

CB 01**SIMULADOR DISEÑADO EN SOFTWARE LIBRE PARA RELACIONAR
CONCEPTOS DE TRANSFORMADA DE LAPLACE Y SU CORRELATO EN EL
TIEMPO****Griselda I. CISTAC, Rubén H. BONGIANINO****Facultad de Ingeniería -UNLPam**
Calle 110 N° 390 - Gral. Pico - La Pampa
cistacg@ing.unlpam.edu.ar bongianino@ing.unlpam.edu.ar

Palabras Clave: Laplace, simulador, motivación, raíces complejas, gráficos, sistema mecánico.

RESUMEN

Se presenta la descripción y utilización de un simulador diseñado empleando software libre (EASY JAVA Simulation) que será utilizado en clases de Análisis III, y posibilitará al aplicar los conceptos teóricos a sistemas físicos o procesos reales una mejor internalización e interpretación de los mismos por parte del estudiante. La herramienta elegida para llevarlos a cabo es el simulador realizado sobre un sistema mecánico formado por una masa, un resorte y un amortiguador. Antes de utilizarlo el estudiante deberá analizar las leyes físicas del proceso a simular resolviendo la ecuación diferencial que resulte, aplicando los conceptos y propiedades derivados de la Transformada de Laplace (tema en estudio). Ingresados los parámetros del sistema físico la simulación posibilitará visualizar las variables asociadas a desplazamiento, velocidad y aceleración mediante pantallas gráficas permitiendo corroborar los conceptos teóricos, y a la vez facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en 'lápiz y papel'. La simulación involucrará al estudiante en su propio proceso de aprendizaje generando interés y motivación durante el desarrollo de la misma, permitiendo que los conceptos adquiridos en ese estado forjen conocimientos estables y duraderos.

INTRODUCCIÓN

La propuesta de trabajo tiene como punto de partida presentar al estudiante un sistema físico, que sea capaz de evaluar, de modo de resolver la ecuación diferencial que lo modela utilizando como herramienta la Transformada de Laplace. El sistema físico elegido es el correspondiente a un vehículo que puede ser modelado por una ecuación diferencial de segundo orden. Las actividades se llevan a cabo en las clases de Análisis III de modo de presentar aplicaciones reales al tema en estudio que le permita al estudiante relacionar los resultados obtenidos en el dominio transformado con la evolución de dichas variables en el dominio temporal. Al obtener una solución que es función del tiempo uno puede representar la misma de distintos modos: graficándola manualmente, utilizando planillas de cálculo, o mediante las simulaciones. El incorporar las simulaciones tiene entre sus objetivos lograr una mejor internalización de conceptos, integración de distintas áreas del conocimiento considerando a la herramienta virtual como un disparador para potenciar el proceso de enseñanza-aprendizaje, postura compartida con (González, E., Cernuzzi, L. 2009)

Las mismas se pueden llevar a cabo utilizando software comerciales o de uso libre. Entre los disponibles en el mercado pueden obtenerse las visualizaciones en pantallas gráficas una vez ingresados los parámetros del sistema físico como puede ser el software Matlab-Simulink[®],

otra posibilidad es la que se va a describir en este trabajo y es un simulador desarrollado utilizando software libre para un sistema físico particular. Este simulador permite visualizar los parámetros de interés en pantallas gráficas.

Cualquiera sea el modo de obtener la representación gráfica, disponer de la misma permite realizar una mejor interpretación del fenómeno internalizándolo de modo de relacionar las posibles variaciones de las variables de interés ante los cambios de algunos parámetros en particular. La propuesta didáctica presentada a través del diseño de una herramienta virtual permitirá lograr que se comiencen a desarrollar distintas capacidades desde los primeros años de la carrera. Esto es factible debido a que la evolución de la tecnología en los últimos años ha posibilitado la creación de herramientas didácticas que se han ido incorporando en el proceso de enseñanza-aprendizaje enriqueciendo el mismo (Luengas, L., Guevara, J., Sánchez, G. 2009). La transmisión del conocimiento se ha modificado con las nuevas tecnologías ya que elegidas y aplicadas adecuadamente hacen eficiente la labor de enseñar y aprender. (López Ornelas, M. 2008).

