diameter	0,01	m
Heat exchanger outside diameter	0,022	m
Heat exchanger fin diameter	0,022	m
Total surface area of heat exchanger	2	m ²
Fins per meter for heat exchanger	0	
Heat exchanger length	28	m
Heat exchanger wall conductivity	16	W/m·K
Heat exchanger material conductivity	16	W/m·K
Height of heat exchanger inlet	1	m
Height of heat exchanger outlet	0,5	m

Tabla 19. Parámetros interacumulador caldera Trnsys.

Las inputs de este componente son la temperatura y el flujo másico provenientes del otro interacumulador como ya se ha definido y también la temperatura y el flujo másico

entrante al serpentín desde la caldera. Como outputs se tiene sólo la temperatura de salida del serpentín hacia la bomba de la caldera de ACS.

- **Bomba caldera ACS:**

Según proyecto, esta bomba mueve un caudal másico de 1.200 kg/h de agua desde el serpentín del interacumulador hasta la caldera.

Sus parámetros quedan entonces según la tabla 20:

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	1200	kg/h
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K

Tabla 20. Parámetros bomba caldera ACS Trnsys.

- **Caldera ACS:**

Esta caldera es una CPA 130 del fabricante BAXIROCA la cual tiene, según su placa de características y su ficha técnica, una potencia útil máxima de 151,16 kW, una eficiencia de un 91,5% y un coeficiente de pérdidas estimado de alrededor de 0,1 kJ/(h·K). El fluido del circuito de la caldera será otra vez agua al transcurrir este también por el interior de las instalaciones y no correr riesgo de congelación. Con esto, los parámetros a introducir en la pestaña de parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun heating rate	151,16	kW
Specific heat of fluid	4,18	kJ/kg·K
Overall loss coefficient for heater during operation	0,1	kJ/h·K
Efficiency of auxiliary heater	0,915	

Tabla 21. Parámetros caldera ACS Trnsys.

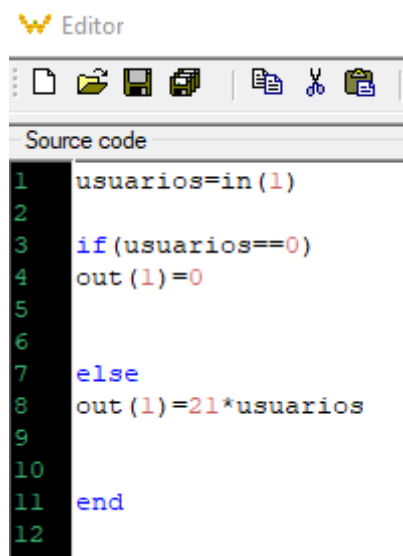
Las inputs de este componente serán la temperatura saliente del serpentín del interacumulador de la caldera y una señal de control que se puede hacer uso de ella en caso de ser necesario. El *Set point temperature*, que hace referencia a la temperatura de salida del fluido de la caldera después de ser calentado, tendrá otra vez un valor de 60 °C.

Sus outputs son la temperatura y el flujo másico dirigidos al serpentín del interacumulador de la caldera.

- **DemandaACS:**

Este componente es el encargado de indicarle la demanda de ACS en litros a la entrada del primer interacumulador, para ello tiene en su interior un programa realizado mediante el lenguaje W (Figura 56) el cual multiplica los usuarios que haya en cada momento obtenidos del componente Usuarios ACS por 21, ya que para este tipo de usos se establece un consumo de 21 litros de ACS a 60 °C por persona y día.

Se puede ver en la figura como el componente está programado para indicar esta multiplicación en caso de que el valor de los usuarios sea distinto de 0.



```
W Editor
Source code
1 usuarios=in(1)
2
3 if(usuarios==0)
4 out(1)=0
5
6
7 else
8 out(1)=21*usuarios
9
10
11 end
12
```

Figura 56. Programa DemandaACS.

- **Usuarios ACS:**

De igual forma que el componente Tred o el componente Nbanistas, este componente crea un perfil de los usuarios de ACS a lo largo de las horas. Este perfil ha sido ajustado para que se adapte a los 92 usuarios diarios proyectados, de forma que se genera un pico de uso sobre las 15, hora en la que la gente suele utilizar más los vestuarios según perfiles de instalaciones parecidas. El perfil obtenido es el dado en la Figura 57:

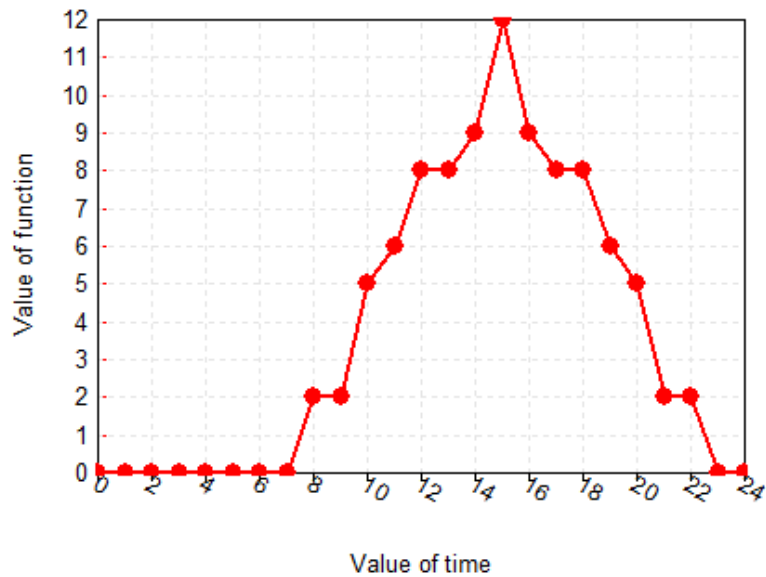


Figura 57. Perfil de Usuarios ACS.

Una vez descritos cada uno de los tres subcircuitos en los que se ha dividido la instalación para facilitar su entendimiento, se pasa a describir el control que caracteriza el funcionamiento de cada una de las bombas y el diverter de la instalación.

5.5 Descripción del control:

Este componente se programa para controlar 5 outputs: la bomba del primario puesta como out(1), el diverter puesto como out(2), la bomba de la piscina puesta como out(3), la bomba de la caldera de ACS puesta como out(4), y la bomba de la caldera de la piscina puesta como out(5).

Las outputs citadas anteriormente toman un valor u otro dependiendo de los valores de unas variables de entrada que son 6: la temperatura superior del colector que es la de salida puesta como in(1), la temperatura inferior del interacumulador conectado al circuito de la instalación solar como in(2), la temperatura de salida del agua de la piscina como in(3), la radiación incidente obtenida del Type15 (*Total tilted surface radiation for surface*) como in(4), la temperatura de salida del interacumulador de la instalación solar como in(5), y la temperatura de salida del primer intercambiador de calor de la piscina como in(6).

A continuación se encuentra el código utilizado para el control de esta instalación, el cual se introduce también en el mismo editor de la Figura 56:

```
Tsupcol=in(1)
Tinfdep=in(2)
Tsalpisc=in(3)
radiacion=in(4) %kJ/h·m2
TsalinteracumACS=in(5)
Tsalintpisc=in(6)
HDT=6
LDT=2
DTacs=Tsupcol-Tinfdep
DTpisc=Tsupcol-Tsalpisc

if(DTacs>HDT & DTpisc>HDT)

out(1)=1 %señal bomba primario
out(2)=0.8421 %señal diverter

elseif (DTacs<=LDT & DTpisc>HDT)
out(1)=1
out(2)=1
out(6)=1

elseif (DTacs>HDT & DTpisc<=LDT)
out(1)=1
out(2)=0
out(6)=0

elseif (DTacs<=LDT & DTpisc<=LDT)
out(1)=0
out(2)=0.5
out(6)=0

end

if (radiacion<750)
out(1)=0
end

%Control calderas
if(TsalinteracumACS<60)
out(4)=1
end

if(Tsalintpisc<28)
out(5)=1
end
```

```

if (Tsalpisc<28)
out(6)=1
end

```

Como se puede ver, para la programación del comportamiento de estos componentes se utiliza un lenguaje de programación muy parecido al C++.

El código establece diferentes situaciones según el valor que tengan las variables denominadas DTacs y DTpisc, las cuales son la diferencia entre la temperatura superior del colector y la temperatura del inferior del depósito y la diferencia entre la temperatura superior del colector y la temperatura de salida de la piscina. Si alguna de estas diferencias es mayor a 6 indica que es necesario calentar el agua de la piscina o de ACS, y si este valor es inferior a 2 indica lo contrario.

Si cualquiera de estas diferencias es mayor que 6, la bomba del primario funcionará y si estas dos diferencias de temperaturas son inferiores a 2 o la radiación incidente es inferior a un valor de 750 kJ/h.m^2 , esta se apagará.

El diverter adoptará diferentes valores dependiendo de dónde sea necesario satisfacer la demanda de calor, adoptando un valor de 0,8421 cuando se necesita calentar el agua de ACS y la piscina, 1 cuando sólo se necesita calentar el agua de la piscina, y 0 cuando sólo se quiere calentar el agua de ACS.

