

# METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE SISTEMAS Y CIRCUITOS ELECTRÓNICOS CAÓTICOS (TAEE2010)

M.J. LÓPEZ, F. M. VERDULLA, M. PRIAN, J. LORENZO, L. GARCÍA

*Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Tecnología Electrónica y Electrónica. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Cádiz. España.*

*{manueljesus.lopez, francisco.verdulla, manuel.prian, jose.lorenzo, luis.garcia}@uca.es*

*Este artículo presenta las características de una propuesta de formación que estamos aplicando en nuestro grupo de innovación educativa, y que se denomina ECHASYS TOOL. Esta propuesta se utiliza en la Universidad de Cádiz como herramienta didáctica para introducir el campo de los sistemas y circuitos electrónicos caóticos en la formación de los estudiantes. Se emplea en asignaturas de las ramas de ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica e ingeniería informática. El estudio se inicia partiendo de un circuito electrónico concreto (camino directo), a partir del cual se realiza la simulación y el análisis del comportamiento. Otro enfoque (camino inverso) consiste en utilizar como punto de partida el modelo matemático de un sistema caótico dado, y tratar de diseñar un circuito electrónico que aproxime el comportamiento de dicho modelo. Tanto siguiendo el camino directo como el inverso, el estudiante maneja conceptos relacionados con la electrónica, la informática y la ingeniería de sistemas, resultando un proceso de aprendizaje en el que se produce la integración de los conocimientos transversales respectivos utilizados de estas materias.*

*Palabras clave: simulación multiplataforma, circuito electrónico, sistema caótico.*

## 1. Introducción

Cuando se presentan las características de los sistemas caóticos [1,2,3,4,5] a los estudiantes de ingeniería, en general manifiestan un especial interés por dicha materia. En primer lugar por lo que el propio nombre sugiere, y en segundo lugar por las características dinámicas peculiares que éstos presentan, así como sus posibles aplicaciones. Resulta especialmente interesante el que verifiquen este tipo de comportamiento en un sistema real, tal como es un circuito electrónico montado en el laboratorio. También resulta atractivo para los estudiantes el observar cómo a partir de una leve variación en el valor de un parámetro dado, como por ejemplo la resistencia de un potenciómetro, se puede provocar un cambio muy drástico en el comportamiento del sistema. Resulta ser sumamente didáctico cuando el circuito electrónico se describe mediante un modelo matemático y éste se implementa en una simulación numérica por computador, observándose la correspondencia o no (depende del caso) entre las respuestas obtenidas en cada caso. Esta simulación numérica se puede realizar utilizando un software específico de simulación electrónica como por ejemplo el Multisim [6] o similar (herramienta de simulación 1, HS1), pero también se puede utilizar una plataforma de simulación genérica tal como Simulink [8], VisSim [9] o similar (herramienta de simulación 2, HS2). Como una tercera opción se tiene la programación utilizando un lenguaje de alto nivel como el C/C++ [10], Matlab [7] o similar. (herramienta de simulación, HS3).

El estudiante de electrónica encuentra más afinidad con la HS1 [6], dado que utiliza un lenguaje o notación más directamente relacionado con el circuito electrónico. Esto es, en el simulador monta y

conecta componentes electrónicos como por ejemplo, resistencias, condensadores, inductores y amplificadores operacionales. Mientras que si parte del modelo matemático tiene que hacer una abstracción mayor, y pasar desde las ecuaciones del modelo matemático del circuito a un esquema de simulación (diagrama de simulación que se puede realizar en la HS2 [8,9]) que guarda cierta relación con el circuito, o directamente a unas líneas de código que implementan el modelo del sistema, en cuyo caso ya no hay relación intuitiva alguna, sino que requiere diseñar el algoritmo de cómputo necesario y programarlo en un cierto lenguaje de programación de alto nivel (realizable mediante la HS3, [10]).

El trabajar con una herramienta de simulación u otra (HS1, HS2, HS3) le requiere al estudiante utilizar diferentes enfoques y conocimientos de diferentes disciplinas. El enfoque de la HS1 estaría más directamente relacionado con la ingeniería electrónica, mientras que si utiliza la HS2 se encuentra más en el ámbito de la ingeniería de sistemas. Por su parte, el planteamiento de la HS3 es más propio de la ingeniería informática. Si en una práctica de laboratorio, o en un trabajo de curso (en el que se puede ahondar más en el tema y hacer un trabajo más extenso) el estudiante (o grupo de estudiantes que hacen el trabajo en equipo) hace uso de las tres herramientas de simulación (HS1, HS2 y HS3), ello va a implicar que tenga que hacer una integración de conocimientos de una manera efectiva. En ese caso, el objetivo consiste en que pueda pasar de un plano del conocimiento a otro de una forma que le sea cómoda, utilizando en cada caso particular el enfoque que sea más eficaz. Si el estudiante consigue adquirir esta competencia de una forma fluida, le resultará de utilidad para su formación académica y posterior aplicación en el campo laboral.

El resto del artículo está organizado como sigue: en el apartado 2 se presenta la base de la metodología utilizada, mientras que en el siguiente apartado se presentan las características del planteamiento didáctico que proponemos (ECHASYS TOOL) y que está siendo desarrollado por nuestro grupo de innovación educativa. Se continúa presentando el entorno educativo ECHASYS TOOL en el apartado tres, tras el cual se muestra un ejemplo ilustrativo en el apartado cuatro, y finalmente en el apartado cinco se resumen las conclusiones.

