

SIMULACIÓN MULTIDISCIPLINAR DE SISTEMAS DE CONTROL CON ECOSIMPRO

JOSÉ LUIS LOZANO HORTIGÜELA

*Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Escuela Politécnica Superior de Algeciras.
Avda Ramón Pujol s/n. Algeciras. Universidad de Cádiz
E-mail: joseluis.lozano@uca.es*

FRANCISCO MESA VARELA

*Departamento de Ingeniería de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz
E-mail: francisco.mesa@uca.es*

En este trabajo se presenta EcosimPro, en su aspecto más académico, un entorno de Simulación de Sistemas. Su gran aportación reside en la posibilidad de tratar simultáneamente materias tan diferentes como la Electrónica, la Mecánica, Mecánica de Fluidos, la Ingeniería Térmica, o el estudio la dinámica de las reacciones Químicas, etc. Todas estas fuentes se hace confluír mediante un Lenguaje propio de Simulación, que permite la creación de librerías de componentes y se procesan en un potente motor de resolución de ecuaciones diferenciales, algebraicas y eventos discretos. En este sentido, se hace una revisión muy somera de la construcción de los modelos y librerías y se presentan varias aplicaciones.

1 Introducción

Los procesos de evaluación de la calidad de los que participan la Universidad y la Industria hace que tiendan a aproximarse en los contenidos de las materias de cursos superiores, en lo que se refiere fundamentalmente a las materias con más contenido tecnológico, a los procesos que el alumno en una etapa posterior va a encontrar en la Industria. En lo que lo que se refiere al control automático, se debe disponer en el laboratorio de herramientas de programación que permitan abordar tanto los problemas clásicos de regulación, como otros de niveles de complejidad mayor, cual puede ser la posible inclusión de rutinas de optimización, o procesos secuenciales o híbridos.

La utilización de estas herramientas hace que se pongan a punto una conjunto de técnicas que facilita la toma de decisiones, cuando se aplican a los procesos reales. Indicamos como ejemplo la sintonía de los lazos simples y en cascada del nivel básico de control. Hay que tener en cuenta que el conocimiento de tales comportamientos se hace necesaria una fase muy importante que se denomina modelado de sistemas.

Esta técnica en la actualidad los entornos de modelado y simulación no son muy utilizados en muchas fábricas tanto como sería deseable. Una razón posible no está en la herramienta de simulación en sí, sino en el propio modelado del proceso. En efecto. Por lo general, encontrar el modelo matemático de un sistema físico complejo no es tarea fácil. Si se quiere tener un buen modelo del proceso, entonces ha de invertirse en especialistas. Esto supone aumentar costes económicos y temporales. En caso contrario cabe pensar que en esta fase se pueden cometer errores en el modelo. Superada esta fase, con ciertas dificultades o no, hace falta encontrar un entorno de resolución numérica robusta, capaz de abordar con solvencia problemas de diversos tipos, tal como pueden ser la resolución de sistemas de tipo Stiff, etc. Se requiere en esta caso un buen conocimiento informático de lenguajes potentes de alto nivel. [5].

Aunque existen programas de simulación con lenguajes dedicados a una disciplina que engloban los últimos paradigmas en programación y resuelven problemas en su ámbito (Pspice, Process, Ansys, se requieren para en un problema multidisciplinar (académico o industrial) herramientas más abiertas y generales. EcosimPro incorpora librerías de modelos de componentes, realizadas por expertos en Modelado de Sistemas, admitiendo reutilización de submodelos para diferentes aplicaciones, haciendo en lo que se refiere exclusivamente al problema de modelado, lo relativo al problema físico objeto de estudio. También en lo referido al problema informativo, el usuario se descarga en base a generadores automáticos de código y “solvers” potentes de uso de rutinas numéricas potentes, ajenas al usuario.[1]

2 Características específicas del Proceso de Modelado y Simulación con EcosimPro

El Lenguaje EL de EcosimPro es excelente para integrar sistemas multidisciplinares. En particular sistema que se estudiará es un sistema de control de Energía Térmica Solar [2] [Figura 1]

