

UN SIMULADOR COMO APOYO VISUAL PARA EL APRENDIZAJE DE LAS TÉCNICAS DEL CONTROL PREDICTIVO

MsC. Jissie Vaquero López

Universidad de las Ciencias Informáticas, Ciudad de la Habana, Cuba, jissie@uci.cu

Dr. Ana Isabel González Santos

ISPJAE, Ciudad de la Habana, Cuba, anita@electronica.cujae.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se presenta un software que en forma de simulador de procesos apoya el aprendizaje de los contenidos relativos a la formulación del control predictivo empleando herramientas de programación, elementos de comunicación y la toolbox MPC de Matlab[®]. A través de este simulador, se podrá presentar y estudiar el control de sistemas haciendo uso de las técnicas de control predictivo, de tal forma que a través de un entorno amigable los estudiantes –ya sea pregrado o postgrado- puedan fácilmente estudiar, conocer, formular y proponer aplicaciones empleando esta estrategia de control avanzado con un acercamiento de cómo es su implementación industrial real.

Palabras Clave: Simulación, Controlador Predictivo, Didáctica, Control Automático, Aplicaciones sobre Web.

ABSTRACT

In this paper is presented a software that supports the learning and training in the formulation of the Predictive Control strategies using programming tools, communication elements and the toolbox MPC of Matlab[®]. Through this simulator, the students will be able to formulate and to study the control of systems making use of the techniques of Predictive Control. In a friendly environment, the students - either pre graduate or post graduate – can study, know, formulate and to propose applications easily using this strategy of advanced control with an approach of how their real industrial implementation.

KeyWords: Simulation, Predictive Controller, Didactics, Automatic Control, Applications on Web.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las diferentes clasificaciones de software educativo, los simuladores constituyen una poderosa herramienta para lograr el cumplimiento de diversos objetivos de enseñanza en varias disciplinas.

La simulación como técnica de enseñanza-aprendizaje surge antes de la aparición de la primera computadora electrónica. En la actualidad el desarrollo de la computación ha permitido que la simulación por computadora ofrezca grandes ventajas en el proceso docente. A través de esta técnica se puede lograr imitar, reproducir, replicar, con un alto grado de similitud, procesos, objetos y fenómenos del mundo real, algunos de los cuales no podrían ser presentados a los alumnos, mucho menos permitirían interactuar con ellos, (Alessi and Trollip, 1985).

Entre las características de los simuladores según (Alessi and Trollip, 1985), se pueden destacar:

- Aumento de la motivación ya que en la misma el estudiante es un participante activo pues con la simulación se posibilita aplicar el principio de “aprender haciendo”.

- Ayuda a construir un modelo mental de parte del mundo real y da la posibilidad de probarlo sin riesgos. Sirve, en ocasiones, para eliminar complicaciones que podrían oscurecer la comprensión de principios más importantes como por ejemplo poner a voluntad escalas de tiempo, lo cual permitiría trabajar con procesos cuya ocurrencia en la vida real sea por escaso tiempo o con una lentitud muy grande para ser observados.
- Es el único modo de suministrar al alumno una visión segura y a un costo razonable de ciertos fenómenos que por coste o por razones de seguridad no pudieran ser mostradas.
- Muchas simulaciones de fenómenos pueden ser realizadas a través de juegos, lo cual aumenta su nivel de aceptación por parte de los alumnos.

Según (Alessi and Trollip, 1985), los simuladores pueden ser divididos en cuatro grupos o categorías las cuales son:

- Simuladores físicos.
- Simuladores procedimentales.
- Simuladores situacionales.
- Simuladores de procesos.

En la primera categoría, o sea, los simuladores físicos, se encuentran aquellos en que un objeto físico es presentado a través de la pantalla para que el estudiante pueda usarlo o aprender de él.

Aunque las simulaciones físicas son muy usuales, generalmente estas juegan un papel secundario y existen para su empleo en simulaciones procedimentales.