## **2. Metodología basada en simulación multiplataforma**

A pesar de tratarse de estudios de ingeniería, y por tanto tener que estar habituados a los cálculos técnicos, resulta que los estudiantes, en general, manifiestan un cierto rechazo hacia tópicos en los que aparecen ecuaciones diferenciales y/o integrales. Esto se debe, en parte al menos, y según manifiestan los propios estudiantes, al enfoque no adecuado que se le da a dicho tema en las asignaturas propias de matemáticas; donde en ocasiones se centra más el esfuerzo en aspectos teóricos y formales que en aplicaciones técnicas concretas. Ante esto, los propios estudiantes indican que se debería plantear como objetivo particular de estas asignaturas de matemáticas el considerar ejemplos prácticos que sirvieran como motores de motivación relacionados con la electrónica, la electricidad, la mecánica o la informática, que son las especialidades en los estudios de ingeniería que se imparten en la universidad de Cádiz. Quizás por este motivo, en el caso de los estudiantes de ingeniería electrónica, la opción de utilizar una plataforma de simulación basada en el empleo de componentes electrónicos (como por ejemplo Multisim o Spice [6]), donde el estudiante “no ve” ninguna ecuación diferencial, le resulta más atractiva (además de que lógicamente es una forma más intuitiva de representación del conocimiento) que cualquier otro planteamiento en el que se utilicen las ecuaciones diferenciales del modelo matemático.

Sin embargo, lo que se plantea en este artículo es que el uso exclusivo de este tipo de herramientas de simulación (HS1) no supone una formación suficientemente compacta o integrada, debido a que en la práctica supone una forma de trabajo similar a lo que sería un montaje experimental, que lógicamente tiene mucha importancia práctica, pero carece de las características que aportan el empleo de las otras herramientas de simulación y análisis de sistemas dinámicos (HS2 y HS3). La incorporación de los

enfoques aportados por HS1, HS2 y HS3 supone una visión más enriquecedora y que fortalece la formación integral del estudiante.

Como puntos básicos a tratar en nuestro planteamiento se consideran los siguientes: 1) todos los sistemas reales son no lineales y variables en el tiempo; 2) a pesar de ello, para un intervalo de tiempo limitado, una cierta condición de operación y una vecindad de ésta, el sistema se puede aproximar como un sistema lineal invariante en el tiempo (SLIT); 3) para un SLIT se define el concepto de función de transferencia mediante el empleo de la transformada de Laplace (ésta se introduce como una herramienta matemática útil a través de unos ejemplos ilustrativos); 4) utilidad de la representación de estado tanto de sistemas no lineales como lineales; 5) utilidad de los métodos numéricos (MN) para la resolución de ecuaciones diferenciales (particularmente los métodos de Euler y Runge-Kutta); 6) importancia de la elección del paso de integración y su relación con la dinámica del proceso; 7) utilidad del escalado temporal y su interés de cara a la simulación en tiempo real; 8) justificación del escalado en magnitud; 9) simulación por computador utilizando herramienta de simulación HS1 (Multisim o similar), 10) simulación por computador empleando una herramienta de simulación tipo HS2 (Simulink, VisSim o similar), 11) simulación por computador basada en lenguaje de programación (C/C++ o Matlab), 12) elección del tiempo de muestreo para versión en tiempo discreto equivalente; 13) requerimientos para implementación de simulación en tiempo real con hardware en el lazo (hardware in the loop simulation, HILS), 14) comparación de resultados entre diferentes plataformas de simulación, y en su caso comparación con datos experimentales del sistema real.

En este marco de trabajo, siempre se tiene como referencia el problema técnico concreto bajo estudio (un circuito electrónico o un sistema dinámico de otra naturaleza), y cada recurso de matemáticas que se vaya a utilizar se justifica en virtud de su necesidad o conveniencia para cada caso concreto. El enfoque consiste en indicar que se utilizan las herramientas matemáticas de forma análoga a como se pueden utilizar, por ejemplo, las herramientas de taller o laboratorio para montaje de un circuito. Al igual que para utilizar los elementos de montaje de circuitos (placa, soldador, componentes, etc.) se requiere un proceso de aprendizaje y práctica, esto mismo es necesario para poder utilizar las herramientas de simulación y análisis de sistemas que planteamos. Con este enfoque, y como un ejemplo ilustrativo, cuando se introduce la transformada de Laplace para análisis de sistemas lineales, el objetivo no es el estudio de esta transformada en sí misma, sino como una herramienta con una utilidad concreta de la que hay que conocer cómo usarla para obtener unos resultados. En este sentido, es importante que el estudiante observe que debe evitar la posible confusión, o distracción de lo realmente importante, que puede provocar si no se aborda de forma adecuada la comprensión y uso de cada nuevo concepto. Siguiendo con el ejemplo anterior, los estudiantes suelen tener cierta tendencia a perder motivación y dispersarse con respecto a lo fundamental cuando abordan por primera vez el concepto de transformada de Laplace (TL) o los métodos numéricos (MN) para resolución de ecuaciones diferenciales. Para evitar esto, es necesario realizar un guiado a través de una dosificación de la información, utilizando siempre ejemplos ilustrativos motivadores y justificadores. Al igual que cuando se adquiere una herramienta/equipo para taller o uso doméstico es deseable que se facilite por el suministrador un procedimiento para su utilización inmediata (sin tener que leerse los tediosos manuales de instalación y usuario), siguiendo con los ejemplos anteriores, es conveniente que se pase rápidamente a utilizar las herramientas TL y MN viendo su utilidad y conveniencia. Es muy importante que se justifique la utilización de cada recurso, a fin de que el estudiante esté orientado y motivado en todo momento del proceso de aprendizaje.

