

TOOLBOX DIDÁCTICO PARA EL DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMAS DE CONTROL LINEAL

Juan Camilo Gómez Cadavid

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín (Colombia)

Resumen

Se describe un toolbox para el Diseño y Análisis de Sistemas de Control Lineales (DASC), basado en MATLAB®, el cual integra un conjunto de herramientas para simulación, identificación y análisis de sistemas dinámicos, sintonización y diseño de sistemas de control, todas ellas estructuradas metodológicamente para propósitos educativos.

Palabras claves: Sistemas de control, identificación, estabilidad, controladores, interfaz gráfica, simulación, didáctico.

Abstract

This paper describes the Analysis and Design of Linear Control System toolbox (DASC), a MATLAB® based software package that includes a set of tools for simulation, system analysis and identification, controller design and tuning, all of them constructed methodologically for educational purposes.

Keywords: Control systems, identification, stability, controllers, graphic interface, simulation, didactic.

Introducción

La comprensión de los sistemas de control en la ingeniería moderna resulta necesaria por ser materia fundamental de soporte teórico para otras áreas de interés tecnológico y científico, como es la robótica, la mecatrónica, la automatización, la instrumentación, etc., siendo por lo tanto, una parte de primordial importancia en el desarrollo de la ingeniería. Así han surgido aplicaciones computacionales que buscan abarcar esta área del

conocimiento a través de paquetes comerciales como, Loop Pro® (Control Station, 2009), Visual ModelQ® (QxDesign, 2009), y Program CC® (Systems Technology Inc., 2009). Estos paquetes son bien recibidos y computacionalmente eficientes pero son costosos, no metodológicos y requieren de ciertos conocimientos avanzados en estos tópicos por parte del usuario.

Diversos lenguajes científicos de alto nivel como MATLAB® (Mathworks®, 2009), Mathematica®,

y SciLab® se han vuelto cada vez más populares para propósitos educativos y de investigación. Cualquiera de estos lenguajes pueden llevar a buenos resultados en el campo del análisis y diseño de sistemas de control, sin embargo MATLAB® ha resultado ser la mejor opción. Entre las características de MATLAB® se incluye la programación orientada a matrices, excelentes capacidades de graficación y un entorno gráfico (Simulink®), (Mathworks®, 2009) que simplifica el diseño esquemático de sistemas de control. Por estas razones algunas herramientas basadas en MATLAB® han sido desarrolladas como Control System Toolbox™, Robust Control Toolbox™ y Model Predictive Toolbox™ (Mathworks®, 2009). Sin embargo, ninguno de estos es gratuito ni provee una metodología didáctica.

Este artículo describe una nueva herramienta basada en MATLAB® (toolbox) para el diseño y análisis de sistemas de control lineales (DASC). El toolbox está dotado de una completa y amigable interfaz gráfica concebida en forma modular, incluye herramientas de simulación, manipulación de datos, identificación de sistemas, análisis, sintonización y diseño de controladores convencionales y avanzados. Todas ellas diseñadas y estructuradas metodológicamente para sintetizar los aspectos más relevantes en el aprendizaje con un enfoque práctico.

Características de DASC

Diseño de la interfaz gráfica de usuario

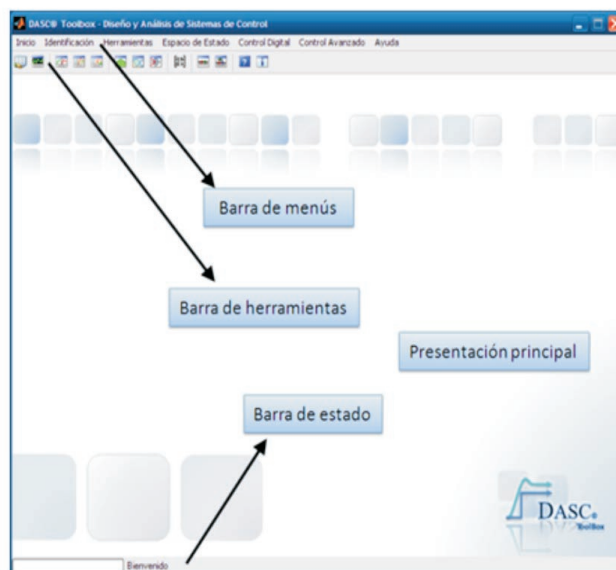
DASC ha sido proyectado como una aplicación portable. En este objetivo, ha sido desarrollado usando MATLAB®, el cual se ejecuta en los sistemas operativos más comunes como lo son Linux®, Windows® y MAC OS X®. Además se implementó como una aplicación orientada a ambientes educativos y prácticos, donde todo usuario que manipule la aplicación pueda involucrarse e interactuar con los datos e información que representa en pantalla.