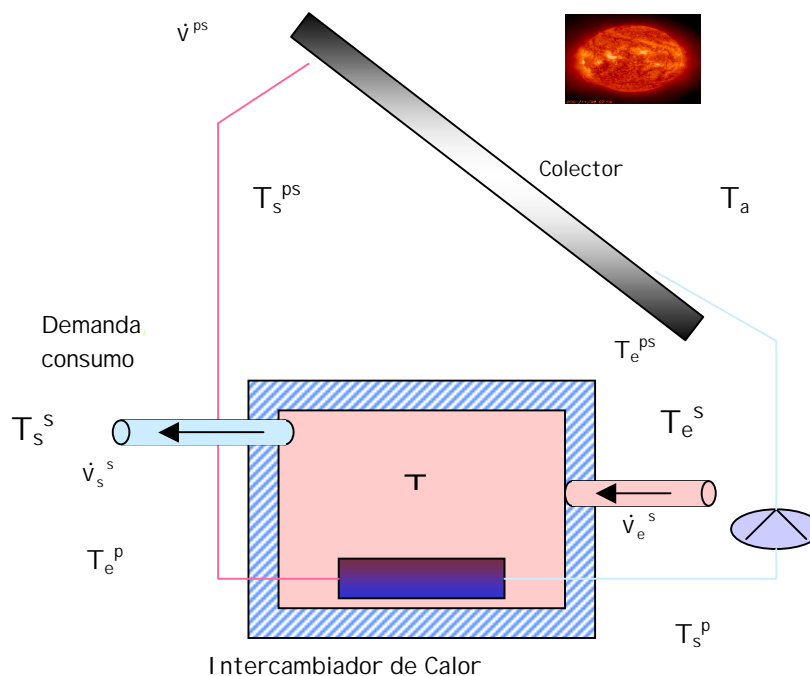


Figura 1. Sistema de Control de Energía Térmica Solar

Siendo T_e^p y T_s^p las temperaturas de entrada y salida del fluido del primario, respectivamente. Asimismo, T_e^s y T_s^s son las temperaturas de entrada y salida del secundario. Para simplificar la notación $T_s^s = T$ en la formulación empleada. T_e^{ps} y T_s^{ps} Las temperaturas de entrada y salida del fluido de V_s^{ps} y V_p^{ps} . V_s^s y V_p^{ps} son los flujos volumétricos del circuito secundario o caudal de consumo y del colector solar, respectivamente.

En lo que se refiere específicamente al lenguaje EL, diremos lo siguiente:

1. El modelo se estructura en base al elementos básicos que se denominan Component y Ports (Componente y Conector) respectivamente. Estos componentes una vez probados se agrupan en Librerías según disciplinas y pueden utilizarse en cuantos modelos se deseen. Se utilizan conceptos orientadas a objetos, encontrando el usuario tópicos en su fase de modelado con ideas de abstracción, encapsulado, herencia, polimorfismo, etc. que lo hace ser un lenguaje muy elegante. y, por otra parte, hace que el número de ecuaciones sea menor.
2. El programa es muy abierto, entendiéndose varias opciones de trabajo, según las exigencias de sus usuarios: avanzados y, a partir de un generador automático de código C++, permite que se puedan tener aplicaciones independientes o "Stand Alone".
3. La interface de trabajo con el usuario, una vez que el modelo se ha terminado, se realiza una comprobación de la Sintaxis del modelo, comprobando el formato de cada sección, la escritura correcta de las palabras clave del lenguaje, etc.
4. El lenguaje propio de modelado EL, contiene un conjunto completo de sentencias que pueden agruparse según sean procesos continuos, a partir directamente del conjunto de ecuaciones diferenciales (y algebraicas) propias del Modelo (y que el usuario no tiene que ordenar). Para capturar

eventos discretos, tiene previsto que se incluyan tales sentencias en la correspondiente sección. Se incluyen además todas las sentencias disponibles de cualquier lenguaje de alto nivel, en lo que se refiere a procesos secuenciales.

