

LOS MODELOS: ENTRE LA FÍSICA, LOS SISTEMAS, LA SIMULACIÓN Y LA VALIDACIÓN

Chury, Mario Hernán Rafael

(GIICMA) Grupo de Investigación en Ingeniería Civil y Medio Ambiente
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia
Salta 277, Concordia, Entre Ríos, Argentina
mrhchury@frcon.utn.edu.ar

Penco, José Jorge

(GIMOSIC) Grupo de Investigación en Modelado, Simulación y Control
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia
Salta 277, Concordia, Entre Ríos, Argentina
jpenco@frcon.utn.edu.ar

Eje Temático: Estrategias didácticas basadas en la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación como recurso didáctico.

Resumen.

El objetivo del presente trabajo es aportar una experiencia sobre el último eslabón en el proceso de análisis de los sistemas dinámicos, la validación del modelo. Para su desarrollo se consideró el péndulo físico como caso de estudio y a partir de la generación de un video de su movimiento mediante un software libre se utilizó la información proporcionada para contrastar con los resultados obtenidos mediante simulación.

La actividad propuesta fue realizada en forma conjunta entre las cátedras de Mecánica Técnica y de Control Automático pertenecientes al segundo y cuarto año de estudios respectivamente, de la carrera de Ingeniería Eléctrica que se desarrolla en la Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional.

Finalmente, al quedar de manifiesto una importante coincidencia de los resultados, no solamente se validó el modelo utilizado, sino que, además, permitió a los estudiantes mejorar la interpretación del fenómeno físico estudiado.

Palabras clave: modelado, variables de estado, simulación, validación, PowerDEVS, Tracker

1. INTRODUCCIÓN

Prácticamente cualquier actividad de ingeniería requiere en uno de sus primeros estadios de la obtención del modelo del sistema bajo estudio, ya que a partir de éste se puede analizar, comprender y luego optimizar su performance de funcionamiento (Gracia Calandín y Pérez Vidal, 2005). Por tal motivo resulta significativo que el estudiante logre desarrollar la habilidad necesaria para poder construir modelos y, fundamentalmente, que pueda luego validar su consistencia con la realidad (Shannon y Johannes, 1976), y con ello pueda detectar variables o parámetros no considerados inicialmente.

Con el transcurso de los años se ha observado una conducta que es necesario revertir, esto es la tendencia a considerar las asignaturas como compartimientos estancos en el contexto general de una carrera, lo que suele provocar una disociación de los conceptos que se aplican a una misma problemática, haciendo que “*las cosas sean según desde que materia se las observa*”.

En este sentido la propuesta fue desarrollada con el objetivo de establecer una vinculación entre los contenidos fisicomatemáticos que sustentan el funcionamiento de los sistemas y dispositivos reales, cuestiones que son abordadas en la asignatura del segundo nivel de la carrera,

con las metodologías utilizadas para ajustar o controlar su operación en base a determinados requerimientos, cuyo estudio se plantea en el cuarto nivel.

Por tal motivo, se planteó una metodología de trabajo a partir de un dispositivo real y tangible, como lo es el sistema del péndulo físico, sobre el cual se realizaron las experimentaciones teniendo en cuenta las leyes físicas que gobiernan su funcionamiento. En primer término, se empleó la técnica conocida en Ingeniería de Control como método de variables de estados. Su utilización permite, una vez obtenido el modelo representado por sus ecuaciones de estado, poder realizar mediante simulaciones diversos experimentos sobre el mismo a partir de la utilización de una computadora conjuntamente con las herramientas específicas de software desarrolladas para el modelado y simulación de sistemas dinámicos. Estas herramientas son comúnmente conocidas como simuladores.

La simulación es un procedimiento que puede utilizarse ventajosamente como puente para vincular el comportamiento propio de un sistema, y el que se pretende lograr a partir de la aplicación de alguna estrategia de control. A pesar de tratarse de dos instancias que se abordan en diferentes momentos de los estudios, se ha observado que a través de la simulación resultó mucho más eficaz la recuperación de los conceptos iniciales para su aplicación en la segunda etapa. Sin embargo, a pesar de ser un proceso actualmente aceptado para validar modelos físicos, la misma suele estar circunscripta al entorno informático donde se ejecuta el software que la realiza, y por lo tanto conlleva un importante nivel de abstracción. Esta particularidad, muchas veces, aleja al estudiante de la realidad por cuanto no puede interactuar con los dispositivos reales, dado que hacerlo de esta forma implica disponer, además, de numerosos y costosos sensores e instrumentos para poder medir y visualizar las magnitudes en juego.

