



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Desarrollo de un modelo dinámico para la simulación del comportamiento energético de una piscina climatizada.

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Manuel Moreno Nicolás

Director: José Pablo Delgado Marín

Cartagena, 10/09/2015



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

SÍMBOLOS.....	4
FIGURAS.....	6
1. RESUMEN.....	9
2. INTRODUCCIÓN.....	10
3. BALANCE ENERGÉTICO EN UNA PISCINA CLIMATIZADA.....	11
3.1. Pérdidas por la evaporación del agua de la piscina.....	11
3.2. Pérdidas por renovación del agua.....	12
3.3. Balance energético en el vaso de la piscina.....	13
4. ESTADO DEL ARTE.....	14
4.1. Introducción.....	14
4.2. Método Mirza Mohammed Shah.....	14
5. MODELADO DEL SISTEMA.....	16
5.1. Introducción.....	16
5.2. Modelado con TRNSYS.....	16
5.2.1 Creación de un nuevo componente.....	17
5.2.2. Descripción de los componentes utilizados.....	23
5.2.2.1. Componente vaso de la piscina-type212.....	23
5.2.2.2. Definición de los valores de uso horario-type 14 a, 14e, 14 h.....	23
5.2.2.3. Integrador- type 24.....	24
5.2.2.4. Registro de datos en archivo – type 25c.....	24
5.2.2.5. Visualizador de datos en pantalla- type 65d.....	24
6. VALIDACIÓN DEL MODELO.....	25
6.1. Registro de datos en una piscina real.....	25
6.2. Validación del modelo.....	27
6.2. Validación del modelo con días precisos.....	37
7. MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE LA PISCINA.....	40
7.1. Implementación manta térmica.....	40
7.2. Análisis de resultados con manta térmica.....	41
8. SIMULACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO DE LA PISCINA. USO DE TRNBUILD.....	45
8.1. Implementación en TRNbuild.....	45
8.2. Descripción de los nuevos componentes de la instalación.....	47
8.2.1. Caldera- Type 6.....	47
8.2.2. Control Pid – Type 23.....	48
8.2.3. Registro de datos – Type 93.....	48
8.3. Modelado de la instalación.....	49
8.4. Análisis de resultados en TRNbuild.....	50

9. COMPARACIÓN CON TRANSOL.	55
9.1. Introducción.	55
9.2. Análisis de resultados.	55
10. CONCLUSIONES.	58
11. BIBLIOGRAFÍA.	60
ANEXO	61

SÍMBOLOS

E_0	Gasto másico de agua evaporada en piscinas sin bañistas por unidad de superficie (kg/m ² ·h)
E_{occ}	Gasto másico de agua evaporada en piscinas con bañistas por unidad de superficie (kg/m ² ·h)
ρ_w	Densidad del aire a temperatura de saturación del agua. (kg/m ³)
ρ_r	Densidad del aire a temperatura y humedad ambiente. (kg/m ³)
W_w	Humedad específica del aire a temperatura de saturación del agua. (kg _{agua} /kg _{aire seco})
W_r	Humedad específica del aire a temperatura y humedad ambiente. (kg _{agua} /kg _{aire seco})
p_w	Presión parcial de vapor de agua en aire a la temperatura de saturación del agua. (Pa)
p_r	Presión parcial de vapor de agua en aire a la temperatura y humedad ambiente. (Pa)
N	Número de bañistas de la piscina.
A	Superficie del vaso de la piscina.(m ²)
\dot{m}	Gasto másico de agua evaporada (kg/s)
\dot{m}_{renov}	Gasto másico de agua empleada en la renovación. (kg/h)
r	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura del vaso de la piscina. (kJ/kg)
t_{wm}	Temperatura del agua del vaso de la piscina. (°C)
t_{wa}	Temperatura del agua de renovación. (°C)
t_i	Temperatura del agua del vaso de la piscina al inicio del lapso de tiempo. (°C)
t_{cald}	Temperatura del agua que aporta la caldera al vaso. (°C)
t_f	Temperatura del agua del vaso de la piscina al final del lapso de tiempo. (°C)
P_{renov}	Pérdidas debidas a la renovación continua de agua. (kW)
P_{evap}	Pérdidas debidas a la evaporación. (kW)
$C_{p\ H_2O}$	Calor específico del agua en estado líquido. (kJ/kg·K)
M	Masa de agua contenida en el vaso de la piscina. (kg)
\dot{m}_{cald}	Gasto másico del agua de la caldera. (kg/s)

t Tiempo. (s)

FIGURAS

Figura 3.1. Tabla del CTE-DB-HE4 2013 donde se recogen las temperaturas de renovación por mes y provincia.

Figura 3.2. Detalle de la tabla representada en la figura 3.1.

Figura 5.1. Creación de un nuevo componente.

Figura 5.2. Información general sobre el componente.

Figura 5.3. Variables del nuevo componente.

Figura 5.4. Definición de las entradas, salidas y parámetros en el modelo.

Figura 5.5. Definición de los valores iniciales de las salidas.

Figura 5.6. Designación de las variables asociadas a las salidas

Figuras 5.7. , 5.8. y 5.9. Introducción del modelo matemático.

Figura 5.10. Detalle del modelo matemático introducido en el type 212.

Figura 5.11. Resumen de las variables utilizadas en el type 212.

Figura 5.12. Componente vaso piscina.

Figura 5.13. Componentes para definición de valores de uso horario.

Figura 5.14. Integrador.

Figura 5.15. Registrador de datos en archivo.

Figura 5.16. Visualizador de datos en pantalla.

Figura 6.1. Esquema de funcionamiento Piscina Archena. En el Anexo 1 se encuentra ampliada.

Figura 6.2. Detalle del esquema de funcionamiento piscina Archena.

Figura 6.3. Gráfica de la evolución de la piscina a lo largo de un día.

Figura 6.4. Interfaz Simulation Studio de nuestro proyecto.

Figura 6.5. Control Card simulación mes de mayo.

Figura 6.6. Type 14e. Temperatura del agua de red.

Figura 6.7. Type 14e-2 Temperatura ambiente.

Figura 6.8. Type 14 e-3. Temperatura agua piscina

Figura 6.9. Type 14 f- Humedad relativa ambiente.

Figura 6.10. Día promedio de bañistas en marzo.

Figura 6.11. Semana promedio bañistas en marzo.

Figura 6.12. Simulación mes de marzo.

Figura 6.13. Simulación mes de abril.

Figura 6.14. Simulación mes de mayo.

Figura 6.15. Tabla comparativa de la demanda energética real y calculada.

Figura 6.16. Gráfico comparativo de la demanda energética real y calculada.

Figura 6.17. Tabla comparativa de la demanda energética real y la calculada entre el 26 y 29 de abril.

Figura 6.18. Gráfico comparativo de la demanda energética real y la calculada entre el 26 y 29 de abril.

Figura 6.19. Simulación días entre el 26 y 29 de abril.

Figura 6.20. Simulación 29 de abril.

Figuras 7.1.y 7.2. Ejemplo de mantas térmicas.

Figura 7.3. Función manta térmica.

Figura 7.4. Interfaz Simulation Studio con la adición de la manta térmica.

Figura 7.5. Representación de la función manta térmica a lo largo de mayo.

Figura 7.6. Representación energía total y manta térmica a lo largo de mayo.

Figura 7.7. Detalle de la energía requerida y la función manta térmica.

Figura 7.8. Tabla comparativa de la demanda energética con y sin el uso de manta térmica.

Figura 7.9. Efecto implementación manta térmica.

Figura 8.1. Esquema generado por TRNbuild.

Figura 8.2. Modificación en el type que simula el comportamiento energético de la piscina.

Figura 8.3. Cooling type Manager de TRNbuild.

Figura 8.4. Heating type Manager de TRNbuild.

Figura 8.5. Caldera.

Figura 8.6. Controlador PID.

Figura 8.7. Registro de datos.

Figura 8.8. Interfaz Simulation Studio del proyecto para la simulación del edificio con piscina.

Figura 8.9. Type 6. Caldera.

Figura 8.10. Type 23. PID Controller.

Figura 8.11. Temperatura ambiente y humedad en el edificio.

Figura 8.12. Demanda energética y temperatura del vaso.

Figura 8.13. Detalle de la temperatura del vaso.

Figura 8.14. Aporte de energía realizado por la caldera.

Figura 8.15. Detalle aporte de energía realizado por la caldera.

Figura 8.16. Tabla comparativa entre la demanda real registrada y la calculada con el edificio.

Figura 8.17. Gráfico comparativo entre la demanda real registrada y la calculada con el edificio.

Figura 9.1. Tabla comparativa para la primera batería de ensayos en Transol y en Trnsys.

Figuras 9.2. Gráfica comparativa de la primera batería de ensayos en Transol y en Trnsys.

Figura 9.3. Tabla comparativa de la segunda batería de ensayos en Transol y en Trnsys.

Figuras 9.4. Gráfica comparativa de la segunda batería de ensayos en Transol y en Trnsys.

1. RESUMEN

A la hora de realizar el análisis energético del vaso de una piscina climatizada, encontramos que existe una dificultad en ello debido a que en él se dan transferencias energéticas de todo tipo, debidas a los procesos de conducción, convección y radiación, pero también a la evaporación y la renovación de volumen de agua que se exige por condicionantes sanitarios.

Esta complejidad mencionada hace que el dimensionado energético de las piscinas climatizadas sea una difícil tarea, lo que lleva en la mayoría de ocasiones a realizar un sobredimensionado de las instalaciones con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de la piscina. Un sobredimensionado que va en la dirección contraria a las técnicas de eficiencia energética actuales, por lo que debemos tratar de evitarlo.

El objetivo del trabajo es modelar el comportamiento dinámico del vaso de una piscina cubierta para conocer su evolución al cabo del año y optimizar el dimensionado de sus instalaciones térmicas.

Los aspectos que se tienen en cuenta en el proceso de cálculo, en base a los cuales determinaremos la demanda energética necesaria para el correcto funcionamiento de la piscina y que pueden ser modificados, son los siguientes:

- Condiciones ambientales del lugar.
- Características térmicas de los cerramientos del edificio.
- Condiciones ambientales en el interior del edificio de la piscina.
- Características de la piscina: dimensiones, temperatura, tasa de renovación del agua, etc.
- Cadencia del número de bañistas hora a hora.
- Temperatura del agua de la red de suministro.
- Características de las calderas (rendimiento, potencia y caudal).

El método ha sido validado contrastando los resultados obtenidos con los datos registrados en una piscina real, en concreto, los de la piscina municipal de Archena en los meses de marzo, abril y mayo del año 2015.

Como resultado se obtendrá un módulo diseñado para ser usado en TRNSYS que permita ser aplicado en distintos casos. Este modelo contribuirá a una optimización energética de estas instalaciones tan intensivas en demanda energética, incluso en su fase de diseño.

2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, a lo largo de nuestro territorio, se han ido desarrollando una serie de instalaciones deportivas con el fin de incentivar el deporte en la sociedad y entre las que se incluyen la implantación de piscinas climatizadas, que en la mayoría de los casos son de dimensiones semiolímpicas (12.5 x 25 m), salvo en aisladas ocasiones en las que las dimensiones son olímpicas (25 x 50 m).

Las piscinas climatizadas requieren una elevada demanda energética, demanda que se puede clasificar en dos fuentes de energía principales:

- **Energía eléctrica:** para la alimentación de las deshumectadoras que mantienen la humedad del aire del ambiente entre unos estándares que indica la norma, así como para los sistemas de iluminación, bombeos y otros pequeños equipos.
- **Energía térmica:** para mantener la temperatura del vaso que está permanentemente perdiendo calor con el entorno, para calentar el agua de aportación de la red en el proceso de renovación permanente del agua del vaso como lo requiere sanidad (mínimo 2,5% del volumen total cada día), y para la producción del agua caliente sanitaria utilizada en las duchas.

En el primer caso la fuente de energía está clara, y la eficiencia en este caso dependerá de los equipos consumidores y de su estrategia de funcionamiento, por lo que no presenta un problema el dimensionado de esta parte.

Sin embargo, en el segundo caso, la demanda no sólo es muy alta, sino que en la mayoría de los casos existe un desconocimiento a priori de la cantidad de energía que va a demandar la instalación y, por consiguiente, de su coste. Este hecho ha provocado que algunas de las piscinas climatizadas realizadas en la región hayan visto comprometida su viabilidad debido a los altos costes energéticos, y haya tenido que cesar su actividad.

Nuestro trabajo consistirá en el dimensionado de la energía requerida por el vaso, objetivo que abordaremos utilizando un método de simulación dinámica que nos permitirá conocer hora a hora el comportamiento del vaso de la piscina.

El programa de simulación empleado en este trabajo es TRNSYS, creado por Universidad de Wisconsin (Madison, EE.UU.) para la simulación dinámica en estados transitorios.

3. BALANCE ENERGÉTICO EN UNA PISCINA CLIMATIZADA

En una piscina climatizada, tanto el aire del ambiente como el agua se tienden a enfriarse si no se realiza un aporte energético, aporte necesario para mantener unas condiciones de confort dentro de la misma.

El aire se enfría fundamentalmente por el proceso de deshumectación: es necesario mantener su humedad relativa en los términos que marca la legislación, pero siempre hay un aporte de humedad por el agua evaporada del vaso de la piscina que debemos tratar.

El proceso de deshumectación consiste en hacer pasar un cierto caudal del aire interior a través de una batería fría, lo que hace condensar parte de su humedad, a la vez que el aire se enfría. Por este motivo es necesario volverlo a calentar para devolverlo a la temperatura ambiente. Además, dado que el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios) exige que exista una renovación continua de parte de este aire, en la época invernal también será necesario calentar el aire que entra desde el exterior.

En cuanto al agua del vaso de la piscina, podemos encontrar diversas razones por las que el agua pierde calor y es necesario calentar el vaso con el consiguiente aporte de energía:

- **Por la evaporación del agua de la piscina.**
- **Por la renovación continua del agua que exige la normativa.**

3.1. Pérdidas por la evaporación del agua de la piscina.

En una piscina la evaporación de agua ocurre por dos mecanismos distintos:

- Convección natural.
- Convección debida a las corrientes de aire provocadas por el sistema de ventilación.

Estos dos mecanismos son independientes el uno del otro. Se postula que toda la evaporación ocurre por efecto del mecanismo predominante de los dos.

La evaporación por convección natural se produce debido a que el aire en contacto con la superficie del agua se satura, lo que lo vuelve más ligero y hace que se mueva hacia arriba, llevando consigo el agua evaporada. El aire que está más seco y por lo tanto más pesado se mueve hacia abajo ocupando su lugar y así se produce un ciclo continuo.

Cuando la densidad del aire en la superficie de la piscina es mayor que la densidad del aire en el edificio, la convección natural cesa. Por lo que toda la evaporación será debida a las corrientes de aire provocadas por el sistema de ventilación.

La evaporación de agua de la piscina provoca una pérdida de calor en el vaso de la piscina, lo que genera una demanda energética necesaria para compensarla y así mantener la temperatura del vaso constante.

Calcularemos la energía perdida debida a la evaporación con la siguiente expresión:

$$P_{evap} = \frac{\dot{m}}{1000} [r + 4.186(t_{wm} - t_{wa})]$$

Donde \dot{m} es el gasto másico de agua evaporada en g/s , r es el calor latente del agua a la temperatura a la que se encuentra, t_{wm} es la temperatura del agua de la piscina y t_{wa} es la temperatura de red (de renovación).

3.2. Pérdidas por renovación del agua.

La normativa en la que residen las competencias higiénico-sanitarias establece la necesaria renovación del agua del vaso de la piscina en un mínimo del 2,5% del volumen del vaso. La temperatura de renovación queda recogida en la siguiente tabla, correspondiente al código técnico CTE-DB-HE4 2013.

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran Canaria	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona/Iruña	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarrazona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

Figura 3.1. Tabla del CTE-DB-HE4 2013 donde se recogen las temperaturas de renovación por mes y provincia.

<i>Lugo</i>	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
<i>Madrid</i>	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
<i>Málaga</i>	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
<i>Melilla</i>	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
<i>Murcia</i>	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
<i>Ourense</i>	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9

Figura 3.2. Detalle de la tabla representada en la figura 3.1.

Esta renovación del agua del vaso de la piscina llevará consigo un aporte de energía, necesario para calentar el agua a la temperatura deseada. El balance de energía que mide el aporte necesario para calentar este agua es:

$$P_{renov} = \frac{\dot{m}_{renov}}{3600} \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot (t_{wm} - t_{wa})$$

3.3. Balance energético en el vaso de la piscina

Estas pérdidas de energía que hemos analizado serán compensadas mediante el aporte energético de una caldera. Conociendo el caudal y a la temperatura que se aporta el agua desde la caldera podremos conocer como varía la temperatura del vaso con la siguiente expresión:

$$(M - \dot{m}_{cald} \cdot t) \cdot t_i + \dot{m}_{cald} \cdot t \cdot t_{cald} = M \cdot t_f$$

Siendo M la masa de agua del vaso de la piscina, \dot{m}_{cald} el gasto másico de agua aportada por la caldera, t_{cald} la temperatura del agua aportada por la caldera, t el lapso de tiempo, t_i la temperatura al inicio del lapso de tiempo y t_f al final de este.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. Introducción

Para evaluar las pérdidas debidas a la evaporación es fundamental determinar la cantidad de agua que se evapora en el vaso de la piscina. Aunque no existe una gran cantidad de bibliografía dedicada al estudio de este fenómeno, a continuación se expone alguna de ella.

