

C13
ESTUDIOS DE BALANCE TÉRMICO Y OPTIMIZACIÓN
OPERACIONAL CON ECOSIMPRO

Eusebio Huéllamo Martínez, Ramón Pérez Vara, Alfonso Méndez - Vigo Vega de Seoane
 Empresarios Agrupados, A.I.E.
 Magallanes, 3 28015 Madrid

ehm@empre.es

Resumen

Se ha desarrollado, dentro del entorno EcosimPro, la librería THERMAL_BALANCE, para la realización de análisis térmicos, que incluye componentes típicos de equipos que normalmente forman parte de los ciclos de Centrales Térmicas, Nucleares y de Ciclos Combinados. Actualmente la librería contiene componentes que solo trabajan en régimen estacionario, estando prevista, en el futuro, la inclusión de componentes dinámicos para análisis de regímenes transitorios.

Palabras Clave: Balance Térmico, B.O.P.

1. INTRODUCCIÓN

Durante más de 15 años nuestro programa de cálculo de balance térmico, HBAL, ha venido prestando gran ayuda en los estudios encaminados a la mejora del rendimiento y predicción de comportamiento de ciclos térmicos de Plantas de Potencia y ha sido aplicado a los de buena parte de nuestro parque nuclear y térmico amén de alguna central extranjera.

La librería de componentes THERMAL_BALANCE, especialmente confeccionada para realizar análisis de balance térmico con EcosimPro se ha desarrollado basada en la formulación de los antiguos componentes de HBAL, corregida -donde corresponde- para, aprovechando la potencia de los algoritmos de resolución de sistemas de ecuaciones algebraico diferenciales que incorpora EcosimPro, dotarla de capacidad de análisis en régimen transitorio. Con ello se integran las ventajas de uno de los más modernos y efectivos paquetes de Simulación del mercado actual con la experiencia de HBAL, habiendo obtenido un producto de fácil uso y gran utilidad que permite realizar y rodar modelos en tiempos verdaderamente reducidos dentro de un entorno amigable para el usuario.

La librería admite 3 tipos de sistema de unidades, Internacional, métrico y británico.

2 COMPONENTES DE LA LIBRERÍA

Actualmente la librería (ver Figura 1) dispone de los siguientes componentes:

Componentes abstractos

COMPONENTE	FUNCIÓN
Channel	Componente con un puerto de entrada y otro de salida de tipo water
AdiabaticChannel	Channel con igualdad de entalpías entrada – salida
Burner	Componente de gas en el que se produce combustión

Componentes Operativos

COMPONENTE	FUNCIÓN
AirInlet	Suministro de aire
Alternator	Alternador eléctrico
Aux_turbine	Turbina auxiliar
Boiler	Caldera
Chamber	Cámara de combustión
Compressor	Compresor
Conden_SPE	Condensador tipo vapor de sellos
Condenser	Condensador principal
Deaerator	Desaireador
Dereheat	Desrecalentador
Divider	Divisor agua
DrainCooler	Enfriador de drenajes
Drum	Calderín
Economizer	Economizador
Evaporator	Evaporador
FeedWaterHeater	Calentador de ciclo
Flash_Tank	Tanque de vaporización
Gas_inlet	Entrada de gas
Gas_Turbox	Turbina de Gas
Gpipe_nat	Tubería de gas
Heater	Intercambiador de calor
Mixer	Mezclador
MoistSeparator	Separador de humedad
Motor	Motor de combustión interna

COMPONENTE	FUNCIÓN
Pipe	Tubería
Pump	Bomba
Split	Divisor gas
Reheater	Recalentador de vapor (con vapor)
Superheater	Sobrecalentador
Tower	Torre de refrigeración
Turbine	Escalón turbina de vapor
Valve	Válvula