Los simuladores procedimentales, más que ser usados para que el estudiante aprenda sobre un objeto físico, proporcionan una vía para que el alumno adquiera los conocimientos y habilidades necesarias para aprender a usarlo.

La tercera categoría, en este caso los simuladores situacionales, son empleados para reflejar las actitudes y el comportamiento del ser humano ante diferentes situaciones y explorar los efectos de diferentes tratamientos de una situación y les posibilitan al estudiante jugar diferentes papeles en la propia simulación por lo que en casi toda simulación situacional el alumno es una parte integrante de la misma y juega uno de los papeles principales.

Por último, las simulaciones de procesos son sistemas en los que el estudiante, a diferencia de las simulaciones situacionales, no juega un papel activo, ni constantemente manipula como en las simulaciones físicas o procedimentales sino que el alumno solamente se limita a seleccionar diferentes valores para cada uno de los parámetros que se contemplan en la simulación y luego observa cómo ocurre el proceso.

En este trabajo se presenta un software para el aprendizaje y desarrollo de habilidades relacionadas con las técnicas de control predictivo, el cual puede ser catalogado como un simulador y dentro de este grupo sus características se ajustan a las de un simulador de procesos pues el sistema se distingue por permitirle al estudiante escoger diferentes valores para cada uno de los parámetros de sintonía del controlador, que intervienen en la representación del modelo a simular, y a partir de ahí observar, para los valores por él escogidos, cómo se modifica el comportamiento en bucle cerrado del sistema, incorporando restricciones sobre las distintas variables y observar cómo el rendimiento del sistema se ve afectado, etc.

Todo lo anterior posibilita que el estudiante explore, a su entera libertad, la relación existente entre los parámetros que intervienen en la representación del modelo seleccionado por él y el gráfico de la función y sus propiedades. Esta exploración, más aún si es orientada hábilmente por el profesor, puede facilitar que el estudiante “descubra” los nexos y relaciones existentes entre los factores del modelo simulado, y podrá modificar los parámetros para obtener la respuesta deseada.

Además el estudiante profundizará y reforzará los conocimientos y habilidades relacionadas con el control predictivo basado en modelos. En este aspecto se debe precisar que si bien existen diferentes teorías de aprendizaje y a pesar de que ninguna ha demostrado ser superior a otra en un análisis minucioso de todos sus

postulados, se considera que en el empleo de este simulador se potencia y por ello se asume la teoría del aprendizaje por descubrimiento.

No obstante lo anterior se quiere dejar claro que el sistema no pretende sustituir la labor del profesor sino brindarle a él y a los alumnos un medio de apoyo que permita facilitar el aprendizaje del tema en cuestión.

Por otro lado, el Control Automático abarca un amplio rango de tópicos, desde las matemáticas, pasando por los procesos y las computadoras. Un ingeniero en control automático debe manejar gran cantidad de conceptos, técnicas e ideas, y lo más importante, ser capaz de aplicarlos a problemas reales de la industria. La necesidad de aportar a los estudiantes una gran base teórica junto con la capacidad de hacer frente a procesos de ingeniería es el principal objetivo de la enseñanza en el control automático. Las ideas, conceptos y métodos del control automático son tan ricos en contenidos visuales que permiten ser presentados intuitivamente y de forma gráfica, para su análisis, estudio, y hasta para su solución.

Los contenidos teóricos de las asignaturas de la carrera de automática pueden ser transmitidos por los docentes de forma tradicional en clase, pero lo que no es sencillo es poder aportar a los alumnos la habilidad e intuición a la hora de hacer frente a los problemas reales. Los simuladores de procesos constituyen un elemento muy potente que permite reflejar la componente visual subyacente al control automático bajo la abstracción de conceptos matemáticos, así como estimular la intuición de los estudiantes. De esta forma un alumno puede trabajar sobre un problema de forma gráfica y observar cómo el cambio en un determinado elemento se ve reflejado de forma inmediata en el resto, cómo si estuviera ante el proceso real.