Teniendo en cuenta las necesidades exactas que tienen que ser cubiertas por la aplicación, el tipo de

datos y variables que son introducidas por el usuario, así como las excepciones y posibles errores que puedan producirse y lo más importante la forma como quiere el usuario que se presenten los datos (Gráficos ó Tablas), la aplicación y todas sus funciones fueron concebidas en forma modular, donde cada uno de estos módulos profundiza en diferentes temas referentes a la teoría del control.

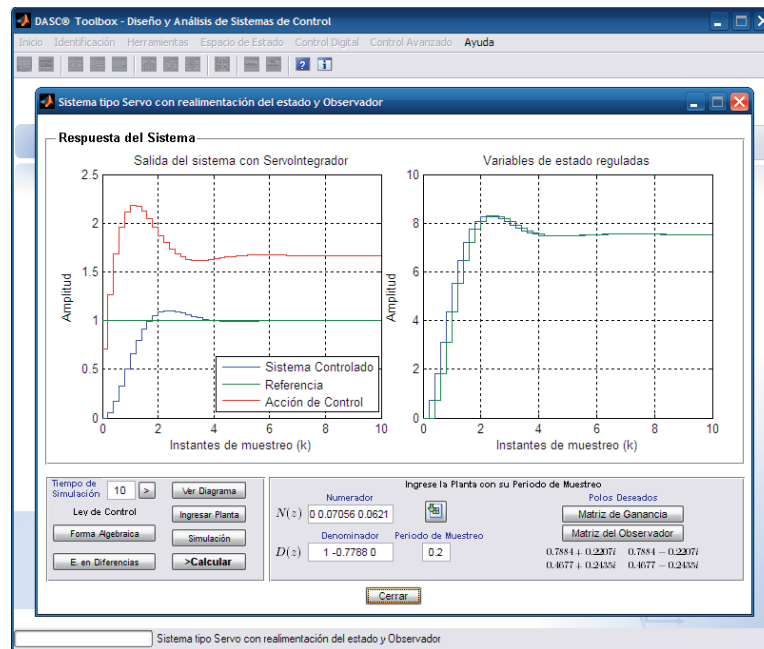
La ventana principal del DASC (ver gráfico 1) expone una barra de menús, una barra de herramientas, una barra de estado y una imagen con la presentación principal de la aplicación. La barra de menús contiene todos los módulos, herramientas y opciones a las que puede acceder el usuario, por otra parte la barra de herramientas muestra los módulos ó funciones más comunes, con ilustraciones alusivas a la tarea que desempeña cada una de ellas y la barra de estado muestra los cambios del módulo que se encuentra en etapa de ejecución.

Gráfico 1. Ventana principal de DASC



A primera vista el usuario se encuentra con una interfaz común a otras aplicaciones que se desempeñan en otro ámbito, el sistema de menús, barras de herramientas, y demás elementos de la interfaz resulta ser agradable por la simplicidad de su entorno, de esta forma se espera que todo usuario se acostumbre rápidamente al funcionamiento de la aplicación.

Gráfico 2. Diseño de los módulos en DASC



Todos los módulos contenidos en DASC fueron desarrollados bajo un formato similar. Como se muestra en el gráfico 2, cada módulo tiene la interface gráfica dividida en dos secciones. La sección superior, está diseñada para mostrar resultados basados en gráficas de simulaciones y análisis de sistemas, presentar información arrojada por la aplicación, así como datos ingresados por el usuario y algunos controles básicos para manipular la información revelada. La sección inferior contiene los controles donde el usuario ingresa datos y controla las herramientas de la interfaz gráfica.