5. Finalizado la escritura y la revisión sintáctica del modelo, se crea no lo que se denomina partición., que no es otra cosa que un modelo matemático asociado al componente. Es necesario definir lo que se denominan “Condiciones de Contorno”, a fin de que el “Solver” (DASSL y otros) [1] tenga información suficiente para solventar lazos algebraicos, tenga definidas las condiciones iniciales de las variables de estado, etc. En este dominio ya es posible hacer tantos experimentos sobre el modelo que se desee, pudiéndose modificar los parámetros que estuvieran definidos en modelo. Para realizar un determinado experimento, el usuario puede incorporar nuevas funciones, adaptando el modelo a las mejores condiciones de simulación más adecuadas.
6. El siguiente paso es la simulación. Para ello, proporciona un entorno amigable de visualización de resultados. Esta interface es EcoMonitor, y se comunica protocolos estándar COM de Microsoft con otras aplicaciones.

3 El Sistema de control

El Sistema que hemos elegido para modelar y simular es el de la Figura 1. Como se observa, se desea acondicionar la temperatura de un fluido para consumo doméstico. La energía se obtiene del sol a partir de una instalación de colectores solares y un intercambiador de calor. El sistema, en principio, suponemos que bombea fluido del intercambiador a las placas solares. En caso de que la temperatura del agua de consumo supere un determinado umbral, el bombeo se corta. Un controlador todo-nada es el que se a utilizar .

3.1 El modelo del proceso

Para modelar el sistema, que es estudiar el comportamiento de la temperatura del fluido de consumo, supondremos, a efectos de simplificación, la hipótesis de plena mezcla. Esto es, esta temperatura es uniforme, Como segundo hipótesis, supondremos que en la pared del depósito no hay almacenamiento de energía ni transferencia de energía.

3.1.1 El circuito primario del sistema

Para el circuito primario establecemos los balances de masa y energía de la siguiente forma:

$$\rho_d c_{v_d} V_d \left(\frac{dT}{dt} \right) = \dot{Q} - \dot{W}^t + \dot{m}_e h_e - \dot{m}_s h_s \quad (1)$$

Siendo el producto $\rho_d V_d$ la masa de agua del depósito y c_{pd} es el calor específico del agua. Q es la potencia calorífica que se aporta al sistema y W^t es el trabajo técnico realizado por unidad de tiempo por el sistema . h_e y h_s son las entalpías del fluido de entrada y salida.

Simplificando, escribimos:

$$\rho_d c_{v_d} V_d \left(\frac{dT}{dt} \right) = \dot{Q} + \rho_f \dot{V}_e^p c_{p_f} T_e^p - \rho_f \dot{V}_s^p c_{p_f} T_s^p \quad (2)$$

Realizando ahora un balance de masa,

$$\rho_f \dot{V}_e^p = \rho_f \dot{V}_s^p \quad (3)$$

Si suponemos que la densidad del fluido ρ_f no depende de la temperatura, se puede escribir la expresión (2)

$$\rho_d c_{V_d} V_d \left(\frac{dT}{dt} \right) = \dot{Q} + \rho_f \dot{V}_f^p c_{p_f} (T_e^p - T_s^p); \quad (4)$$

3.1.2 El circuito secundario del sistema y el colector solar

De la misma forma que en apartado anterior y omitiendo alguna expresiones, en el intercambiador de calor se puede escribir las siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{\text{real}} = \varepsilon \dot{Q}_{\text{máx}} \quad (5)$$

y ε un factor de efectividad asociado a este subsistema. En particular:

$$T_e^p - T_s^p = \varepsilon (T_e^p - T) \quad (6)$$

La energía de la expresión (1) es :

$$\dot{Q}(t) = \rho_a \dot{V}_d c_{p_a} (T - T_e^s) \quad (7)$$

Recordamos que T es la temperatura del agua de consumo y T_e^s es la temperatura del abastecimiento del depósito.