Desde el punto de vista industrial los objetivos de un fabricante son claros: entregar más y mejores productos, rápido y con un coste menor que sus competidores. Por lo que para él es prioritario conseguir tiempos de ciclo más cortos y más tiempo efectivo de producción. Por tanto, para seguir siendo competitivos en un mercado mundial, las empresas han de reducir su consumo de energía, el uso de materias primas y los costes de distribución, y al mismo tiempo aumentar su productividad.

Las técnicas avanzadas de control actualmente deben estar soportadas por herramientas de conectividad para efectuar diagnósticos y poder localizar y corregir problemas a tiempo y por ende tomar decisiones.

Teniendo en cuenta el aumento de complejidad, no es sorprendente que los fabricantes busquen las técnicas avanzadas de optimización para aumentar su productividad y asegurarse de que alcanzan sus objetivos comerciales. También los simuladores de procesos contribuyen al entrenamiento y conocimiento de estas técnicas avanzadas.

En el campo del control avanzado, una de las tendencias es emplear controladores predictivos basados en modelos (CPBM/MPC), aunque también podemos encontrar estrategias de control avanzado como el control difuso (Fuzzy), el control con Redes Neuronales, etc.

La técnica de Control Predictivo Basado en Modelos (MPC) es una técnica con resultados importantes en el mundo industrial y con un número de aplicaciones que tiende a incrementarse cada día, (Qin and Badgwell, 1996). Se sitúa en el nivel supervisorio de la pirámide de control y define las trayectorias óptimas de referencias que deben ser seguidas por estrategias de control convencional en los niveles de campo. Las trayectorias óptimas se calculan resolviendo un problema de optimización en línea que puede involucrar funciones de coste económico o calidad y seguridad de las operaciones, (Camacho and Bordons, 1998), (Clarke, 1994).

La implementación de la pirámide de control jerárquica necesita de medios de instrumentación electrónica, elementos de redes para la comunicación entre niveles y elementos de software para implantar las estrategias y supervisar todo el sistema.

Un estudiante de estos perfiles requiere de una combinación teórica-práctica adecuada, siendo la parte vital para el desarrollo de habilidades en sus campos de actuación (instrumentación, simulación de procesos, control, mantenimiento de los medios técnicos de automatización). En las universidades, laboratorios reales para potenciar y apoyar estos, es muy costoso y se puede combinar con prácticas laborales en la producción.

Con estos antecedentes, la carrera de ingeniería en Automática que ya se imparte en tres universidades del país se encuentra con un problema, y es que en las asignaturas de pregrado de la especialidad, el estudiante no

profundiza en estas técnicas de control avanzado que ya llevan 20 años siendo implementadas en las industrias del mundo desarrollado. Además a nivel de la industria del país las aplicaciones son casi nulas, o sea, ni la academia las enseña, ni hay un entorno industrial en donde se apliquen que pueda ilustrar su efectividad. Por lo que sería de gran utilidad contar con una herramienta simuladora del proceso, que a través de ella se pueda presentar y estudiar el control de sistemas haciendo uso de las técnicas de control predictivo, de tal forma que a través de un entorno amigable los estudiantes –ya sea pregrado o postgrado- o los operadores de la industria puedan fácilmente estudiar, conocer, formular y proponer aplicaciones empleando esta estrategia de control avanzado con un acercamiento de cómo es su implementación industrial.

2. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA Y SUS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

El Control Predictivo Basado en Modelos (MPC) es una técnica de control que permite seleccionar las entradas de control del proceso minimizando una función objetivo. La función objetivo es definida en términos de las variables del sistema actuales y predichas y es evaluada usando un modelo explícito para predecir las salidas futuras del proceso. Se basa principalmente en la teoría de sistemas, la identificación y la optimización, (Camacho and Bordons, 1998), (Henson,1998), (Mayne, 1996).