### 3. El entorno educativo ECHASYS TOOL

Se trata de llevar a la práctica un enfoque educativo y didáctico orientado hacia el análisis y diseño de circuitos electrónicos susceptibles de tener un comportamiento caótico. Nuestra propuesta, ECHASYS TOOL, no es un programa informático; sino que supone una filosofía de trabajo que utiliza diferentes recursos hardware y software de forma conveniente para conseguir una integración de conocimientos relacionados con la simulación de sistemas. El objetivo es que sirva de ayuda a la formación de los estudiantes en el campo de los circuitos electrónicos y sistemas dinámicos que se caracterizan por tener un comportamiento caótico.

El entorno ECHASYS TOOL (*Electronic Chaotic Systems Tool*) está pensado para trabajar con multiplataformas de simulación, análisis y diseño de circuitos electrónicos susceptibles de alcanzar un comportamiento caótico. Como ejemplos de algunos de los sistemas con dinámica caótica cuyos modelos matemáticos que se utilizan están, entre otros, los siguientes [1,2,3,4,5]: circuito de Chua, circuito de Kiers-Schmidt-Sprott (KSS), sistema de Lorenz, sistema de Rossler, sistema de Duffing, sistema de Van der Pol, por citar sólo algunos. Actualmente, ECHASYS TOOL incorpora tanto modelos de sistemas caóticos como de sistemas hipercaóticos. El concepto de hipercaoticidad se refiere a que el sistema tenga al menos dos de los exponentes de Lyapunov mayores que cero, mientras que si únicamente tiene un exponente de Lyapunov positivo en ese caso se dice que se trata de un sistema caótico. Por otro lado, y como ya se ha indicado antes, ECHASYS TOOL no es un programa informático, sino una filosofía de trabajo que hace uso de diferentes recursos (multiplataformas) para la formación integrada en análisis y diseño de circuitos electrónicos caóticos y sistemas dinámicos.

En nuestra metodología de trabajo se consideran dos clases de planteamientos o problemas a la hora de trabajar con circuitos electrónicos correspondientes a sistemas caóticos: a) se parte de un circuito y se obtiene el modelo matemático (planteamiento directo), b) se parte de un modelo matemático y se llega a un circuito electrónico (planteamiento inverso).

En lo que se refiere al planteamiento del problema inverso de análisis y síntesis (se parte de un modelo matemático y se llega a un circuito electrónico), la primera fase consiste codificar en un lenguaje de programación las ecuaciones de los modelos matemáticos de los sistemas para poderlos simular y comprobar si el comportamiento dinámico obtenido sigue el indicado por las respectivas fuentes bibliográficas tomadas como referencia [1,2,3,4,5]. Esto se hace programando en un lenguaje de alto nivel como C/C++ o en el lenguaje de Matlab (HS3). La segunda fase de la propuesta consiste en realizar el diagrama de simulación y posterior implementación utilizando herramientas de programación visual como Simulink o VisSim (HS2). La tercera fase consiste en el diseño de un circuito electrónico que pueda reproducir el comportamiento dinámico del sistema, para lo que se emplea una herramienta como el Multisim (HS1). Conseguidos estos objetivos, se pasaría finalmente al montaje del circuito electrónico por parte del estudiante. Una vez se tiene el circuito se analiza mediante un osciloscopio la evolución dinámica del sistema real y se compara con los resultados obtenidos mediante las diferentes herramientas de simulación (HS1, HS2, HS3). Una alternativa a la realización física del circuito consiste en utilizar simulación con hardware en el lazo o HILS (*"hardware in the loop simulation"*). Esta consiste en simular el sistema (o una versión escalada en el tiempo y/o en magnitud del mismo) en tiempo real sobre una plataforma tipo PC y tarjetas de adquisición de datos [11,9,8], o usando un equipo comercial específico de altas prestaciones como por ejemplo el sistema DS1104 de dSPACE [12]. Mediante la HILS se obtienen señales eléctricas como respuestas (salidas) del sistema, a la vez que se puede actuar eléctricamente (entradas) sobre el propio sistema. Aunque en este caso también se realiza una simulación, sin embargo ésta incluye factores tales como: utilización de hardware para conexión con el exterior, funcionamiento en tiempo real, señales eléctricas entrada/salida y ruido de medida, entre otros; por lo que se consigue una aproximación más cercana a entornos de procesos industriales.

En caso de seguir el planteamiento correspondiente al problema directo, se dispone de un circuito real o de su implementación en un simulador de circuitos como Multisim (HS1), y a partir de éste se trata de ir completando las tareas necesarias para implementar un modelo matemático del sistema en cada una de las herramientas de simulación HS1, HS2 y HS3.