Visualización, almacenamiento e ingreso de datos

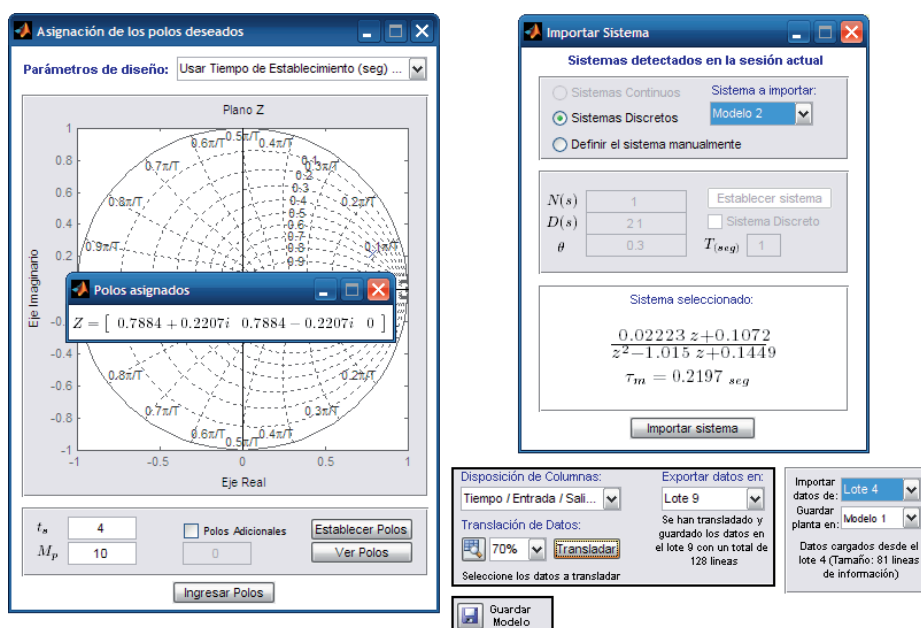
Independiente del tipo de datos comúnmente utilizados por cualquier programa, este toolbox maneja otro tipo de datos un poco más abstractos y complejos. El hecho de representar en pantalla funciones de transferencia, matrices, ecuaciones en diferencias, números imaginarios y expresiones simbólicas, además de almacenar bases de datos y guardar sistemas dinámicos de modo tal que represente un mínimo impacto para la interacción del usuario con la aplicación, requirió el desarrollo de funciones con soluciones eficientes a través de las prestaciones de MATLAB®.

DASC toma ventaja del soporte nativo que tiene MATLAB® para visualizar expresiones basadas en la

sintaxis de LaTeX el cual es un lenguaje de marcado para documentos formado por un gran conjunto de macros de TeX con la intención de facilitar la composición tipográfica (Sanguineo, 1997), así DASC toma la información seleccionando el tipo de dato a ser visualizado, y la convierte a una variable tipo "String", el cual describe el comando en la sintaxis de LaTeX, posteriormente el comando puede ser visualizado en la interfaz gráfica mediante los controles de gráficas y textos con soporte del intérprete LaTeX habilitado, obteniendo como resultado la representación gráfica de este tipo de variables.

Para almacenar, ingresar e importar datos DASC integra herramientas prácticas en todos los módulos dependiendo de la función que se requiera como organizar y almacenar información desde una base de datos para su uso en identificación de sistemas, guardar e importar sistemas dinámicos, asignación de polos para el diseño de sistemas de control, entre otras (ver gráfico 3). Además DASC cuenta con espacios de memoria donde almacenar la información proporcionada por el toolbox, y la cual puede ser importada posteriormente en otro módulo ó cargada en una nueva ejecución. Estos espacios de memoria facilitan el manejo de la información, y la integración entre los diferentes módulos de DASC.

Gráfico 3. Herramientas de almacenamiento, manejo e ingreso de datos



Módulos y herramientas de DASC

Módulos para la identificación de sistemas dinámicos

DASC, tiene módulos especializados para tratar la identificación de sistemas a partir de datos recolectados mediante experimentos prácticos, e identificarlos en forma paramétrica como no paramétrica con los métodos de identificación más comunes en la teoría de control.

Para la identificación de sistemas, obtener, elegir y ordenar los datos a partir de pruebas experimentales en un proceso real, resulta primordial, sobre todo cuando se quiere extraer solo la información representativa en un rango de datos.