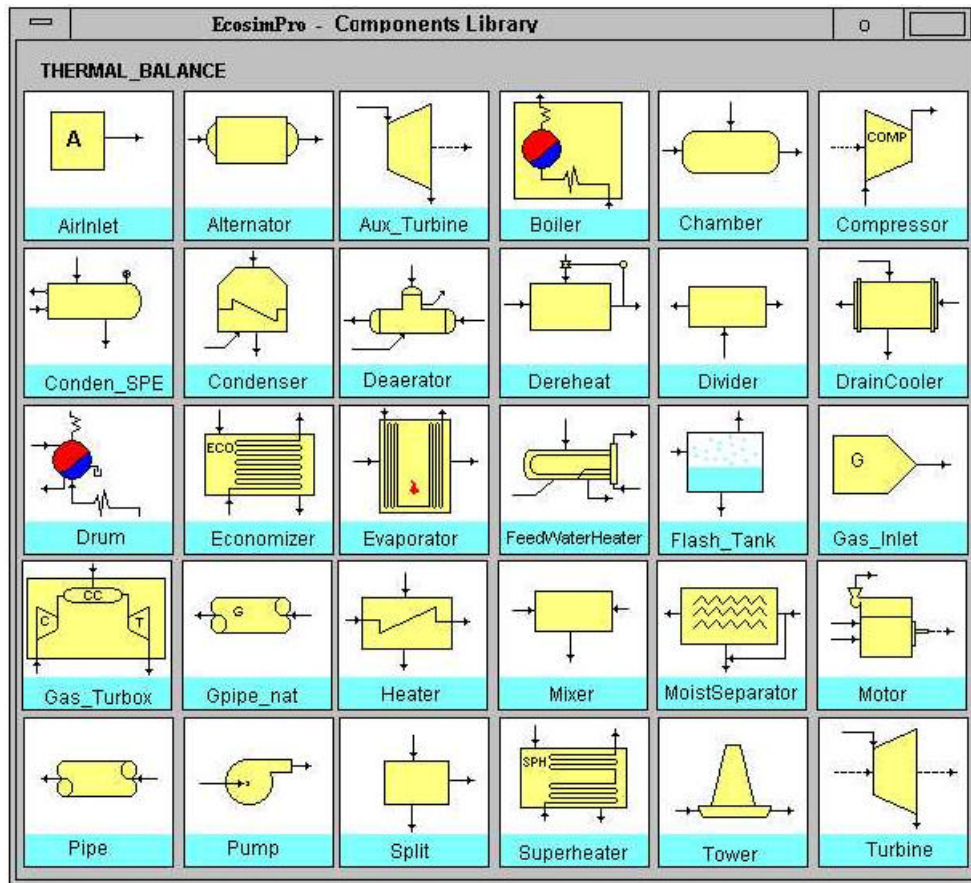


Figura 1: Componentes de la librería Thermal_Balance

3 PUERTOS UTILIZADOS POR LA LIBRERÍA

La librería utiliza dos tipos de puertos "water" y "gas" para fluidos de trabajo agua-vapor y gases respectivamente.

Los puertos calculan todas las variables termodinámicas y de transporte necesarias en función de la presión y la entalpía, en el caso del agua/vapor, y en el caso de las corrientes de gas, utilizando las funciones ASME embebidas en un objeto externo (desarrollado en Visual Fortran) que incluye tanto las funciones para agua/vapor como las correspondientes a los gases admitidos como fluidos de trabajo. Estos son: aire, H₂, O₂, N₂, CO₂, CO, He, Ar, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, SO₂ y H₂O.

4 EJEMPLO DE MODELOS DE PLANTA REALIZADOS CON ECOSIMPRO

4.1 MODELO DE UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO DE 800 MW

Se realizó un modelo de una Planta de ciclo combinado cuyo esquema de funcionamiento aparece en la Figura 2, mostrándose en la Figura 3 el diagrama de bloques correspondiente a la modelización con EcosimPro.

La simulación se ha dirigido al análisis en condiciones estacionarias del comportamiento funcionando a diferentes cargas, las consecuencias de cierto tipo de fallos y el estudio, *a priori*, de un conjunto de procedimientos que permitan obtener el máximo rendimiento y minimizar las consecuencias de averías, cambio de componentes, etc.