F. Asdrubali realiza un modelo experimental a escala para evaluar la evaporación en una piscina interior en función de la temperatura ambiente, la del vaso, la humedad ambiente y la velocidad del aire del entorno. Realiza un análisis exhaustivo de las expresiones desarrolladas por *Carrier* (ASHRAE), *Smith, Hannsen and Mathisen*, y la de *Shah*, que es la más moderna. Define un Coeficiente de Transferencia de Masa ($m_e = (A + Bv) (P_w - \phi P_a) = h_{fg}$), que es equivalente a un coeficiente de película. Este coeficiente K , que es adimensional, se puede obtener experimentalmente o mediante el número de Sherwood

En efecto, es *Mirza Mohamed Shah* quien establece las bases y el desarrollo de un método mejorado para evaluar las pérdidas por evaporación en piscinas interiores. Compara su correlación con los métodos clásicos tradicionales y demuestra empíricamente que se ajusta mucho mejor a lo que ocurre en la realidad. Los métodos anteriores como el de ASHRAE sobredimensionaban sobremanera las pérdidas por evaporación, en alrededor del 200%. También propone una nueva correlación para evaluar la evaporación en piscinas interiores ocupadas. En este sentido plantea dos ecuaciones:

- La primera está basada en los aspectos físicos del problema.
- La segunda, es meramente empírica.

En definitiva analiza el incremento de superficie en función del número de bañistas, de manera que concluye que cuando hay bañistas, la superficie de la lámina de agua se incrementa en un 20% debido a las olas (movimiento del agua).

4.2. Método Mirza Mohammed Shah.

Para evaluar las pérdidas por evaporación del vaso de la piscina, utilizaremos el método propuesto por el científico *Mirza Mohammed Shah* (Shah, 2013), que a partir de propiedades termodinámicas del agua de la piscina y el aire del ambiente como la densidad o la humedad específica, desarrolla una correlación que nos indica la masa de agua que se evapora en el vaso por unidad de superficie y tiempo.

Cabe señalar que este método no ha sido validado empíricamente, y que esta validación es uno de los objetivos de nuestro trabajo.

Mirza Mohammed Shah plantea dos ecuaciones distintas para el cálculo, en las que la masa de agua evaporada viene provocada por distintos factores:

$$E_0 = C\rho_w(\rho_r - \rho_w)^{1/3}(W_w - W_r) \quad (1)$$

Donde ρ_w y W_w hacen referencia a la densidad y a la humedad específica del aire respectivamente a temperatura de saturación del agua y ρ_r y W_r a la densidad y a la humedad específica del aire a temperatura y humedad ambiente. Con $C=35$ si $(\rho_r - \rho_w) > 0.02$ y $C=40$ si $(\rho_r - \rho_w) < 0.02$ para unidades del sistema internacional.

$$E_0 = b(p_w - p_r) \quad (2)$$

Con $b=0.00005$ y así p_w como p_r indican la presión parcial de vapor de agua en el aire tanto a la temperatura de saturación del agua como a la temperatura y humedad ambiente.

La ecuación 1 hace referencia a la evaporación debida al efecto de la convección natural. Fue resuelta usando la analogía entre calor y transferencia de masa.

La ecuación 2 responde a la evaporación causada por las corrientes de aire producidas por el sistema de ventilación del edificio. Fue obtenida analizando los resultados para la diferencia de densidad negativa.

Para el cálculo de la masa evaporada utilizaremos la que nos dé un mayor resultado de las dos ecuaciones propuestas, puesto que así se utilizará aquella acorde al efecto predominante, ya sea la ventilación o la convección natural.

Además, este modelo también ha sido propuesto para piscinas ocupadas. Cuando una piscina tiene bañistas, la superficie de la lámina de agua se incrementa debido al movimiento de agua que éstos producen. Para tener en cuenta el efecto del número de ocupantes, Shah desarrolla una nueva ecuación que relaciona la masa de agua evaporada con ocupación y la masa de agua evaporada para una piscina sin ocupación. Para esta relación utiliza un nuevo parámetro N^* que atiende a la relación N/A número de ocupantes entre el área del vaso.

$$E_{occ}/E_0 = 1.9 - 21(\rho_r - \rho_w) + 5.3N^*$$

Para valores del parámetro N^* inferiores a 0.05, el cálculo de la relación E_{occ}/E_0 se hará una interpolación lineal entre E_{occ}/E_0 para $N^*=0$ y $N^*=0.05$.

Este método aquí presentado será de enorme importancia a la hora de dimensionar energéticamente el vaso de nuestra piscina, ya que como hemos señalado anteriormente, las pérdidas del vaso son principalmente las debidas a evaporación.

5. MODELADO DEL SISTEMA

5.1. Introducción.

Actualmente es imprescindible disponer de potentes herramientas para el análisis y la optimización de distintos sistemas térmicos y energéticos.

Para el análisis de nuestro sistema, el cual posee distintas variables no lineales en el tiempo utilizaremos el programa de simulación dinámica TRNSYS. Este software nos permitirá introducir numerosas variables que varían con el tiempo y analizar el sistema de manera eficiente sin un elevado coste de tiempo.

5.2. Modelado con TRNSYS

Este programa es una potente herramienta para la resolución transitoria de cualquier tipo de sistema, aunque principalmente se implementa en cuestiones de energías renovables o eficiencia energética. Además permite la creación de edificios mediante el módulo TRNbuild, para analizar el comportamiento del vaso de la piscina en el interior de su edificación.

TRNSYS es un solver de ecuaciones algebraicas y diferenciales que incorpora una librería con los más comunes sistemas termoenergéticos y diseñado especialmente para simulaciones transitorias. TRNSYS adopta una estructura modular para la resolución de sistemas de componentes, donde cada uno de los componentes se describe mediante una subrutina que en la nomenclatura que utiliza TRNSYS recibe el nombre de TYPE. Esta técnica modular permite analizar un sistema entero como la suma de componentes o sistemas individuales y la interconexión entre éstos. Desde un punto de vista práctico, es abordar la resolución de pequeños problemas en vez de un gran problema. Cada type o subrutina contiene el modelo de un componente del sistema.

La librería standard propia de TRNSYS incluye multitud de componentes encontrados en sistemas termoenergéticos (como calderas), y otro tipo de componentes que permiten la visualización de resultados o la introducción de entradas variables en el tiempo.

El usuario debe crear para simular un sistema un fichero de entrada para el ejecutable de TRNSYS que consiste en una descripción de los componentes que constituyen el sistema y sus interconexiones. El ejecutable de TRNSYS resuelve los componentes del sistema e itera para cada instante de tiempo hasta que el sistema de ecuaciones converge.

Los modelos de los componentes están escritos en FORTRAN, por lo que es posible su modificación así como la creación de nuevos componentes para que resuelvan nuestras expectativas.

TRNSYS permite al usuario describir completamente y visualizar todas las interacciones entre componentes del sistema. Mediante una interface basada en iconos gráficos, el usuario directamente define los componentes de su sistema y los conecta.

Mediante esta interfaz gráfica tiene la capacidad de definir los parámetros y variables de entrada de cada uno de los componentes del sistema y de crear el fichero de entrada para que el ejecutable TRNSYS pueda realizar la simulación.

5.2.1 Creación de un nuevo componente.

Para nuestro objetivo, crearemos un nuevo componente que simule el comportamiento de la piscina, definiendo sus entradas, salidas, parámetros, así como la introducción de su modelo matemático.

En el menú principal de TRNSYS se pinchará sobre File →New y dentro del cuadro de diálogo que aparece, se elegirá la opción New Component, como puede observarse en la Figura 5.1.

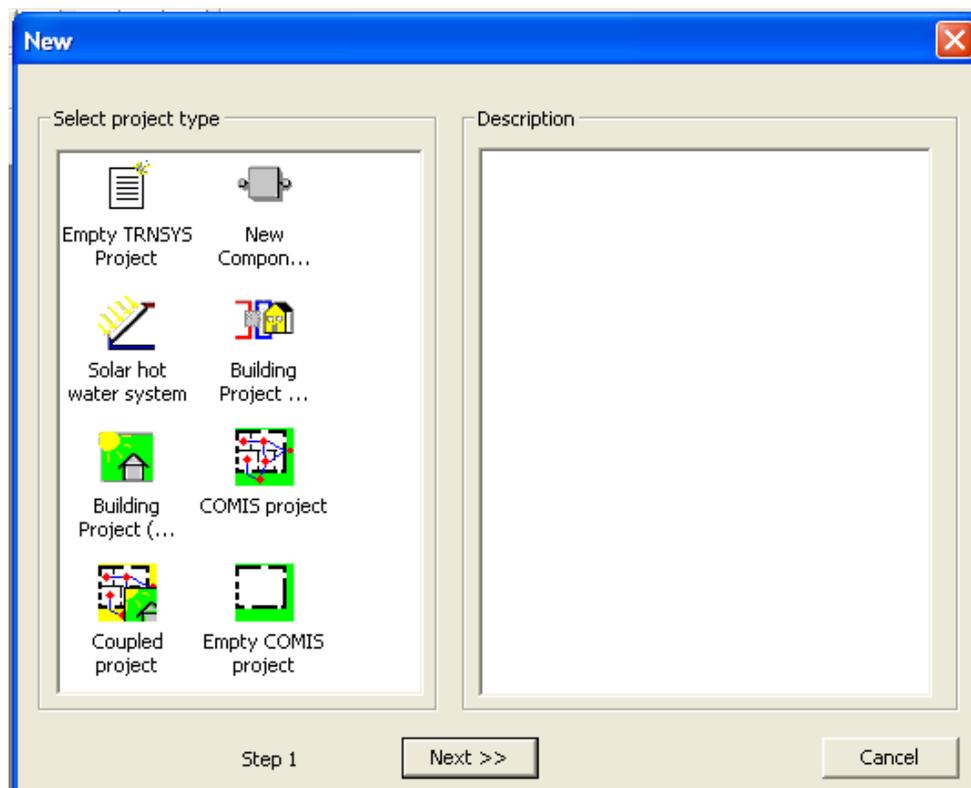


Figura 5.1. Creación de un nuevo componente.

Al seleccionar nuevo componente hacer click en siguiente, nos aparecerá una nueva ventana con la información general del componente, donde se podrá seleccionar el nombre del objeto, la organización o el autor. Es muy importante asignar un valor entre 151 y 250 en el apartado type number para que no se solape con los types de la librería de TRNSYS.

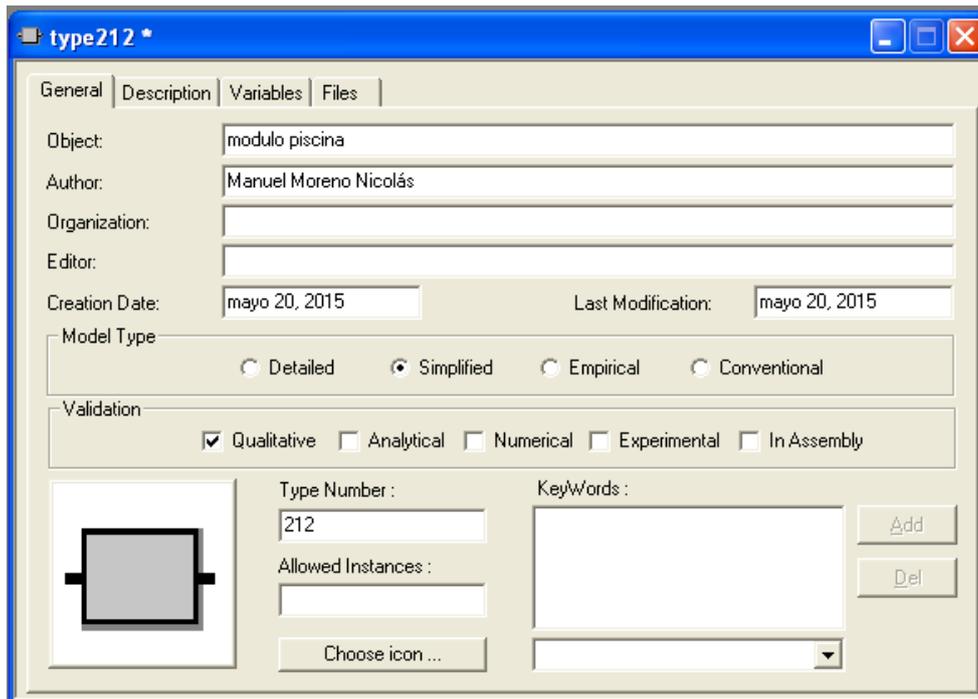


Figura 5.2. Información general sobre el componente.

En la pestaña description se puede introducir una pequeña descripción sobre el componente.

Ahora hemos de definir en la pestaña Variables las entradas, las salidas y los parámetros del componente (inputs, outputs, parameters), seleccionando su dimensión y su unidad.

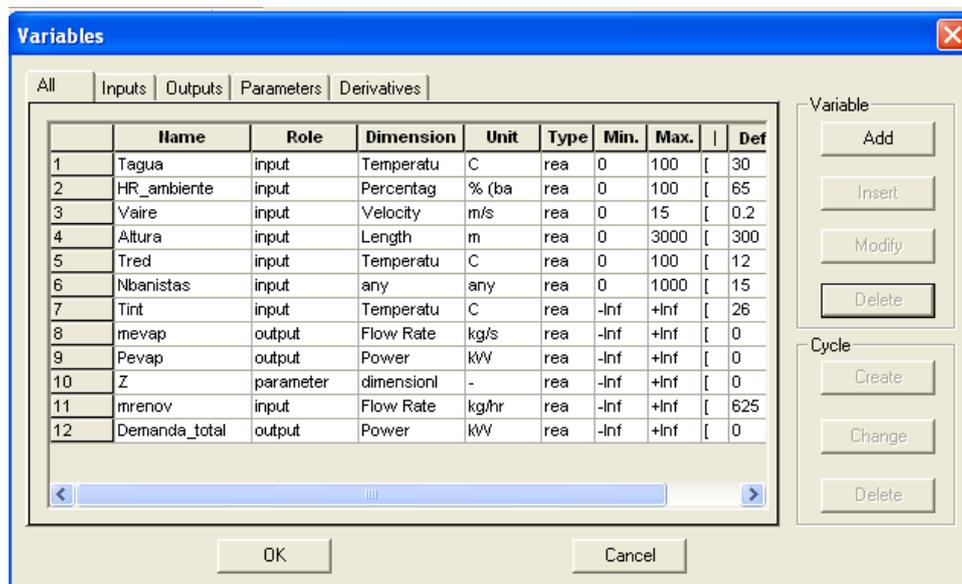
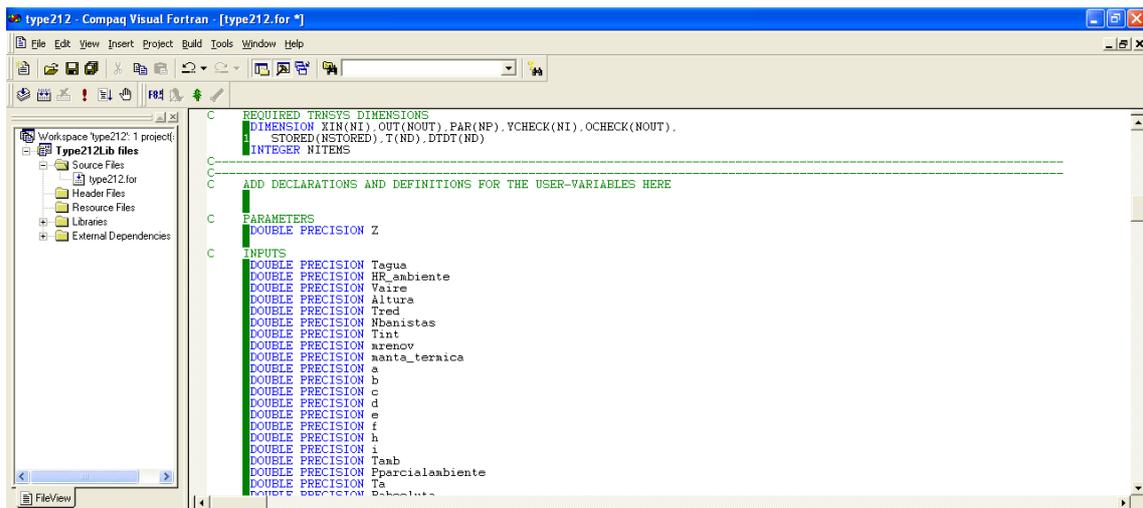


Figura 5.3. Variables del nuevo componente.

Una vez creado el nuevo componente en el Simulation Studio, habrá que pinchar sobre el menú File →Export as... →Fortran y darle el nombre deseado (type212, por ejemplo). De esta forma se abrirá el llamado Developer Studio de Compaq Visual Fortran, donde se habrá creado un espacio de trabajo o Workspace con el nombre del nuevo componente.