Como alternativa intermedia a la problemática citada, se desarrolló la estrategia de grabación de un video para registrar la evolución del movimiento del dispositivo en estudio durante el transcurso de algunos segundos. Posteriormente mediante la utilización de un software específico para el procesamiento de imágenes, denominado Tracker, se procesó dicha grabación obteniéndose un análisis completo del movimiento, proporcionando una variante posible para la validación del modelo desarrollado. Tracker es una herramienta gratuita para análisis y modelado de video, basado en el framework Java Open Source Physics (OSP), diseñado para ser utilizado en la enseñanza de la física (Brown y Wolfgang, 2011).

2. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA Y RESULTADOS

La estrategia propuesta, gira en torno al modelado, simulación y principalmente la validación del modelo obtenido de un péndulo físico real perteneciente al laboratorio de Ciencias Básicas, Figura 1, el cual fue entregado previamente a los alumnos.



Figura 1. Péndulo físico experimental

Para llevar a cabo esta tarea, se solicitó a los estudiantes que investigaran y elaboraran el modelo correspondiente a este dispositivo mecánico, mediante las ecuaciones diferenciales que explican su funcionamiento interpretando los fenómenos físicos involucrados.

En particular se promovió el modelado en el espacio de estados ya que se trata de un concepto de tratamiento y representación de sistemas en el dominio del tiempo ampliamente

utilizado en la actualidad debido a que la tendencia moderna en la ingeniería se orienta hacia los sistemas con mayor complejidad, debido principalmente a los requerimientos cada vez más restrictivos y a la necesidad de mayores niveles de precisión, asistidos por la facilidad del acceso a herramientas informáticas con alto poder de computación.

La herramienta informática propuesta fue el programa PowerDEVS[®], por ser una alternativa no comercial de Matlab/Simulink[®], para la construcción y simulación de modelos en espacio de estados, para representar fenómenos o propiedades físicas de los sistemas, permitiendo interactuar con sus variables y evaluar su desempeño frente a distintos escenarios de funcionamiento. PowerDEVS[®] es un paquete de software para modelado y simulación gráfica de sistemas dinámicos basada en el formalismo DEVS (Discrete Event System Specification) desarrollado en el instituto CIFASIS (Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y Sistemas) del CONICET (Pagliero et al., 2003).

2.1 Péndulo físico

Un péndulo físico se compone de una bola de masa m situada en el extremo de una barra de longitud l y cuya masa se considera despreciable. Además, este sistema tiene un momento de inercia J , un coeficiente de fricción viscosa B y el ángulo φ girado es la variable del sistema, Figura 2.

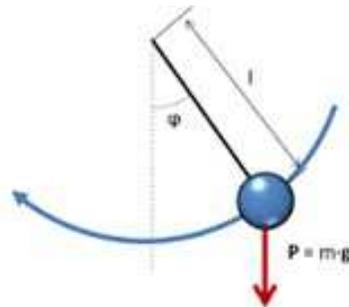


Figura 2. Sistema de péndulo físico

Para la obtención del modelo matemático de este sistema físico, se utiliza la expresión general de la segunda ley de Newton

$$\sum \tau = J \alpha \quad (1)$$

donde $\sum \tau$ engloba los pares motrices y resistentes que actúan sobre dicho sistema.

Haciendo uso de la ecuación (1)

$$-B \frac{d\varphi}{dt} - mgl \text{sen}(\varphi) = J \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (2)$$

manteniendo la aceleración angular en el primer miembro y dividiendo por J se obtiene la ecuación diferencial que gobierna el movimiento (3).

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\frac{B}{J} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{mgl}{J} \text{sen}(\varphi) \quad (3)$$

Definiendo las siguientes variables de estado

$$\begin{cases} X_1 = \varphi \\ X_2 = \frac{d\varphi}{dt} \end{cases} \quad (4)$$

y reescribiendo la ecuación (3) en base a estas nuevas variables, se obtiene el modelo matemático en el espacio de estados del sistema físico bajo estudio.

$$\begin{cases} \dot{X}_2 = \frac{B}{J} X_2 - \frac{mgl}{J} \text{sen}(X_1) \\ \dot{X}_1 = X_2 \end{cases} \quad (5)$$

Para realizar las simulaciones el modelo matemático (5) se debe convertir a un diagrama de bloques asociado, e implementarlo en el espacio de trabajo de PowerDEVS®, Figura 3.