La bomba del circuito de la piscina se encenderá cuando la diferencia de temperaturas antes descritas para la piscina supere el valor de 6, lo cual indicaría que es necesario calentar el agua de la piscina o también se encenderá automáticamente si la temperatura del agua de salida de la piscina es inferior a $28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Las bombas de la caldera de la piscina o de la caldera de ACS funcionarán cuando la temperatura de salida del componente que recibe el calor de la instalación solar no sea la deseada, es decir, cuando la temperatura de salida del primer intercambiador de la piscina sea inferior a $28 \text{ }^\circ\text{C}$ y cuando la temperatura de salida del primer interacumulador de ACS sea inferior a 60°C .

Aparte de los componentes descritos y del control, el resto de elementos del área de trabajo de Simulation Studio son monitores, calculadoras e integradores que sirven para la representación gráfica y en tratamiento de información para estas representaciones (Figura 58).

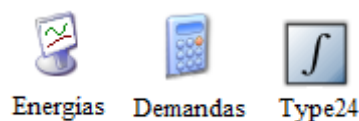


Figura 58. Monitores, calculadoras e integradores Trnsys.

6 PROPUESTA Y ANÁLISIS DE MEJORAS DE LA INSTALACIÓN EXISTENTE

En este apartado se presentarán tres mejoras que podrían realizarse a la instalación original para intentar mejorar su eficiencia energética y aumentar el uso de energías renovables. La primera de estas alternativas es la instalación original con colectores solares aumentados, de forma que cumpla con el 70% requerido por la normativa de Ahorro Energético HE, la segunda es la instalación anterior con colectores aumentados y sustituyendo las dos calderas de gasóleo por una caldera de biomasa que satisfaga toda la demanda y así sea todo el aporte de energía renovables, y la tercera y última alternativa es la de la instalación con colectores solares ampliados y dos calderas, una de biomasa para la mayor parte del consumo y otra de las de gasóleo iniciales para los picos de consumo.

6.1 Instalación existente con campo de captadores solares aumentado:

El esquema de esta instalación es igual que el de la instalación original a excepción de que se cambia el interacumulador que hay conectado a la instalación solar por un conjunto formado por un intercambiador solar de placas, una bomba y un acumulador. El esquema en Trnsys quedaría de la siguiente forma:

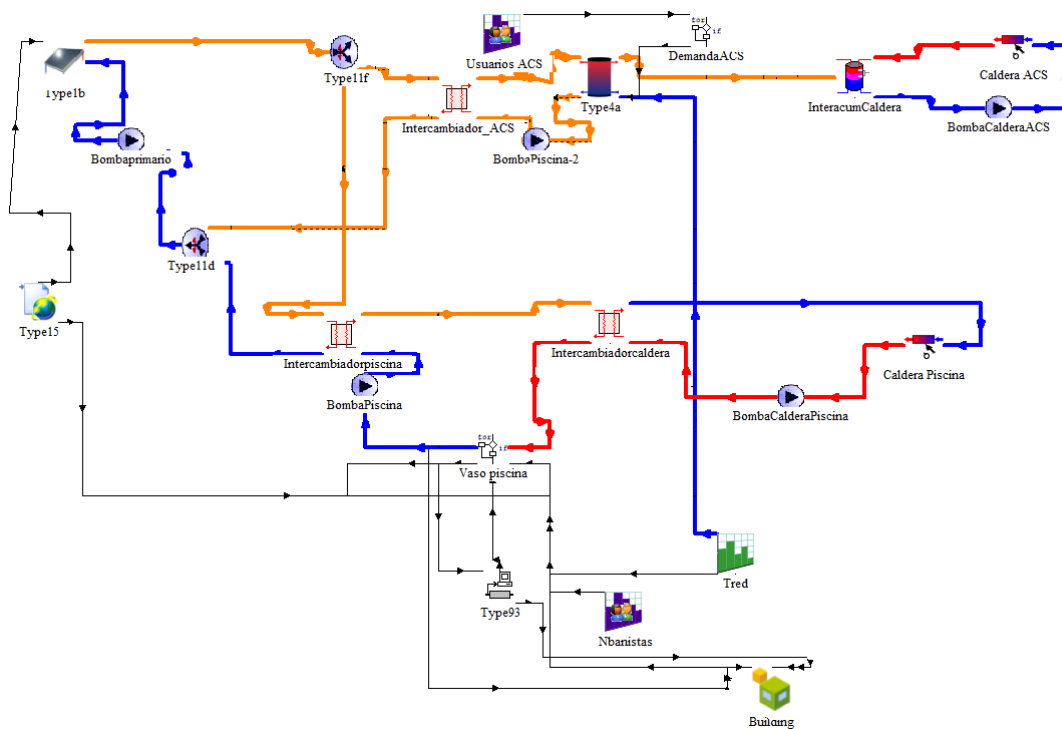


Figura 59. Esquema instalación con captadores aumentados Trnsys.

Tras realizar varias pruebas y trabajar de forma iterativa con el programa, se llega a que el número de colectores necesario para cumplir con este 70% factor de aporte solar es de 70, lo cual supone aumentar en 40 el número de colectores actuales. La problemática es que el espacio disponible en el tejado del edificio es limitado debido a la imposibilidad de colocar colectores en la cubierta inclinada debido a que se podría comprometer su consistencia, por ello se propone la colocación de estos colectores en los terrenos aledaños al edificio siendo necesario realizar los ajustes necesarios para que el sistema de tuberías esté equilibrado.



Figura 60. Situación propuesta para ubicación de ampliación del campo de colectores.

Estas instalaciones con una superficie de captación mayor a 100 m² se consideran instalaciones grandes y hacen que sea necesario establecer un sistema de intercambiador con acumulador aparte (Figura 61) para realizar el intercambio en vez del interacumulador que puede ser utilizado en instalaciones medianas y pequeñas.

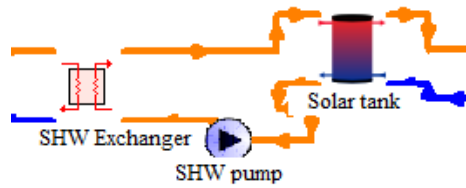


Figura 61. Detalle del intercambiador con acumulador en Trnsys.

Los caudales del circuito de la piscina y de los circuitos de las dos calderas se mantienen según proyecto, así como la mayoría de componentes.

Los componentes que varían se describirán a continuación:

- **Colectores:**

Ahora la superficie del campo de captadores aumenta a 168 m². Los nuevos parámetros del componente de los colectores quedan según la Tabla 22.

Parámetro	Valor	Unidad
Number in series	1	
Collector area	168	m ²
Fluid specific heat	4	kJ/kg·K
Efficiency mode	2	
Tested flow rate	0,02	kg/s·m ²
intercept efficiency	0,7277	
Efficiency slope	1,8261	
Efficiency curvature	0,0008	

Tabla 22. Parámetros colectores instalación ampliada Trnsys.

- **Bomba del primario:**

Siguiendo con el criterio de selección del caudal del flujo que pasa por los colectores como 72 kg/(h·m²), se tiene ahora un caudal de 12.096 kg/h, que será ahora el caudal de la bomba del primario, cuyos parámetros vienen reflejados en la Tabla 23.

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	12096	kg/h
Fluid specific heat	4	kJ/kg·K

Tabla 23. Parámetros bomba primario instalación ampliada Trnsys.

- **Intercambiador de calor de ACS:**

Siguiendo el criterio propuesto por el IDAE para el cálculo de los intercambiadores se obtiene ahora que la potencia mínima del conjunto de los intercambiadores es:

$$POT_{IS} \geq 0,75 \cdot 0,7 \cdot A_{col} = 77,18 \text{ kW} \quad (8)$$

En la Figura 47 se puede ver cómo las temperaturas de entrada al intercambiador recomendada para el diseño del intercambiador de ACS y el de la piscina son diferentes, de ahí que para el diseño con el programa de SWEP se va a adoptar un valor intermedio entre los dos dados.

Los intercambiadores han sido seleccionados de forma que la potencia conjunta supere este valor y teniendo en cuenta que la demanda de ACS es aproximadamente la cuarta parte de la total, así como el reparto de caudales.

Para el intercambiador solar-piscina se recomienda así mismo que el caudal del secundario sea del orden del doble del primario para mejorar el proceso de intercambio de calor.

Según esto, los intercambiadores seleccionados tienen una potencia de 53,41 y 20 kW para piscina y ACS, respectivamente. Aunque la potencia conjunta no supera el 75% de la potencia térmica nominal de captación, estos intercambiadores son los que mejor se ajustan a la instalación según caudales y saltos de temperatura.

El coeficiente total de transmisión del calor del intercambiador de la instalación de ACS queda con un valor de 4.739 W/K y el caudal que circula por el secundario del intercambiador es de 3.500 kg/h.

- **Bomba del secundario de ACS:**

Teniendo en cuenta que el caudal que pasa por esta bomba es el mismo que el saliente del secundario del intercambiador, tenemos un caudal de la bomba de 3.500 kg/h.

La bomba del secundario quedaría entonces con los parámetros recogidos en la Tabla 24.

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	3500	kg/h
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K

Tabla 24. Parámetros bomba secundario instalación ampliada Trnsys.

- **Acumulador:**

El último componente que falta por definir en esta instalación es el acumulador (Type4) que se ha sustituido por el interacumulador original. El volumen del acumulador se escoge teniendo en cuenta que la relación del área de captación y el volumen de acumulación tiene que estar en unos valores entre 50 y 180, por ello eligiendo un valor intermedio de 80 se obtiene un acumulador de 2.100 litros, que se puede aproximar a 2.000 litros al estar también dentro de este rango antes mencionado.