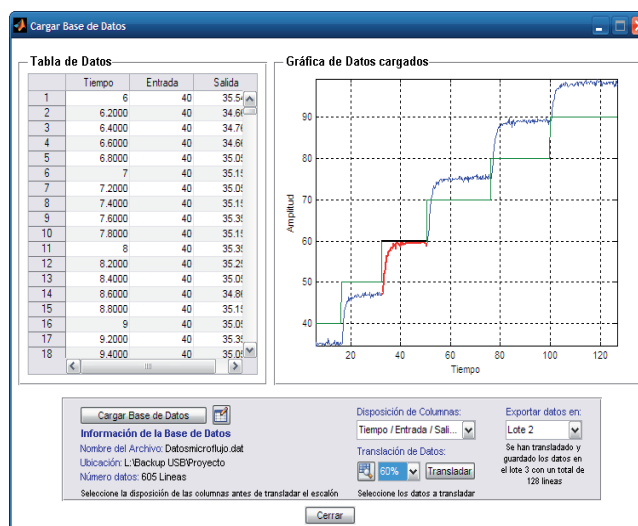
DASC ofrece una herramienta perfilada para importar, procesar y ordenar la información proveniente desde un archivo de base de datos el cual puede estar en múltiples formatos provenientes de aplicaciones como Microsoft Excel®, LabVIEW® ó simples archivos de texto.

Las bases de datos son un archivo que contiene la información de pruebas experimentales sobre un sistema mediante software y hardware de adquisición

de datos, generando perturbaciones al sistema, mediante una serie de estímulos tipo escalón en forma ascendente.

Como se muestra en el gráfico 4, la herramienta extrae la información de la entrada que estimula el sistema, la respuesta del sistema, y el instante de tiempo donde se tomó la muestra ordenándola en la forma (Tiempo, Entrada, Salida), luego representa la información gráficamente y en forma de tabla.

Gráfico 4. Herramienta para cargar bases de datos



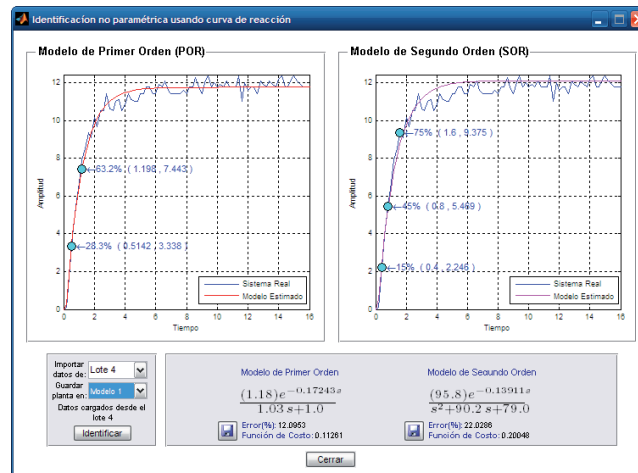
Esta información resulta suficiente para identificar cualquier sistema, paramétrico ó no paramétrico. Además cuenta con la capacidad de modificar la base de datos, extrayendo solo la información que es necesaria para la aplicación, seleccionando solo un rango de datos, eliminando una sección de ella, y finalmente seleccionar un punto de operación, permitiendo trasladar y guardar estos datos en un lote de información el cual representa un espacio de memoria del toolbox, para luego ser usado posteriormente por las herramientas de identificación.

Los módulos de identificación trabajan sobre los datos almacenados en los espacios de memoria, los

cuales fueron organizados por la herramienta antes mencionada.

DASC cuenta con un módulo de identificación no paramétrica usando los métodos de la curva de reacción basados en los criterios de Miller y Stark (ver gráfico. 5), los cuales resultan ser los más prácticos, y permiten estimar un modelo de primer y segundo orden más tiempo muerto, donde se aplica un método de análisis transitorio usando como modelo el correspondiente a la respuesta del sistema ante una entrada tipo escalón (Alfaro, 2001).