#### 4. Ejemplo de aplicación: circuito KSS

Como ejemplo ilustrativo se utiliza el circuito propuesto por Kiers, Schmidt y Sprot (KSS) [2,3]. Este circuito es especialmente útil para ilustrar los conceptos relacionados con el comportamiento dinámico dependiente del valor numérico de un parámetro (llamado parámetro de bifurcación), en concreto, del valor de la resistencia  $R_v$ . El modelo matemático de este circuito está dado por

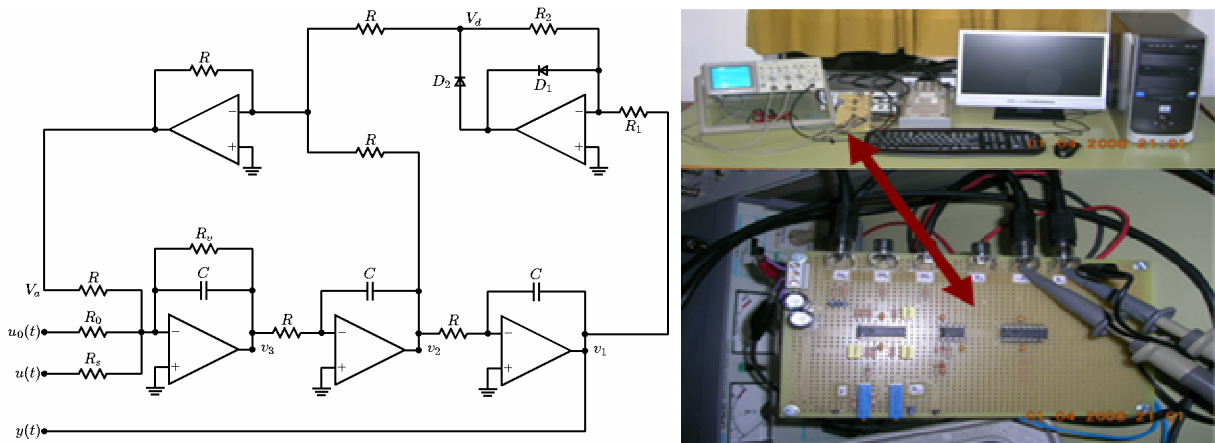
$$d^3y/dt^3 = -(R/R_v) d^2y/dt^2 - dy/dt + D(y) - (R/R_0) u$$

donde:

$$D(x) = -(R_2/R_1) \min(y, 0), \quad y = v_1$$

$$u = u_0 + \Delta u$$

en el esquema del circuito que se muestra en la figura 1. Los valores usados para los componentes electrónicos son los siguientes: amplificador operacional LMC6062 o similar, fuente de alimentación de  $\pm 15$  voltios,  $R=46.6 \pm 0.3 \text{ k}\Omega$ ,  $R_0=156.9 \pm 0.1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_v=81.4 \pm 0.3 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1=15.1 \pm 0.1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2=88.9 \pm 0.1 \text{ k}\Omega$ ,  $C=2.29 \pm 0.03 \text{ }\mu\text{F}$ . Los dos diodos D1 y D2 son del tipo 1N914. El valor de la señal de tensión constante  $u_0$  es de 1 V, mientras que  $\Delta u$  representa un incremento de señal que se utiliza, en su caso, para realizar el control del circuito, para llevarlo desde un comportamiento caótico a un comportamiento periódico. El circuito tiene una salida (variable medida,  $y$ ) que está limitada por el valor de la fuente de alimentación, que ha de tenerse en cuenta en las simulaciones con HS1, HS2 y HS3.



**Figura 1.** Esquema electrónico y realización práctica del circuito KSS

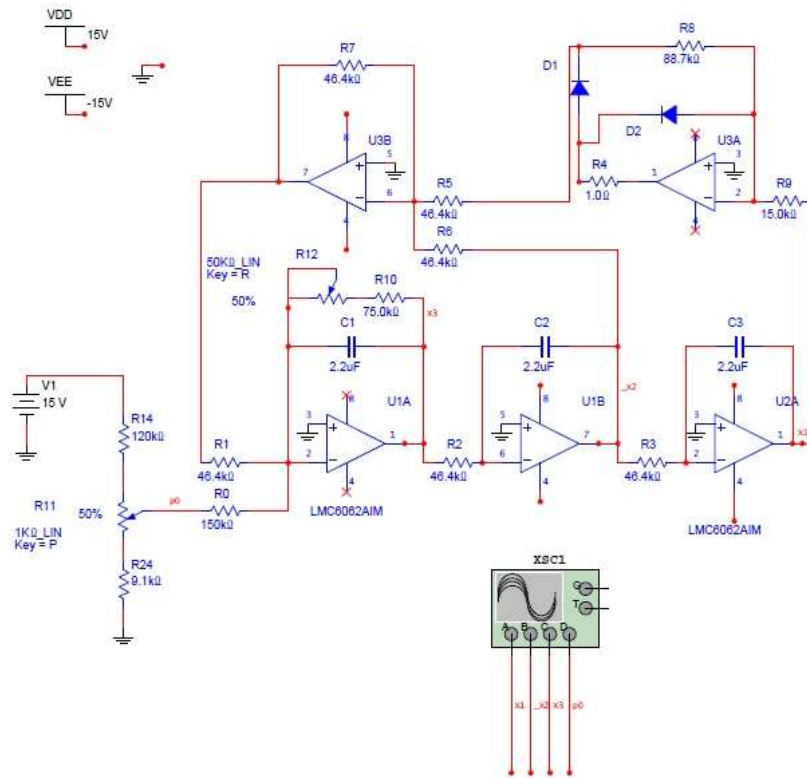


Figura 2. Realización del circuito KSS mediante HS1 (Multisim)