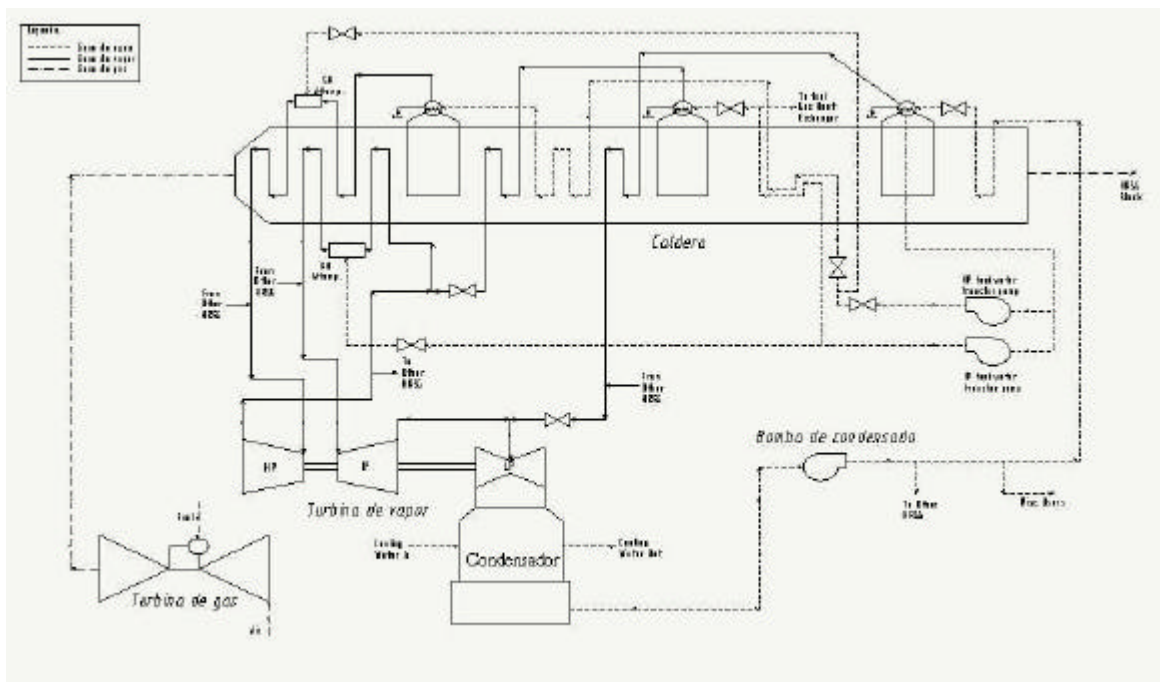


Figura 2.