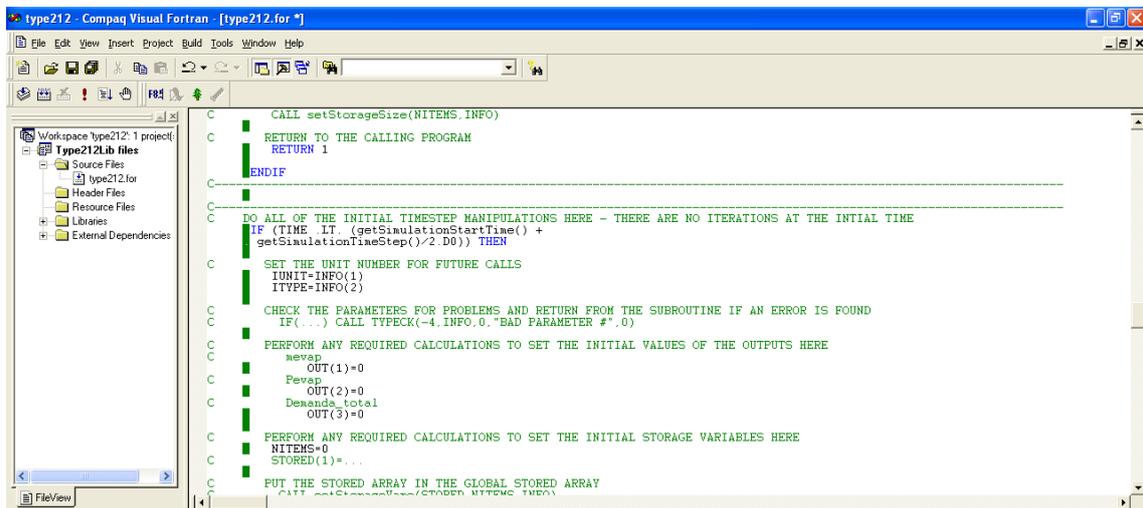
Una vez en este punto, se abrirá el esqueleto del modelo pinchando sobre éste, dentro de la carpeta Source Files.

En este código fuente que ha generado Fortran, hemos de introducir modificaciones como la definición de las entradas, salidas y parámetros del modelo, la introducción del modelo matemático que nos defina el comportamiento del nuevo componente y además los valores iniciales de las salidas.



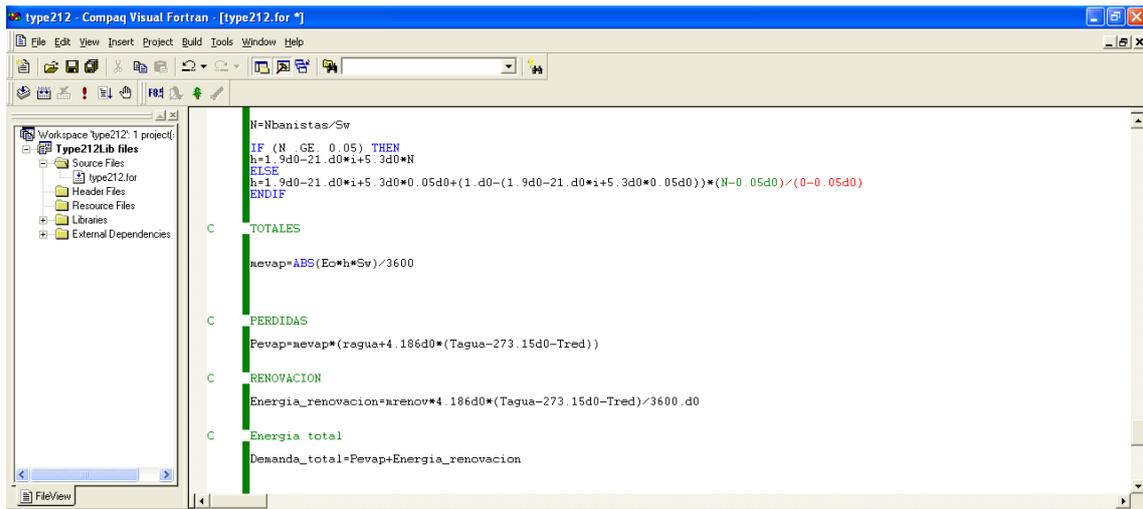
```
type212 - Compaq Visual Fortran - [type212.for *]
File Edit View Insert Project Build Tools Window Help
Workspace type212: 1 project
Type212Lib files
Source Files
type212.for
Header Files
Resource Files
Libraries
External Dependencies
REQUIRED TRNSYS DIMENSIONS
DIMENSION XIN(NI), OUT(NOUT), PAR(NP), YCHECK(NI), OCHECK(NOUT),
STORED(NSTORED), T(ND), DTDI(ND)
INTEGER NITEMS
-----
ADD DECLARATIONS AND DEFINITIONS FOR THE USER-VARIABLES HERE
PARAMETERS
DOUBLE PRECISION Z
INPUTS
DOUBLE PRECISION Tagua
DOUBLE PRECISION HR_ambiente
DOUBLE PRECISION Vaire
DOUBLE PRECISION Altura
DOUBLE PRECISION Tred
DOUBLE PRECISION Nbanistas
DOUBLE PRECISION Tint
DOUBLE PRECISION arenov
DOUBLE PRECISION aenta_terrica
DOUBLE PRECISION a
DOUBLE PRECISION b
DOUBLE PRECISION c
DOUBLE PRECISION d
DOUBLE PRECISION e
DOUBLE PRECISION f
DOUBLE PRECISION h
DOUBLE PRECISION i
DOUBLE PRECISION Tamb
DOUBLE PRECISION Pparcialambiente
DOUBLE PRECISION Ta
DOUBLE PRECISION Pabsoluta
```

Figura 5.4. Definición de las entradas, salidas y parámetros en el modelo.



```
type212 - Compaq Visual Fortran - [type212.for *]
File Edit View Insert Project Build Tools Window Help
Workspace type212: 1 project
Type212Lib files
Source Files
type212.for
Header Files
Resource Files
Libraries
External Dependencies
CALL setStorageSize(NITEMS,INFO)
RETURN TO THE CALLING PROGRAM
RETURN 1
ENDIF
-----
DO ALL OF THE INITIAL TIMESTEP MANIPULATIONS HERE - THERE ARE NO ITERATIONS AT THE INITIAL TIME
IF (TIME_LT (getSimulationStartTime() +
getSimulationTimeStep()/2.D0)) THEN
SET THE UNIT NUMBER FOR FUTURE CALLS
IUNIT=INFO(1)
ITYPE=INFO(2)
CHECK THE PARAMETERS FOR PROBLEMS AND RETURN FROM THE SUBROUTINE IF AN ERROR IS FOUND
IF (...) CALL TYPECK(-4,INFO,0,"BAD PARAMETER #",0)
PERFORM ANY REQUIRED CALCULATIONS TO SET THE INITIAL VALUES OF THE OUTPUTS HERE
nevap
OUT(1)=0
Pevap
OUT(2)=0
Demanda_total
OUT(3)=0
PERFORM ANY REQUIRED CALCULATIONS TO SET THE INITIAL STORAGE VARIABLES HERE
NITEMS=0
STORED(1)=...
PUT THE STORED ARRAY IN THE GLOBAL STORED ARRAY
CALL setStorageVar(STORED,NITEMS,INFO)
```

Figura 5.5. Definición de los valores iniciales de las salidas.



Figuras 5.7. , 5.8. y 5.9. Introducción del modelo matemático.

Una vez modificado el código el siguiente paso es crear la librería del componente. Es necesario hacerlo en las dos configuraciones: Debug y Release.

Desde el menú principal Build→RebuildAll se generará la librería externa para este componente. Por defecto Developer Studio nos generará la librería en Win32Debug.

Para cambiar la configuración basta con pinchar sobre el menú principal Build→Set Active Configuration→Win32Release. Por último, se repite la misma operación desde el menú principal (Build→RebuildAll). De esta forma ya tenemos las dos librerías creadas: una en configuración Debug y otra en configuración Release.

Una vez comprobado que no existan errores en la creación de la dll, hay que volver de nuevo al Simulation Studio de TRNSYS. Se seleccionará la última pestaña del cuadro de diálogo que se abrió para crear el nuevo componente, Files, y pinchando sobre Browse se buscará el código creado. Finalmente el componente se guarda desde el menú principal de TRNSYS: File →Save.

Para que este nuevo type aparezca en la interfaz Simulation Studio, es necesario guardarlo en Trnsys16_1/Studio/Proformas, dentro de la carpeta deseada.

```

C
GEOMETRÍA
Ancho=12.5d0
Largo=25.d0
Profundidad=2.d0

C
TEMPERATURAS
Tamb=Tint+273.15d0

C
AMBIENTE
a=5800.2206d0
b=1.3914993d0
c=0.04860239d0
d=0.000041764768d0

```

```

e=0.000000014452093d0
f=6.5459673d0
Pparcialambiente=HR_ambiente/100.d0*EXP(-a/Tamb+b-
c*Tamb+d*Tamb**2.d0-e*Tamb**3.d0+f*LOG(Tamb))
Pabsoluta=101325.d0*EXP(-0.0001184d0*Altura)
waire=621.98d0*Pparcialambiente/(Pabsoluta-
Pparcialambiente)/1000.d0
C      AGUA
      Tagua=Tagua+273.15d0
      Psatagua=EXP(-a/Tagua+b-c*Tagua+d*Tagua**2.d0-
e*Tagua**3.d0+f*LOG(Tagua))
      wagua=621.98d0*Psatagua/(Pabsoluta-Psatagua)/1000.d0
      ragua=347.d0*(374.15d0-Tagua+273.15d0)**0.33333333d0-2.d0
      Sw=Largo*Ancho
C      DENSIDADES
      vespamb=287.055d0*Tamb/(Pabsoluta-Pparcialambiente)*1000.d0
      vespagua=287.055d0*Tagua/(Pabsoluta-Psatagua)*1000.d0
      roamb=1.d0/vespamb*1000.d0
      roagua=1.d0/vespagua*1000.d0
C      PARAMETRO C
      diferencia=roamb-roagua
      IF (diferencia .LT. 0.02) THEN
      Z=40.d0
      ELSE
      Z=35.d0
      ENDIF
C      Eo
      Eo1=Z*roagua*(roamb-roagua)**(0.333333)*(wagua-waire)
      Eo2=0.00005d0*(Psatagua-Pparcialambiente)
      IF (Eo1 .GT. Eo2) THEN
      Eo=Eo1
      ELSE
      Eo=Eo2
      ENDIF
C      Eocc/Eo
      IF (diferencia .LT. 0) THEN
      i=0.d0
      ELSE
      i=diferencia
      ENDIF
      N=Nbanistas/Sw
      IF (N .GE. 0.05) THEN
      h=1.9d0-21.d0*i+5.3d0*N
      ELSE
      h=1.9d0-21.d0*i+5.3d0*0.05d0+(1.d0-(1.9d0-
21.d0*i+5.3d0*0.05d0))*(N-0.05d0)/(0-0.05d0)
      ENDIF
C      TOTALES
      mevap=ABS(Eo*h*Sw)/3600.d0
C      PERDIDAS
      Pevap=mevap*(ragua+4.186d0*(Tagua-273.15d0-Tred))
C      RENOVACION
      Energia_renovacion=mrenov*4.186d0*(Tagua-273.15d0-Tred)/3600.d0
C      ENERGIA TOTAL
      Demanda_total=Pevap+Energia_renovacion

```

Figura 5.10. detalle del modelo matemático introducido en el type 212.

Variable	Entrada/salida	Dimensión	Unidad	Tipo	Min	Max	Valor inicial
Tagua	input	Temperature	C	real	0	100	30
HR_ambiente	input	Percentage	% (base 100)	real	0	100	65
Vaire	input	Velocity	m/s	real	0	15	0.2
Altura	input	Length	m	real	0	3000	300
Tred	input	Temperature	C	real	0	100	12
Nbanistas	input	any	any	real	0	1000	15
Tint	input	Temperature	C	real	-Inf	+Inf	26
mevap	output	FlowRate	kg/s	real	-Inf	+Inf	0
Pevap	output	Power	kW	real	-Inf	+Inf	0
Z	parameter	dimensionless	-	real	-Inf	+Inf	0
mrenov	input	FlowRate	kg/hr	real	-Inf	+Inf	625
Demanda_total	output	Power	kW	real	-Inf	+Inf	0

Figura 5.11 Resumen de las variables utilizadas en el type 212.

5.2.2. Descripción de los componentes utilizados.

5.2.2.1 Componente vaso de la piscina-type212.

Se trata del componente que hemos creado para simular el comportamiento del vaso de la piscina, cuyo proceso se ha detallado en el apartado anterior. Este componente nos mostrará la energía que es necesario aportar al vaso para mantener sus condiciones térmicas.



Vaso piscina

Figura 5.12. Componente vaso piscina.

5.2.2.2. Definición de los valores de uso horario-type 14 a, 14e, 14 f.

Para definir distintos valores para las inputs del componente utilizaremos estos types, que nos permitirán introducir valores variables en el tiempo de manera escalonada, ya sea el número de bañistas, la humedad relativa o las temperaturas del agua de la piscina, del agua de red o la temperatura ambiente. Estos types se encuentran en TRNSYS enmarcados en las llamadas “forcings functions”.



Type14a



Type14e



Type14f

Figura 5.13. Componentes para definición de valores de uso horario.

5.2.2.3. Integrador- type 24.

Nos suma el valor acumulado durante el período de simulación, lo usaremos para ver la energía necesaria de aportar en nuestro intervalo de tiempo a estudiar.



Type24

Figura 5.14. Integrador.

5.2.2.4. Registro de datos en archivo – type 25c.

El componente registra los valores de las variables asignadas, para cada periodo de tiempo, en un archivo de texto editable.



Type25c

Figura 5.15. Registrador de datos en archivo.

5.2.2.5. Visualizador de datos en pantalla- type 65d.

Con este componente podremos visualizar los resultados obtenidos de una manera sencilla para así poder entender mejor nuestra simulación.



System_Plotter

Figura 5.16. Visualizador de datos en pantalla.

6. VALIDACIÓN DEL MODELO.

6.1. Registro de datos en una piscina real.

Para la validación del componente nos apoyaremos en datos reales de la Piscina Municipal de Archena, recogidos cada día en los meses de marzo, abril y mayo de 2015.

Estos datos, que nos han sido facilitados por el personal de la instalación, recogen entre otros la temperatura del agua de la piscina, la humedad relativa y la temperatura en el interior del edificio, el número de bañistas o el aporte de energía que se realiza en el vaso datos necesarios de introducir en nuestro modelo para su validación.

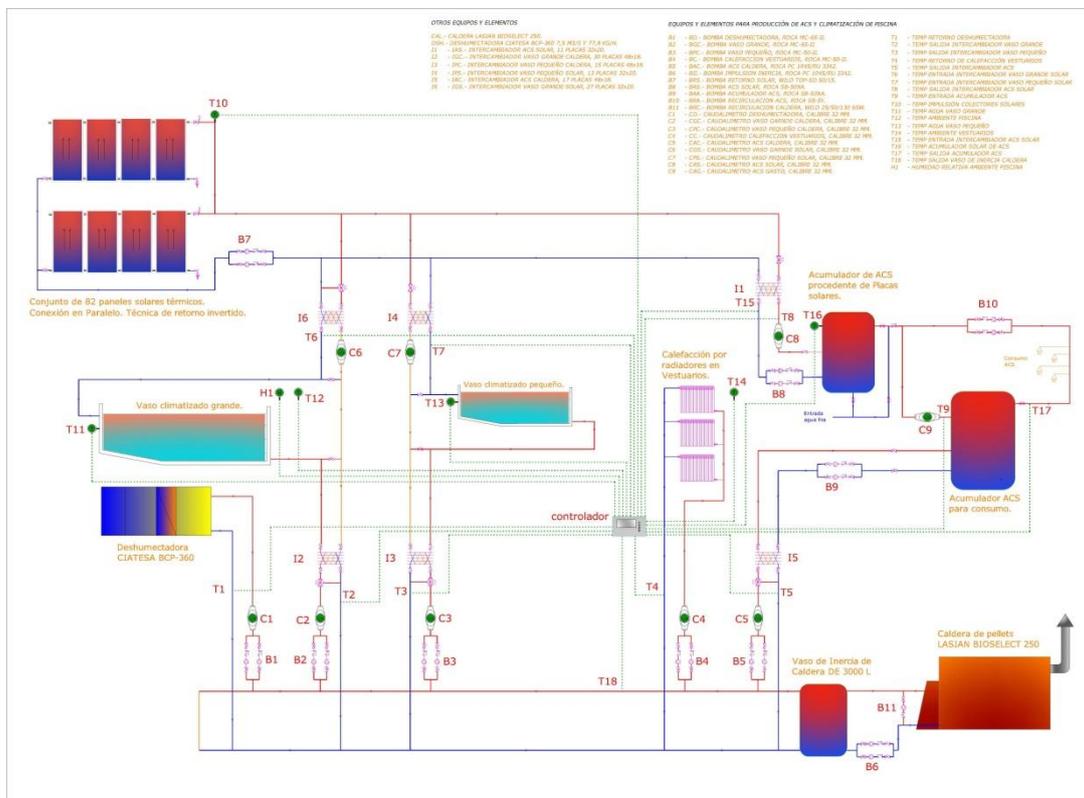


Figura 6.1. Esquema de funcionamiento Piscina Archena. En el Anexo se encuentra ampliada.

Conociendo el esquema de funcionamiento de la piscina, nos interesa analizar qué intercambiadores transfieren energía al vaso grande, el cual utilizaremos para validar nuestro componente así como el número de los sensores nos determinan la temperatura tanto del vaso como la ambiente. Es necesario comentar que las pérdidas en conducciones e intercambiadores se han despreciado, ya que las temperaturas de funcionamiento de la piscina son muy similares a la temperatura ambiente de la sala de calderas. También se han despreciado las pérdidas por radiación, por la similitud de las

temperaturas de la superficie de lámina de agua y superficies de paredes y cubierta en los meses analizados.