Para definir el acumulador en Simulation Studio es necesario indicar un coeficiente de pérdidas en $W/(m^2 \cdot K)$. En este caso no se puede obtener este valor directamente del catálogo del fabricante debido a que se va a elegir uno de otro catálogo y de forma general este valor no suele venir indicado, sino que suele venir como pérdidas estáticas en W.

Se ha elegido un acumulador MXV 200 RB del fabricante Lapesa (Figura 62) el cual tiene unas pérdidas estáticas de 174 W, una longitud de 2,28 m y un diámetro de 1,36 m.

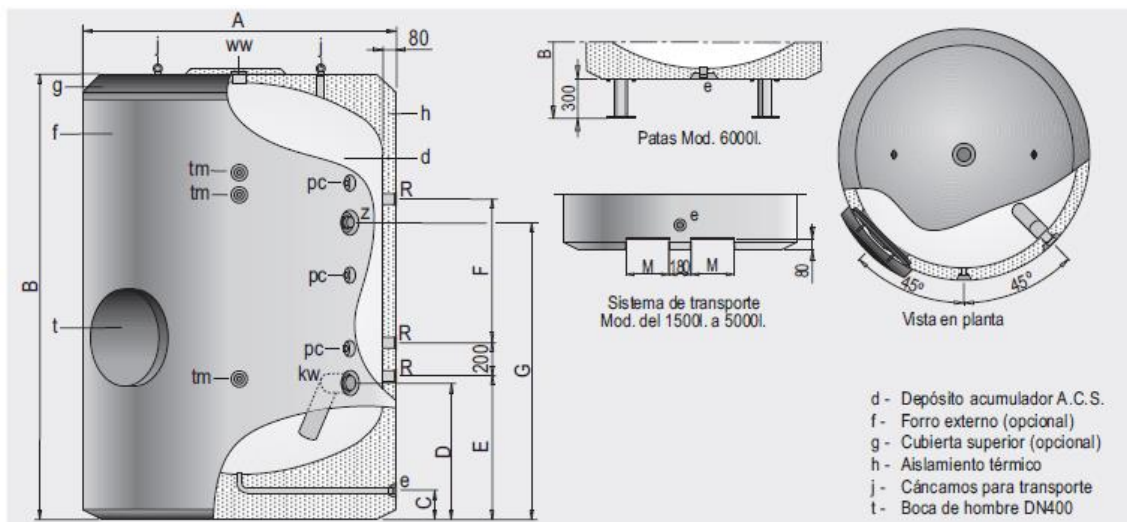


Figura 62. Acumulador MXV 200 RB de Lapesa.

El coeficiente de pérdidas se suele calcular para una diferencia de temperatura de 45 °C como el cociente de las pérdidas estáticas en kJ/h entre el producto de la superficie interior del acumulador y la diferencia de temperatura de 45 °C antes comentada:

$$Coef_{pérdidas} = \frac{Pérdidas\ estáticas}{S \cdot \Delta T} \quad (9)$$

Aproximando el interior del acumulador como un cilindro y obteniendo la superficie como la suma de la superficie de las dos bases y la superficie lateral, y utilizando las pérdidas estáticas y la diferencia de temperatura comentada se obtiene un coeficiente de pérdidas de $1,08 \text{ kJ}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Los parámetros que se han de introducir en el cuadro del acumulador en Simulation Studio quedan entonces según la Tabla 25.

Parámetro	Valor	Unidad
Tank volume	2	m^3
Fluid specific heat	4,18	$\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$
Fluid density	1000	kg/m^3
Tank loss coefficient	1,08	$\text{kJ}/\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}$
Maximun heating rate of element 1 y 2	0	kJ/h

Tabla 25. Parámetros acumulador ACS instalación ampliada Trnsys.

- **Control de la instalación:**

El control de la instalación ampliada es muy similar al de la instalación sin ampliar a excepción de que ahora habrá que controlar también la bomba del secundario de ACS.

Las inputs creadas dentro de este archivo serán iguales que las creadas para la instalación original que quedaron descritas en el Apartado 5.5 de este documento.

Las outputs, si antes eran cinco, son ahora seis, siendo: la señal de la bomba del primario como in(1), la señal del diverter como in(2), la señal de la bomba del secundario de ACS como in(3), las señales de las bombas de las calderas de ACS y de la caldera de la piscina como in(4) e in(5), y la señal de la bomba del circuito de la piscina como in(6).

El código quedaría de forma muy similar, pero introduciendo ahora el control de la bomba del secundario de ACS en el control que se mencionó que había por diferencias de temperaturas, encendiéndose esta si la diferencia de temperatura de ACS es mayor a 6 y permaneciendo apagada si esta es inferior a 2.

A continuación se encuentra el código utilizado para este control:

```
Tsupcol=in(1)
Tinfdep=in(2)
Tsalpisc=in(3)
radiacion=in(4) %kJ/h·m2
TsalinteracumACS=in(5)
```

```

Tsalintpisc=in(6)
HDT=6
LDT=2
DTacs=Tsupcol-Tinfdep
DTpisc=Tsupcol-Tsalpisc

if(DTacs>HDT & DTpisc>HDT)
out(1)=1 %señal bomba primario
out(2)=0.85 %señal diverter
out(3)=1 %señal bomba ACS
out(6)=1 %señal bomba piscina

elseif (DTacs<=LDT & DTpisc>HDT)
out(1)=1
out(2)=1
out(3)=0
out(6)=1

elseif (DTacs>HDT & DTpisc<=LDT)
out(1)=1
out(2)=0
out(3)=1
out(6)=0

elseif (DTacs<=LDT & DTpisc<=LDT)
out(1)=0
out(2)=0.5
out(3)=0
out(6)=0

end

if (radiacion<750)
out(1)=0
end

%Control calderas
if(TsalinteracumACS<60)
out(4)=1
else
out(4)=0
end

if(Tsalintpisc<28)
out(5)=1
else
out(5)=0
end

if(Tsalpisc<28)

```

```
out(6)=1  
end
```

6.2 Instalación aumentada con caldera de biomasa:

Esta instalación parte de la instalación que se ha descrito en el Apartado 6.1 de este documento, la cual es la instalación original con unas ligeras modificaciones que se ha indicado que son necesarias al ampliar el campo de captadores. Ahora las dos calderas de gasóleo han sido sustituidas por una única caldera de biomasa, la cual mediante un diverter repartirá el flujo de agua caliente hacia la piscina o hacia el calentamiento de ACS según sea necesario. Aparte de estas modificaciones, se incluye también un acumulador de inercia entre la caldera y el interacumulador.

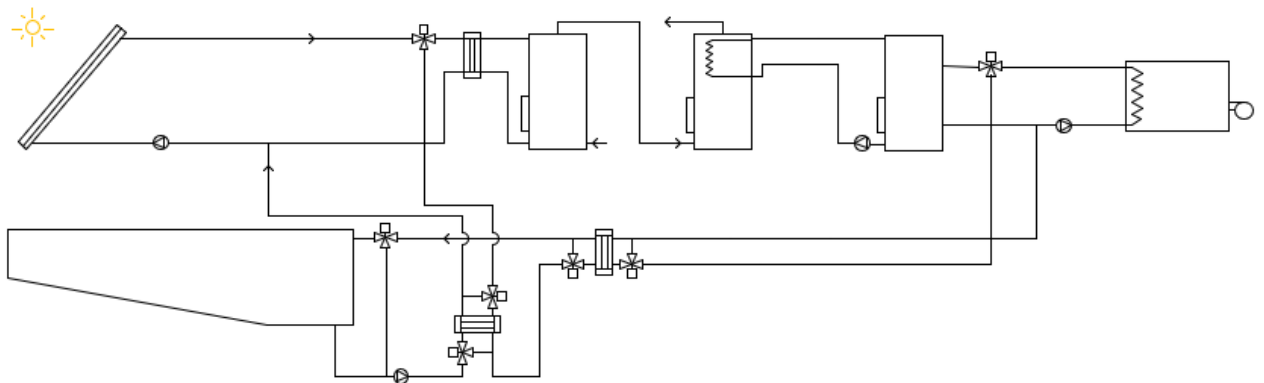


Figura 63. Esquema general de la instalación ampliada con caldera de biomasa.

Esta instalación tiene en Simulation Studio los mismos caudales vistos en el apartado anterior para el circuito de la piscina, el circuito primario de los colectores y el circuito secundario de ACS, manteniéndose el acumulador de 2.000 l y con ello las características antes descritas.

Para conocer las características de esta instalación faltaría describir las características de la caldera de biomasa, el acumulador de inercia, la bomba de la caldera, la bomba del acumulador de inercia y el control de esta instalación que ahora se complica un poco más.

El esquema de esta instalación en Simulation Studio es el siguiente, que como se puede ver, incluye los componentes que se han citado.