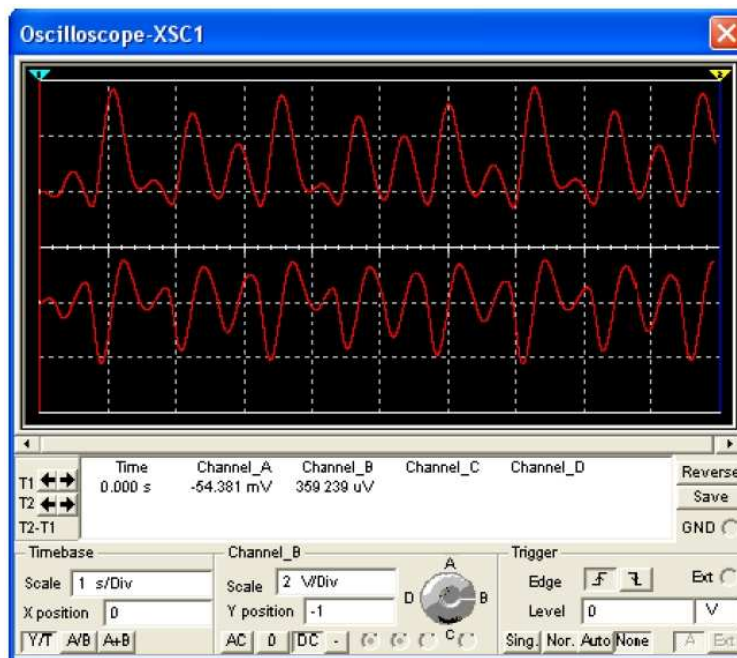
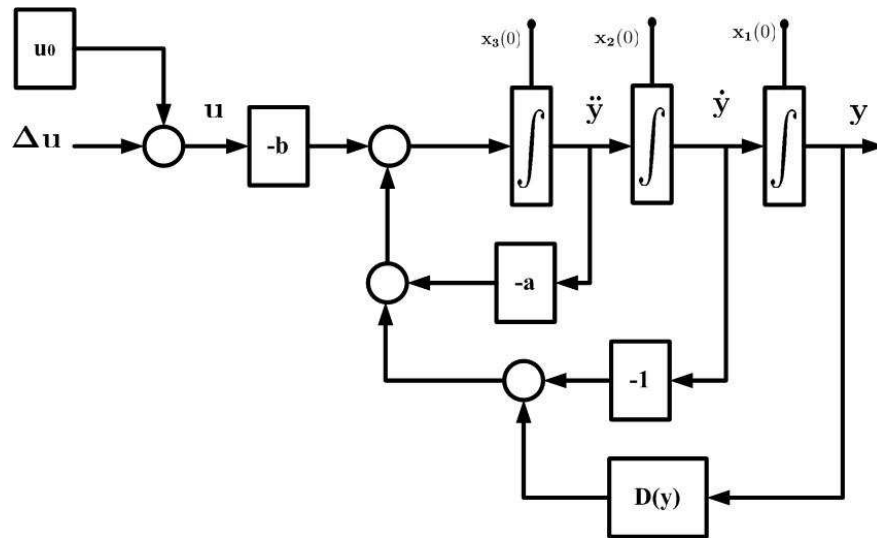


Figura 3. Señales obtenidas del circuito KSS mediante HS1 (Multisim).

En la figura se muestra un diagrama de simulación del sistema que se utiliza para implementarlo mediante en la herramienta de simulación HS2 (Simulink, VisSim o similar). Las condiciones iniciales de las variables de estado se indican mediante  $x_1(0)$ ,  $x_2(0)$ ,  $x_3(0)$ .



**Figura 4.** Diagrama de simulación para implementar el sistema KSS en HS2 (Simulink, VisSim).

Como ilustración del empleo de HS2 y HS3, en lo que sigue se muestra un ejemplo del diagrama de simulación (HS2) y del código de programación (HS3) correspondiente realizado para simular el circuito mediante integración numérica por el método de Euler. El otro algoritmo de integración numérica básico, considerado en nuestro entorno ECHASYSTOOL, es el método de Runge-Kutta de cuarto orden de paso fijo, si bien, aquí sólo se muestra el código del método de Euler por razones de espacio y brevedad. Para ello, previamente se transforma la ecuación diferencial de tercer orden en un sistema de tres ecuaciones diferenciales de primer orden (representación en el espacio de estados). Si se definen las variables de estado del sistema como

$$x_1 = y, \quad x_2 = \dot{y}, \quad x_3 = \ddot{y}$$

se obtiene la siguiente representación en el espacio de estado del sistema:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= x_3 \\ \dot{x}_3 &= -ax_3 - x_2 + D(x_1) - bu \\ D(x_1) &= -d \min(x_1, 0) \end{aligned}$$

donde  $D(x_1)$  es una función no lineal dependiente de la variable de estado  $x_1$ , y se han definido los siguientes parámetros:

$$a = R/R_v, \quad b = R/R_0, \quad d = R_2/R_1$$

A partir de las ecuaciones de la representación de estado del sistema, los pasos básicos para llevar a cabo la simulación en HS3 (C/C++, programación en Matlab, o similar) serían:

1. Asignación de parámetros del circuito e inicialización de variables:

```
R=46.6 KOhmios, R0=156.9 KOhmios, R2=88.9 KOhmios, R1=15.1 KOhmios
Rv=80 KOhmios, a=R/Rv, b=R/R0, d=R2/R1
x1_t0=0.05, x2_t0=0.025, x3_t0=0, u_0=1 (voltios)
```