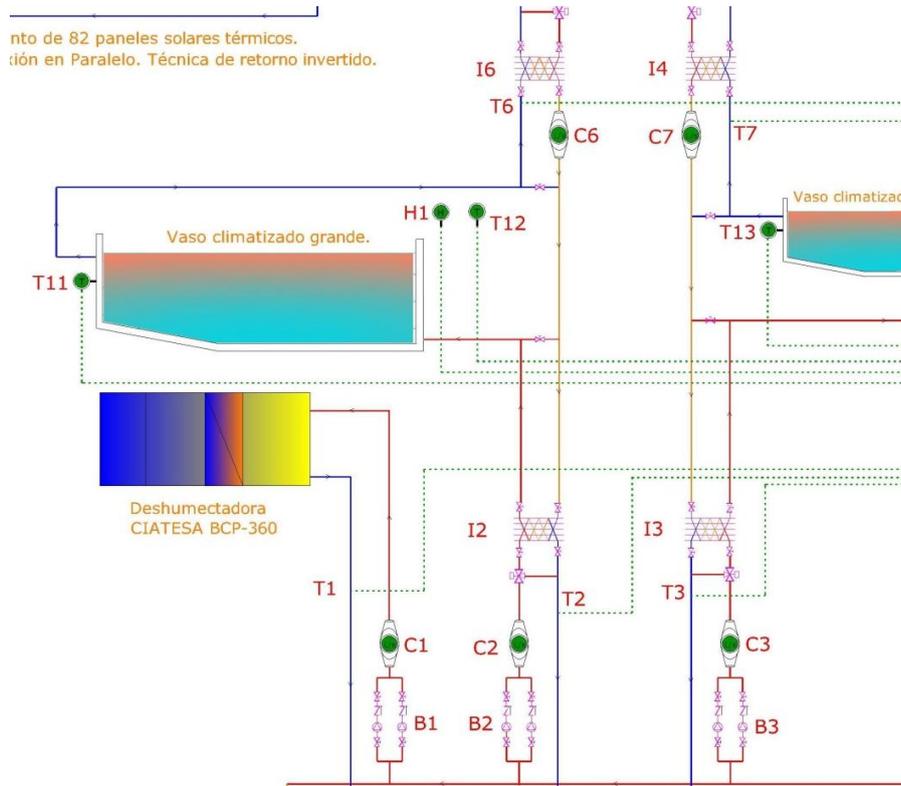


Figura 6.2. Detalle del esquema de funcionamiento piscina Archena.

Observamos como son los intercambiadores 2 y 6 los que tenemos que tener en cuenta para nuestro propósito, calentar el agua del vaso grande. El intercambiador 2 hace referencia a la energía aportada por la caldera, y el 6 a la energía aportada por la captación solar.

Representando los datos registrados a lo largo de un día, podemos observar la evolución de la temperatura del vaso de la piscina, así como el aporte de energía que se realiza.

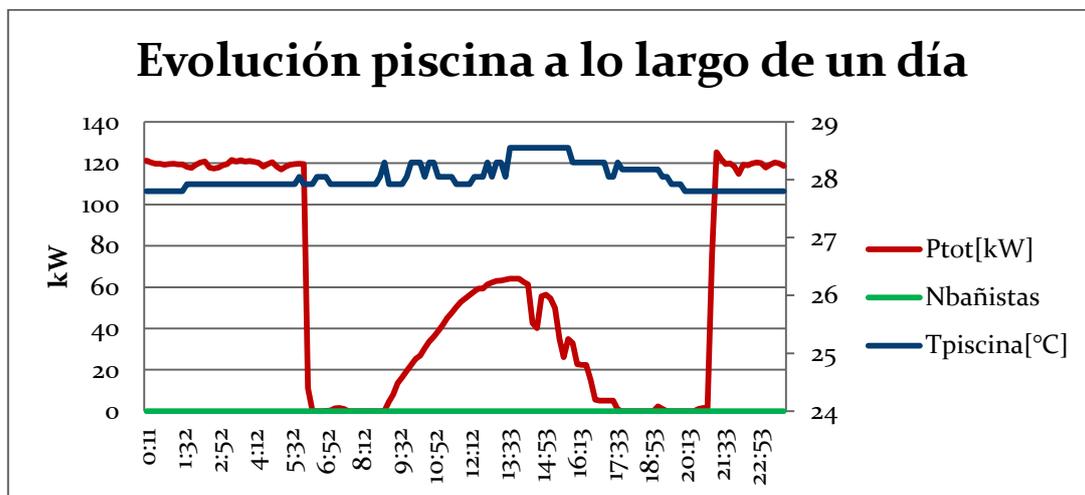


Figura 6.3. Gráfica de la evolución de la piscina a lo largo de un día.

Observamos que la temperatura del agua de la piscina se mantiene constante a lo largo del día en torno a una temperatura de consigna ($\approx 28^{\circ}\text{C}$), cosa que no sucede todos los días, ya que existen sobrecalentamientos debidos a aportes extraordinarios llevados a cabo por la instalación solar. Podemos apreciar como tanto al principio como al final del día se pone en marcha la caldera, parando en las horas de luz solar en las que el aporte de energía se realiza a través de la instalación solar.

6.2. Validación del modelo.

Una vez estudiado el registro de datos de la piscina y teniendo los datos de temperatura del agua de la piscina, temperatura ambiente, humedad relativa en el ambiente (%), número de bañistas de cada día y apoyándonos en el Código Técnico de la Edificación (DB-HE) para la introducción de la temperatura del agua de renovación, podremos realizar un modelo de cada mes para introducirlo en nuestra simulación y así comparar la energía requerida que hemos calculado con nuestro modelo con la energía real aportada, que también nos ha sido facilitada por el personal de la propia piscina.

En primer lugar debemos realizar un proyecto en Simulation Studio de TRNSYS para realizar la simulación, que nos queda de la siguiente manera:

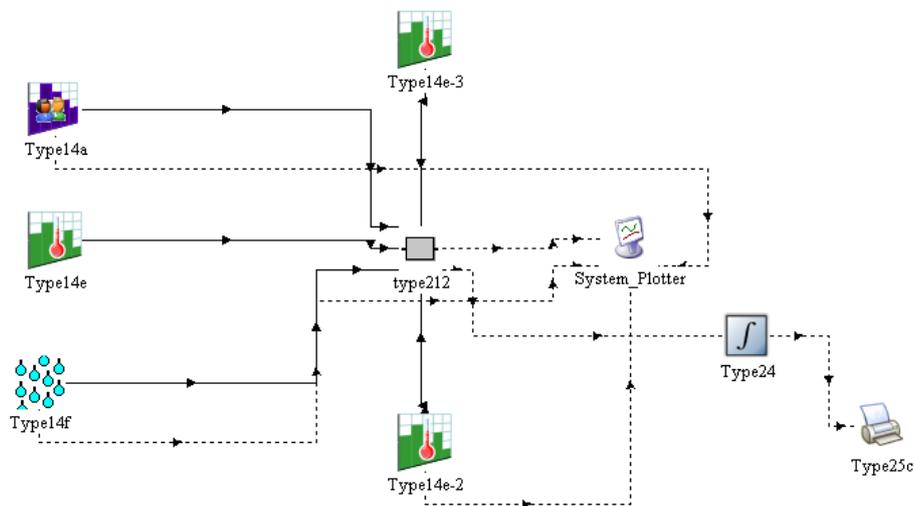


Figura 6.4. Interfaz Simulation Studio de nuestro proyecto.

Las líneas continuas representan conexiones entre las forçings functions y el componente vaso piscina, y las líneas discontinuas hacen referencia a conexiones para representaciones gráficas o procesamiento de datos.

El type212 es el componente creado para simular el comportamiento del vaso de la piscina. Con los type14 introduciremos nuestros datos reales de ocupación de la piscina, de las temperaturas de ambiente, del agua de la piscina y del agua de renovación y la

humedad relativa en el ambiente. Los demás inputs son fijos y corresponden con el valor que se indicó anteriormente en la definición de los inputs del componente.

Como hemos dicho, desarrollaremos un modelo y por consiguiente una simulación para cada mes, por lo que deberemos cambiar el tiempo de simulación según el mes que vayamos a simular en la Control Card de Simulation Studio. Este modelo se realizará obteniendo las medias por horas de cada mes y así poder simular un día ejemplo de cada mes, ya que TRNSYS no permite introducir los datos hora a hora de todo el mes.

A continuación se detallan los types utilizados y la Control Card para el mes de mayo. Para los otros dos meses solo cambiará el valor de los datos introducidos así como el tiempo de simulación.

Simulationstart time	0 hr
Simulation stop time	744 hr
Simulation time step	1 hr
Solutionmethod	0 -
Theminimumrelaxation factor	1 -
Themaximumrelaxation factor	1 -
Equationsolver	0 -
Equation trace	1 -
Debugmode	1 -
Toleranceintegration	0.001 dimensionless
Toleranceconvergence	0.001 dimensionless
Tolerancevalues	0 -
Before 'WARNING'	30 -
Before 'ERROR'	30 -
Before 'TRACE'	30 -
Diff. equationalgorithm	1 -
Number of characters	80 dimensionless
Listcard	0 -
Mapcard	1 -
Deck file name	***.dck -
WriteTrnsedcommands	1 -
Write Studio commands to deck	0 -
Automaticallylaunchplugin	1 -
Deckcommentstyle	2 -

Figura 6.5. Control Card simulación mes de mayo.

Initial value of time	0 hr
Initial temperature	15 C
Time at point	744 hr
Temperature at point	15 C

Figura 6.6. Type 14e. Temperatura del agua de red.

Initialvalue of time	0 hr
Initialtemperature	28.27 C
Time at point-1	1 hr
Temperature at point -1	29.24 C
Time at point-2	2 hr
Temperature at point -2	28.2 C
Time at point-3	3 hr
Temperature at point -3	28.18 C
Time at point-4	4 hr
Temperature at point -4	28.13 C
Time at point-5	5 hr
Temperature at point -5	28.1 C
Time at point-6	6 hr
Temperature at point -6	28.1 C
Time at point-7	7 hr
Temperature at point -7	28.03 C
Time at point-8	8 hr
Temperature at point -8	28.07 C
Time at point-9	9 hr
Temperature at point -9	28.15 C
Time at point-10	10 hr
Temperature at point -10	28.2 C
Time at point-11	11 hr
Temperature at point -11	28.2 C
Time at point-12	12 hr
Temperature at point -12	28.2 C
Time at point-13	13 hr
Temperature at point -13	28.2 C
Time at point-14	14 hr
Temperature at point -14	28.2 C
Time at point-15	15 hr
Temperature at point -15	28.2 C
Time at point-16	16 hr
Temperature at point -16	28.2 C
Time at point-17	17 hr
Temperature at point -17	28.2 C
Time at point-18	18 hr
Temperature at point -18	28.2 C
Time at point-19	19 hr

Temperature at point -19	28.2 C
Time at point-20	20 hr
Temperature at point -20	28.215 C
Time at point-21	21 hr
Temperature at point -21	28.26 C
Time at point-22	22 hr
Temperature at point -22	28.35 C
Time at point-23	23 hr
Temperature at point -23	28.3 C
Time at point-24	24 hr
Temperature at point -24	27.8 C

Figura 6.7. Type 14e-2 Temperatura ambiente.

Initial value of time	0 hr
Initial temperature	27.2 C
Time at point-1	1 hr
Temperature at point -1	27 C
Time at point-2	2 hr
Temperature at point -2	26.9 C
Time at point-3	3 hr
Temperature at point -3	26.78 C
Time at point-4	4 hr
Temperature at point -4	26.67 C
Time at point-5	5 hr
Temperature at point -5	26.55 C
Time at point-6	6 hr
Temperature at point -6	26.46 C
Time at point-7	7 hr
Temperature at point -7	26.35 C
Time at point-8	8 hr
Temperature at point -8	26.4 C
Time at point-9	9 hr
Temperature at point -9	26.55 C
Time at point-10	10 hr
Temperature at point -10	26.8 C
Time at point-11	11 hr
Temperature at point -11	27.1 C
Time at point-12	12 hr
Temperature at point -12	27.45 C
Time at point-13	13 hr
Temperature at point -13	27.85 C
Time at point-14	14 hr
Temperature at point -14	28.15 C

Time at point-15	15 hr
Temperature at point -15	28.4 C
Time at point-16	16 hr
Temperature at point -16	28.52 C
Time at point-17	17 hr
Temperature at point -17	28.57 C
Time at point-18	18 hr
Temperature at point -18	28.6 C
Time at point-19	19 hr
Temperature at point -19	28.5 C
Time at point-20	20 hr
Temperature at point -20	28.2 C
Time at point-21	21 hr
Temperature at point -21	27.9 C
Time at point-22	22 hr
Temperature at point -22	27.67 C
Time at point-23	23 hr
Temperature at point -23	27.3 C
Time at point-24	24 hr
Temperature at point -24	24.7 C

Figura 6.8. Type 14 e-3. Temperatura agua piscina

Initialvalue of time	0 hr
Initial value of relative humidity	72 -
Time at point-1	1 hr
Relativehumidity at point -1	72.45 -
Time at point-2	2 hr
Relativehumidity at point -2	72.7 -
Time at point-3	3 hr
Relativehumidity at point -3	72.9 -
Time at point-4	4 hr
Relativehumidity at point -4	73.12 -
Time at point-5	5 hr
Relativehumidity at point -5	73.2 -
Time at point-6	6 hr
Relativehumidity at point -6	73.05 -
Time at point-7	7 hr
Relativehumidity at point -7	73 -
Time at point-8	8 hr
Relativehumidity at point -8	73.12 -
Time at point-9	9 hr
Relativehumidity at point -9	74.75 -
Time at point-10	10 hr

Relativehumidity at point -10	74 -
Time at point-11	11 hr
Relativehumidity at point -11	72.6 -
Time at point-12	12 hr
Relativehumidity at point -12	69.5 -
Time at point-13	13 hr
Relativehumidity at point -13	66.7 -
Time at point-14	14 hr
Relativehumidity at point -14	64.4 -
Time at point-15	15 hr
Relativehumidity at point -15	63.2 -
Time at point-16	16 hr
Relativehumidity at point -16	64.6 -
Time at point-17	17 hr
Relativehumidity at point -17	66.3 -
Time at point-18	18 hr
Relativehumidity at point -18	68 -
Time at point-19	19 hr
Relativehumidity at point -19	69.2 -
Time at point-20	20 hr
Relativehumidity at point -20	70.3 -
Time at point-21	21 hr
Relativehumidity at point -21	70.7 -
Time at point-22	22 hr
Relativehumidity at point -22	69 -
Time at point-23	23 hr
Relativehumidity at point -23	71.2 -
Time at point-24	24 hr
Relativehumidity at point -24	71 -

Figura 6.9. Type 14 f- Humedad relativa ambiente.

Una vez introducido nuestro modelo para cada mes, programando los types y realizando las conexiones requeridas entre ellos y el componente vaso piscina, procedemos a la simulación.

Obtenemos resultados tanto gráficamente como en formato de texto para cada uno de los meses.

Vamos a representar los datos obtenidos de la simulación en forma gráfica para cada uno de los meses simulados:

Marzo.

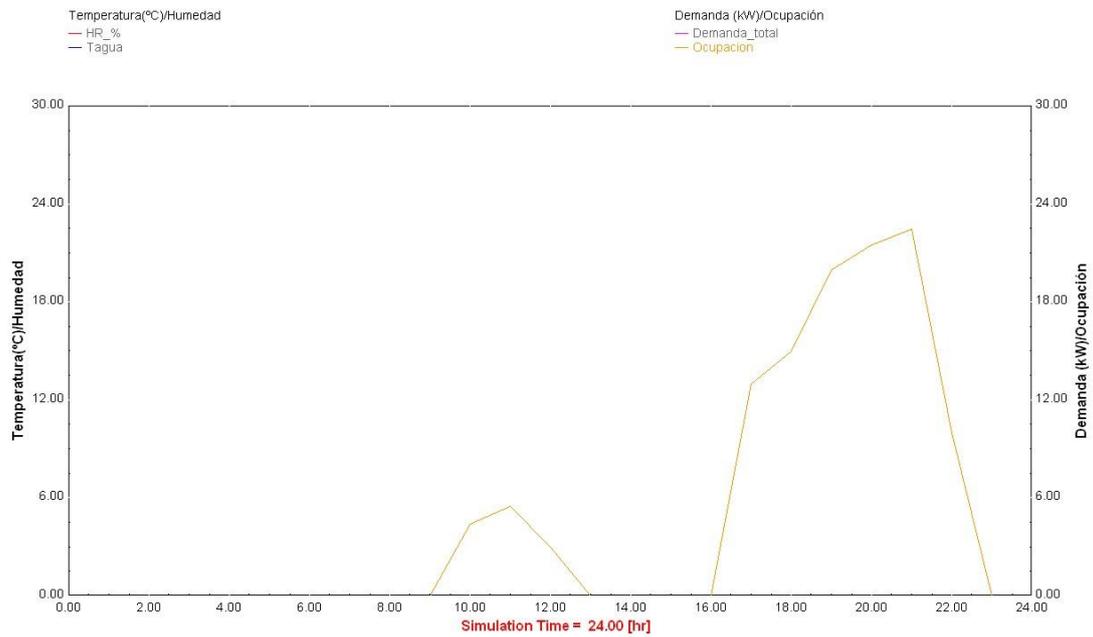


Figura 6.10. Día promedio de bañistas en marzo.