OBJETIVOS

El estudiante de Ingeniería cuando analiza un proceso debe analizar las leyes físicas que lo rigen y aplicar los conceptos matemáticos de modo de lograr su objetivo. Cuando aprende los conceptos matemáticos los mismos se logran internalizar e interpretar mejor si son aplicados a sistemas físicos o procesos reales que pueda ser capaz de analizar. Teniendo presente esa idea se elige un sistema físico que esté en condiciones de analizar de modo tal que aplique la teoría correspondiente al tema en estudio (Transformada de Laplace) y a la vez posibilite una variedad de respuestas. La aplicación de los conceptos se llevará a cabo utilizando el simulador diseñado a tal fin.

Los objetivos a alcanzar por parte del estudiante con la utilización del simulador son:

- permitir corroborar los conceptos teóricos,
- facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en 'lápiz y papel',
- posibilitar trabajar con todas las soluciones posibles del sistema físico planteado.
- integrar distintas áreas,
- inferir a partir de la forma de la respuesta obtenida en el simulador cuales fueron las raíces que dieron origen a la misma,
- posibilitar la utilización del mismo a través de Internet o desde la propia PC del estudiante.

Elegir la simulación como instrumento para lograr los objetivos planteados se sustenta en que la utilización de sistemas multimedia, entornos virtuales de aprendizajes, simulaciones que posibiliten la implicación del alumnado, seleccionados y preparados adecuadamente pueden contribuir a aumentar la potencialidad formativa de las prácticas docentes ofreciendo un instrumento valioso para apoyar procesos de aprendizajes significativos para obtener ambientes educativos de calidad. González, E., Cernuzzi, L. (2009). Marques, P. (2002). A su vez se debe tener presente que la gestión del conocimiento en las instituciones educativas debe ser mediada por nuevas formas y nuevas tecnologías, pero desde la reflexión-acción que permita la identificación de las necesidades, del recurso humano y de los valores intrínsecos de los sujetos y la institución. Sánchez Asín, A.; Boix Peinado J.L., Jurado De Los Santos, P. (2009).

MARCO TEORICO

El sistema físico elegido para trabajar es el compuesto por una masa m , un resorte cuya constante elástica es k y una fricción viscosa b . La elección del mismo se basa en las distintas

soluciones que puede adquirir la posición (de acuerdo a la combinación de los valores de m , k , b) que se traducen en diferentes formas a lo largo del tiempo. La representación del sistema se muestra en la figura 1.

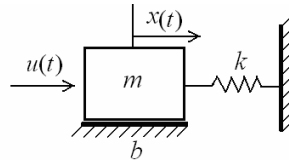


Figura 1

Del planteo de la Ley de Newton se obtiene la ecuación (1)

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + k x = f(t) \quad (1)$$

donde $x(t)$ representa la posición de la masa, su derivada primera respecto del tiempo la velocidad y su derivada segunda respecto del tiempo la aceleración.

Aplicando Transformada de Laplace se obtiene la ecuación (2) donde $F(s)$ es la señal transformada de la entrada, y $X(s)$ la señal de salida transformada, quedando:

$$m[s^2 X(s) - s x(0) - \dot{x}(0)] + b[s X(s) - x(0)] + k X(s) = F(s) \quad (2)$$

A partir del desplazamiento de la masa en el dominio transformado de Laplace se puede evaluar el mismo ante distintas señales de entrada aplicando la Transformada Inversa de Laplace (Antitransformada) a la ecuación (2). Es importante conocer la expresión de la posición (desplazamiento) pues a partir de ella se pueden evaluar su velocidad y aceleración posibilitando obtener no sólo la información cinemática, sino también las condiciones dinámicas.

La evolución temporal de la posición del sistema mecánico de traslación, se resolverá en el caso particular donde la fuerza aplicada es de valor constante en el tiempo. La elección de la fuerza constante conjuntamente con los valores del sistema físico (m , k , b) definen la forma de la evolución de la posición del sistema y de sus variables derivadas (velocidad, aceleración).