2. Durante la ejecución cada paso de integración (dt):

```
if x1_t < 0 then
    minimo_x_coma_cero=x1_t else    minimo_x_coma_cero=0
end if
delta_u_t=u_t/(-b)
if abs(u_0+delta_u_t) > u_max then
    delta_u_t=sgn(u_0+delta_u_t)*u_max-u_0
end if
D_x1=-d*minimo_x_coma_cero
dx1_t = x2_t, dx2_t = x3_t,
dx3_t = -a*x3_t - x2_t + D_x1 - b*(u_0 + delta_u_t)
x1_tmasdt = x1_t + dx1_t * dt
x2_tmasdt = x2_t + dx2_t * dt
x3_tmasdt = x3_t + dx3_t * dt
```

3. Actualización de variables cada vez que se completa una iteración o paso de integración:

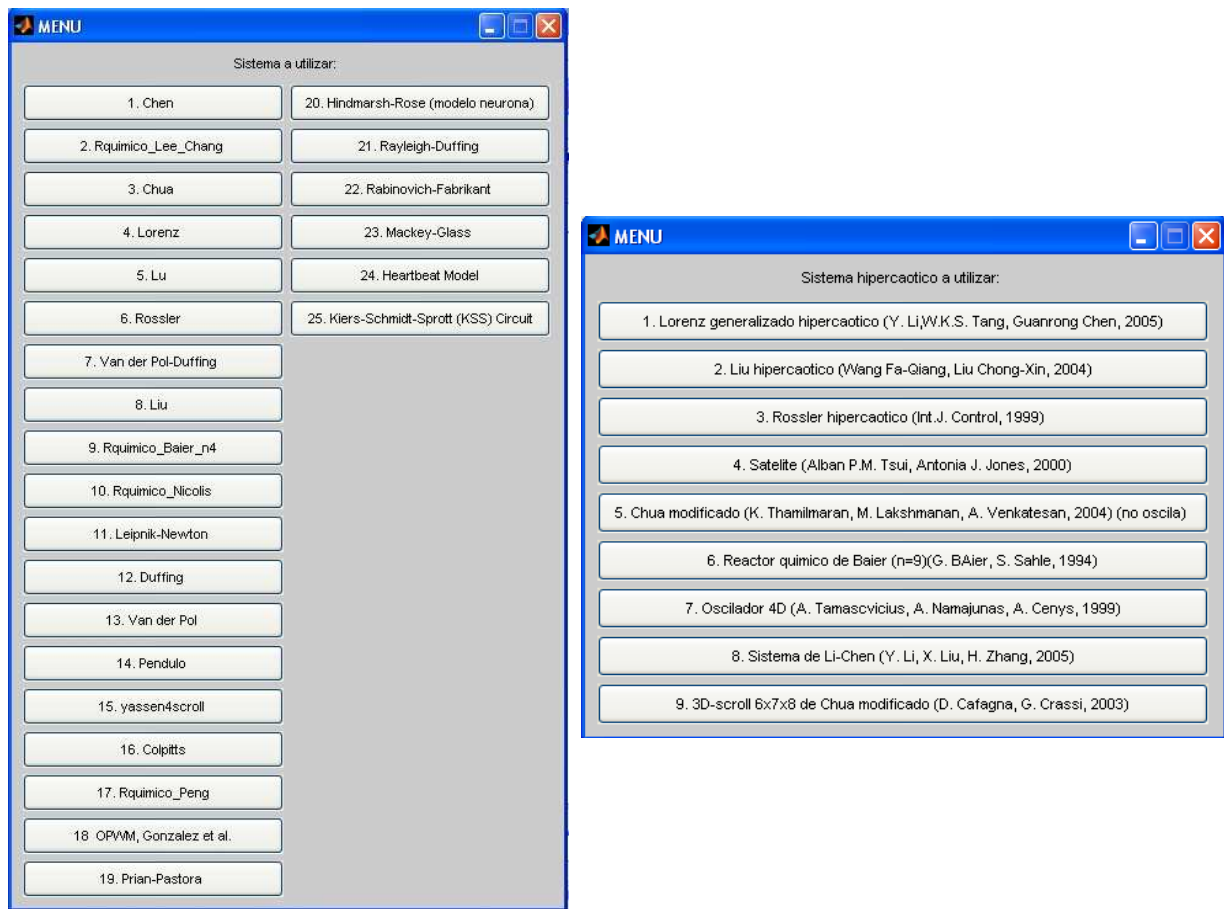
```
x1_t=x1_tmasdt, x2_t=x2_tmasdt, x3_t=x3_tmasdt
```