En el colector solar básico se puede escribir una nueva expresión que relaciona la temperaturas de entrada T_e^{ps} y salida T_s^{ps} del colector con la energía solar S que absorbe y de la temperatura ambiente T_a . En particular, se puede escribir [Pal83]

$$\rho_a q_d c_{p_a} (T_s^{ps} - T_e^{ps}) = A_c [F_R S - U_c (T_e^{ps} - T_a)] \quad (8)$$

Siendo A_c el área del colector, U_c es un coeficiente de pérdidas y F_R es un parámetro típico de la placa solar, que tienen en cuenta la velocidad del aire, la temperatura ambiente y la radiación solar.

3.1.3 El controlador On-OFF

El controlador todo-nada que se propone debe anular el término $q_i(t)$ de la ecuación diferencial (2) en caso de que la temperatura $T_e^p \leq T$, actuando sobre la bomba de recirculación de fluido a través del colector solar.

3.2 El modelo del proceso en EcosimPro

El editor de EcosimPro en la versión 3.2 integrado permite la entrada del modelo, a partir del lenguaje LE

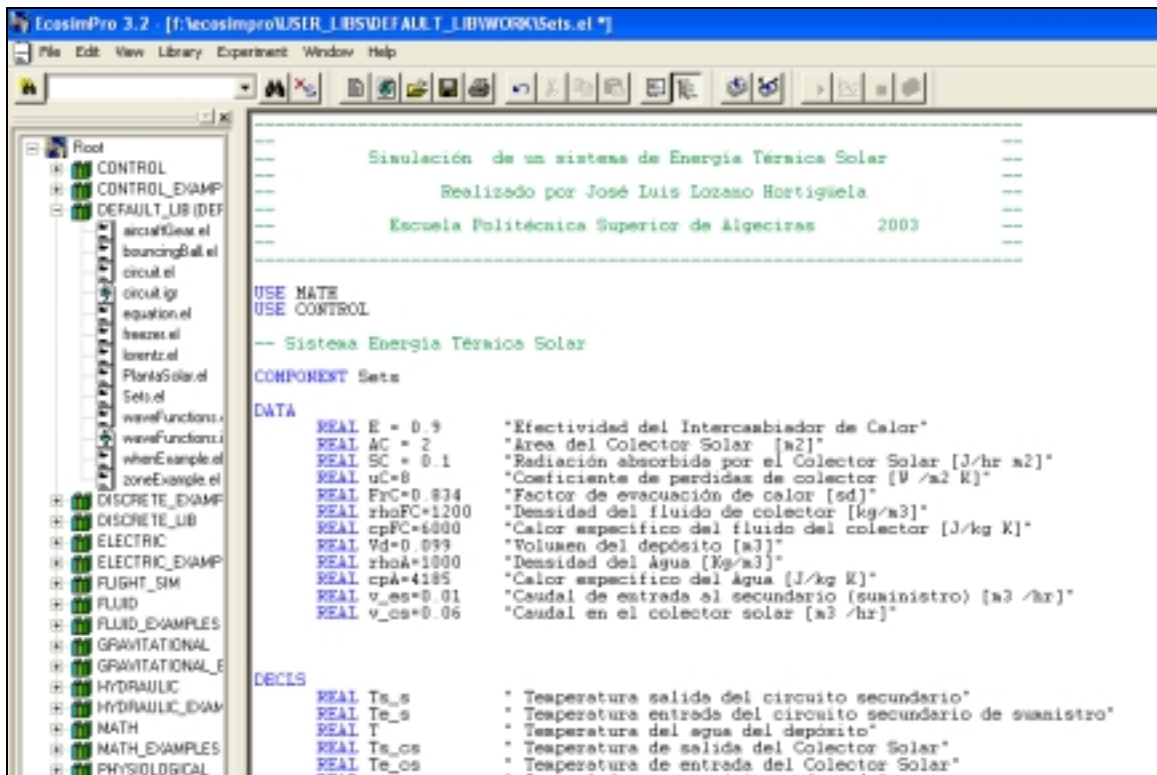


Figura 2. Entrada de modelos en EcosimPro

En la Figura 2 se muestra el desarrollo del Componente SETS (Sistema de Energía Térmica Solar) .