Ante la necesidad de acercar la herramienta a desarrollar a una problemática tecnológica más vinculada con la realidad de procesos en la industria moderna, se propone la incorporación de un módulo TCP/IP, esto nos facilita poder integrar los medios reales que tenemos para un proyecto y poder simular sistemas de automatización con la supervisión a través del control remoto. Con esta idea se plantea el desarrollo de una aplicación cliente/servidor.

La herramienta interactiva, llamada PCsim 2.0 -que es el acrónimo de Predictive Controller Simulation (Simulación del Controlador Predictivo) está basada en el modelo Cliente/Servidor, y cuenta con los elementos adecuados para proveerle a la planta la información necesaria para tomar decisiones oportunas y obtener la respuesta deseada en su proceso.

Utilizando un modelo del proceso, se obtiene las entradas óptimas de la planta que minimiza una cierta función objetivo. El programa permite formular problemas de control predictivo definiendo los parámetros de diferentes tipos de modelo de predicción así como los parámetros de sintonía del controlador, también se puede observar el comportamiento futuro de las variables manipuladas de una manera amigable.

El programa consta de dos módulos uno que se encontrará en la máquina servidor y el otro que se encontrará en la máquina cliente porque el usuario podrá simular el comportamiento del sistema considerando que el modelo que representa a la planta podrá ser diferente del modelo obtenido en la identificación del sistema.

El programa en el módulo servidor se inicia a través de teclear en la pantalla de comandos del Matlab® la palabra **Server**, lo mismo sucede para iniciar la aplicación cliente, pero en este caso con la palabra **Client**. Una vez logrado la conexión aparece la ventana principal en el módulo cliente, según se muestra en la Figura 1, a través de la cual se realiza la operación con los ficheros, se configuran los parámetros de la planta y del modelo de predicción así como los parámetros del controlador predictivo. También se inician las simulaciones y se muestran las gráficas de resultados.

En dicha ventana aparece un menú con las opciones: **File, Simulation, MPC, Options** y **Help**. A través de estos submenús se realiza la operación con ficheros, se configuran los parámetros de la planta y del modelo de predicción así como los parámetros del controlador predictivo.

El programa tiene una opción para cargar un modelo ya existente, cuando el usuario selecciona en la barra de menú MPC/Model aparece un menú desplegable para seleccionar si desea hacer un nuevo menú (New Model) o simplemente cargar un modelo ya existente (Load model). Todos los datos serán salvados en un fichero .mat y tendrá guardado la última simulación realizada.

El entorno permite trabajar con modelos del conocimiento, formulados en el espacio de estado o como modelos empíricos en función de transferencia continua-discreta, esta versión no tiene habilitado aún la opción de modelos híbridos.



Figura 1: Ventana principal de PCsim 2.0

2.1 REQUISITOS MÍNIMOS DE SOFTWARE Y DE HARDWARE PARA IMPLEMENTAR EL MPC

Como los controladores MPC resuelven un problema de optimización en línea basado en un modelo matemático del proceso, así como potentes computadoras con memoria suficiente para los cálculos intensivos que se realizan, se necesitan librerías de optimización numérica y de resolución de sistemas de ecuaciones para poder implementar la estrategia utilizando los modelos de conocimientos, empíricos e híbridos.

La evolución en los sistemas informáticos ha permitido que actualmente estén disponibles entornos en los que se pueden realizar simulaciones dinámicas, por ejemplo *Matlab*[®]. Dentro de las librerías de funciones que están disponibles en *Matlab*[®] aparece la toolbox de MPC que agrupa un conjunto de funciones que permiten simular aplicaciones MPC de la forma estándar pero en una misma computadora y utilizando los modelos de proceso y controlador en la misma máquina.

Partiendo de las potencialidades de *Matlab*[®] se pretende usar este entorno para el desarrollo de la herramienta interactiva lo que permite formalizar como requerimientos del sistema a desarrollar los siguientes:

Desde el punto de vista de Software:

- Debe de estar instalado *Matlab*[®] en una versión superior a la 6.0.
- Debe estar instalada la toolbox de control predictivo MPC.