Recordando que la función transferencia (FT) es el cociente entre la Transformada de Laplace de la señal de salida con respecto a la Transformada de Laplace de la señal de entrada con condiciones iniciales (CI) nulas, al aplicar el mismo a la ecuación (2) queda la ecuación (3)

$$m s^2 X(s) + b s X(s) + k X(s) = F(s) \quad (3)$$

La FT que relaciona la posición de salida con la fuerza de entrada es:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{m s^2 + b s + k} \quad (4)$$

Si $f(t) = A$ su Transformada de Laplace es $F(s) = A/s$ con lo cual la ecuación (4) para hallar $X(s)$ se transforma en:

$$X(s) = \frac{1}{m s^2 + b s + k} \frac{A}{s} \quad (5)$$

Del análisis de la posición en el dominio transformado ecuación (5) se observa que la misma posee tres raíces en el denominador (una correspondiente a la fuerza aplicada y las otras al sistema físico).

Trabajando la ecuación (5) de modo que el coeficiente de la potencia cuadrática sea igual a uno se obtiene la ecuación (6)

$$X(s) = \frac{A/m}{s^2 + \frac{b}{m}s + \frac{k}{m}} * \frac{1}{s} \quad (6)$$

Las raíces de la ecuación cuadrática de las ecuaciones (5) y (6) relacionan al sistema físico bajo estudio mediante los valores de (m, b, k). De los distintos valores del sistema físico se obtendrán las distintas posibles soluciones a la ecuación cuadrática. Los distintos casos serán referenciados de la siguiente manera:

- Caso a) raíces complejas conjugadas
- Caso b) raíces reales y coincidentes
- Caso c) raíces reales y distintas

Se identificará como caso particular a aquella solución donde las raíces son imaginarias puras, siendo este el caso d).

La ecuación (6) se reescribirá de la siguiente manera:

$$X(s) = \frac{A/m}{s (s^2 + 2 \xi \omega_n s + \omega_n^2)} \quad (7)$$

El definir los valores de la ecuación (7) mediante los parámetros ξ , ω_n (coeficiente de amortiguamiento respectivamente y frecuencia natural respectivamente) es de particular interés cuando en la resolución de la cuadrática se obtienen raíces complejas conjugadas debido a la forma particular de la evolución de la señal de salida, en este caso la posición de la masa $x(t)$. La solución de la ecuación cuadrática de la ecuación (7) es:

$$s_{1,2} = \frac{-2 \xi \omega_n \pm \sqrt{4 (\xi \omega_n)^2 - 4 \omega_n^2}}{2} = -\xi \omega_n \pm \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1} \quad (8)$$

Cuando $\xi^2 < 1$ las raíces de la ecuación (8) son complejas conjugadas (identificando a la variable compleja 'j'), se pueden escribir de la siguiente manera ecuación (9):

$$s_{1,2} = -\xi \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} = -\sigma \pm j \omega_d \quad (9)$$

La representación de dichas raíces en el plano s de Laplace se muestra en la Figura 2:

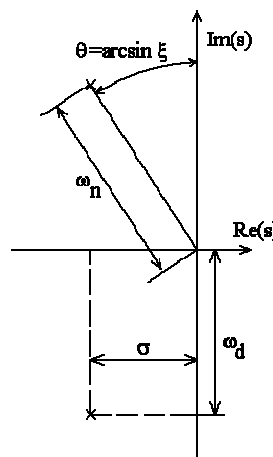


Figura 2: Raíces en el plano Transformado de Laplace

Para hallar la evolución temporal de la posición $x(t)$ se aplica la Transformada Inversa de Laplace (Antitransformada) a $X(s)$ dada por la ecuación (7) obteniéndose la ecuación (10) correspondiendo la misma al caso a):

$$x(t) = \frac{A}{m \omega_n^2} \left[1 - e^{-\xi \omega_n t} \left(\cos \omega_d t + \frac{\xi \omega_n}{\omega_d} \operatorname{sen} \omega_d t \right) \right] \quad (10)$$

Caso b)

Recordando que se definió dicho caso como aquel donde las raíces son reales y coincidentes, la solución a la ecuación (8) se transforma en la ecuación (11)

$$s_{1,2} = \frac{-2\xi\omega_n \pm \sqrt{4(\xi\omega_n)^2 - 4\omega_n^2}}{2} = s_1 = s_2$$

$$s_1 = s_2 = -\xi\omega_n \quad (11)$$

Procediendo del mismo modo que en el caso a) para obtener la ecuación (10), se obtienen la ecuación (12).

$$x(t) = \frac{A}{m \xi^2 \omega_n^2} \left[1 - \xi \omega_n e^{-\xi \omega_n t} + t e^{-\xi \omega_n t} \right] \quad (12)$$