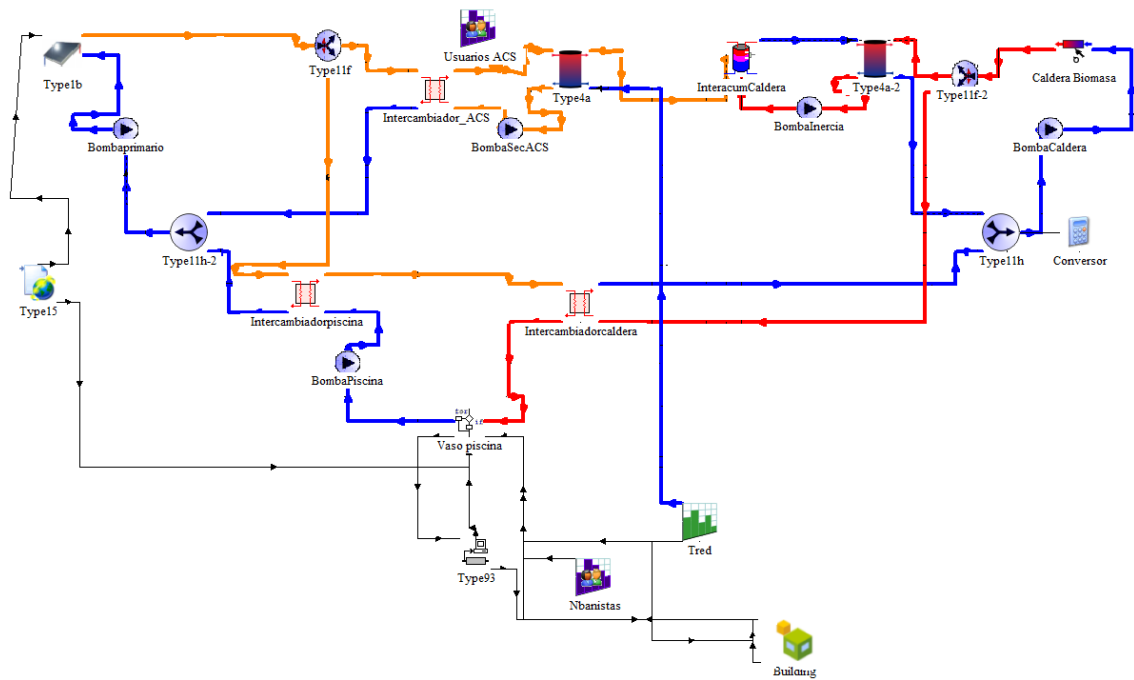


Figura 64. Esquema instalación ampliada con caldera de biomasa Trnsys.

Para tener mayor percepción de los elementos que varían, se muestra a continuación la imagen en detalle de la zona en cuestión.

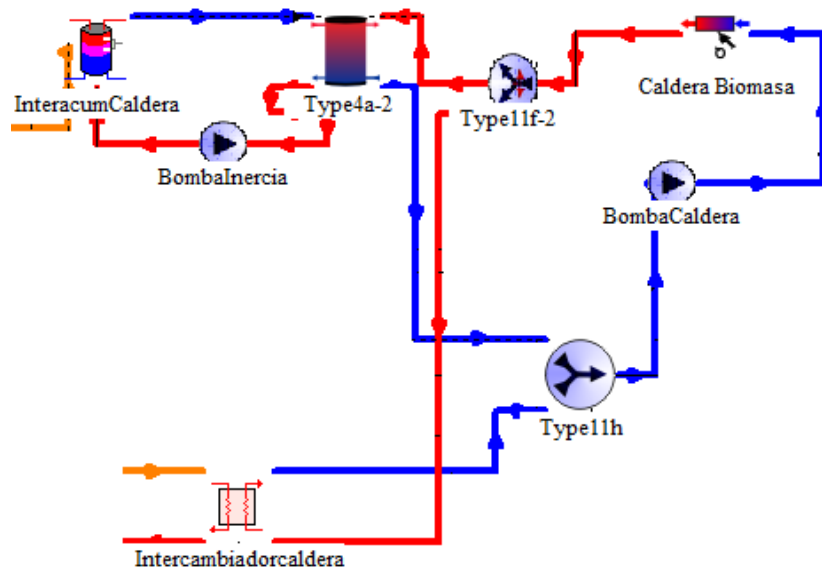


Figura 65. Detalle de la zona de caldera de biomasa Trnsys.

El interacumulador y el intercambiador de calor de esta parte de la instalación se siguen manteniendo según estaban en la instalación original como también se ha visto en la

instalación ampliada, por ello se incluye a continuación una descripción de los elementos nuevos:

- **Caldera de biomasa:**

Se ha estimado realizando varias pruebas que con una potencia ligeramente inferior a 100 kW sería suficiente para satisfacer la demanda de calentamiento del agua de la piscina y de calentamiento de ACS una vez se ha aumentado el campo de captadores. Esta potencia de 100 kW ha sufrido un sobredimensionado pequeño para así asegurar su correcto funcionamiento incluso en posibles situaciones que requieran un poco más de potencia de la normal. Como fluido que pasa por este circuito se tiene agua, el coeficiente global de pérdidas durante la operación se mantiene en este valor de 0,1 kJ/(h·K) que se comentó en otros apartados, y la eficiencia de la caldera se situará entre varios valores dependiendo del tipo de combustible que se utilice. Los parámetros de este componente quedan de la siguiente forma:

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun heating rate	100	kW
Specific heat of fluid	4,18	kJ/kg·K
Overall loss coefficient for heater during operation	0,1	kJ/h·K
Efficiency of auxiliary heater	Varía	

Tabla 26. Parámetros caldera biomasa Trnsys.

La eficiencia adoptará un valor de 0,85 si el combustible es astilla y un valor de 0,9 si se trata de pellets.

La temperatura de set point se sitúa en 60 °C como las otras calderas descritas anteriormente.

- **Acumulador de inercia:**

Estos acumuladores se suelen escoger con un criterio de 20-30 l/kW de potencia de la caldera. Como la caldera de biomasa se ha escogido de 100 kW se escogerá un acumulador de inercia de 2.000 l.

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas se utilizará el método descrito antes en el apartado de la descripción del acumulador de la instalación ampliada y partiendo de un catálogo de Lapesa en el que se incluyen acumuladores de inercia de obtiene un valor aproximado de 3 kJ/(h·m²·K) para el MV 2000I.

Se tienen unos parámetros para este acumulador de inercia como los recogidos en la Tabla 27.

Parámetro	Valor	Unidad
Tank volume	2	m ³
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K
Fluid density	1000	kg/m ³
Tank loss coefficient	3	kJ/h·m ² K
Maximun heating rate of element 1 y 2	0	kJ/h

Tabla 27. Parámetros acumulador de inercia biomasa Trnsys.

- **Bomba de la caldera:**

Para obtener el caudal necesario para la bomba de la caldera se tendrán en cuenta los parámetros antes comentados de la caldera como es la potencia y el calor específico del fluido que circula por el circuito.

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{C_p \cdot \Delta T} \quad (9)$$

Con una potencia de 100 kW, un calor específico de 4,18 kJ/(kg·K) y un salto de temperaturas de 20 °C se obtiene un caudal másico de 1,19 kg/s, o lo que es lo mismo, 4.306 kg/h. Teniendo esto en cuenta se ha seleccionado una bomba de 5.000, aunque se podría haber seleccionado otra con un caudal ligeramente inferior. Los parámetros de esta bomba quedan según lo dispuesto en la Tabla 28.

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	5000	kg/h
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K

Tabla 28. Parámetros bomba caldera biomasa Trnsys.

- **Bomba de inercia:**

El caudal de esta bomba se obtiene teniendo en cuenta el porcentaje del total de la demanda que se destina a calentar el ACS piscina y el agua de la piscina que se comentó que era un 84-86%, de ahí se obtiene un caudal para esta bomba de 1.200 kg/h.

Los parámetros de esta bomba quedan entonces de la siguiente forma:

Parámetro	Valor	Unidad
Maximun flow rate	1200	kg/h
Fluid specific heat	4,18	kJ/kg·K

Tabla 29. Parámetros bomba inercia biomasa Trnsys.

- **Control de la instalación:**

En el caso de esta instalación el control se complica un poco más debido a que ahora cambian las entradas y las salidas y hay que tener en cuenta otros factores que no se tenían en cuenta en las instalaciones descritas anteriormente.

A las seis entradas descritas en las otras instalaciones se le añade una séptima entrada que es la temperatura media en el acumulador de inercia puesta como in(7). Esta entrada se debe a que la caldera de biomasa trabaja contra el depósito a una temperatura de consigna prefijada que tiene influencia en el consumo. Se definen las temperaturas de consigna de la piscina y ACS con unos valores de 28 y 60.

Las salidas serán ahora la bomba del circuito primario como out(1), el diverter de la instalación solar como out(2), la bomba del secundario de ACS como out(3), la bomba de la piscina como out(4), la bomba de la caldera de biomasa como out(5), el diverter de la zona de la caldera como out(6), y la bomba del acumulador de inercia como out(7).

El control de la parte solar de la instalación y de la bomba de la piscina es similar el de las otras dos instalaciones descritas con ligeras modificaciones, utilizando las diferencias de temperaturas ya descritas con los mismos intervalos, sin embargo se introduce ahora una parte del control dedicada completamente a controlar la bomba de la caldera de biomasa, el diverter de esta parte, y la bomba del acumulador de inercia.

La bomba de la caldera de biomasa funcionará si la temperatura media del depósito de inercia es inferior a 55 °C y se da también el caso de que la temperatura de salida de la piscina es inferior a 28 °C o la temperatura de salida del acumulador de ACS es inferior a 60 °C. Si no se dan estas condiciones la bomba de la caldera permanecerá apagada.

Por otro lado y de forma parecida a lo programado en la zona de la instalación solar, el diverter de la zona de la biomasa y la bomba del acumulador de inercia toman diferentes valores en función de la temperatura de salida del intercambiador solar de la piscina y la temperatura de salida del acumulador conectado a la instalación solar para el calentamiento de ACS. Si la temperatura dicha de la piscina es inferior a 28 °C se desviará mediante el diverter parte del flujo calentado por la caldera a la piscina y si es superior no. De igual forma para la parte de ACS, si la temperatura de salida del acumulador es inferior a 60 °C se desviará con el diverter la parte correspondiente del

flujo para calentamiento del depósito de inercia y se activará también la bomba de este acumulador.