Desde el punto de vista de Hardware:

- *Matlab*[®] 6.0 pueda trabajar sin problemas se debe tener una computadora con 256 MB de memoria RAM como mínimo, aunque es recomendado tener 512 MB, y más de 600 MB de espacio libre en el disco duro.
- Para que las máquinas puedan estar conectadas a la red, cada máquina debe tener su tarjeta de red y los protocolos de soporte.
- Con el aumento en las capacidades, tanto de procesamiento como para almacenar información en los discos duros, los requerimientos de poder implementar el MPC son despreciables.

3. APLICACIÓN Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.

La herramienta que se presenta en este trabajo tiene como objetivo facilitar la comprensión de MPC de forma interactiva, de manera que el estudiante pueda estudiar distintas configuraciones del sistema mediante un procedimiento de *causa-efecto*; es decir, la variación de algún parámetro o elemento gráfico del sistema se ve correspondida con la actualización del resto de componentes del sistema de manera inmediata, esta herramienta puede ser clasificada como un simulador de procesos, (Alessi and Trollip, 1985) .

La configuración más simple consta de:

- Una computadora servidor (planta), que demanda el módulo que se encuentra en la computadora cliente. En este módulo se solicita al usuario que introduzca los datos que modelan la planta y, una vez introducidos éstos, los envía por TCP/IP al módulo cliente, (Mathworks Inc, 2000a), (Mathworks Inc,2000b) .
- Una computadora cliente (modelo), que procesa todos los datos –pues puede simular el comportamiento del sistema considerando que el modelo que representa a la planta puede ser diferente del modelo obtenido en la identificación del sistema- ajusta los parámetros de sintonía del controlador y grafica el comportamiento futuro de las variables manipuladas de una manera amigable, según se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Configuración Cliente Servidor

Al entorno, por la propia dinámica en sí, se entra con un modelo del proceso validado o verificado, y obtenido previamente por técnicas de modelado o de identificación y no es objetivo del entorno la obtención del modelo a utilizar sino el ajuste y sintonía de los parámetros de control.

Con el objetivo de acercarnos al programa –PCsim 2.0- se formaliza un problema MPC de una columna de destilación, empleando un modelo en función de transferencia con retardos.

La columna de destilación es un proceso multivariable y en el que son de interés las variables de salida.

- Composición de producto intermedia.
- Composición de producto en la cabeza de la columna.
- Temperatura en el fondo de la columna.

Las variables manipuladas para controlar dichas variables de salida son:

- Razón de extracción de producto por la cabeza de la columna.
- Razón de extracción por un costado de la columna.
- Razón de flujo por la cola o fondo de la columna.

La dinámica del proceso fue descrita por el siguiente modelo en el espacio de Laplace (Función de transferencia

multivariable), como se muestra en la ecuación (1) y tomada de la referencia, (Camacho and Bordons, 1998):

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \\ Y_3(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{4.05e^{-27s}}{1+50s} & \frac{1.77e^{-28s}}{1+60s} & \frac{5.88e^{-27s}}{1+50s} \\ \frac{5.39e^{-18s}}{1+50s} & \frac{5.72e^{-14s}}{1+60s} & \frac{6.9e^{-15s}}{1+40s} \\ \frac{4.38e^{-20s}}{1+33s} & \frac{4.42e^{-22s}}{1+44s} & \frac{7.2}{1+19s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \\ U_3(s) \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde:

U_1, U_2, U_3 , corresponden a las variables manipuladas.

Y_1, Y_2, Y_3 corresponden a las variables controladas o de salida.

Las trayectorias de referencias serán iguales a 0.5, 0.3 y 0.1 respectivamente.