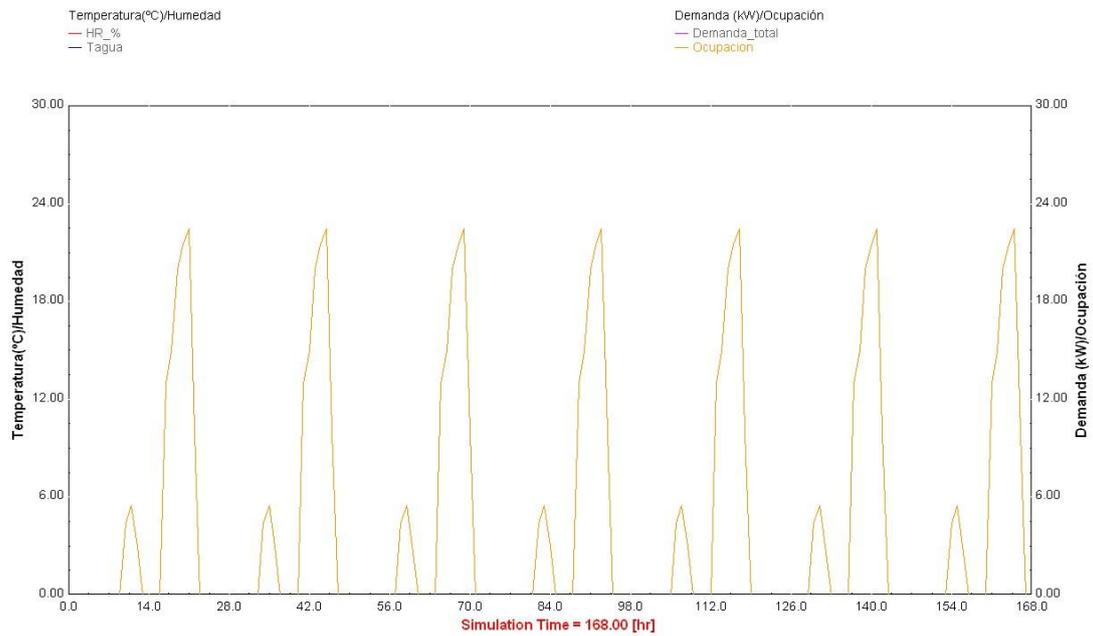


Figura 6.11. Semana promedio bañistas en marzo.

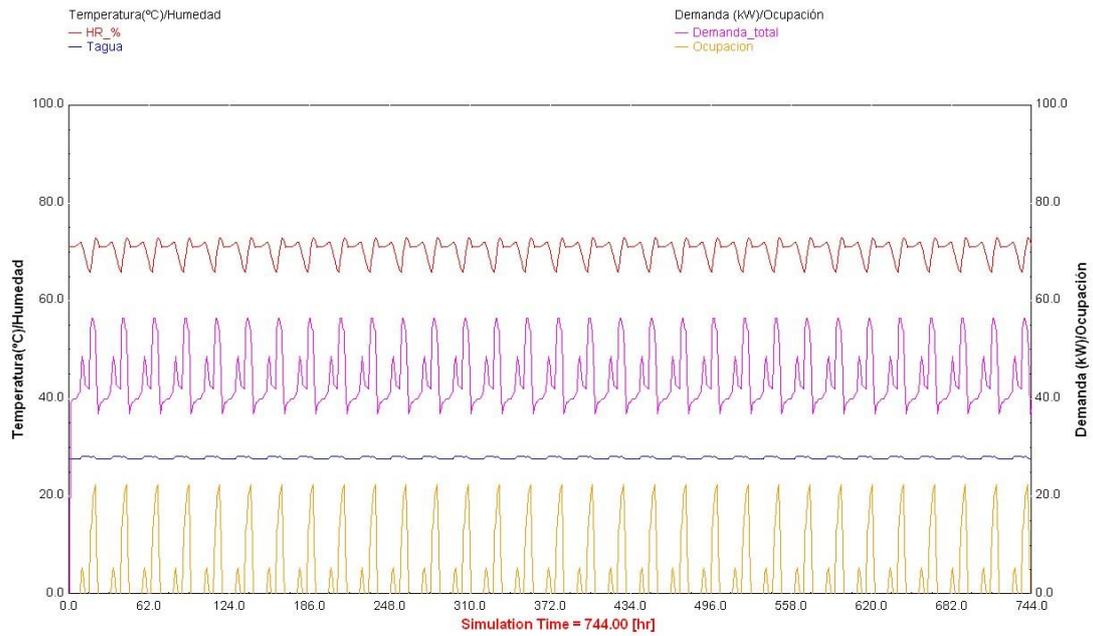


Figura 6.12. Simulación mes de marzo.

Abril.

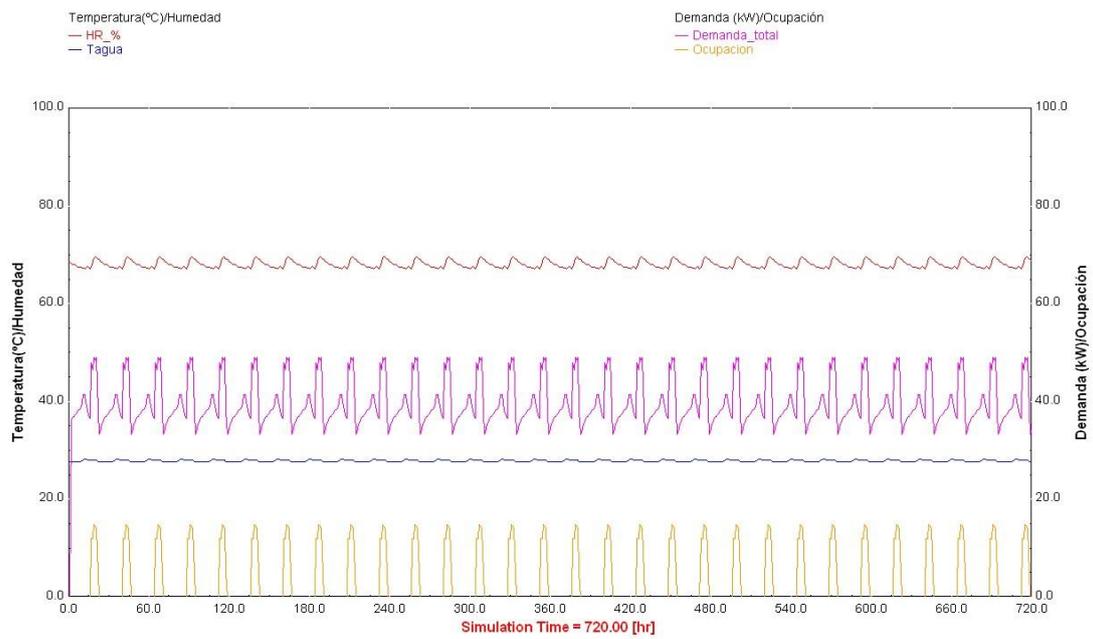


Figura 6.13. Simulación mes de abril.

Mayo.

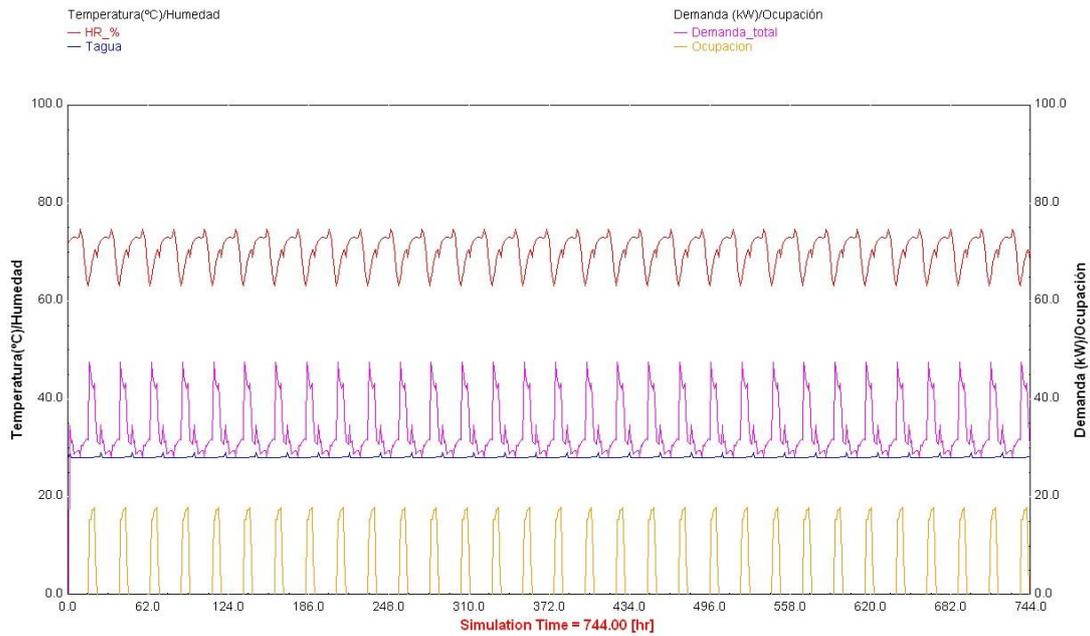


Figura 6.14. Simulación mes de mayo.

Vemos como la demanda energética es inferior conforme avanza el año, como es lógico por las condiciones ambientales más favorables y la temperatura de renovación mayor, siendo en nuestro período de tres meses, la mayor en marzo y la menor en mayo.

La época del año no debería tener gran importancia si la climatización del edificio funcionara correctamente y mantuviera las condiciones en el interior del edificio constantes a lo largo de él, pero como no sucede de esta manera, sí que tiene una gran importancia en la demanda del vaso.

Ahora procedemos a analizar los datos numéricos obtenidos con el integrador y el registrador de datos y compararlos con los proporcionados por el personal de la piscina.

	Demanda real (kWh)	Demanda calculada (kWh)	Error relativo (%)
Marzo	42.483	33.143	22
Abril	29.877	28.737	3,82
Mayo	21.700	25.147	15,9
Total	94.060	87.027	7,48

Figura 6.15. Tabla comparativa de la demanda energética real y calculada.

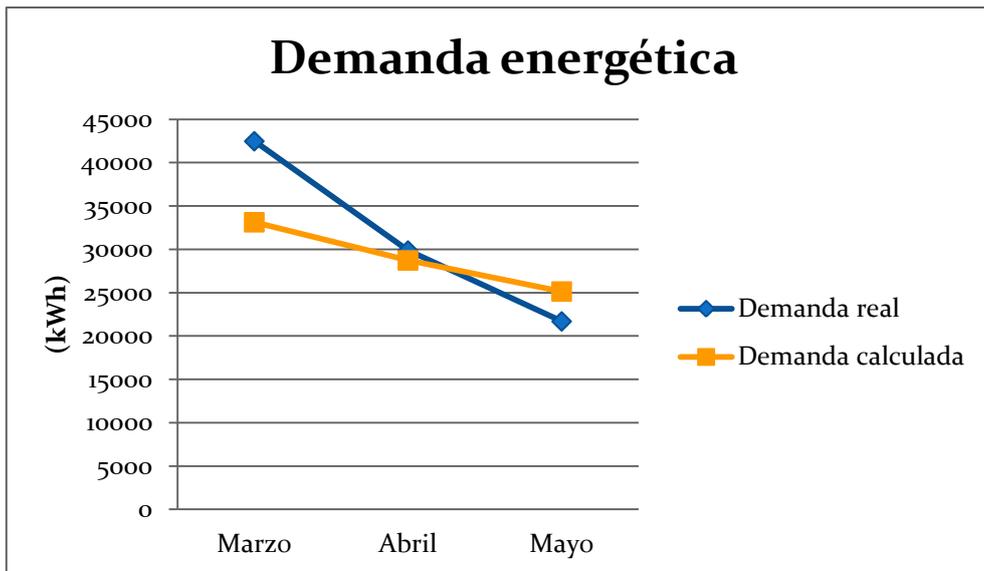


Figura 6.16. Gráfico comparativo de la demanda energética real y calculada.

Observando el gráfico, constatamos como la energía suministrada al vaso de la piscina es menor conforme avanza el tiempo, debido a que las características climáticas son cada vez más favorables.

Podemos ver como hay una desviación en los pronósticos realizados por nuestro modelo y los datos reales. Esto es debido, aparte de que el modelo no tiene una precisión del 100%, sobre todo a fallos en los datos facilitados (grandes oscilaciones en valores recogidos por las sondas) y paradas repentinas de la caldera. Tampoco hemos tenido en cuenta las pérdidas en tuberías, por fugas de agua o de otra índole, que harían que la demanda calculada fuese mayor.

Vemos como el error en marzo es el mayor, esto se explica porque la temperatura ambiente en este mes era muy baja debido a problemas en el recinto con la calefacción, esto hace que las pérdidas en la instalación que no hemos tenido en cuenta presenten mayor importancia y crezca el error.

Además, hemos de señalar que los registros de la energía aportada por la caldera presentaban fallos en 9 de los días del mes de mayo. Para solucionar este problema, sustituimos estos registros por la media de los restantes días en los que los valores eran correctos. Probablemente estos problemas hayan provocado algunos fallos en los registros, lo que ha podido influir que la demanda registrada en mayo sea menor que la calculada.

Aún observando estas desviaciones, 22% para el mes de marzo, 3,82% para abril y 15,9% para mayo, en el conjunto de los tres meses nuestro error es de un 7,48%, lo que nos hace constatar como el modelo posee una garantía de fiabilidad alta para un período de tiempo grande.

6.2. Validación del modelo con días precisos.

Para apoyar en la validación del modelo, procedemos a seleccionar un conjunto de días consecutivos en los que no encontremos errores evidentes en la toma de datos o paradas de caldera.

El conjunto de días seleccionado es del 26 al 29 de abril. Introducimos en nuestro modelo de simulación los datos hora a hora procedentes de los registros con el fin de que TRNSYS lleve a cabo la simulación de esos días en concreto.

Para esta simulación, hemos de crear un nuevo componente, eliminando la renovación del agua, ya que aunque hemos incluido para nuestra simulación anterior una renovación diaria del agua, la renovación real que se aplica en la piscina no es estrictamente diaria, sino una renovación acumulada en distintos días del mes o la semana. Da la casualidad de que durante los días seleccionados no se llevó a cabo tal renovación.

Modificando el type a incluir en la simulación e introduciendo los datos de estos días hora a hora, obtenemos unos resultados que representan una desviación del 12%. Al no tener en cuenta las pérdidas por fugas de agua o en tuberías (se podrían estimar en el entorno del 5%), el valor proveniente del proceso de simulación se adapta bastante bien al registrado.

Demanda real (kWh)	Demanda calculada (kWh)	Error relativo (%)
2.670	2.353	11,9

Figura 6.17. Tabla comparativa de la demanda energética real y la calculada entre el 26 y 29 de abril.

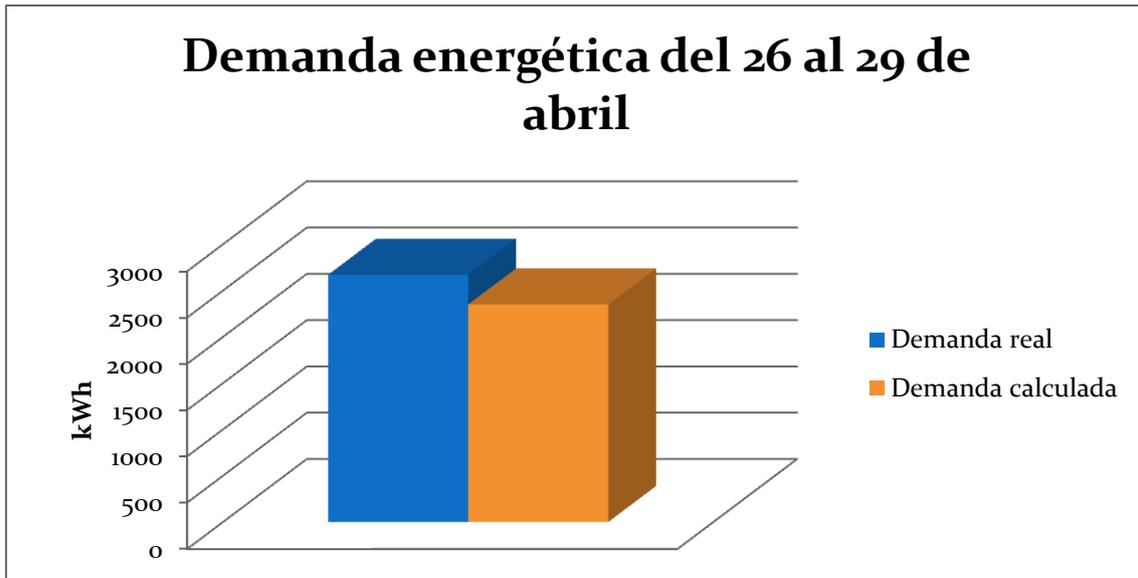


Figura 6.18. Gráfico comparativo de la demanda energética real y la calculada entre el 26 y 29 de abril.



Figura 6.19. Simulación días entre el 26 y 29 de abril.

Con estos resultados podemos constatar con mayor seguridad la fiabilidad de nuestro modelo.

A continuación, realizamos la simulación del día 27 de abril, para así observar con detalle como a lo largo del día evoluciona la demanda.