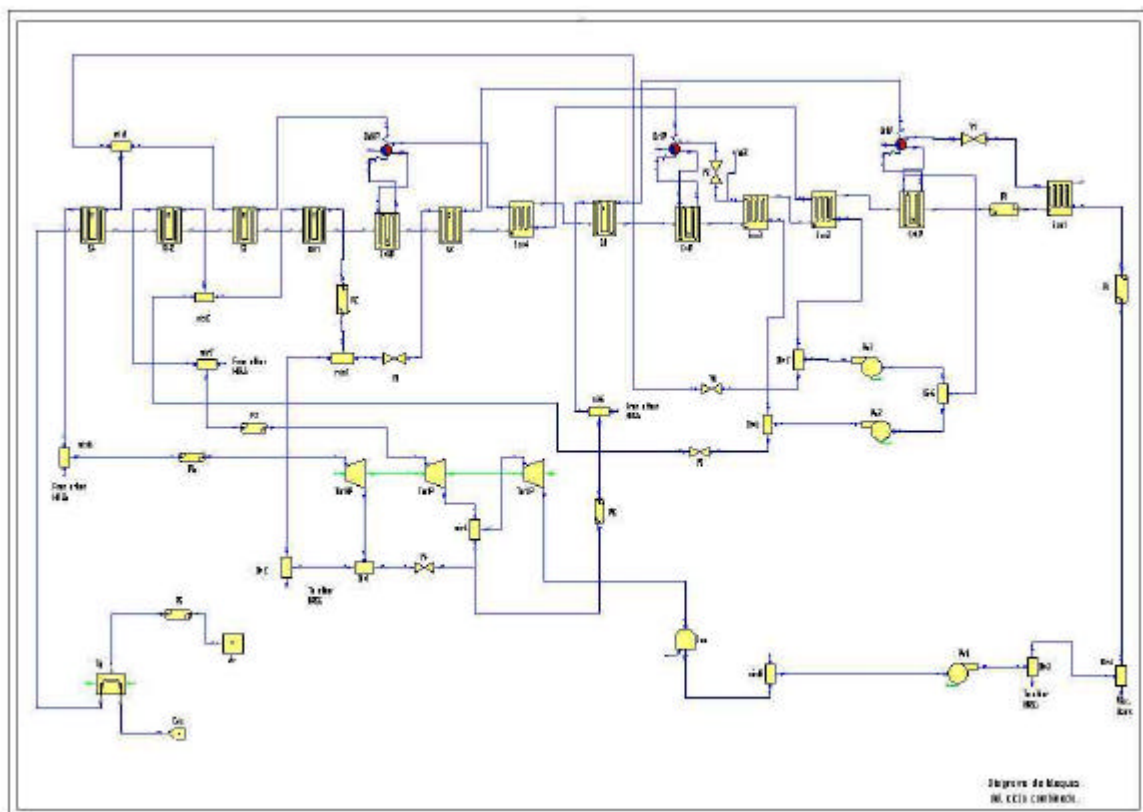


Figura 3

4.2 MODELO DE UNA PISCINA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA MISMA.

Para la confección de este modelo (Figura 4) se partió de la librería de componentes de Balance Térmico y se aprovechó la facilidad de reutilización de componentes que proporciona EcosimPro de suerte que sólo hubo que construir un par de ellos, específicos para el estudio de este problema:

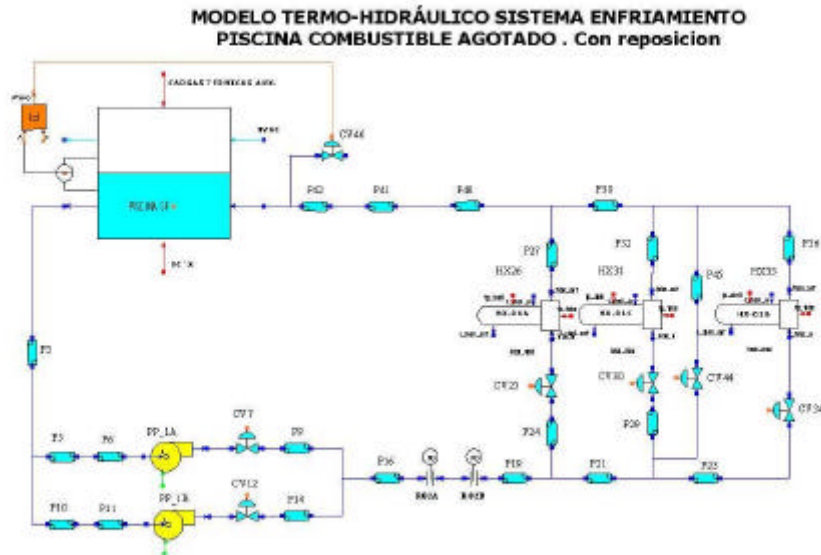


Figura 4

El primero es un intercambiador de calor que es capaz de reproducir, con el detalle requerido, el comportamiento de los existentes en planta. Para ello se tomó uno de los modelos de intercambiador existentes en la librería ECLSS y se adaptó al fin previsto.

El segundo componente constituye el modelo del recinto en que está ubicada la piscina de almacenamiento de combustible e incluye la piscina propiamente dicha y su atmósfera, de suerte que tiene cuatro puertas de conexión, entrada y salida de aire atmosférico y entrada y salida de agua; dos puertas térmicas permiten añadir al recinto el calor procedente de los elementos de combustible y el ambiental debido a los equipos situados dentro de él.