Se considera un modelo de perturbación asociado a cada variable de salida como el que se muestra en la ecuación (2):

$$\begin{bmatrix} Yp_1(s) \\ Yp_2(s) \\ Yp_3(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1.44e^{-27s}}{1+40s} \\ \frac{1.38e^{-15s}}{1+20s} \\ \frac{1.26}{1+32s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \\ U_3(s) \end{bmatrix} \quad (2)$$

El objetivo del controlador es mantener las variables de salida y_1, y_2, y_3 en los valores de 0.5, 0.3 y 0.1 respectivamente, por lo que la variable $r=[0.5, 0.3 \ 0.1]$. Dichas variables y las acciones de control no se van a limitar por lo que los límites de las salidas y entradas se asumen nulos.

Dentro de los parámetros del controlador se toma el horizonte de predicción igual a 50 ($P=50$), el horizonte de control igual a 10 ($M=10$), y no se pesa el error de las salidas ($ywt= []$) ni los movimientos de las variables manipuladas ($uwt=[]$).

Se realiza las simulaciones en un tiempo igual a 100 ($tend=100$).

Como una de las facilidades de esta herramienta es que el modelo que representa a la planta puede diferir del modelo obtenido en la identificación del sistema, el ejemplo será simulado entrando el modelo con perturbación en el servidor y el modelo sin perturbación en la máquina cliente.

Como ya se mencionó, el programa tiene una opción para entrar el modelo, la ventana que se muestra en la Figura 3 es la encargada de ello.

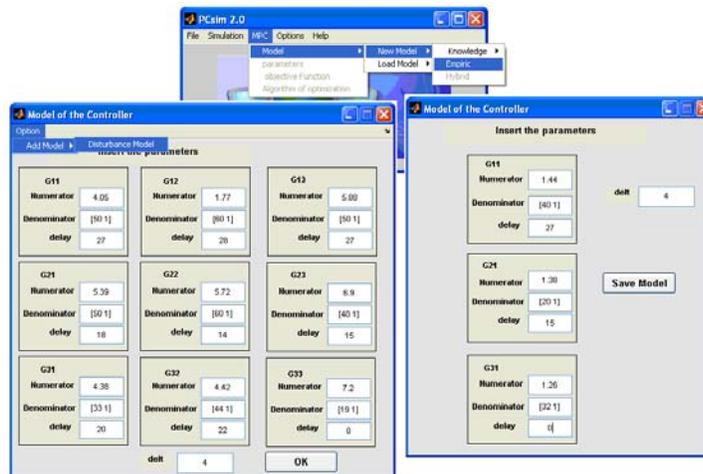


Figura 3: Ventanas para entrar el modelo de la planta

Como se puede apreciar, en esta ventana se dispone de un menú, mediante el cual el usuario puede adicionar el modelo que representa la perturbación.

Una vez entrado el modelo el usuario que se encuentre en la máquina cliente, a través de la interfaz principal del programa puede observar el comportamiento futuro de las variables manipuladas de una manera amigable, pues en dicha ventana aparece un menú con las opciones: **File**, **Simulation**, **MPC**, **Options** y **Help**. A través de estos submenús se realiza la operación con ficheros, se configuran los parámetros de la planta y del modelo de predicción así como los parámetros del controlador predictivo.

Cuando pulsamos el botón “OK” se activa el submenú asociado para entrar los parámetros del controlador, Figura 4.

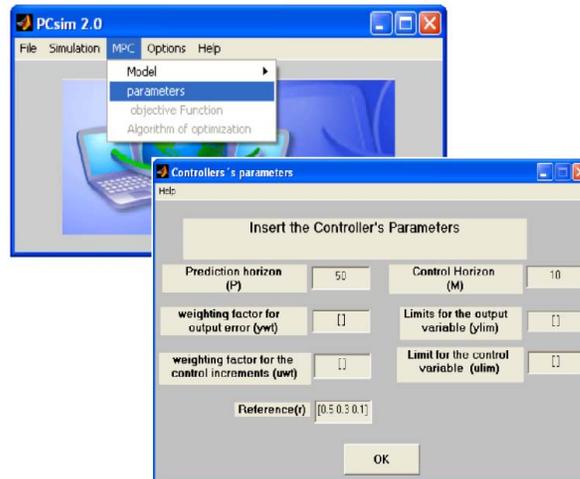


Figura 4: Ventanas para entrar los parámetros del controlador

Una vez entrados todos los datos necesarios para la simulación se habilita el submenú asociado a “Iniciar Simulación”, al dar clic sobre él se simula el comportamiento del sistema a lazo cerrado del sistema, Figura 5 y se procede a graficar los resultados obtenidos, como se muestra.