El código que controla todo lo descrito se encuentra en las siguientes figuras, siendo la primera parte la de descripción de entradas y variables como en los otros códigos, después la descripción de la parte de la instalación solar, y por último el control de la parte de la biomasa:

```
Tsupcol=in(1)
Tinfdep=in(2)
Tsalpisc=in(3)
radiacion=in(4) %kJ/h·m2
TsalinteracumACS=in(5)
Tsalintpisc=in(6)
Tinerxia=in(7)
HDT=6
LDT=2
Tconsignapiscina=28
TconsignaACS=60
DTacs=Tsupcol-Tinfdep
DTpisc=Tsupcol-Tsalpisc

if(DTacs>HDT & DTpisc>HDT & Tsalpisc<Tconsignapiscina &
TsalinteracumACS<TconsignaACS)

out(1)=1 %señal bomba primario
out(2)=1 %señal diverter
out(3)=0 %señal bomba ACS
out(4)=1 %señal bomba piscina

elseif (DTacs<=LDT & DTpisc>HDT)
out(1)=1
out(2)=1
out(3)=0
out(4)=1

elseif (DTacs>HDT & DTpisc<=LDT)
out(1)=1
out(2)=0.15
out(3)=1
out(4)=0

elseif (DTacs<=LDT & DTpisc<=LDT)
out(1)=0
out(2)=0.5
out(3)=0
out(4)=0
end
```

```

if (radiacion<750)
out(1)=0
end

if(Tsalpisc<28)
out(4)=1
else
out(4)=0
end

%Control biomasa
if(Tinerxia<55 & (Tsalintpisc<28 | TsalinteracumACS<60))
out(5)=1 %señal bomba caldera biomasa
else
out(5)=0
end
if(Tsalintpisc<28 & TsalinteracumACS<60)
out(6)=0.85 %señal diverter biomasa
out(7)=1 %señal bomba inercia
elseif(Tsalintpisc>28 & TsalinteracumACS<60)
out(6)=0
out(7)=1
elseif(Tsalintpisc<28 & TsalinteracumACS>60)
out(6)=1
out(7)=0
elseif(Tsalintpisc>28 & TsalinteracumACS>60)
out(6)=0.5 %señal diverter biomasa
out(7)=0 %señal bomba inercia

```

6.3 Instalación aumentada con caldera de biomasa y caldera de gasóleo:

El objetivo de esta instalación es, una vez cumplidas las exigencias de aporte solar por la normativa de ahorro energético, aumentar aún más el uso de energías renovables y a la vez seguir aprovechando unas de las dos calderas de gasóleo que se tienen en la instalación original. Para ello se seleccionará una caldera de biomasa que satisfaga el consumo medio y una de las dos calderas de gasóleo para poder satisfacer la demanda energética en los momentos en los que haya picos de consumo.

La instalación necesaria para poder implementar estos componentes parte de la instalación existente con los captadores aumentados y caldera de biomasa. Varía ahora la parte de calentamiento por calderas, añadiendo la caldera de gasóleo en serie, un diverter y un converter para dirigir el flujo a donde sea necesario y recogerlo después y un acumulador de inercia con su bomba.

Tras realizar diferentes pruebas, se ha determinado que es suficiente con una caldera de biomasa de 50 kW.

El esquema de la instalación es el siguiente:

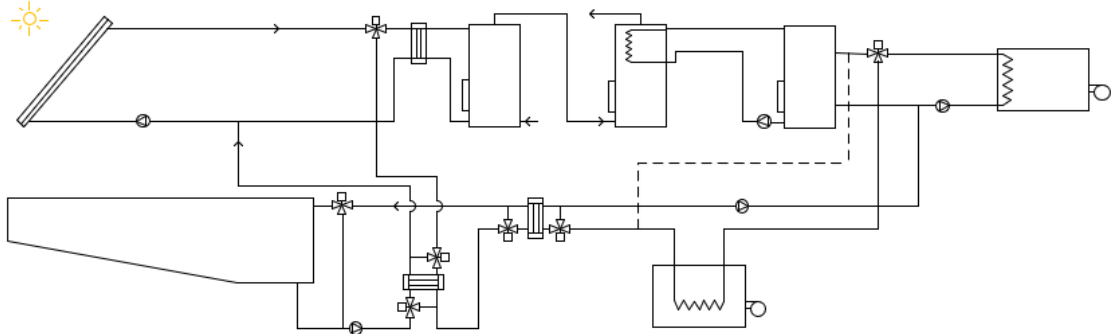


Figura 66. Esquema general de la instalación ampliada con caldera de biomasa y caldera de gasóleo.

Todos estos componentes puestos en Simulation Studio quedarían como están representados en la Figura 67.

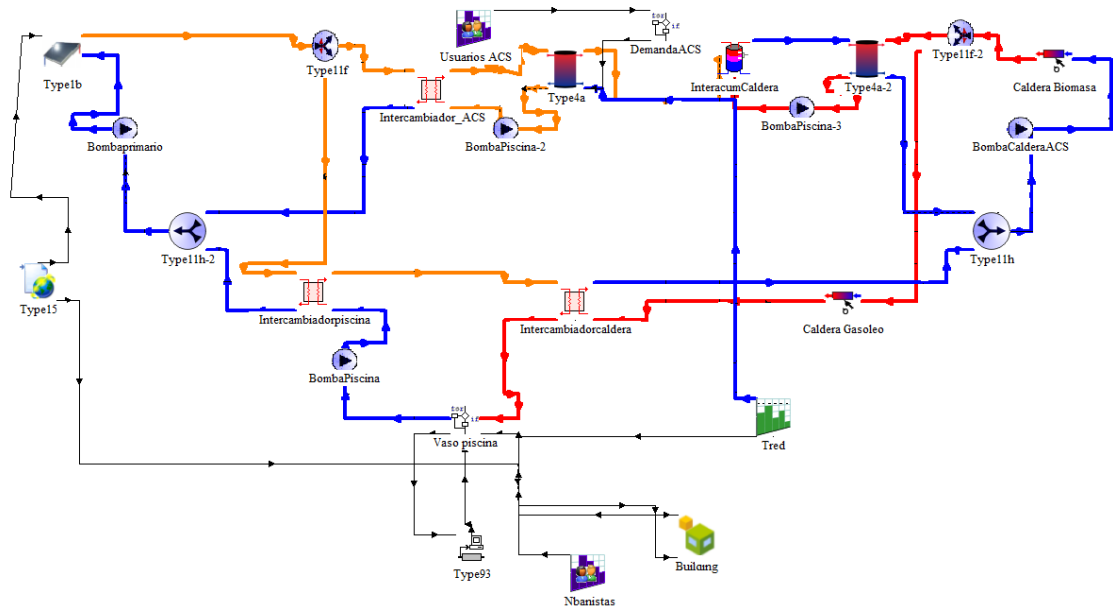


Figura 67. Esquema instalación ampliada con caldera de biomasa y caldera de gasóleo Trnsys.

En la Figura 68 se puede ver con más detalle cómo quedaría la parte modificada de la instalación y las conexiones que hay entre cada uno de los componentes.

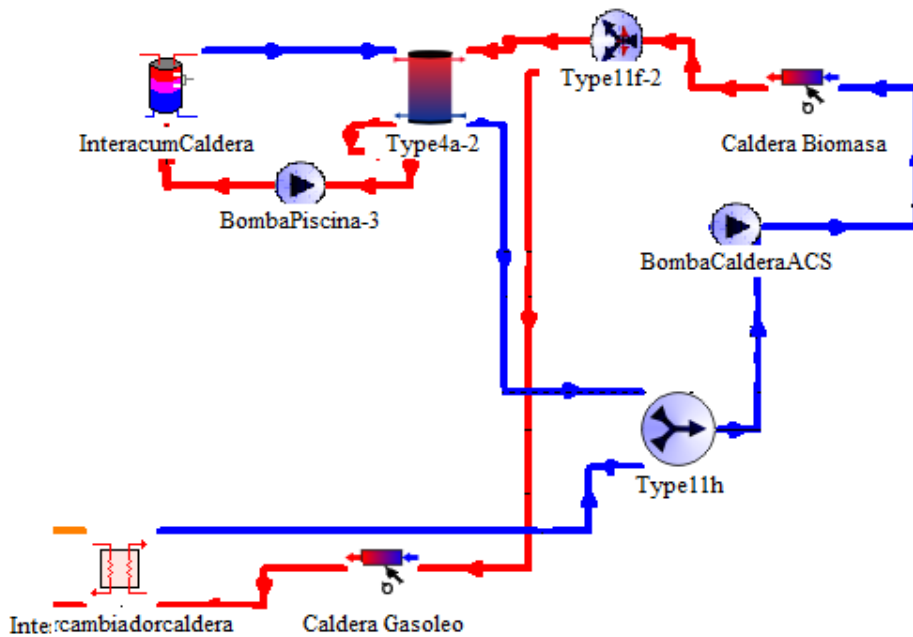


Figura 68. Detalle de la zona de caldera de biomasa + gasóleo Trnsys.

La descripción de esta instalación se hará de forma relativamente simplificada, ya que esta deriva de las anteriores y una vez entendidas las explicaciones con detalle que fueron incluidas anteriormente, carece de sentido volver a incluirlas.