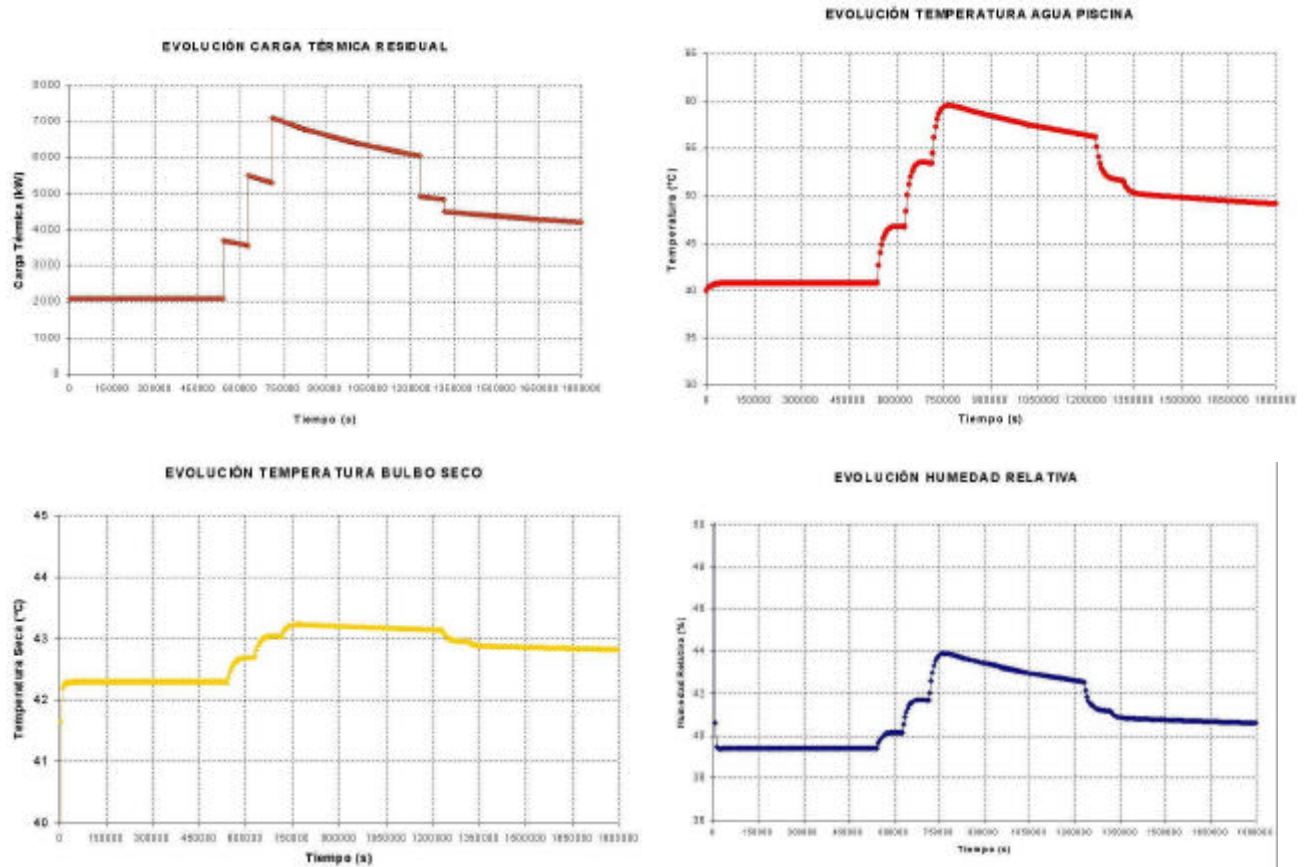
Se modelizan en este componente todos los fenómenos de intercambio de masa y energía entre la superficie libre de la piscina y la atmósfera ambiente (conducción, convección, radiación y evaporación o condensación).