La primera gráfica representa la salida, es decir se puede ver que correctamente tiende a la referencia puesta al inicio, por lo tanto sirve para corroborar los resultados. La segunda gráfica representa la variable manipulada, es decir con ella se puede saber la u óptima que hay que poner para obtener la referencia deseada.

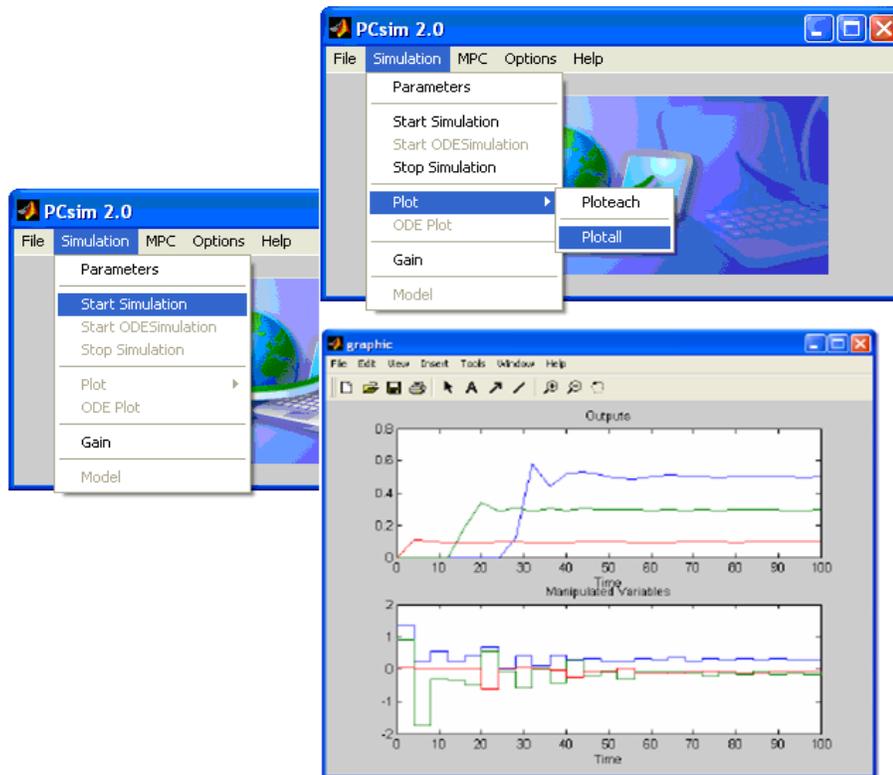


Figura 5: Gráficas obtenidas del modelo.

4. ¿CÓMO EMPLEAR EL SIMULADOR EN EL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS RELACIONADOS CON EL CONTROL PREDICTIVO?

Tal y como se había señalado anteriormente, el simulador que se presenta permite que el estudiante pueda estudiar distintas configuraciones del sistema mediante un procedimiento de *causa-efecto*; es decir, la variación de algún parámetro o elemento gráfico del sistema se corresponde con la actualización del resto de componentes del sistema de manera inmediata, lo cual facilita que, bien orientado, el alumno pueda “descubrir” los aspectos relacionados con estos temas, sus nexos y regularidades de una forma sencilla.