### Librería de sistemas caóticos

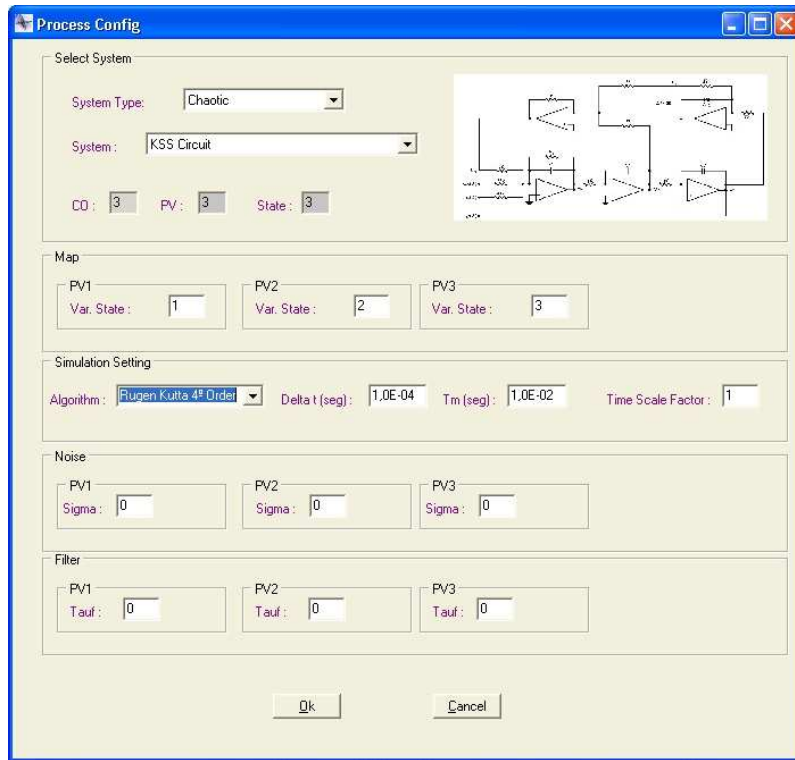
Dentro del entorno ECHASYS Tool incluimos una librería de sistemas caóticos e hipercaóticos (que no necesariamente corresponden a circuitos electrónicos, sino que hay, por ejemplo, reactores químicos, modelo cardíaco, o modelo de neurona) implementados mediante herramientas del tipo HS3 (Control\_Caos.m para Matlab, y la aplicación CHACOSYS Tune realizada en Builder C++), donde los estudiantes pueden elegir un sistema particular, realizar simulaciones y monitorizar el comportamiento dinámico del sistema elegido mediante la visualización de la evolución temporal de las señales, así como también a través de la proyección en un plano de pares de variables de estado seleccionadas. Como actividad una actividad optativa del curso, se plantea la posibilidad de diseñar un circuito electrónico equivalente a partir de las ecuaciones del modelo matemático del sistema. En la figura 5 se muestra una pantalla de la aplicación Control\_Caos.m que hemos realizada para Matlab, donde se puede ver un menú para seleccionar un sistema caótico de una librería compuesta por veinticinco sistemas, y otro menú para elegir entre nueve sistemas hipercaóticos (con al menos dos exponentes de Lyapunov positivos).



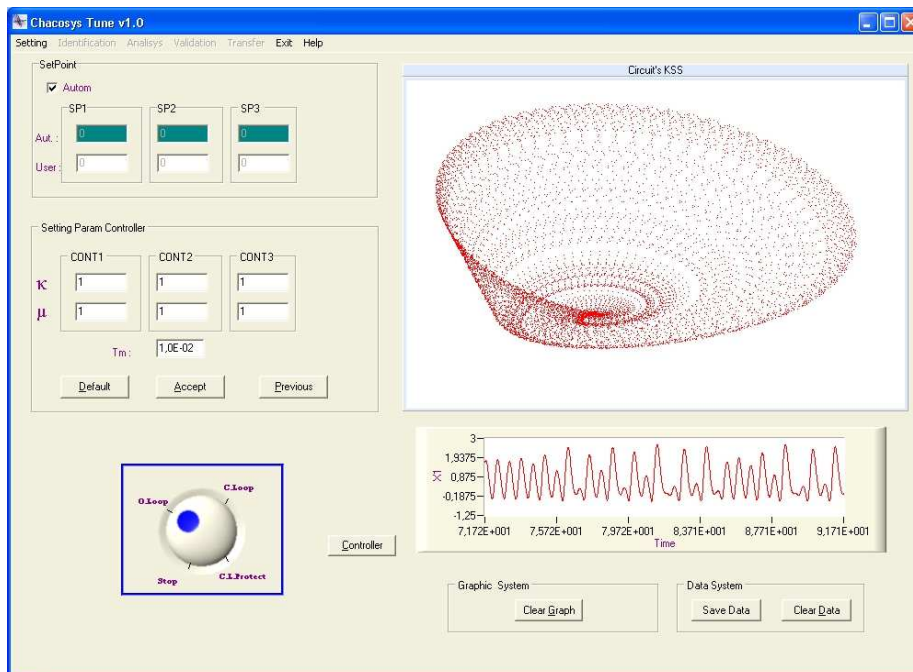
Las figuras 5 y 6 se muestran, respectivamente, una pantalla de configuración y la pantalla con evolución dinámica una vez se ha seleccionado un sistema concreto. Estas pantallas se han corresponden a la aplicación informática CHACOSYS Tune, que estamos desarrollando utilizando Builder C++ [10]. Esta aplicación está diseñada, además de para simulación, para la aplicación de métodos de control de sistemas caóticos en combinación con la plataforma hardware dSPACE DS1104 [12]. En la actualidad CHACOSYS Tune está todavía en fase de desarrollo, por lo que aún no se tiene el 100% de la funcionalidad prevista para poder realizar simulación y control en tiempo real.



**Figura 5.** Pantallas del programa Control\_Caos.m realizado en Matlab. Se muestran los sistemas caóticos e hipercaóticos que forman parte de la librería de sistemas utilizados.