- En la sección DATA se declaran los tipos de variables y sus valores iniciales. Estos datos se pueden modificar en los experimentos.
- En la sección DECLS se declaran los diferentes tipos de variables del modelo.
- En la sección DISCRETE se introduce el comportamiento del controlador Todo-Nada. Como se observa parcialmente en la Figura 2, se simula con la estructura WHEN ... END WHEN

En efecto. La programación asociada al controlador completo sería:

```

DISCRETE
WHEN (T_ep <= T) THEN estado = ControladorFuncionando
END WHEN
WHEN (T_ep > T) THEN estado = ControladorParado
END WHEN

```

En esta sección se asocia la información del estado del controlador al valor capturado del variable asociada a la temperatura del agua del depósito, en relación a la variable asociada a la temperatura de salida del fluido del colector solar.

- En la Sección CONTINUOUS, se ubican las ecuaciones diferenciales y algebraicas. (2-8) [3] En particular:

```

CONTINUOUS

```

```

Te_s=280+1*pulse(TIME,25,12.5,1)  -- Entrada de Temperatura de entrada al secundario
Ta = ZONE (TIME <=25 ) 250
    OTHERS 310

ctn = ZONE (estado == ControladorParado) 0
    OTHERS 1

Te_p = Ts_cs  -- Temperatura de salida colector igual a Temperatura de entrada Primario
Ts_p = Te_cs  -- Temperatura de Entrada colector igual a Temperatura de salida Primario
Ts_s = T      -- Notación

-- Balances másicos y energéticos

v_ss = v_es -- Caudales de secundarios iguales
v_ep = v_cs -- caudal del primario igual al del colector solar
v_sp = v_cs -- caudal del secundario igual al del colector solar

-- En el intercambiador de calor..
Te_p-Ts_p=E*(Te_p-T)

-- En el primario
q_i = rhoFC*v_ep*cpFC*Te_p-rhoFC*v_sp*cpFC*Ts_p

q_o = rhoA*v_es*cpA*Ts_s-rhoA*v_ss*cpA*Te_s

cpA*rhoA*Vd*T'= ctn * q_i - q_o

-- En el colector solar
rhoFC*(Ts_cs-Te_cs)=AC*FrC*(SC-uC*(Te_cs-Ta))

```

como se observa, en el EcosimPro no es necesario hacer manipulación en las ecuaciones resultantes del estudio, ya que este proceso es “transparente” al usuario, como consecuencia del algoritmo interno que utiliza EL (Maximal Transversal Algorithm)(4)

3.3 Simulación con EcoMonitor

En EcoMonitor se presentan los resultados de los experimentos preparados para el modelo. En la Figura 3 se muestran tales resultados asociados a la temperatura del agua del depósito.

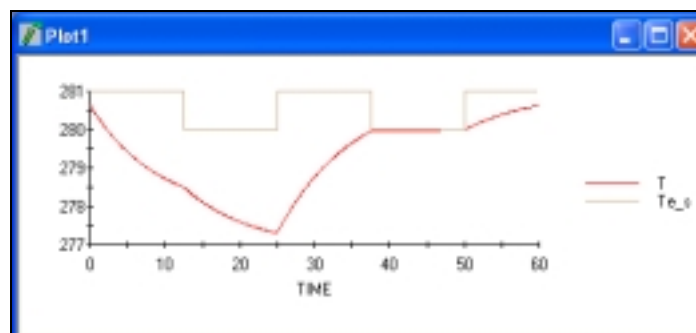


Figura 3. Resultado de Simulación de T del agua y T de entrada al secundario

Se han elegido valores de temperatura para resaltar los resultados de simulación.. En particular se ha supuesto una perturbación en la temperatura de entrada al secundario. Siendo muy baja la temperatura ambiente entre 0 y 25 s. (Figura 4). De mismo modo, se comprueba en la figura 5 el comportamiento del controlador.