El modelo permite evaluar el comportamiento del sistema en función de la carga térmica y de las

condiciones de refrigeración y también se ha utilizado para la resolución del problema de determinar, para una serie de medidas de la temperatura de la piscina y condiciones ambientales de entrada y de agua de refrigeración dadas cuál es el aporte de calor debido al combustible gastado. Dado que la temperatura de la piscina es una de las variables dinámicas, este caso da lugar a un problema de índice superior cuya respuesta por parte de EcosimPro se resume en los siguientes pasos:

- 1.- Detecta que tiene un problema de índice superior.
- 2.- Realiza la derivación simbólica de la función analítica de ajuste de temperaturas, con coeficientes variables para cada tramo de tiempo, de temperatura medida.
- 3.- Resuelve el problema global.

Ejemplos de las salidas de este caso aparecen en las Figuras 5.



Figuras 5.

5. CONCLUSIONES

EcosimPro se ha mostrado de gran ayuda en la confección de modelos de comportamiento de Planta tanto en Régimen estacionario como en régimen transitorio, construidos con gran facilidad y adecuados a las necesidades de cada momento.

La librería de componentes adecuados para estudios de sistemas convencionales y del B.O.P. ya es una realidad, que irá ampliándose con otros componentes dirigidos a estudios más específicos de sistemas de Plantas de Potencia

6. ANEXO: EJEMPLOS DE MODELIZACION CON EL (EcosimPro Language)

Puerto "Water"

ya descrito en el apartado 3

PORT Water

```
SUM REAL W = 1 "Mass flow (kg/s,Tn/h,o Lb/h)"
EQUAL REAL P = 10 "Pressure(bar,kg/cm2,o PSI)"
EQUAL OUT REAL H = 200 "Enthalpy (Kj/Kg, Kcal/Kg, o Btu/lb)"
SUM IN REAL WH "Energy flow (kW)"
REAL T = 150 "Temperature (°C,°C,°F)"
REAL X = 0 "Quality"
REAL rho = 1000. "Density (kg/m3,Kg/m3,lñb/ft3)"
REAL S = 1.3 "Entropy(kj,kg/C,kcal/kg/c,Btu/lb/F)"
```

CONTINUOUS

```
WH = W*H*CONV_Q[UNI]
INVERSE(H) div_safe(WH,W*CONV_Q[UNI],1.e-6,H)
H2_STATE_PH (P,H,T,rho,s,X,IU())
```

END PORT

Componente "MoistSeparator"

Representa un separador de humedad con la posibilidad de separar también caudal seco de extracción a un calentador

Incluye un parámetro SteamTrap cuyo objetivo es el siguiente:

Si SteamTrap es TRUE el separador de humedad fija su caudal por el puerto w_moist sin permitir salida de caudal "seco"

Si es FALSE dejamos indeterminado el caudal de salida por el puerto w_moist y un equipo aguas debajo de él (normalmente un calentador) le pedirá potencia, con lo que extrae también caudal "seco" de la línea de salida del separador de humedad por el puerto w_moist hasta cerrar su balance.

Tiene dos DATA, eff (eficiencia del separador de humedad) y

wfrac que es la fracción de caudal arrastrado.

COMPONENT MoistSeparator (BOOLEAN SteamTrap = TRUE)

PORT

```
IN Water w_in
OUT Water w_out
OUT Water w_moist
```

DATA

```
REAL eff = 0.9 "Eficiencia"
Real wfrac = 0. "fracción de caudal arrastrado"
```

DECLS

```
REAL hf
REAL w_H2O_sep
REAL wfrac_w
REAL w_extr
```

DISCRETE

```
ASSERT (w_moist_w > w_H2O_sep+wfrac_w) ERROR "Flujo total menor que el necesario"
```

CONTINUOUS

```
w_in.W = w_out.W + w_moist.W
w_extr = w_moist.W - w_H2O_sep
```

```
w_out.P = w_in.P
w_moist.P = w_in.P
```

```
w_H2O_sep = w_in.W * eff * (1 - w_in.X)
wfrac_w = w_in.W * wfrac
EXPAND (SteamTrap == TRUE)
  w_moist.W = w_H2O_sep + wfrac_w
hf = H2O_H_vs_PX (w_in.P, 0.,IU())
w_out.H = (w_in.H - eff * (1.-w_in.X) * hf) /
  (1 - eff * (1 - w_in.X))
w_in.WH = w_out.WH + w_moist.WH
```

END COMPONENT