Gráfico 5. Módulo para identificación no paramétrica usando el método de la curva de reacción



Este método no paramétrico fue integrado en DASC debido a que la mayoría de los métodos de sintonización de controladores se basan en los parámetros de un modelo de orden reducido que permita representar sistemas dinámicos de orden alto, y por esta razón los más empleados son los de primer ó segundo orden más tiempo muerto, cuyas funciones de transferencia son (Alfaro, 2001):

Primer orden más tiempo muerto:

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-\theta s}}{(\tau s + 1)} \quad (1)$$

Segundo orden sobreamortiguado más tiempo muerto:

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (2)$$

Segundo orden subamortiguado más tiempo muerto:

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau^2 s^2 + 2\delta\tau s + 1} \quad (3)$$

Siendo el modelo que representa el proceso, la ganancia del sistema, la constante de tiempo, el factor de amortiguamiento y el tiempo muerto.

Para tratar el tema de la identificación paramétrica DASC cuenta con dos módulos los cuales permiten realizar este tipo de identificación. El primero efectúa eficazmente el “método de minimización de error” (Vallero, 1997) a través de los algoritmos de mínimos cuadrados recursivos RLMS y no recursivos LMS (ver gráfico 6), que permiten estimar modelos discretos de orden n en la forma:

$$G_p(z^{-1}) = \frac{b_1 z^{n-1} + b_2 z^{n-2} + \dots + b_n}{z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n} \quad (4)$$

y otro modulo para la “identificación mediante aproximación estocástica” (Vallero, 1997) basándose en algoritmos recursivos, que permiten obtener

modelos bajo las estructuras ARX, ARMAX, Box Jenkins y Output Error (ver gráfico 7).

La validación de los modelos, el error de estimación y la función de costo J son visualizados por cada modelo al finalizar el proceso de identificación. Los modelos estimados pueden ser guardados fácilmente en los espacios de memoria que proporciona DASC.

Gráfico 6. Módulo para identificación paramétrica usando métodos de minimización del error

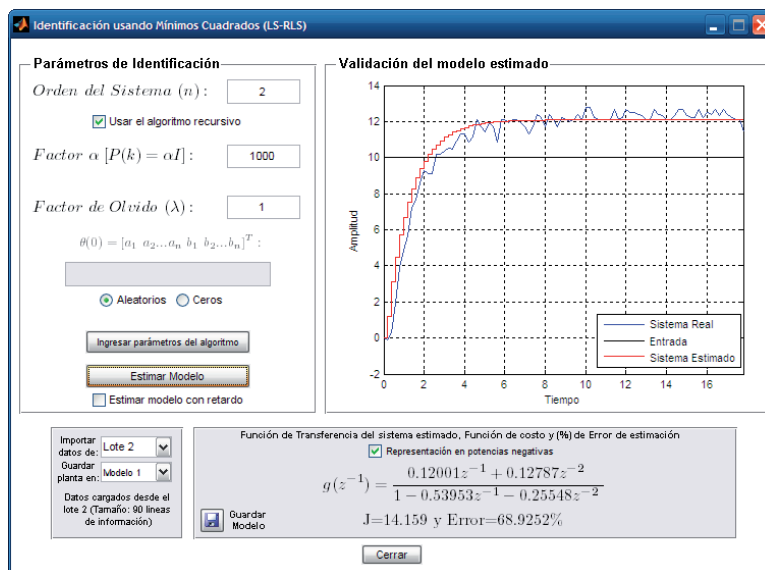
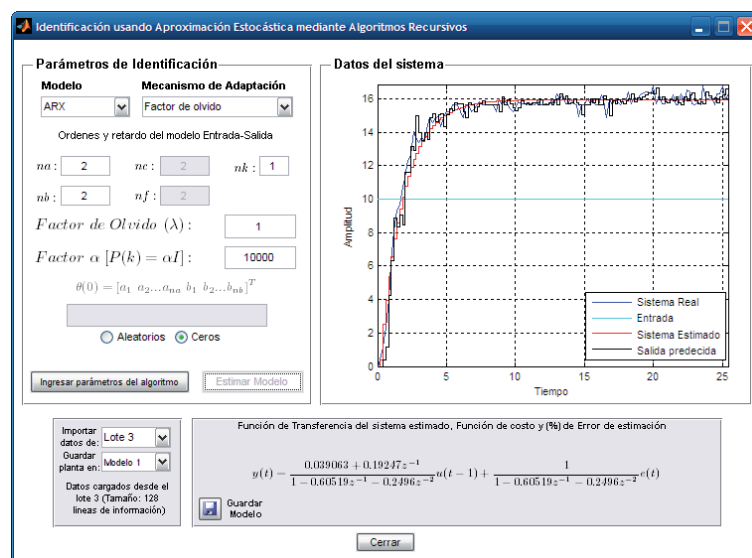