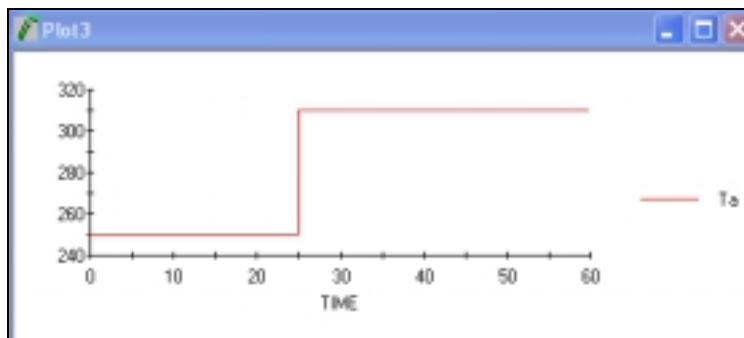


Figura 4. Simulación de la temperatura ambiente

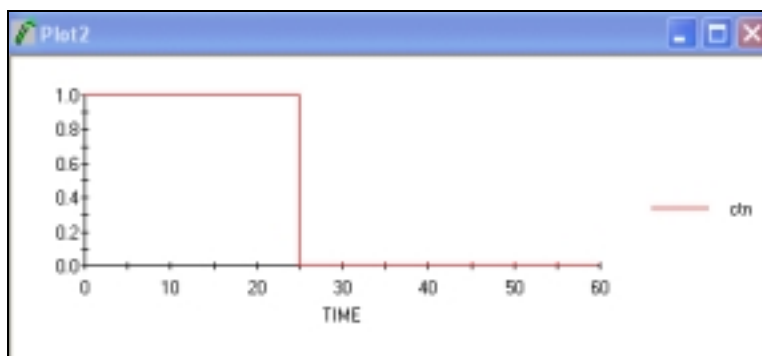


Figura 5. Comportamiento del controlador en la simulación

4 Conclusiones

En este trabajo se ha descrito cómo se puede utilizar un programa para estudiar modelos de comportamiento de sistemas como es EcosimPro, para sistemas multidisciplinares. Con este lenguaje ËL se pueden introducir de forma muy sistemática las diferentes ecuaciones algebraicas y diferenciales constitutivas del modelo global. Para el caso que hemos presentado, no sido necesario implementar una estructura de submodelos, dada la naturaleza simple del problema.

5 Trabajos futuros

En esta misma línea de trabajo de sistemas de control multidisciplinar, nos proponemos realizar un conjunto de librerías de modelos para los sistemas de regulación del laboratorio de Automática de la Escuela Politécnica Superior de Algeciras, cuales son los sistemas de control de nivel, caudal y temperatura de Feedback Inc. Asimismo, librerías de componentes relacionados con los controlares industriales clásicos y avanzados y con los convertidores electrónicos de potencia aplicadas a un conjunto de máquinas eléctricas.

6 Agradecimientos

A Ismael Rodríguez Maestre del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Cádiz, por sus sugerencias hechas sobre la presentación, notación e interpretación de las ecuaciones de modelo, que me han ayudado enormemente en el presente trabajo y el interés mostrado a fin de que las ecuaciones fuesen presentadas de la manera más correcta posible.

7 Referencias

1. www.ecosimpro.com El Modelling Language.2003
2. Palm III, William J. Modelling, Analysis and Control of Dynamic System.. J. Wiley and Sons. 1983
3. Notas facilitadas en el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Valladolid
4. Pérez Vara, R; Cobas Herrero, P; García Parrilla, A. Ecosim: a State of art Continuous Simulation Tool for TCS and ECLSS. Empresarios Agrupados.1999
5. Cellier F.E. Continuous System Modeling .Springer-Verlag New York, 1991