Caso c)

Este es el que corresponde al definido por aquel en que las raíces son reales y distintas, en cuyo caso la solución de la ecuación (8) se transforma en la ecuación (13).

$$s_{1,2} = \frac{-2\xi\omega_n \pm \sqrt{4(\xi\omega_n)^2 - 4\omega_n^2}}{2} =$$

$$s_1 = -\xi\omega_n + \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}$$

$$s_2 = -\xi\omega_n - \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1} \quad (13)$$

Procediendo del mismo modo que en el caso a) para obtener la ecuación (10), se obtienen la ecuación (14).

$$x(t) = \frac{A}{m \omega_n^2} \left[1 - \frac{e^{-(\xi\omega_n - \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1})t}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}(\xi - \sqrt{\xi^2 - 1})} + \frac{e^{-(\xi\omega_n + \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1})t}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})} \right] \quad (14)$$

La ecuación (14) expresada en función de los valores definidos como s_1 y s_2 queda explicitada en la ecuación (15).

$$x(t) = \frac{A}{m \omega_n^2} \left[1 - \frac{e^{-s_1 t}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}(\xi - \sqrt{\xi^2 - 1})} + \frac{e^{-s_2 t}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})} \right] \quad (15)$$

Caso d)

Se tomará como un caso especial aquel donde las raíces son complejas conjugadas puras, es decir la parte real es igual a cero y se lo denominará caso d).

En este caso la ecuación (8) se presentó de modo de dejar explicitada su parte compleja mediante la ecuación (9).

$$s_{1,2} = -\xi \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} = -\sigma \pm j\omega_d$$

En este caso particular anulando la parte real la solución a la ecuación (9) queda la ecuación (16)

$$\begin{aligned} s_{1,2} &= \pm j \omega_n \\ s_1 &= + j \omega_n \\ s_2 &= - j \omega_n \end{aligned} \quad (16)$$

En la solución de $x(t)$ obtenida en la ecuación (10) al anular la parte real (debido a que $\xi=0$) se obtiene la ecuación (17).

$$x(t) = \frac{A}{m \omega_n^2} [1 - \cos \omega_d t] \quad (17)$$

Este caso se analiza como uno particular del caso a) debido al que el tipo de respuesta obtenido es oscilatorio puro.

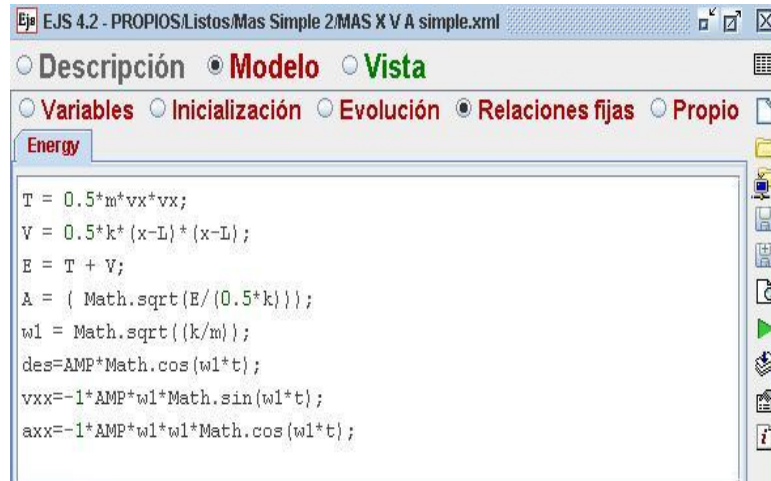
La representación gráfica de la forma de la respuesta del sistema (o sea la evolución de la posición de la masa) depende de los valores particulares de: la masa, la constante elástica del resorte y la fricción. Éstos son los responsables de las distintas posibles soluciones de la ecuación cuadrática (6). La expresión de $x(t)$ se puede graficar dando valores en una planilla de hoja de cálculo o se pueden utilizar herramientas virtuales.