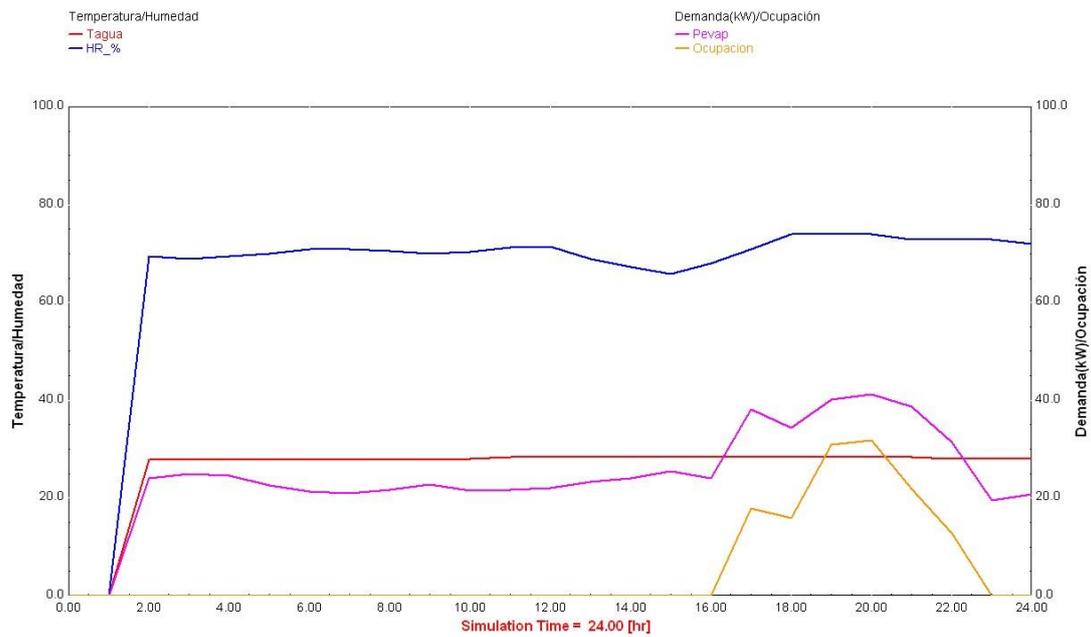


Figura 6.20. Simulación 29 de abril.

Podemos ver como la temperatura del vaso se mantiene uniforme a lo largo del día y que la demanda es constante salvo cuando acuden bañistas, donde crece acorde al número de éstos.

7. MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE LA PISCINA.

7.1. Implementación manta térmica.

La manta térmica es un accesorio para las piscinas que consiste en una cobertura normalmente realizada con polietileno, que se coloca en la superficie del vaso evitando que se produzcan pérdidas por evaporación, lo que supone un ahorro de energía.



Figuras 7.1.y 7.2. Ejemplo de mantas térmicas.

Para ver el ahorro que supondría en el caso de estudio, vamos a modificar el type para la implementación de una manta térmica que actúe de 22:00 a 8:00.

Para ello, modificamos el código de fortran de nuestro type añadiendo al cálculo del gasto másico de agua evaporada una función con valores 0 y 1:

$$mevap=ABS(Eo*h*Sw)/3600.do*manta_termica$$

Siendo *manta_termica* una función con valores de 0 cuando esté en uso y 1 cuando esté retirada y que incorporaremos con un type 14h a nuestra interfaz de Simulation Studio, pudiendo así observar cual es el ahorro que nos supondría incorporar una manta térmica a nuestra piscina.

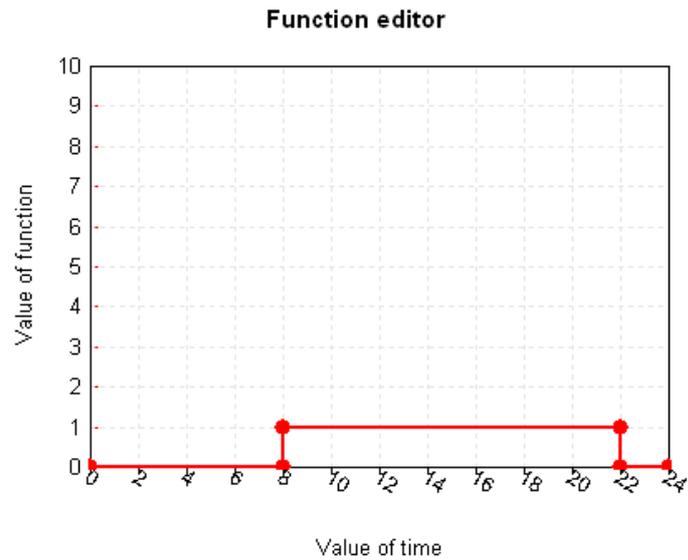


Figura 7.3. Función manta térmica.

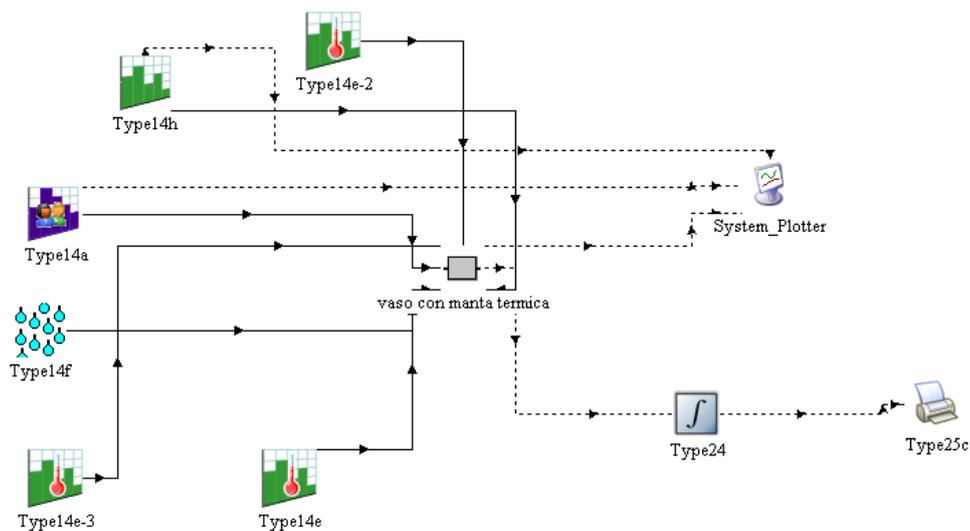


Figura 7.4. Interfaz Simulation Studio con la adición de la manta térmica.

7.2. Análisis de resultados con manta térmica.

Una vez realizados los cambios necesarios para simular el comportamiento del vaso con el uso de una manta térmica, procedemos a realizar la simulación con esta nueva variante, obteniendo los siguientes resultados gráficos:

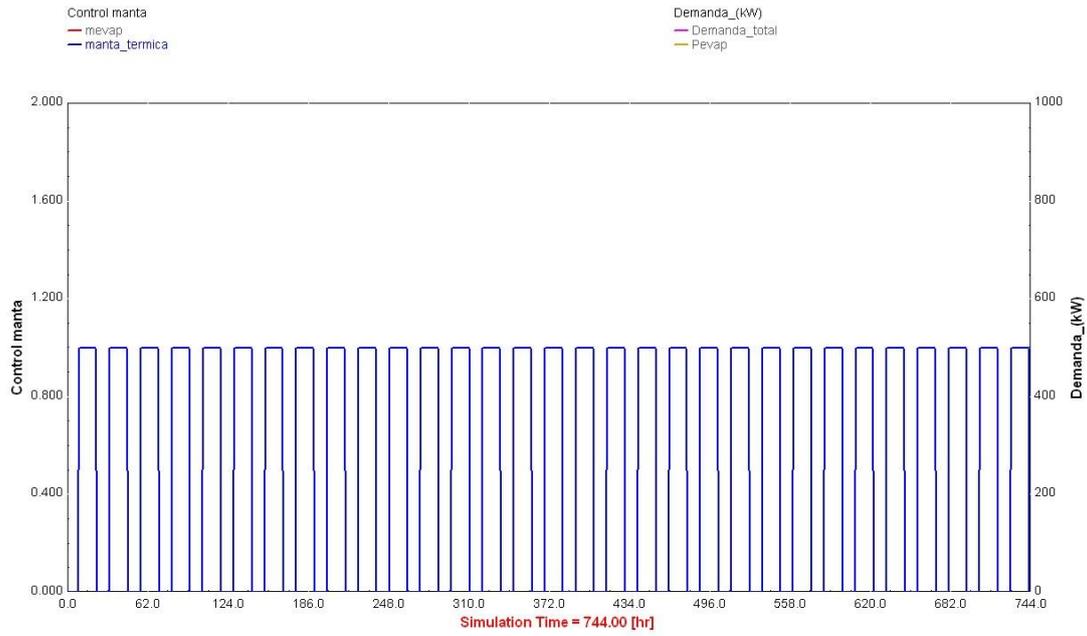


Figura 7.5. Representación de la función manta térmica a lo largo de mayo.

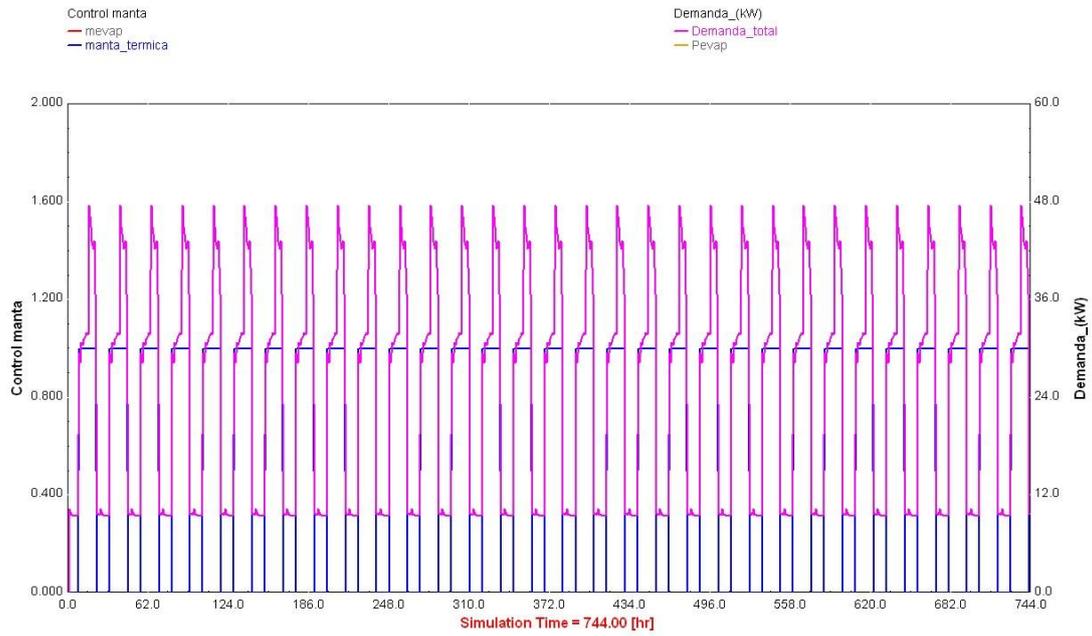


Figura 7.6. Representación demanda y manta térmica a lo largo de mayo.

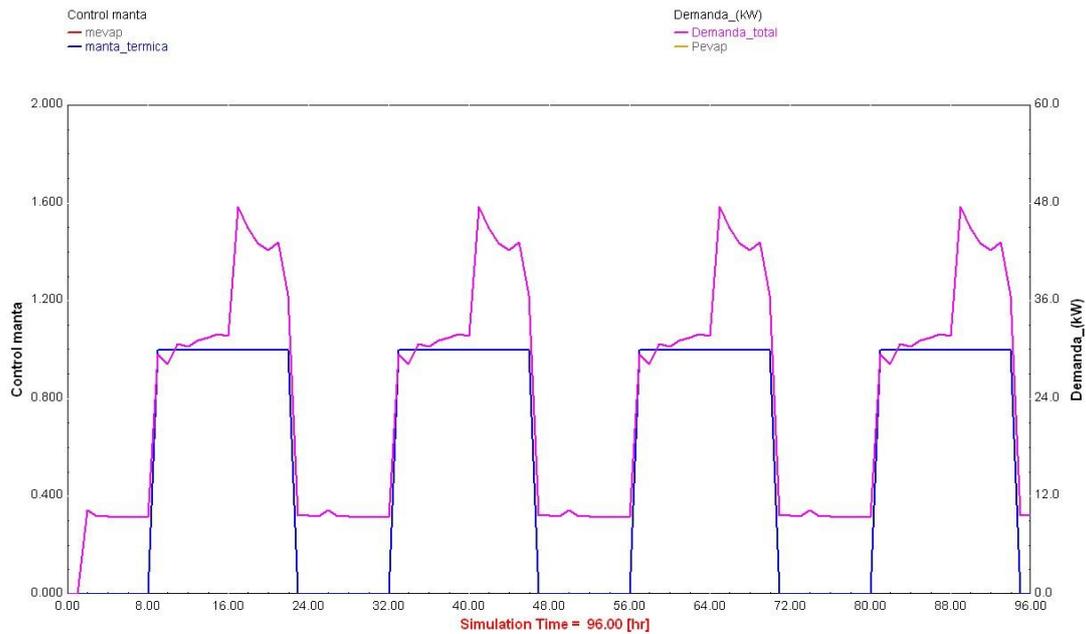


Figura 7.7. Detalle de la demanda y la función manta térmica.

Observando las gráficas, vemos claramente como cuando el valor de la función manta_termica es o (la manta térmica está operativa), las pérdidas, y por tanto la demanda del vaso, disminuyen considerablemente, siendo éstas únicamente las debidas a la renovación, que permanece continua.

Analizando ahora los datos numéricos obtenidos, constatamos un ahorro del 26.2% en marzo, 26.9% en abril y 22.9% en mayo, lo que supone un ahorro energético del 25.5% de ahorro sobre el total de los tres meses, con el consiguiente ahorro económico que conlleva.

	Demanda con manta (kWh)	Demanda sin manta (kWh)	Diferencia (%)
Marzo	24.443	33.143	-26,2
Abril	20.990	28.737	-26,9
Mayo	18.592	25.147	-22,9
Total	64.025	87.027	-25,5

Figura 7.8. Tabla comparativa de la demanda energética con y sin el uso de manta térmica.

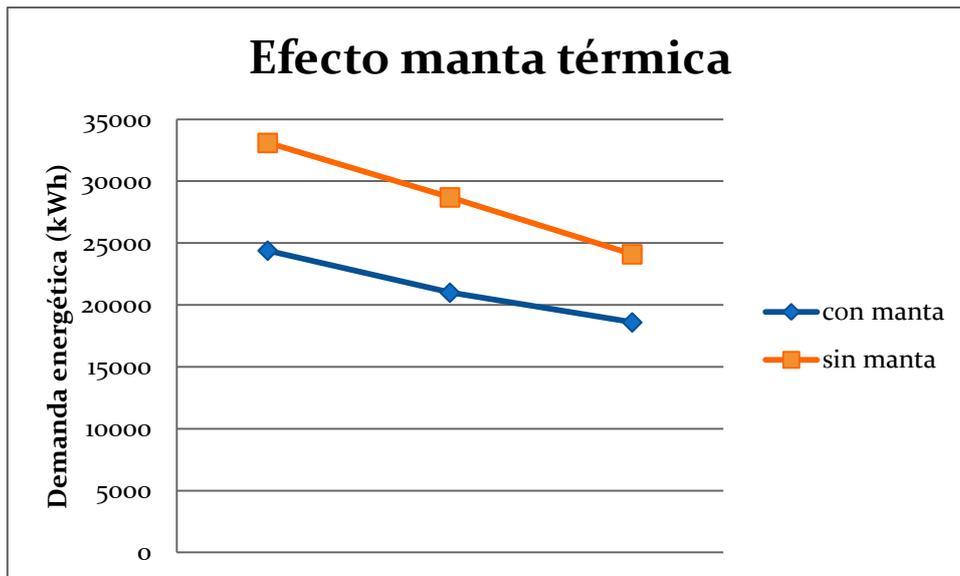


Figura 7.9. Efecto implementación manta térmica.

Es un accesorio de fácil uso y que no requiere mantenimiento, por lo que observando estos resultados, se constata que su uso es totalmente recomendable de cara al ahorro energético.

8. SIMULACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO DE LA PISCINA. USO DE TRNBUILD.

8.1. Implementación en TRNbuild.

Una vez validado nuestro modelo y comprobado su fiabilidad, vamos a proceder a la simulación del edificio, teniendo en cuenta sus dimensiones, los materiales de los cerramientos, la orientación etc. Para ello, haremos uso de la herramienta de TRNSYS para creación y simulación de edificios: TRNbuild.

Utilizando la herramienta mencionada, siguiendo el esquema de la piscina de Archena, dimensionando correctamente el edificio y definiendo los materiales de los cerramientos, TRNSYS creará un esquema en el que se simula el comportamiento del edificio.

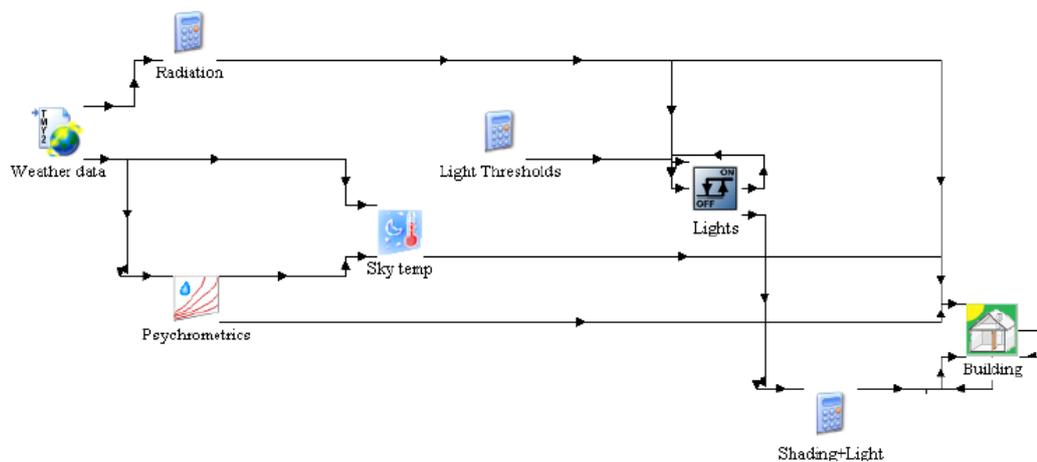


Figura 8.1. Esquema generado por TRNbuild.