Los caudales de las bombas de la caldera y de inercia son los mismos que los calculados en el apartado de la instalación de sólo biomasa y la caldera de gasóleo puede ser cualquiera de las dos ya que al estar sólo de apoyo cualquiera de las existentes tendría potencia de sobra. En cuanto al acumulador de inercia, su volumen se reduce ahora a 1.000 l al tener una caldera más pequeña, lo cual hace que se siga cumpliendo la relación de 20 l/kW de potencia de la caldera.

Los intercambiadores de placas del circuito de la piscina se siguen manteniendo tal cual habían sido diseñados para la instalación existente.

En cuanto al control, no se realizará ninguna descripción debido a que este es idéntico al de la instalación ampliada con caldera de biomasa.

Con esto quedarían ya desarrolladas las características y los criterios seguidos para el dimensionado de cada uno de los componentes de las diferentes variantes de las instalaciones, a partir de cuyos modelos se estudiarán los resultados aportados por los diferentes programas.

7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este apartado se van a realizar dos comparaciones. La primera de estas comparaciones se realizará teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el programa SOLAR, Cheq4, Trnsys, y el método teórico del IDAE para la instalación existente, los cuales serán comparados con los datos de consumo reales. La segunda comparación se realizará entre cada uno de los modelos de Trnsys descritos en los apartados anteriores de este documento desde el punto de vista económico, de consumo de energía primaria, y de emisiones de CO₂.

El consumo real reportado de la instalación en los años 2017-2019 es el reflejado en la Tabla 30.

Año	Consumo de gasóleo (l)
2017	58591
2018	3500
2019	35360

Tabla 30. Consumo de gasóleo real de la instalación.

En la anterior tabla se puede comprobar que el consumo presenta disparidad en los tres años consecutivos, siendo anormalmente elevado en el primer año del que se disponen datos y resulta relativamente insignificante en 2018. Sin embargo, 2019 presenta un consumo intermedio entre los dos años anteriores, por ello se hará uso de este consumo para las comparaciones.

Para tener unos resultados más comparables con los arrojados por el resto de programas, en Cheq4 se va a hacer uso de los colectores más parecidos que hay a los de la instalación real prescindiendo así de las extrapolaciones realizadas anteriormente.

El programa Cheq4 con el captador más parecido posible al existente en la instalación da un factor de aporte del 31% y un consumo de energía auxiliar de **233.252 kWh**. Por otro lado, el programa SOLAR da un factor de aporte del 31% también y un consumo de energía auxiliar en torno a **180.170 kWh**. Esta energía auxiliar más baja con el mismo factor de aporte se debe a que la demanda energética calculada por el programa SOLAR es menor que la calculada con el programa Cheq4, ya que utilizan métodos diferentes de cálculo y no se utilizan los mismos datos en los dos programas, siendo por ejemplo más detallado la definición de la piscina o de los circuitos de colectores y distribución en Cheq4. La demanda bruta calculada por el programa SOLAR es de 261.123 kWh y la neta es 246.343 kWh, mientras que las demandas bruta y neta calculadas por Cheq4 son 287.495 kWh y 276.350 kWh respectivamente.

En la siguiente figura se puede observar los resultados obtenidos en Cheq4 para este captador similar al existente.

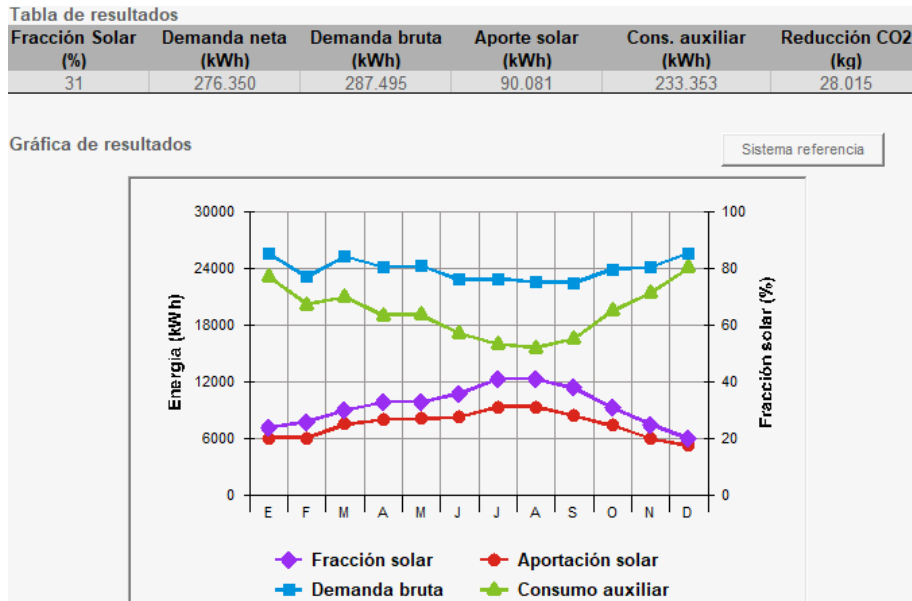


Figura 69. Resultados de Cheq4 para captador similar al existente.

Gracias a los componentes de Trnsys mostrados en la Figura 58 se pueden obtener los valores en forma de gráfica (Figura 70) de las diferentes variables que intervienen en el esquema de la instalación, así como obtener el valor en cada momento de una operación en la cual intervengan varias de estas variables.

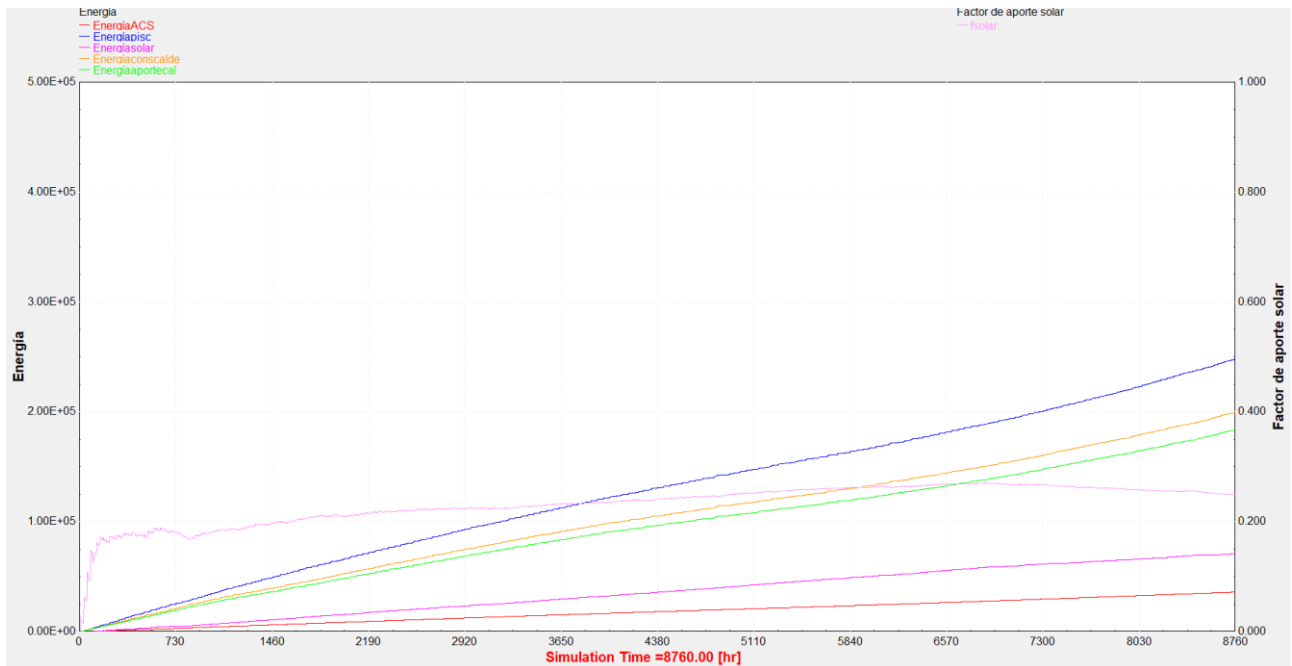


Figura 70. Gráficas Trnsys.

Según las gráficas obtenidas se hace un consumo de energía auxiliar de **242.830 kWh** y se tiene un factor de aporte del 33,63%.

Si se tiene en cuenta que el gasóleo aporta 9,98 kWh/l, dividiendo la energía auxiliar obtenida teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera entre este valor se obtiene la cantidad de gasóleo necesaria según cada uno de los cálculos. Teniendo en cuenta también que la energía auxiliar necesaria según el método del IDAE es de **209.752 kWh** y que el precio del gasóleo es de 0,78 €/l obtenemos la siguiente tabla comparativa.

	Real	Trnsys	Cheq4	SOLAR	Teórico	Unidad
Factor de aporte		33,63	31	31	28,19	%
Consumo de E.Auxiliar	352892	242830	197422,2	180170	209752	kWh
Consumo de combustible	35360	24331	19781,78	18053,11	21017	l
Aporte Solar		72859	90081	80953	80585	kWh
Coste del combustible	27580	18978	14242,88	14081	16393	€

Tabla 31. Resultados de cada uno de los programas de la instalación existente.

En la tabla se ha tenido en cuenta también que la energía auxiliar en Cheq4 viene dada como energía primaria, por ello se divide entre 1,182, que es el factor de conversión para obtener la energía del gasóleo.