Durante el proceso de enseñanza-aprendizaje el utilizar herramientas interactivas que involucran distintos sentidos teniendo presente los sostenido por Rennola Alarcón, L. (2006) cuando expresa: “Wolf (1996) en su trabajo Teaching Transport Phenomena with Interactive Computers to the Nintendo Generation sostiene que la percepción sensorial puede aumentar desde un 20 % cuando es sólo auditiva, hasta un 80% si se incluye un elemento interactivo”. El utilizar herramientas virtuales para realizar simulaciones del sistema bajo estudio se puede llevar a cabo utilizando software comerciales como puede ser el Matlab-Simulink® o como se presentará en este trabajo uno desarrollado para tal fin. Cualquiera se la opción a utilizar para desarrollar la simulación se debe tener presente que la utilización de sistemas multimedia, entornos virtuales de aprendizajes, simulaciones que posibiliten la implicación del alumnado, seleccionados y preparados adecuadamente pueden contribuir a aumentar la potencialidad formativa de las prácticas docentes ofreciendo un instrumento valioso para apoyar procesos de aprendizajes significativos para obtener ambientes educativos de calidad. (González, E., Cernuzzi, L. 2009, Marques, P. 2002).

DESARROLLO PROPUESTA DIDÁCTICA

Cuando el estudiante utiliza el software Matlab-Simulink® es él quien realiza su propio modelo de simulación (ya sea en el dominio transformado utilizando el concepto de Función Transferencia o mediante un diagrama de simulación empleando cadenas de integradores) y visualiza en una pantalla gráfica la evolución temporal de la posición $x(t)$ donde relaciona las distintas formas presentes en la pantalla con las raíces de la ecuación cuadrática. Uno de los inconvenientes de la utilización de software comercial es que la disponibilidad de uso por parte del estudiante se halla restringida a los horarios en que puede acceder a los Centros de Cómputos donde se halla instalado el software y a su vez no se puede acceder por Internet. Teniendo en cuenta los puntos mencionados anteriormente es que se desarrolló un simulador utilizando software libre. De este modo el estudiante no sólo podrá utilizarlo en el Centro de Cómputos sino que además podrá acceder desde la página web de la Facultad o mediante una

copia que se le entregará a cada estudiante para instalar en su PC. Esta posibilidad permitirá al el estudiante regular su propio aprendizaje a la vez que manejará sus propios tiempos. Para poder realizar este simulador bajo estas condiciones de accesibilidad y portabilidad se decidió utilizar como software el **Easy Java Simulations** que es de uso libre. El mismo permite incorporar programación en lenguaje JAVA. Por lo tanto es en este lenguaje en el que se escribió el código fuente que posibilita describir y visualizar el movimiento del sistema físico bajo los cuatro casos teóricos enunciados. En la Figura 3 se presenta la pantalla donde se incorporan las ecuaciones descritas en el marco teórico.



```

EJS 4.2 - PROPIOS/Listos/Mas Simple 2/MAS X V A simple.xml
○ Descripción ○ Modelo ○ Vista
○ Variables ○ Inicialización ○ Evolución ○ Relaciones fijas ○ Propio
Energy
T = 0.5*m*vx+vx;
V = 0.5*k*(x-L)*(x-L);
E = T + V;
A = ( Math.sqrt(E/(0.5*k)));
w1 = Math.sqrt((k/m));
des=AMP*Math.cos(w1*t);
vxx=-1*AMP*w1*Math.sin(w1*t);
axx=-1*AMP*w1*w1*Math.cos(w1*t);

```

Figura 3. Pantalla donde se escriben las ecuaciones del sistema

Para poder realizar la experiencia del caso en estudio, el estudiante deberá seleccionar mediante los cursores deslizables los valores de los parámetros correspondientes a la masa (m), constante elástica (k), y fricción (b) y el valor de la fuerza aplicada (A). En este caso la pantalla es la que se muestra en la Figura 4.