El profesor puede utilizar el software luego de haber tratado estas temáticas en la clase aunque no se descarta que el sistema pueda ser empleado previo al desarrollo de este tipo de clase pues de hecho, una acertada guía de preparación para una sesión de trabajo con el simulador pudiera ser efectiva aún cuando el estudiante no haya recibido el contenido, poniéndose de manifiesto en este caso, aún con mayor claridad, las posibilidades que brinda el sistema para descubrir el nuevo conocimiento.

No obstante lo anterior se debe aclarar que el sistema no sólo fue concebido con ese fin pues el simulador también puede ser empleado por estudiantes de niveles superiores como un medio para refrescar sus conocimientos sobre los temas tratados e integrar otros conceptos que no son tratados en los grados en que reciben dichos contenidos por primera vez. Para una capacitación con operadores o tecnólogos del mundo industrial también tiene un gran impacto pues permite el adiestramiento previo a la puesta en marcha de la técnica en el proceso.

Es necesario destacar que con esta propuesta no se ha pretendido agotar todo lo que un profesor pueda idear para utilizar el software propuesto sino que es sólo una muestra de manera que se facilite la extensión de este tipo de guías de trabajo y que estará en función, dentro de los límites que impone esta versión del simulador, de la creatividad de cada docente y los aspectos que a nuestro juicio se pueden lograr con el empleo de este.

5. CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se ha presentado un simulador de procesos de apoyo a la enseñanza de Control Predictivo para sistemas multivariables. La herramienta es de gran utilidad para los docentes y también para los alumnos, que una vez han adquirido los conocimientos necesarios sobre MPC en clase de teórica, puede ponerlos en práctica sobre la herramienta modificando los parámetros de diseño para ver cómo afectan al comportamiento en bucle cerrado del sistema, incorporando restricciones sobre las distintas variables y observar cómo el rendimiento del sistema se ve afectado, etc.

El empleo de simuladores para este tema permite que el alumno, a partir de una correcta orientación para el trabajo con los mismos, por parte del profesor, “descubra”, refuerce o interiorice los conocimientos relativos a estos temas a partir de la visualización del comportamiento del modelo simulado y paralelamente comprenda la relación existente entre los parámetros de sintonía del controlador.

El simulador propuesto ayuda al proceso docente en la enseñanza del control predictivo tanto para estudiantes de pregrado como de postgrado, porque:

- El software tiene un fácil manejo, pues no necesita conocimientos profundos del tema ni de grandes habilidades manipulativas.
- No se requiere conocimiento alguno de los comandos existentes en la toolbox del MPC del Matlab[®], necesarios para la simulación del modelo.
- En el simulador que se presenta se tienen en cuenta consideraciones de carácter didáctico en función de los elementos del conocimiento a transmitir a los estudiantes relacionados con estos contenidos.
- Como futuros trabajos de la herramienta se podría plantear: la programación de la interfaz para poder insertar los modelos Híbridos, poder implementar la comunicación en tiempo real entre el proceso y el controlador MPC, así perfeccionar gráficamente esta versión de PCsim 2.0.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alessi S. M. y Trollip S. R. (1985). “*Computer-Based Instruction. Method and Development*”. Ed. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Camacho, E. y Bordons, C. (1998). “*Model predictive control*”. Spring Verlag, UK.

Clarke, D. (1994). “*Advances in model based-predictive control*”. Technical report, Oxford University Press, UK.

Henson, M. (1998). “*Nonlinear model predictive control: current status and future directions*”. Computers and Chemical Eng, 23.

Mathworks Inc, (2000). Model Predictive Control Toolbox. Versión 1.0.5 (R12). Matlab[®] Versión 6.0.0.88 (R12).

Mathworks Inc, (2000). TCP/UDP/IP Toolbox. Versión 2.0.5 (R12). Matlab[®] Versión 6.0.0.88 (R12).

Mayne, D. (1996). “*Nonlinear Model predictive control: an assessment*”. Technical report, Chemical Process Control CPC-V.

Qin, S. y Badgwell, T. (1996). “*An overview of industrial model predictive control technology*”. Technical report, Chemical Process Control CPC-V, UK.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.