**Figura 6.** Pantalla de CHACOSYS Tune, para configuración del sistema caótico a simular.

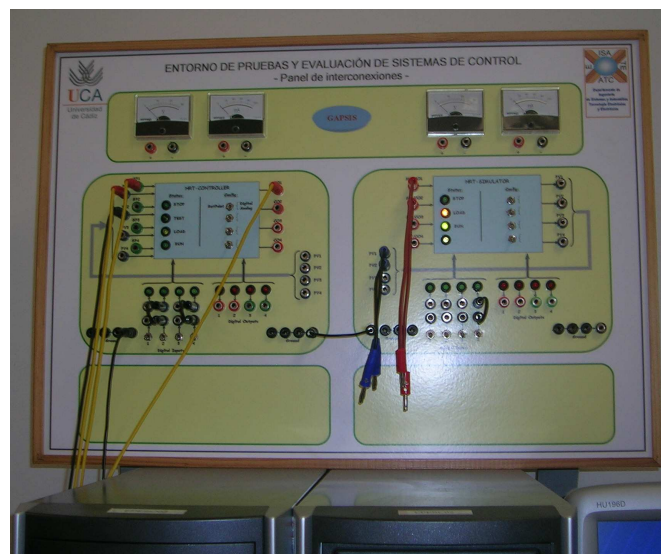


**Figura 7.** Pantalla de CHACOSYS Tune, una vez seleccionado y simulado el sistema KSS.

Para simular en tiempo real (“*Hardware In the Loop Simulation*”, HILS) y probar algoritmos de control para sistemas caóticos [1, 4, 13, 14] se consideran las siguientes opciones:

1. Emplear un equipo tipo PC con tarjeta de adquisición de datos (TAD), y emplear Simulink o VisSim (“real time”) para simular el sistema.
2. Utilizar un equipo tipo PC con tarjeta de adquisición de datos (TAD), y emplear Simulink o VisSim (“real time”) para controlar un sistema caótico, que corresponda a un circuito electrónico real, o a un sistema simulado.
3. Emplear CHACOSYS Tune y dSPACE DS1104 para simular y/o controlar un sistema caótico.
4. Utilizar el entorno EPESC (Entorno de Pruebas y Evaluación de Sistemas de Control) [11] para garantizar simulación y control en tiempo real estricto.

Para poder simular/controlar en tiempo real sistemas con dinámicas excesivamente rápidas, se utiliza una versión del sistema al que se le ha aplicado un escalado temporal; con lo que se puede probar la simulación en tiempo real, y en su caso los algoritmos de control, requiriendo para ello unas frecuencias de muestreo asequibles para las TAD de National Instruments empleadas (NI PCI-6014, NI PCI 6229), así como para el software que tiene que garantizar el determinismo temporal de tiempo real estricto.



**Figura 8.** Panel de conexiones de EPESC (simulación tiempo real estricto).

## 5. Conclusiones

Se presenta un enfoque educativo y didáctico orientado hacia el análisis y diseño de circuitos electrónicos susceptibles de tener un comportamiento caótico. Se emplea un planteamiento que está basado en la simulación multiplataforma y el uso conveniente de múltiples niveles de conocimientos relacionados con la informática, los sistemas dinámicos y la electrónica. Con la ayuda del entorno software/hardware y la metodología que se propone (ECHASYS TOOL) los estudiantes pueden mejorar el

proceso de aprendizaje. Si bien, ECHASYS TOOL no es un programa informático, sino que supone una filosofía de trabajo que utiliza diferentes recursos hardware y software de forma conveniente para conseguir una integración de conocimientos relacionados con la simulación de sistemas. El objetivo es que sirva de ayuda a la formación de los estudiantes en las ramas de ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica e ingeniería informática en el campo de los circuitos electrónicos y sistemas dinámicos, que se caracterizan por presentar un comportamiento caótico para determinadas condiciones iniciales y unos valores de los parámetros dados.

## Referencias

- [1] J. C. Sprott (2003). *Chaos and Time-Series Analysis*. Oxford University Press..
- [2] R. J. Wiener, K. E. Callan, S. C. Hall (2006). *American Journal of Physics*, n. 74, pp 200-2006.
- [3] M. P. Kennedy (1992). *Robust op amp realization of Chua's circuit*. *Frequenz*, vol. 46, no. 3-4, pp 66-80.
- [4] K. Murali,, S. Sinha (2003). *Experimental realization of chaos control by thresholding*. *Physical Review E* 68,
- [5] F. M. Verdulla, M. J. López, M. Prian (2009). *A pulsed control method for chaotic systems*, *IEEE Latin America Transactions*, VOL. 7, NO. 1, pp 1-10
- [6] National Instruments, *Multisim*, [www.ni.com](http://www.ni.com)
- [7] MathWorks, *Matlab*, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)
- [8] MathWorks b, *Simulink*, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)
- [9] Visual Solutions, *VisSim*. <http://www.vissim.us>
- [10] Borland, *Builder C++*, Borland, [www.borland.com](http://www.borland.com)
- [11] L. García, M. J. López, J. Lorenzo (2006). *Hard Real Time Based on Linux/RTAI for Plant Simulation and Control Systems Evaluation*. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, Issue 2, Vol. 1, pp 121-128.
- [12] dSPACE, *DS1104 kit*, [www.dspace.com](http://www.dspace.com)
- [13] G. Chen (1999). *Controlling Chaos and Bifurcations in Engineering Systems*. CRC Press.
- [14] E. Scholl, H. G. Schuster (2008). *Handbook of Chaos Control*. Wiley.