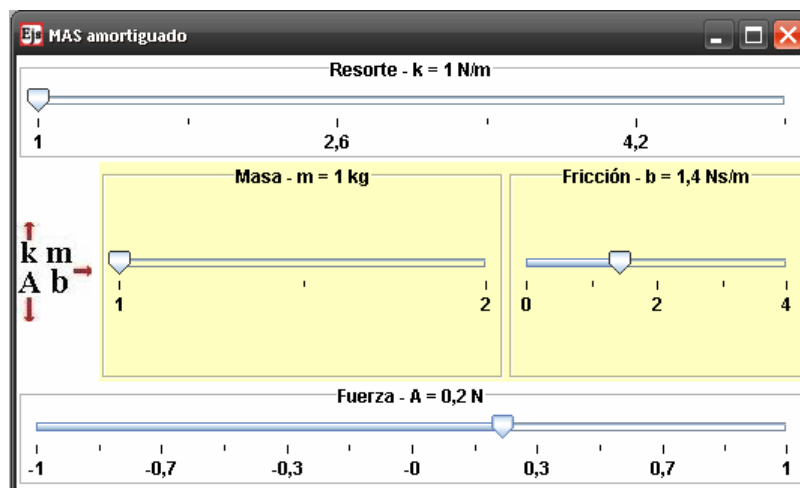


Figura 4. Asignación de valores de parámetros (amplitud, masa, constante elástica)

Una vez seleccionados los valores correspondientes a m , k , b , y A para realizar la simulación correspondiente a esos valores, el simulador internamente evalúa las raíces del sistema (asociadas a la ecuación (6)) y a partir de ellas elige el caso correspondiente (lo que se denominó como caso a), b) y c)). Una vez seleccionado el caso dentro del cual se encuadra, evalúa la posición $x(t)$ siendo la variable independiente el tiempo correspondiendo a las ecuaciones (10), (12) y (15). Cuando se lleva a cabo la simulación en la pantalla se identifica

el caso no como caso a) b) c) y d) sino que se hace referencia directamente a la solución de las raíces, es decir raíces complejas conjugadas, reales y distintas, reales y coincidentes.

Una vez seleccionados los valores y puesta en marcha la simulación, las pantallas principales del simulador se muestran en las Figuras 4 y 5.

La Figura 5 representa lo que se denominará panel de simulación del sistema.

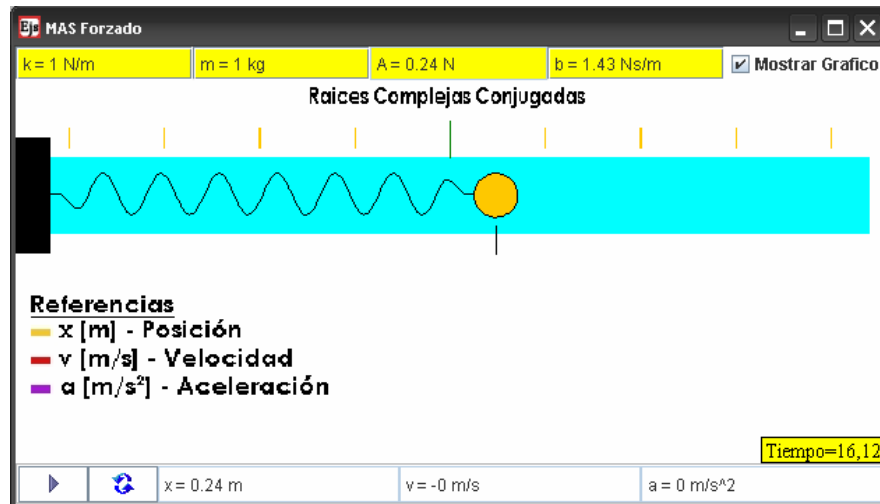


Figura 5. Panel de la simulación

En la Figura 6 se presentan los gráficos correspondientes al desplazamiento, velocidad, aceleración.