Utilizaremos datos ambientales reales y añadiremos ciertas modificaciones a la instalación.

En primer lugar, el componente de la piscina habrá que modificarlo, le añadiremos una caldera, que tendrá un cierto caudal y que elevará la temperatura del agua del vaso hasta la deseada, por lo que en el código de fortran de nuestro componente calcularemos la variación de la temperatura del agua y no se introducirá como anteriormente, cuando nuestro objetivo era la validación del componente.

```

C      CALCULO TEMPERATURA DEL VASO
Vol=Largo*Ancho*Profundidad*1000.d0
Tf=((Vol-mcald)*Ti+mcald*Tcald)/Vol
Tf=Tf-Energia_total*3600.d0/Vol/4.185d0
Tf=(Tf*(Vol-mrenov)+Tred*mrenov)/Vol

```

Figura 8.2. Modificación en el type que simula el comportamiento energético de la piscina.

Siendo T_i y T_f las temperaturas inicial y final respectivamente en el intervalo de tiempo a simular.

En el apartado Cooling type de TRNbuild, introduciremos una deshumectadora con una potencia de 76 kW, que nos hará mantener la humedad relativa en torno a un valor de consigna que definiremos con una entrada HR, por lo que el valor de la humedad irá variando según las condiciones meteorológicas. Definiremos como entrada T_COOL_ON una temperatura de consigna superior, por encima de la cual el sistema de refrigeración actuará acondicionando el edificio. Haremos lo propio con el Heating type, definiendo una entrada TAMB como temperatura de consigna inferior. Así mantendremos la temperatura en el interior del edificio entre dos valores.

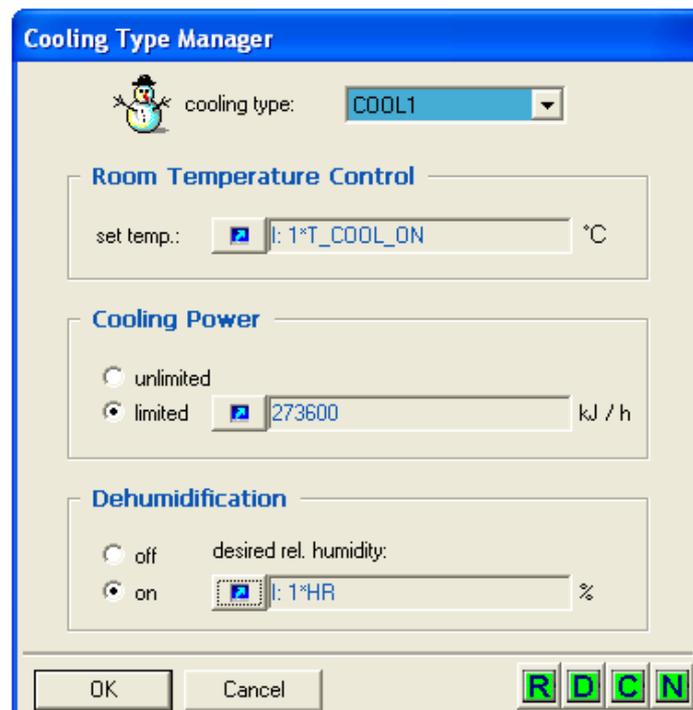


Figura 8.3. Cooling type Manager de TRNbuild.

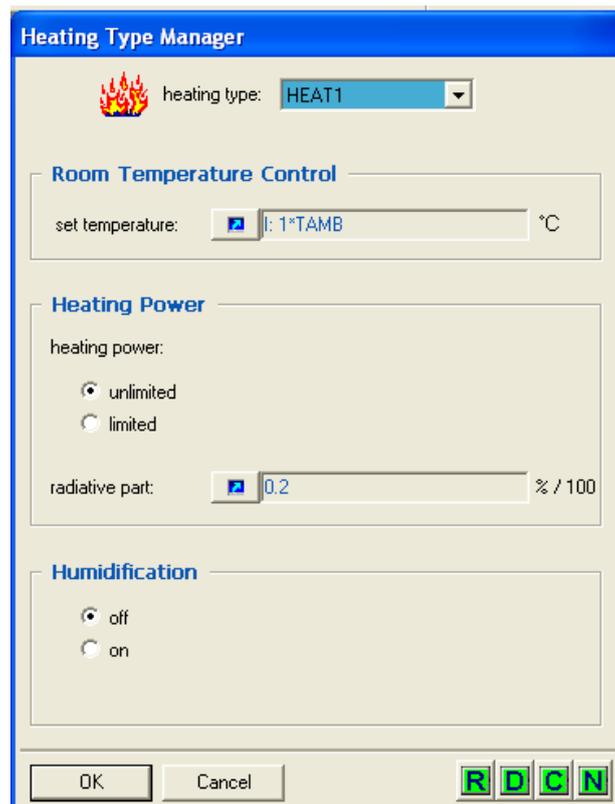


Figura 8.4. Heating type Manager de TRNbuild.

Para esta nueva simulación seguiremos introduciendo tanto los valores de ocupación como de temperatura de renovación en nuestro componente, sin embargo, ahora así la temperatura ambiente como la humedad relativa irán directamente conectadas desde el edificio al componente vaso piscina.

8.2. Descripción de los nuevos componentes de la instalación.

8.2.1. Caldera- Type 6.

Este componente toma un cierto caudal del agua del vaso y la eleva hasta la temperatura de consigna deseada. Indicando la energía necesaria para ello.



Type6

Figura 8.5. Caldera.

8.2.2. Control Pid – Type 23

Este componente simula el funcionamiento de un controlador proporcional, integral y derivativo. Será utilizado para dar la señal de control a las calderas empleadas.



Type23

Figura 8.6. Controlador PID.

8.2.3. Registro de datos – Type 93

Este componente registra en memoria valores de las variables de un periodo de cálculo para ser utilizadas en períodos posteriores. Lo utilizaremos para indicar la temperatura del agua calculada en el componente.



Type93

Figura 8.7. Registro de datos.

8.3. Modelado de la instalación.

Añadiendo al proyecto estos nuevos componentes y conectándolos entre ellos de la manera deseada, obtenemos un esquema completo de para la simulación del comportamiento en el edificio.

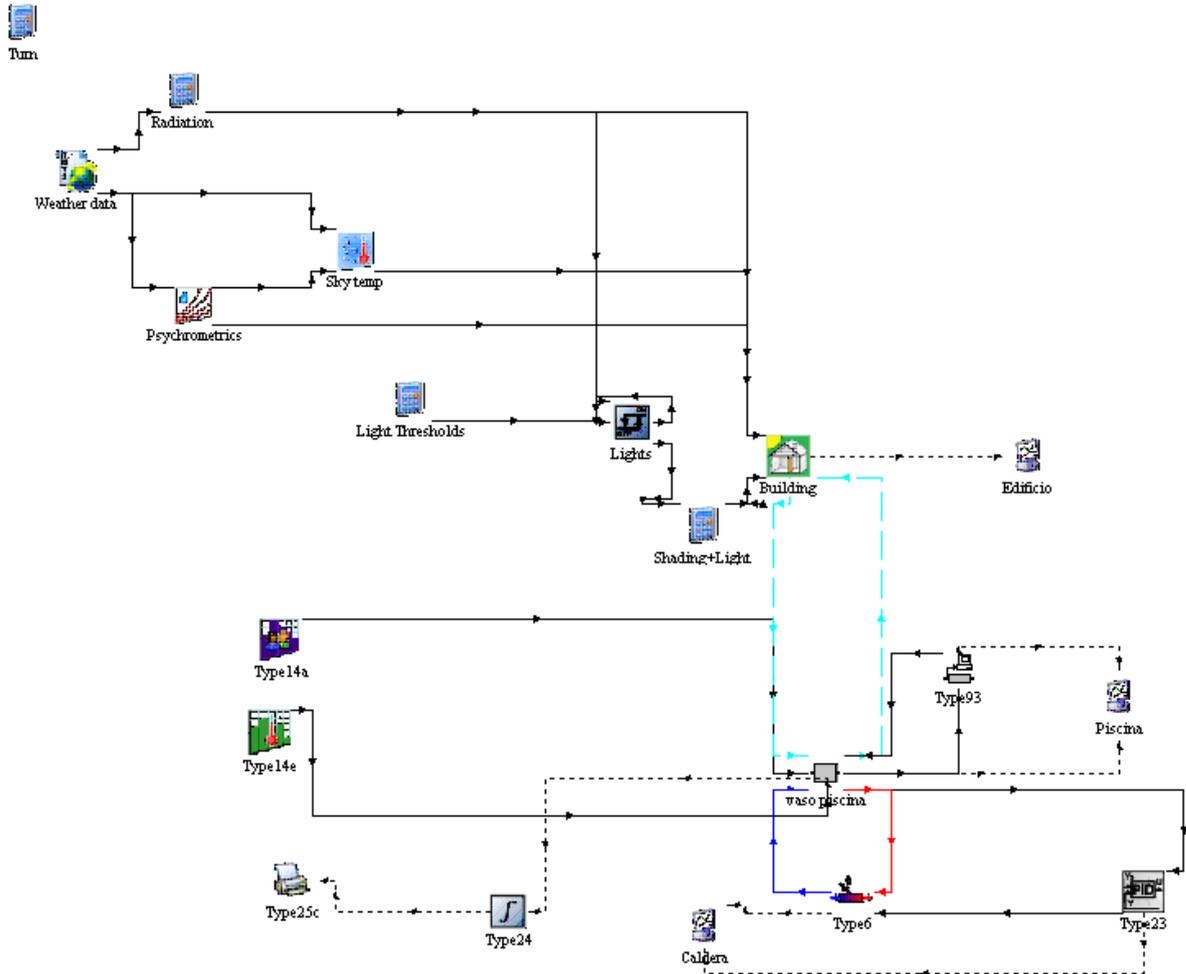


Figura 8.8. Interfaz Simulation Studio del proyecto para la simulación del edificio con piscina.

En el esquema, aparte de las líneas negras continuas y discontinuas cuyo significado se ha explicado anteriormente, tenemos nuevos tipos de línea para el conexionado:

- Línea azul: corresponde al agua fría extraída del vaso para calentarla en la caldera.
- Línea roja: corresponde al agua caliente que sale de la caldera hacia el vaso.
- Línea discontinua azul claro: corresponde al balance de humedad entre vaso piscina y edificio. El edificio alimenta el vaso con la humedad relativa en el ambiente y el vaso alimenta el edificio con la ganancia de humedad correspondiente al gasto másico de agua evaporada.

Las especificaciones de los nuevos componentes utilizados son las siguientes:

Maximum heating rate	160	kW
Specific heat of fluid	4.19	kJ/kg.K
Overall loss coefficient for heater during operation	0.0	kJ/hr.K
Efficiency of auxiliary heater	0.85	-
Inlet fluid temperature	20.0	C
Fluid mass flow rate	5	kg/s
Control Function	0	-
Set point temperature	30	C
Temperature of surroundings	20.0	C

Figura 8.9.Type 6.Caldera.

Setpoint	28	any
Controlled variable	0	any
On / Off signal	1	-
Minimum control signal	0	any
Maximum control signal	1	any
Threshold for non-zero output	0	any
Gain constant	1	any
Integral time	1	hr
Derivative time	0	hr

Figura 8.10.Type 23. PID Controller.

8.4. Análisis de resultados en TRNbuild.

Una vez que hemos conectado los distintos componentes que necesitamos para realizar la simulación, procedemos a evaluar la demanda energética del vaso de la piscina con las condiciones ambientales del edificio que hemos creado.

Vamos a evaluar la demanda energética del vaso en los meses que hemos usado para evaluar nuestro modelo, y así comparar la diferencia existente entre ambos.

Comenzando por marzo, con una temperatura de consigna inferior de 24°C y superior de 26°C y una humedad relativa deseada de un 70%, y manteniendo siempre la temperatura del vaso en torno a 28°C para así acercarnos lo máximo posible a las condiciones reales de la piscina de Archena, obtenemos los siguientes resultados:

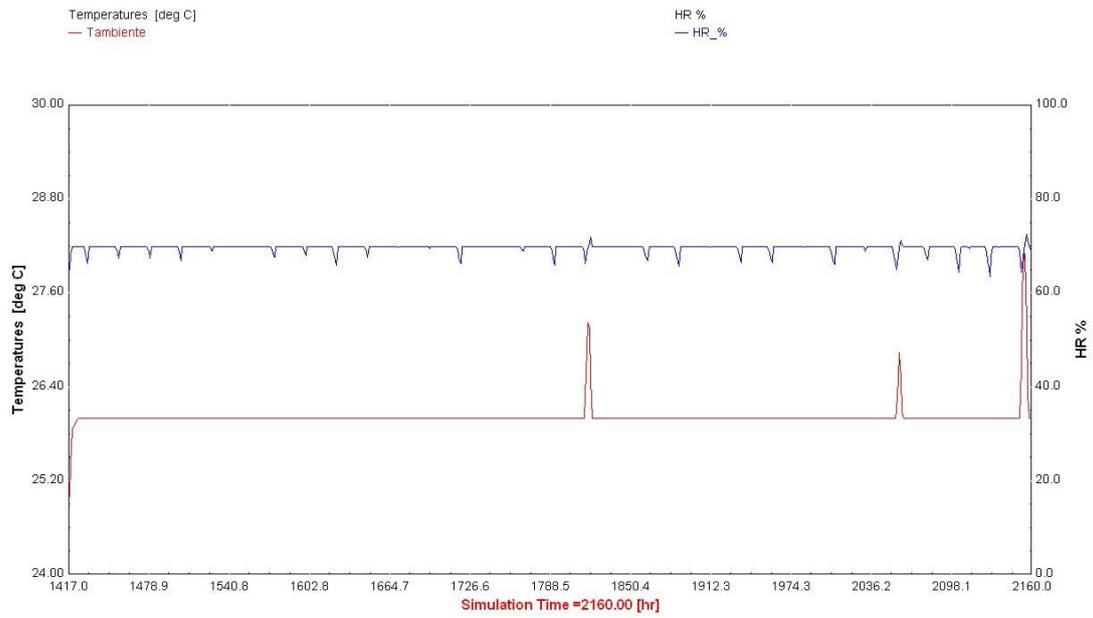


Figura 8.11. Temperatura ambiente y humedad en el edificio.

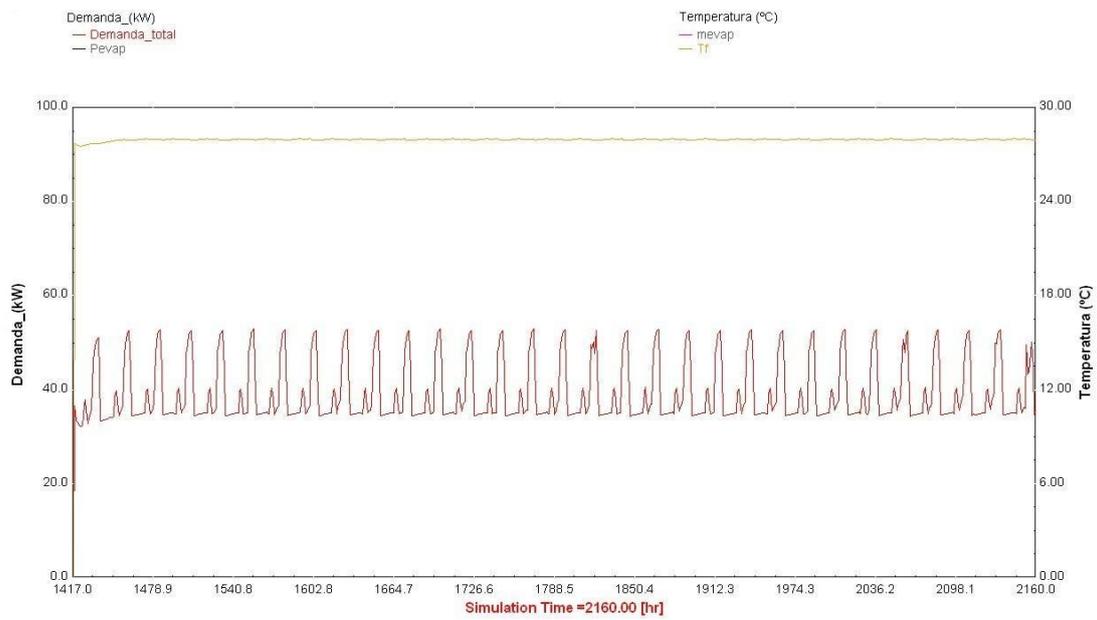


Figura 8.12. Demanda energética y temperatura del vaso.