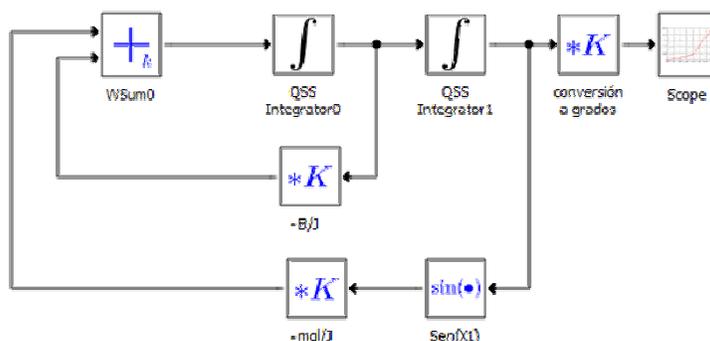


Figura 3. Diagrama de bloques en el entorno PowerDEVS®

2.2 Experimentación 1

Para predecir el comportamiento dinámico de este sistema, según lo establecido por el modelo de estado obtenido en la ecuación (5), se asignaron los valores de los parámetros reales del péndulo físico bajo estudio

$$l = 0.145m \quad g = 9.8 \frac{m}{s^2} \quad m = 0.050kg \quad J = ml^2 = 0.00105kgm^2$$

y las condiciones iniciales, tanto de posición como de velocidad angular, con los valores

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2} rad \quad \omega_0 = \frac{d\varphi}{dt_0} = 0$$

El parámetro B que representa el coeficiente de fricción viscosa (modelado en este caso como el rozamiento conjunto del rodamiento del eje del péndulo y la resistencia del aire sobre la masa) no resulta de fácil obtención, por lo que para subsanar este inconveniente se procedió a realizar una experimentación previa grabando un video de la evolución del movimiento del péndulo real bajo estudio durante algunos segundos. Posteriormente mediante la utilización del software Tracker, se procesó dicha grabación obteniéndose un análisis completo de su movimiento angular. El análisis obtenido con este método arrojó los datos que permitieron construir la curva de evolución angular mostrada en la Figura 4.

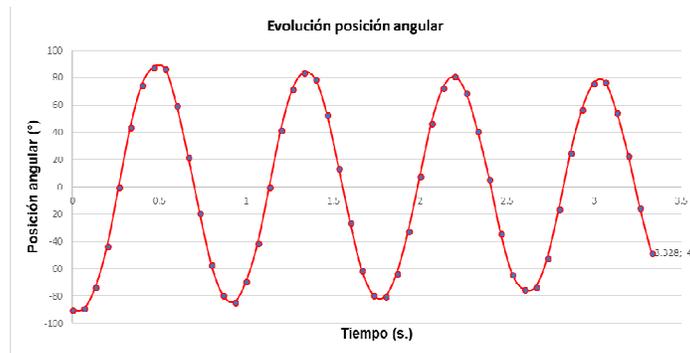


Figura 4. Evolución posición angular obtenida por procesamiento de imágenes en la experimentación 1

Luego se procedió a realizar la simulación con el modelo cargado en el espacio de trabajo de PowerDEVS con los parámetros definidos anteriormente y variando el parámetro B hasta conseguir la coincidencia de las evoluciones temporales, tanto de la simulada como de la real, obtenida a través del video grabado. Así, el valor del coeficiente de rozamiento viscoso determinado resultó ser:

$$B = 0.00009 \frac{Ns}{rad}$$

La evolución temporal de la posición angular para este valor del parámetro B se observa en la Figura 5.

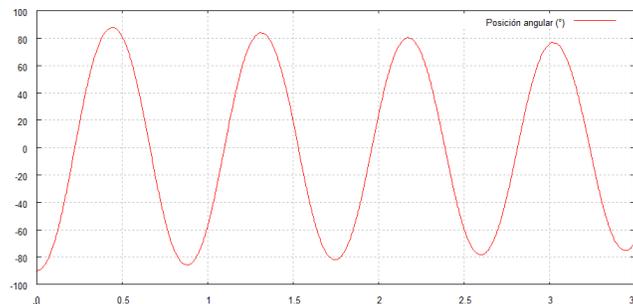


Figura 5. Evolución temporal de la simulación en la experimentación 1

El error cometido, por medio de este procedimiento alternativo para la medición de la posición angular del péndulo real, dependerá de la cantidad de cuadros por segundos que la cámara empleada pueda capturar. En este caso se utilizó una cámara con 15 f/s (frames per seconds) o sea que produce un cuadro cada 66 milisegundos.