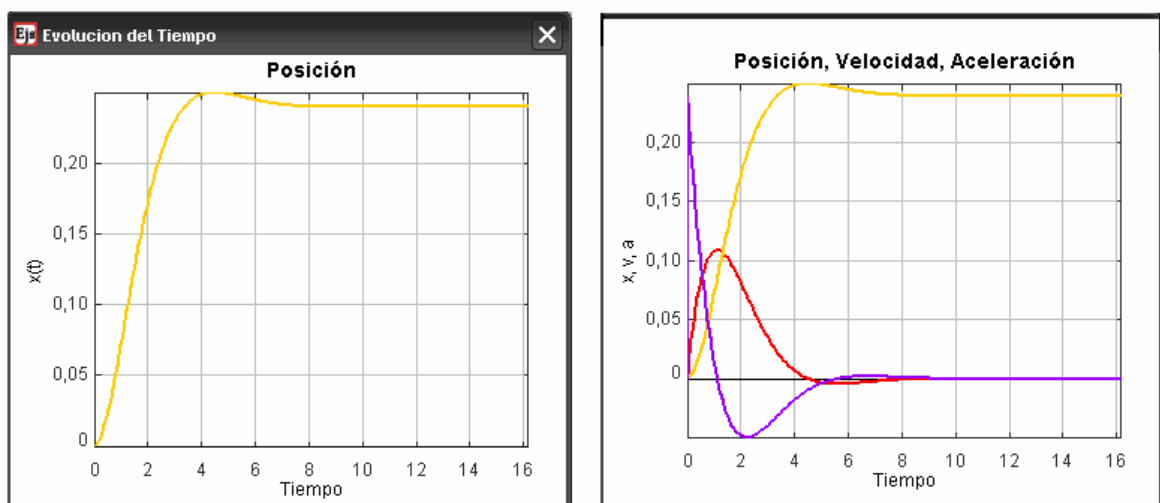


Figura 6. Gráficos obtenidos en la simulación

Si bien el análisis llevado a cabo se basó en la obtención matemática de la posición $x(t)$, para realizar el análisis de la velocidad y aceleración se debe tener en cuenta la velocidad es la derivada de primer orden de la posición y que la aceleración es la derivada primera de la velocidad o derivada de segundo orden de la posición, siendo todas las derivadas respecto del tiempo. Estas ecuaciones no están descriptas en el marco teórico pero sí lo están en el código fuente del simulador. Las unidades asociadas a las variables se hallan expresadas en forma implícita en el **sistema M.K.S.**

En la Figura 5 de la pantalla principal se encuentran los íconos para iniciar, pausar o parar la simulación, los valores ingresados correspondientes al sistema físico como así los valores correspondientes a la posición, velocidad y aceleración durante el tiempo de la simulación. También se puede observar en tiempo real el movimiento de la masa y el resorte, siendo este

movimiento lo que consideraremos más llamativo para el estudiante. Este desplazamiento en el entorno virtual es el mismo que se observaría si se realizara la experiencia en lo que se podría denominar un laboratorio real. En la Figura 6 se presentan la posición, velocidad y aceleración a lo largo del tiempo.

La incorporación del simulador durante el proceso de enseñanza - aprendizaje es el puente para interpretar las distintas soluciones obtenidas en las ecuaciones (10), (12) y (15). Permitirá a su vez relacionar las distintas formas en que evolucionan dichas variables a lo largo del tiempo con las soluciones de la ecuación cuadrática, de modo tal que viendo la gráfica de la posición se podrá inferir el tipo de raíces obtenidas de la ecuación.

Si bien este simulador fue pensado para su utilización en las clases de Análisis III para trabajar la relación entre Transformada de Laplace y su correlato en el dominio temporal, el mismo se podrá utilizar también de modo de: comprobar leyes físicas, realizar experiencias para la medición de parámetros de interés particular, analizar el comportamiento del sistema ante variación de parámetros, entre otros. Su versatilidad posibilitará su utilización en asignaturas de las Ciencias Básicas (Física) o en las Tecnológicas (Electrotecnia) entre otras.

RESULTADOS ESPERADOS

La incorporación del simulador en las clases de Análisis III se espera produzca dos tipos de resultados. Por un lado lo referente a lo teórico-práctico y por otro los aspectos asociados a actitudes y motivaciones generados por la forma de trabajo.

Es de esperar que cuando exista concordancia entre la simulación y el resultado analítico además de comprobarse el mismo, el estudiante expresará alegría y satisfacción. En caso contrario tristeza y frustración hasta llegar al resultado correcto. Las dos situaciones: tristeza y alegría tienen diferentes connotaciones a partir de la motivación que generan. Se pueden distinguir dos formas de motivación intrínseca y extrínseca. (Reeve, 1994). Según Romero Ariza, Pérez Ferreira (2009) se puede realizar un paralelismo entre las dos formas de motivación y la teoría de metas de logro de modo de asociar motivación intrínseca y metas de aprendizaje y motivación extrínseca con metas de resultado o rendimiento. Debido al tipo de emoción que genera la motivación en el estudiante, debe ser cuidadosamente diseñada tanto en contenido como en metodología por el profesor. (Comisión de Modernización Pedagógica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011)