Se puede ver como los cálculos del consumo y del precio del combustible realizados por cada uno de los programas es parecido, siendo estos inferiores al consumo real que se sabe que existe en la instalación real. Al tener estos resultados tan parecidos obtenidos por los diferentes programas y método teórico y diferir estos de los reales se puede llegar a pensar que en alguna parte de la instalación real se está produciendo un mal funcionamiento, ya sea por un mal funcionamiento de los captadores solares, un mal uso de los métodos de retención del calor de la piscina o un excesivo uso de los vestuarios, entre otras posibles causas. Para comprobar qué problema es el causante de este exceso de energía consumida que se traduce en un sobre coste y un aumento de emisiones considerable, lo más recomendable en este caso sería realizar una auditoría energética de la instalación.

Para comparar las diferentes instalaciones que han sido modeladas se utilizarán los datos aportados por TRNSYS para así partir de una misma fuente y obtener una comparación más fiable.

En primer lugar se tiene la instalación original con los captadores ampliados, mejora que ya se comentó en su momento que era necesaria para poder cumplir con la normativa de ahorro energético HE. En esta instalación el programa muestra un consumo de energía auxiliar de **71.037 kWh** frente a los **242.830 kWh** que se consumen en la instalación actual según Trnsys también. Esta reducción de energía consumida se traduce en un ahorro energético de:

$$\text{Ahorro energético}_{TRNSYS} = 242.830 - 71.037 = 171.793 \text{ kWh} \quad (10)$$

$$\text{Ahorro económico} = \frac{171.793 \text{ kWh}}{9,98 \frac{\text{kWh}}{\text{l}}} \cdot 0,78 \frac{\text{€}}{\text{l}} \approx 13.500 \text{ €} \quad (11)$$

Lo cual deja un coste anual de aproximadamente **5.500 €**.

Para la instalación ampliada con una única caldera de biomasa para el apoyo se comentó que se iba a hacer el estudio para el caso de pellets y el caso de astilla. En el caso de astilla el consumo de energía auxiliar es de **93.306 kWh**, mientras que para el caso de pellets es de **88.118 kWh**. Estas diferencias se deben a que como ya se comentó, el rendimiento de la caldera con pellets es superior a la caldera usando astilla. Teniendo en cuenta que El precio y el PCI del pellet y la astilla son los siguientes:

	PCI (kWh/kg)	Precio (€/kg)
Astilla	4,06	0,12
Pellets	5,23	0,25

Tabla 32. PCI y Precio astilla y pellets.

Estos datos se traducen en los siguientes costes anuales en el uso de estos dos combustibles:

$$C_{astilla}(kg) = 93.306 \text{ kWh} / 4,06 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \approx 22.981 \text{ kg} \quad (12)$$

$$C_{astilla}(\text{€}) = 22.981 \text{ kg} \cdot 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kg}} \approx \mathbf{2.760 \text{ €}} \quad (13)$$

$$C_{pellet}(kg) = 88.118 \text{ kWh} / 5,23 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \approx 16.849 \text{ kg} \quad (14)$$

$$C_{pellet}(\text{€}) = 16.849 \text{ kg} \cdot 0,25 \frac{\text{€}}{\text{kg}} \approx \mathbf{4.212 \text{ €}} \quad (15)$$

Por último falta presentar los resultados aportados por la instalación ampliada mixta con caldera de gasóleo y caldera de biomasa para estos dos combustibles.

Para el caso de astilla y gasóleo se obtiene un consumo de **71.135 kWh** de energía proveniente de la astilla y **7.483 kWh** de gasóleo. En el caso de pellets y gasóleo se obtiene un consumo de **68.508 kWh** proveniente de la biomasa y un consumo de **6.371 kWh** de gasóleo. De igual forma que se calculó para el caso de gasóleo solo y biomasa sólo, se calcula ahora el coste de combustible de estas instalaciones, siendo este de **2.687 €** para la astilla y **3.773 €** para los pellets.

A continuación se incluye una tabla en la que se puede observar el coste económico que trae consigo cada una de las alternativas y el ahorro que esto supone:

Factor solar	Caldera	Energía consumida (kWh)	Coste energético (€)	Ahorro anual (€)
0,31	Actuales gasóleo	242830	18978	-
0,7	Actuales gasóleo	71037	5500	13478
0,7	Biomasa (pellet)	88118	4212	14766
0,7	Biomasa (astilla)	93306	2760	16218
0,7	Biomasa+Gasóleo (pellet)	68508+6371	3773	15205
0,7	Biomasa+Gasóleo (astilla)	71135+7483	2687	16291
0,31	Biomasa (pellet)	163218	7802	11176
0,31	Biomasa (astilla)	172812	5108	13870
0,31	Biomasa+Gasóleo (pellet)	133762+12832	7397	11581
0,31	Biomasa+Gasóleo (astilla)	138482+14997	6091	12887

Tabla 33. Resultados económicos de las diferentes variantes de la instalación.

Se puede ver cómo se han añadido también los datos económicos de las instalaciones de biomasa para el caso de los captadores sin ampliar. Esto se debe a que no siempre es posible realizar la ampliación de estos ya sea por motivos técnicos o económicos.

A continuación se va a realizar esta comparación teniendo en cuenta la energía primaria que es la energía natural inalterada antes de convertirse en las fuentes de energía utilizadas en la instalación. Para realizar esta conversión se utilizan unos factores de conversión dados por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento en el documento “Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España”. Estos factores de conversión se encuentran en la tabla de la Figura 71 que ha sido extraída de este documento.

Los valores de energía primaria se obtienen al multiplicar los factores de energía primaria total por los valores de energía de cada uno de los combustibles utilizados.

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

Figura 71. Factores de conversión de energía primaria a final en España.

En la siguiente tabla se encuentran los valores de energía primaria consumida anualmente para cada una de las variantes de la instalación:

Factor solar	Caldera	Energía primaria (kWh)	Identificativo en gráficas
0,31	Actuales gasóleo	262742	G
0,7	Actuales gasóleo Ampliada	76862	G Amp
0,7	Biomasa (pellet) Ampliada	98075	BM(P) Amp
0,7	Biomasa (astilla) Ampliada	96758	BM(A) Amp
0,7	Biomasa+Gasóleo (pellet) Ampliada	83143	BM+G(P) Amp
0,7	Biomasa+Gasóleo (astilla) Ampliada	81864	BM+G(A) Amp
0,31	Biomasa (pellet)	181662	BM(P)
0,31	Biomasa (astilla)	179206	BM(A)
0,31	Biomasa+Gasóleo (pellet)	162761	BM+G(P)
0,31	Biomasa+Gasóleo (astilla)	159833	BM+G(A)

Tabla 34. Valores de energía primaria de las diferentes variantes de la instalación.

A continuación se presentan estos datos en forma de gráfica para tener mejor percepción de los resultados de cada una de las variantes.

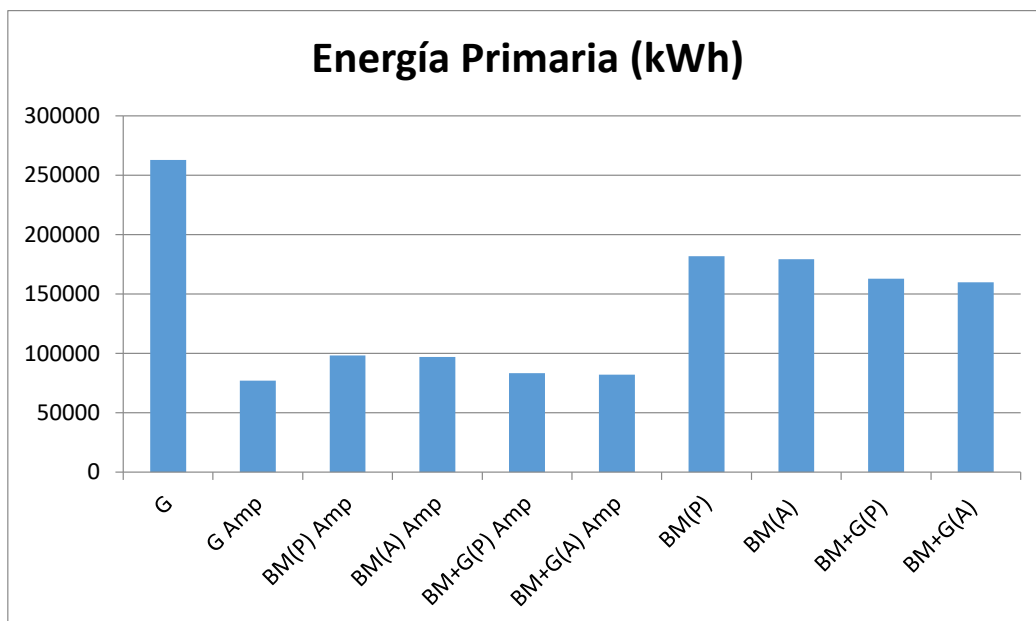


Figura 72. Valores de energía primaria de las diferentes variantes de la instalación.

Se puede ver como la instalación original es la que más energía primaria consume seguida de las variantes sin ampliar, y de las variantes ampliadas la que menos energía primaria consume es la que tiene las dos calderas de gasóleo.

De igual forma que se incluyen los factores de conversión de energía primaria a final, en el mismo documento se incluyen también unos factores de conversión de kg de CO₂ a energía final que están recogidos en la Figura 73.

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

Figura 73 . Factores de conversión de kg de CO₂ a energía final en España.