Experimentación 2

Dado que la primera experimentación solo sirvió para la determinación del parámetro B no conocido, se realizó un segundo experimento modificando únicamente la posición de la masa del péndulo real a la distancia $l = 0.10 m$.

De manera análoga a la anterior, se procedió a grabar un nuevo video del movimiento del péndulo real y posteriormente se procesaron las imágenes. Se obtuvo la siguiente evolución temporal, Figura 6.

Realizando a continuación la simulación con el nuevo valor del parámetro de longitud de la barra, se obtuvo la siguiente representación temporal, Figura 7. Como puede observarse, ambas curvas son semejantes, validando por lo tanto el modelo matemático encontrado correspondiente al péndulo físico real.

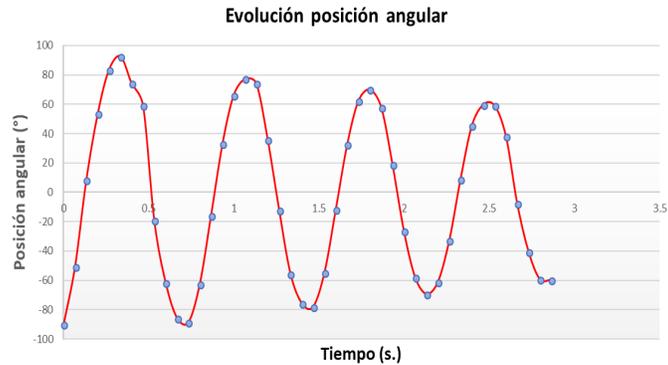


Figura 6. Evolución posición angular obtenida por procesamiento de imágenes en experimentación 2

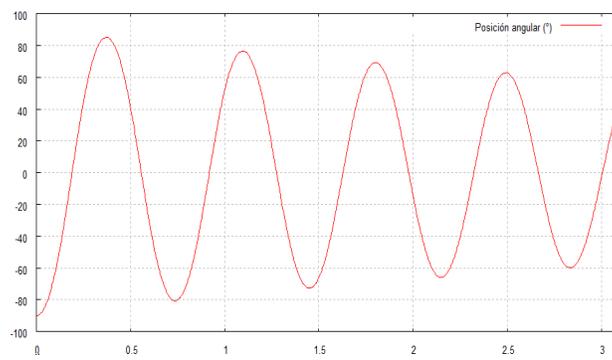


Figura 7. Evolución temporal de la simulación en la experimentación 2

3. CONCLUSIONES

Las comparaciones realizadas respecto de los datos obtenidos por ambos procedimientos, esto es, la simulación pura y la información obtenida a partir de un video tomado desde el dispositivo real del laboratorio demostraron una importante coincidencia de los resultados. Esto no solamente permitió validar el modelo desarrollado, sino que, además, posibilitó a los estudiantes mejorar la interpretación del fenómeno físico analizado.

Con respecto a los errores cometidos en la determinación de la evolución temporal y del coeficiente **B** del péndulo físico real, por medio de la utilización de la grabación del video, puede mejorarse usando cámaras de uso normal de HD (High Definition) que disponen la capacidad de generar 120 f/s, reduciendo el tiempo a 8 milisegundos entre mediciones sucesivas.

BIBLIOGRAFÍA

Brown, D., Wolfgang, C. (2011). *Simulating what you see: combining computer modeling with video analysis*. MPTL 16-HSCI 2011, Ljubljana, Sept. 2011.

Gracia Calandín, L. I., Pérez Vidal, C. (2005). *Modelado de sistemas dinámicos*, San Vicente, España, Editorial Club Universitario.

Pagliari, E., Lapadula, M., Kofman, E. (2003). *PowerDevs. Una herramienta integrada de simulación por eventos discretos*. Reunión de Procesamiento de la Información y Control RPIC, I, 316-321.

Shannon, R., Johannes, J. (1976). *Systems simulation: the art and science*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 6(10), 723-724.