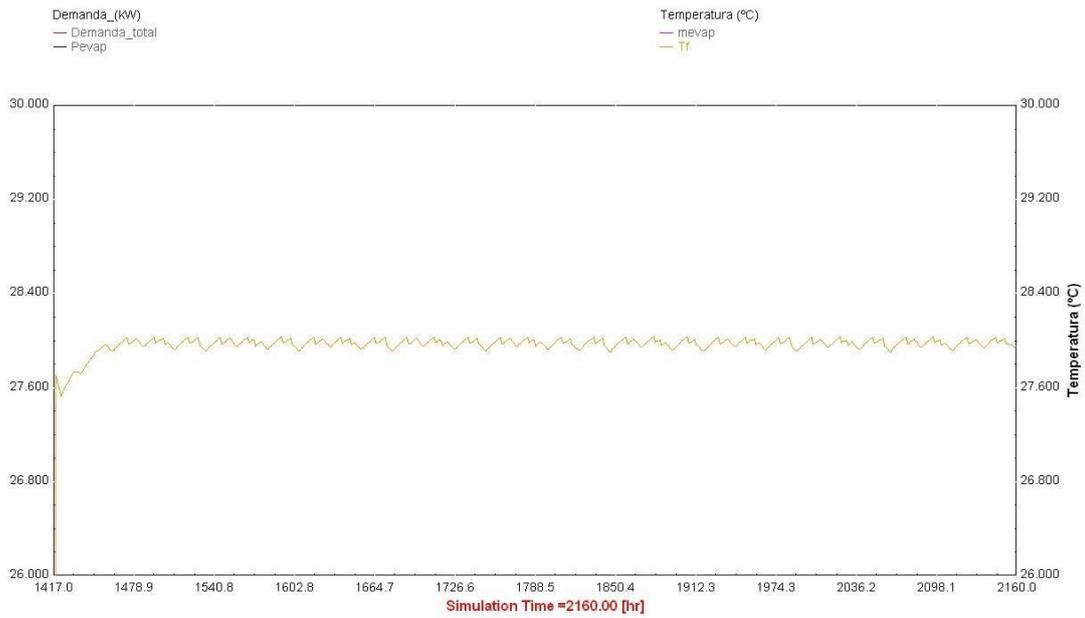


Figura 8.13. Detalle de la temperatura del vaso.



Figura 8.14. Aporte de energía realizado por la caldera.



Figura 8.15. Detalle aporte de energía realizado por la caldera.

Observamos como la temperatura ambiente se mantiene prácticamente constante, salvo en algunos puntos en los que se dispara por el efecto de la batería de calentamiento de la deshumectadora, en el valor de la temperatura de consigna superior.

Las simulaciones de Abril y Mayo presentan unas gráficas similares a las de Marzo, con las variaciones debidas a los cambios de la temperatura de renovación del agua, el número de bañistas, las temperaturas de consigna o las condiciones meteorológicas propias de la época del año.

Analizando la demanda energética para cada uno de los meses, obtenemos una demanda de 29.173 kWh para el mes de Marzo, de 26.653 kWh para Abril y 24.533 kWh para Mayo.

Vemos como presenta una gran similitud con la calculada utilizando solo el componente, ya que hemos simulado las condiciones más cercanas a la realidad posibles en el interior del edificio. Por lo tanto, encontramos también unos resultados similares a los del componente en la comparación con la demanda real registrada.

	Demanda real (kWh)	Demanda con edificio (kWh)	error relativo (%)
Marzo	42.483	29.173	31.3
Abril	29.877	26.853	10.1
Mayo	21.700	24.533	13.1
Total	94.060	80.599	14.4

Figura 8.16. Tabla comparativa entre la demanda real registrada y la calculada con el edificio.

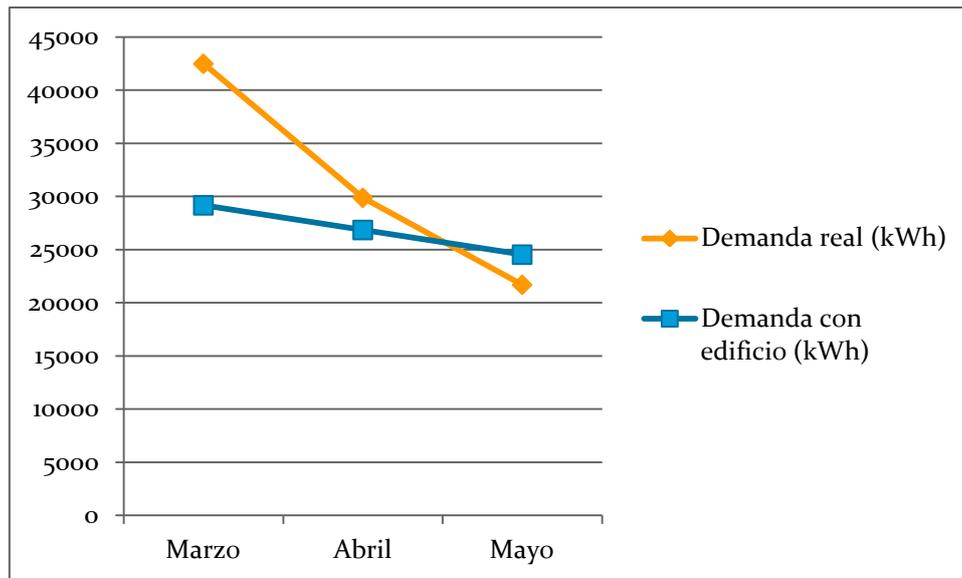


Figura 8.17. Gráfico comparativo entre la demanda real registrada y la calculada con el edificio.

Podemos observar como el error en marzo es de gran magnitud, esto responde a que al ser la temperatura de marzo muy baja por problemas con la calefacción del edificio de la piscina de Archena, las pérdidas aumentan. Por el contrario, en la simulación de nuestro edificio, contamos con un sistema de calefacción fiable, lo que hace que la temperatura sea estable en torno a la temperatura de consigna y no se produzcan estas pérdidas energéticas tan elevadas.

Además, observando los picos de potencia de la caldera, podemos constatar la potencia que la caldera debe tener para cumplir nuestras necesidades. Normalmente, en las piscinas se emplean calderas con una potencia de entre 250kW y 500kW, en este caso, y observando la gráfica de la caldera vemos como los picos de potencia se encuentran en torno a 44kW, lo que indica que con una caldera de una potencia mucho menor, podríamos cumplir las necesidades de esta piscina.

9. COMPARACIÓN CON TRANSOL.

9.1. Introducción.

Transol es un software para el cálculo de la demanda energética en edificios con instalaciones solares. En el software existen multitud de posibilidades para la creación de instalaciones, entre las que se encuentra un paquete para piscinas cubiertas climatizadas, que utilizaremos para la comparación de resultados con los del componente piscina creado en Trnsys. De esta manera verificaremos el correcto dimensionado que realiza Transol en sus instalaciones con piscinas cubiertas.

Para ello definiremos un edificio con una piscina de las mismas dimensiones que la nuestra y realizaremos dos baterías de ensayos con los que pretendemos realizar un análisis de sensibilidad del programa.

En primer lugar, fijaremos una temperatura de consigna para la temperatura del vaso y la temperatura ambiente e iremos aumentando para cada ensayo la humedad relativa en el ambiente. La temperatura del vaso será de 26°C, como establece la normativa para el uso de piscina en competiciones deportivas y la temperatura ambiente será de 27°C, un grado superior a la temperatura del vaso tal y como está determinado por la norma (que no se cumple en la piscina de Archena como hemos visto anteriormente).

Se llevará a cabo un análisis e sensibilidad que analice la demanda del vaso durante todo un año variando, en primer lugar la humedad relativa del ambiente, y en segundo lugar la temperatura del vaso de la piscina.

En el primer caso, la humedad relativa irá aumentando desde el 50% hasta el 80%, a intervalos de 10%.

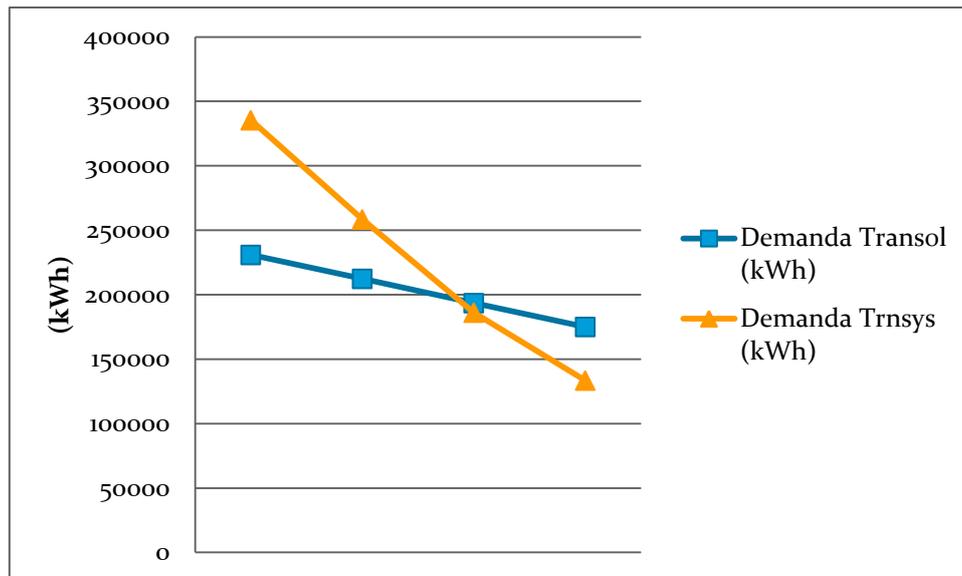
En el segundo caso, mantendremos la humedad relativa en un valor del 70% e iremos aumentando la temperatura del vaso un grado por ensayo, desde 27°C hasta 30°C, manteniendo siempre la temperatura ambiente un grado superior que la del vaso de la piscina.

9.2. Análisis de resultados.

Realizando las simulaciones tanto en Transol como en Trnsys de la primera batería de ensayos para un período de un año, obtenemos los siguientes resultados:

Ensayo	T vaso		HR (%)	Demanda (kWh)	Demanda componente (kWh)	Diferencia (%)
	°C	T ambiente °C				
1	26	27	50	230.910	335.410	31,16
2	26	27	60	212.387	258.424	17,81
3	26	27	70	193.535	186.157	3,96
4	26	27	80	175.070	133.450	31,19

Figura 9.1. Tabla comparativa para la primera batería de ensayos en Transol y en Trnsys.



Figuras 9.2. Gráfica comparativa de la primera batería de ensayos en Transol y en Trnsys.

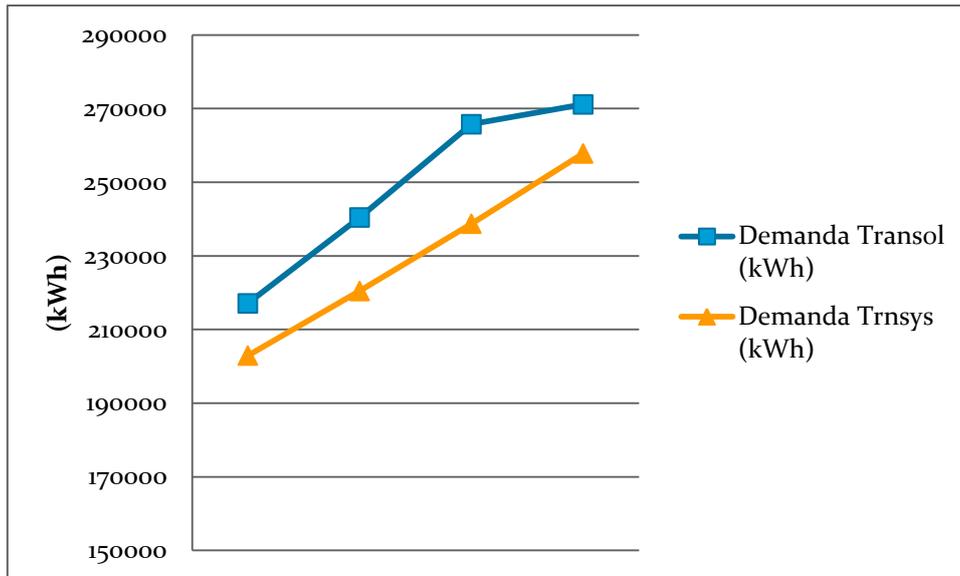
Se observa pues con estos resultados, como el modelo de Trnsys presenta una mayor sensibilidad respecto a la variación en la demanda energética del vaso con la variación de la humedad relativa, siendo un 31,16% superior para una humedad relativa del 50% y casualmente un casi idéntico 31,19% inferior para la humedad relativa de un 80%.

La demanda calculada por Trnsys, pasa de 335.410 kWh para una humedad relativa del 50% a 133.450 kWh para una humedad del 80%, variando en un 60,21% su valor, mientras que en Transol la demanda para la humedad relativa del 50% es de 230.910 kWh y para un 80% de 175.070 kWh, variando tan solo 24,18%.

Realizando ahora la segunda batería de simulaciones para el mismo período de tiempo:

Ensayo	T vaso °C	T ambiente °C	HR (%)	Demanda Transol (kWh)	Demanda Trnsys (kWh)	Diferencia (%)
5	27	28	70	217.123	202.965	6,98
6	28	29	70	240.456	220.484	9,06
7	29	30	70	265.775	238.758	11,32
8	30	31	70	271.164	257.833	5,17

Figura 9.3. Tabla comparativa de la segunda batería de ensayos en Transol y en Trnsys.



Figuras 9.4. Gráfica comparativa de la segunda batería de ensayos en Transol y en Trnsys.

Con los resultados de esta segunda batería de ensayos, constatamos que en este caso la sensibilidad con respecto al aumento de la temperatura del fluido acompañada de la subida de la temperatura ambiente es prácticamente igual para ambos modelos. Vemos como la demanda aumenta conforme a ambas temperaturas de forma similar para ambos, siendo siempre superior para el modelo en Transol, concretamente entre un 5,17% y un 11,32% para este intervalo de temperaturas.

Con estos dos conjuntos de ensayos, apreciamos como el método que utiliza Transol para calcular la demanda energética no difiere demasiado con el que hemos utilizado para el trabajo, siendo pues Transol, un programa capaz de determinar la demanda con garantías.

10. CONCLUSIONES.

En este trabajo se ha desarrollado un modelo que permite evaluar el comportamiento térmico del vaso de una piscina cubierta climatizada y así calcular la demanda energética que precisa. Este modelo ha sido desarrollado en Trnsys, y ha sido validado utilizando registros reales de la Piscina Municipal de Archena.

De esta forma se ha conseguido validar empíricamente el modelo desarrollado por Mirza M. Shah, actualizado en 2014, que hasta el momento no se había realizado, constituyendo una contribución a la ciencia. Se ha comprobado que la diferencia entre el modelo de Shah y los datos registrados está acotada, por debajo del 7,5% en un trimestre, o del 12,0% cuando se ha verificado un periodo de 3 días. Este reducido error permite dar validez al modelo.

Por otro lado, el método implementado nos permitirá calcular la demanda energética del vaso de la piscina en distintos periodos de tiempo (que pueden ir desde pocos días hasta años enteros) y con diferentes especificaciones como distinta ocupación o distintas condiciones ambientales. Esto lo convierte en una útil herramienta para el correcto dimensionado energético de una piscina cubierta climatizada, lo que nos permitirá obtener un ahorro energético, avanzando hacia las técnicas de eficiencia energética.

A su vez, el modelo es válido para dimensionar la potencia que debe tener la caldera, así como otras características asociadas al diseño (gasto másico, rendimiento, etc), para compensar las pérdidas del vaso manteniendo su temperatura.

También hemos constatado como el uso de una manta térmica es enormemente efectivo y nos conducirá a una reducción en la demanda energética del vaso superior al 25%, en el periodo trimestral ensayado.

Por último, hemos realizado la comparación de los resultados en Trnsys de nuestro modelo propuesto, con los de Transol (programa para el dimensionado de instalaciones solares que analiza el comportamiento energético de piscinas cubiertas), verificando su fiabilidad en el cálculo de la demanda energética en piscinas cubiertas climatizadas. Para ello se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad. Si bien las variaciones de la humedad relativa en el ambiente marcan las diferencias entre ambos métodos (ambos se aproximan en condiciones de humedad estándar, rondando el 70%), con las variaciones de temperatura en el vaso muestran una robustez en la comparativa, con diferencias en el entorno del 11% en el peor de los casos.

Para la simulación anual con condiciones estándar (26°C para la temperatura del vaso y 70% de humedad relativa en el ambiente), hemos obtenido una demanda anual para el vaso de la piscina de 188.157 kWh.

Como conclusión final, podemos resumir en que hemos desarrollado un fiable método para conocer el comportamiento térmico de una piscina climatizada y que puede ser utilizado para su correcto dimensionado energético.

11. BIBLIOGRAFÍA.

- *Fortran Manual* (iate.oac.uncor.edu/~manuel/astro2/FortranTutorial.pdf).
- *Trnsys 16 Manual*. (2007).
- *A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools*. *Energy and Buildings* 41 (2009) 311–319. F. Asdrubali.
- *New correlation for prediction of evaporation from occupied swimming pools*. *ASHRAE Transactions*, Volume 119, Part 2. (2013). Mirza M. Shah.
- *Improved method for calculating evaporation from indoor water pools*. *Energy and Buildings* 49 (2012) 306–309. Mirza M. Shah.
- *Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools*. *Energy and Buildings* 35 (2003) 707–713. Mirza M. Shah.
- *Fundamentos de Termodinámica Técnica* Moran & Shapiro (2004).
- *Fundamentos de transferencia de calor* Frank Incropera (1999).
- *Código Técnico de la Edificación*. Documento Básico de Ahorro de Energía HE
- *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios*.
- *Calentamiento de Agua de Piscinas*. Documentos técnicos de Instalaciones en la Edificación. Atecyr.