En la siguiente tabla se encuentran los valores de emisiones en kg de CO₂ para cada una de las variantes de la instalación:

Factor solar	Caldera	Emisiones (kg CO ₂)
0,31	Actuales gasóleo	75520
0,7	Actuales gasóleo	22093
0,7	Biomasa (pellet)	1586
0,7	Biomasa (astilla)	1680
0,7	Biomasa+Gasóleo (pellet)	3215
0,7	Biomasa+Gasóleo (astilla)	3608
0,31	Biomasa (pellet)	2938
0,31	Biomasa (astilla)	3111
0,31	Biomasa+Gasóleo (pellet)	6398
0,31	Biomasa+Gasóleo (astilla)	7157

Tabla 35. Valores de emisiones en kg de CO₂ de las diferentes variantes de la instalación.

De igual forma que se había hecho para los datos de energía primaria, a continuación se presentan estos datos en forma de gráfica para tener mejor percepción de los resultados de cada una de las variantes.

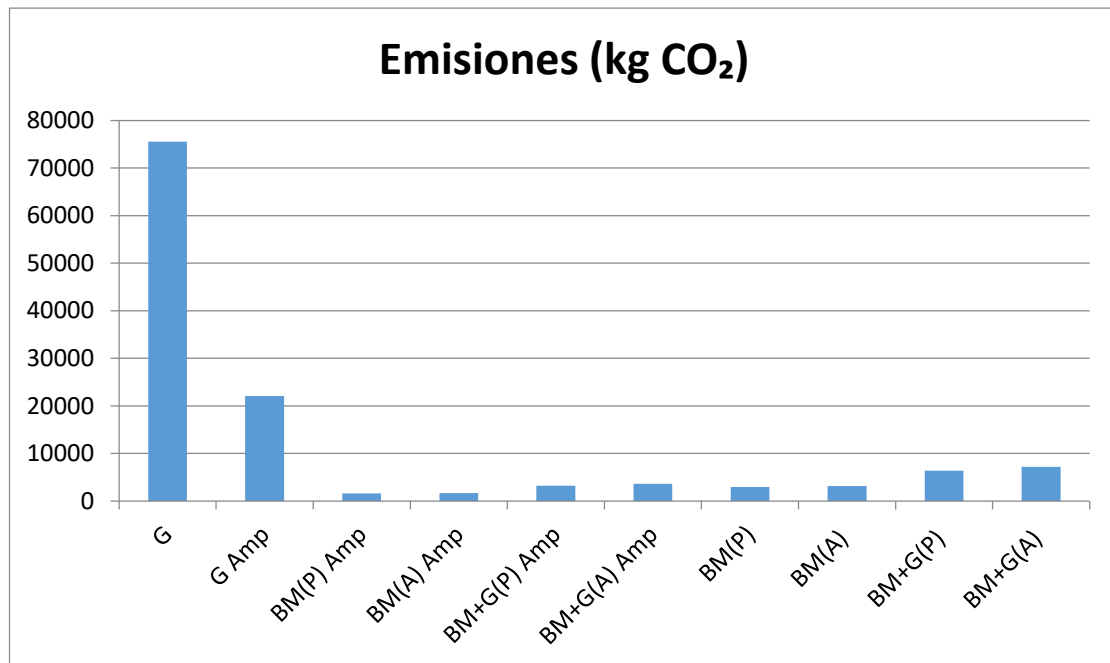


Figura 74. Valores de emisiones en kg de CO₂ de las diferentes variantes de la instalación.

En el caso de las emisiones, el caso existente es claramente y por mucha diferencia la opción más contaminante de todas, estando esta seguida de la opción existente ampliada que en este caso no es tan favorable como lo era a la hora de comparar los consumos de

energía primaria. Las otras instalaciones ampliadas con caldera de biomasa y biomasa con gasóleo serían las mejores opciones desde el punto de vista de las emisiones de CO₂.

8 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la instalación de la piscina cubierta de la Aljorra, para ello se ha hecho uso de los programas de modelado Cheq4 y SOLAR, del programa de simulación dinámica Trnsys, y del método analítico propuesto por el IDAE. Se ha estudiado en primer lugar la instalación existente haciendo uso de estas cuatro herramientas para así comparar los resultados arrojados por ellas para más tarde realizar una comparación entre diferentes variaciones de la instalación con la herramienta más potente y completa que es Trnsys. Las diferentes alternativas estudiadas en esta segunda parte han sido la instalación existente, la instalación existente con el campo de captadores solares ampliado para así cumplir con la normativa de ahorro energético, la instalación existente sustituyendo las dos calderas de gasóleo por una única caldera de biomasa, la instalación existente implementando una caldera de biomasa para satisfacer la demanda media y una de las calderas de gasóleo existente para los picos de demanda, y estas dos últimas variantes con caldera de biomasa incluyendo el campo de colectores ampliado.

De los resultados obtenidos, cabe destacar que los resultados obtenidos para la instalación existente por cada uno de los diferentes programas utilizados y el método teórico del IDAE son muy similares entre sí, lo cual puede dar a pensar que todos los métodos son correctos en su forma de operar. Sin embargo, se ha detectado que estos resultados son inferiores a los valores reales que se conocen que existen en la instalación, por ello y como ya se ha comentado anteriormente, se debería realizar una auditoría energética en la instalación con el objetivo de encontrar las posibles deficiencias energéticas que esta pudiera presentar, ya que este aumento de consumo de energía respecto a los valores calculados supone un gran aumento del desembolso económico a realizar al final de cada año, así como muchas más emisiones de CO₂ a la atmósfera al estar apoyada la instalación por una caldera que es exclusivamente de gasóleo y tener un campo de colectores solares insuficiente de cara a cumplir con la normativa de ahorro energético.

Por otro lado y en base a los resultados obtenidos en el ámbito económico, de consumo de energía primaria y de emisiones de CO₂ se puede concluir que la variante de la instalación más interesante para implementar es la de la instalación con el campo de colectores ampliados y sistema de apoyo auxiliar compuesto por caldera de biomasa para el grueso de la demanda y una de las calderas de gasóleo existentes para satisfacer los picos de demanda ya que supone hasta un 85% de ahorro económico, un 68% menos de energía primaria consumida anual y un 95% menos de emisiones anuales de CO₂,

seguida de la instalación con el campo de colectores ampliado y únicamente caldera de biomasa como apoyo la cual tiene un ahorro similar a la instalación mixta y tiene una reducción en el consumo anual de energía primaria de un 62% y una reducción en las emisiones de CO₂ anuales de un 97%. Se puede ver cómo estas variantes son las más económicas en cuanto al consumo de combustible y además son las que menos energía primaria consumen y menos emisiones de CO₂ producen.

A continuación de estas instalaciones mencionadas se encontraría la instalación existente con el campo de colectores ampliado, la cual tiene un coste del combustible ligeramente superior al de la instalación ampliada con caldera de pellets, pero tiene muchas mayores emisiones (una reducción de un 70%) frente a los porcentajes más altos arrojados por las otras instalaciones con caldera de biomasa.

En el caso de no ser posible la ampliación del campo de captadores se puede observar también cómo la sustitución total o parcial de las calderas de gasóleo por caldera de biomasa supone un gran ahorro económico y en las emisiones también. Estas variaciones suponen un ahorro de entre un 58 y un 73% de los costes anuales del combustible, una reducción de entre un 30 y un 40% de la energía primaria consumida anual y una reducción de entre un 90 y un 96% de las emisiones anuales de CO₂ dependiendo de la configuración y el combustible utilizado.

Con todo esto se puede ver el gran impacto en diversos ámbitos que puede tener el cambio de las fuentes de energía tradicionales por fuentes de energía renovables.

9 BIBLIOGRAFÍA

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. Guía técnica: Guías Técnica de Energía Solar Térmica. [En línea]. Madrid: abril de 2020, volumen (20). [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guiasolartermica_idae-asit_v3.0_20210111_nipo.pdf

NIDE 3: 2005. *Normas de Proyectos de Piscinas Cubiertas* [en línea]. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/pc_piscinas_cubiertas.pdf

Sección HE 4. *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria* [en línea]. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: https://www.coit.es/system/files/link_group/he_4_contribucion_solar_minima_de_agua_caliente_sanitaria_f5b0c222.pdf

López- Cózar, José Manuel. Manuales de energías renovables. *Energía solar térmica*. [en línea]. Madrid: 2006, volumen (4). [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10374_Energia_solar_termica_06_8_a90370e.pdf

Prontuario de soluciones constructivas/Materiales. Código Técnico de la Edificación. [en línea] [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=1>

Manual Trnsys17. *Mathematical Reference* [en línea]. USA: volumen (4). Disponible en: <https://docplayer.net/13373943-Trnsys-17-volume-4-mathematical-reference-a-transient-system-simulation-program.html>

Manual Trnsys17. *Standard Component Library Overview*. [en línea]. USA: volumen (3). Disponible en: <http://www.trnsys.com/assets/docs/03-ComponentLibraryOverview.pdf>

Delgado Marín, José Pablo. (2019). Análisis Energético de una piscina climatizada asistida con energías renovables, mediante su modelado dinámico, para una mejor integración de la energía solar térmica y la biomasa (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cartagena.

Conesa Barreno, María. (2019). Modelado de una piscina climatizada utilizando una bomba de calor geotérmica en combinación con otras fuentes de energía. (Trabajo Fin de Grado). Universidad Politécnica de Cartagena.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento (2016). *Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*.