Desde el punto de vista teórico-práctico es de esperar que la utilización del simulador: permita corroborar los conceptos teóricos a la vez que facilite la interpretación de los resultados obtenidos en 'lápiz y papel'. Posibilita trabajar todas las soluciones posibles del sistema físico planteado y al estar internalizados los conceptos teóricos, inferir a partir de la forma de la respuesta obtenida en el simulador cuales fueron las raíces que dieron origen a la misma, a la vez que integra distintas áreas,

El presentar actividades específicamente diseñadas de modo tal que posibiliten la integración de los contenidos trabajados, se debe a que este tipo de actividades activa y sostiene tanto el interés como la motivación de los estudiantes, posibilitando que la adquisición de conocimientos sea estable y duradera, postura compartida por Bono (2010).

REFERENCIAS

- BONO, A. 2010. Los docentes como engranajes fundamentales en la promoción de la motivación de sus estudiantes. Revista Iberoamericana de Educación. 54/2. ISSN: 1681-5653. <http://www.rieoei.org/deloslectores/3273Bono.pdf>
- Comisión de modernización pedagógica de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 2011. Importancia de la motivación en el proceso de aprendizaje. <http://www.eduquemosenlared.com/es/index.php/articulos-psicopedagogos/86-motivacion>

- EASY JAVA SIMULATIONS servidor Web oficial de EJS: <http://fem.um.es/Ejs>. El derecho de copia (copyright) de Easy Java Simulations es exclusivamente de su autor, Francisco Esquembre, quien lo distribuye bajo licencia GNU GPL. <http://www.um.es/fem/EjsWiki/Es/ConditionsOfUse>. El propio EJS y sus ficheros de librería JAR pueden copiarse y distribuirse sin límite y sin permiso previo.
- GONZÁLEZ, E., CERNUZZI, L. 2009. Apoyando el aprendizaje de habilidades empresariales mediante la utilización de un simulador. En J. Sánchez (Ed.): Nuevas Ideas en Informática Educativa, Volumen 5, pp. 8 - 19, Santiago de Chile. Disponible en: http://www.tise.cl/2009/tise_2009/pdf/2.pdf
- LÓPEZ ORNELAS, M. 2008. ¿Porqué hablar de usos educativos en las nuevas tecnologías? [Reseña del libro: Nuevas tecnologías y educación. Diseño, desarrollo, uso y evaluación de materiales didácticos]. Revista Electrónica de Investigación Educativa, 10 (2). Disponible en: <http://redie.uabc.mx/contenido/vol10no2/contenido-lopezornelas.pdf> (ISSN 1607-4041 on line)
- LUENGAS, L., GUEVARA, J., SÁNCHEZ, G. 2009. ¿Cómo desarrollar un Laboratorio Virtual? Metodología de Diseño, En J. Sánchez (Ed.): Nuevas Ideas e Informática Educativa, Volumen 5, pp. 165-170, Santiago de Chile. Disponible en: http://www.tise.cl/2009/tise_2009/pdf/20.pdf
- MARQUES, P. 2002. Buenas prácticas docentes. Disponible en: <http://peremarques.pangea.org/bpracti.htm>
- MATLAB-SIMULINK[®] <http://www.mathworks.com/>
- REEVE, J. 1994 Motivación y Emoción. Mc Graw-Hill. Madrid.
- RENNOLA ALARCÓN, L. 2006. Programa multimedia para la enseñanza de las operaciones unitarias: absorción y extracción líquido-líquido. Educere, Volumen 10, N° 33, pp 327-333. Disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-49102006000200016&lng=es&nrm=iso. (ISSN 1316-4910 on line).
- ROMERO ARIZA, M., PÉREZ FERRA, M. 2009. Motivar a aprender en la Universidad: una estrategia fundamental contra el fracaso académico. Aportaciones de la investigación y la literatura especializada. Revista Iberoamericana de Educación. 50/5.ISSN: 1681-5653. <http://www.rieoei.org/deloslectores/3067Ariza.pdf>
- SÁNCHEZ ASÍN, A., BOIX PEINADO, J. L., JURADO DE LOS SANTOS, P. 2009. La sociedad del conocimiento y las TICS: una inmejorable oportunidad para el cambio docente. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación N° 34; pp:179 – 204. Disponible en: <http://www.sav.us.es/pixelbit/pixelbit/articulos/n34/13.html>