Gráfico 7. Módulo para identificación paramétrica usando aproximación estocástica



Herramientas para el análisis de sistemas

DASC permite explorar de manera sencilla los conceptos básicos para el análisis de sistemas de control mediante diferentes herramientas, de manera que el usuario pueda comprender las diversas técnicas clásicas de análisis y su aplicación a sistemas de control automático. Estas funciones del toolbox tienen como objetivo abordar el análisis en el dominio del tiempo y la frecuencia, estabilidad, y la conversión de sistemas continuos a sistemas discretos.

Una de estas herramientas realiza el análisis obteniendo las características de la respuesta transitoria de un sistema. La respuesta transitoria determina el comportamiento del sistema durante la transición de algún estado inicial hasta el estado final.

En la respuesta transitoria se definen especificaciones de la respuesta en el tiempo, las cuales se usan para determinar las características de la dinámica del sistema en su estado temporal, y generalmente se determinan respecto a la respuesta del sistema ante una entrada tipo impulso y tipo escalón. Estas especificaciones que comúnmente llamados “Parámetros de desempeño” son (García, 2009).

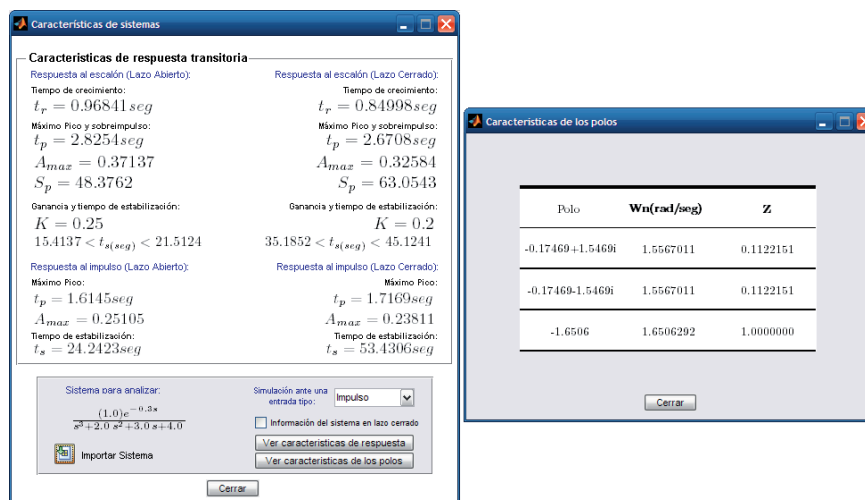
- *Tiempo de retardo* : tiempo que tarda la respuesta en alcanzar por primera vez la mitad del valor final.

- *Tiempo de crecimiento* : tiempo requerido para que la respuesta crezca del 10% al 90% (Sobreamortiguado), o del 0 al 100% (subamortiguado) de su valor final.
- *Tiempo de pico* : tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico del sobreimpulso.
- *Máximo sobreimpulso* : es el valor pico máximo de la curva de respuesta medido desde la unidad.
- *Tiempo de establecimiento* : es el tiempo requerido por la curva de respuesta para alcanzar y mantenerse dentro de determinado rango alrededor del valor final, especificado en porcentaje absoluto (se usa generalmente el 5% o el 2%).

La herramienta calcula estos parámetros de desempeño, tanto para sistemas continuos como discretos en forma automática, respecto a las entradas tipo impulso y tipo escalón, para el sistema en lazo abierto y en lazo cerrado como se muestra en el gráfico 8.

También cuenta con la capacidad de calcular y visualizar el factor de amortiguamiento (Z) y la frecuencia natural (W_n) de cada uno de los polos del sistema los cuales son especificaciones estándar de estabilidad y pueden ser de gran utilidad a la hora de diseñar un sistema de control automático (ver gráfico 8).

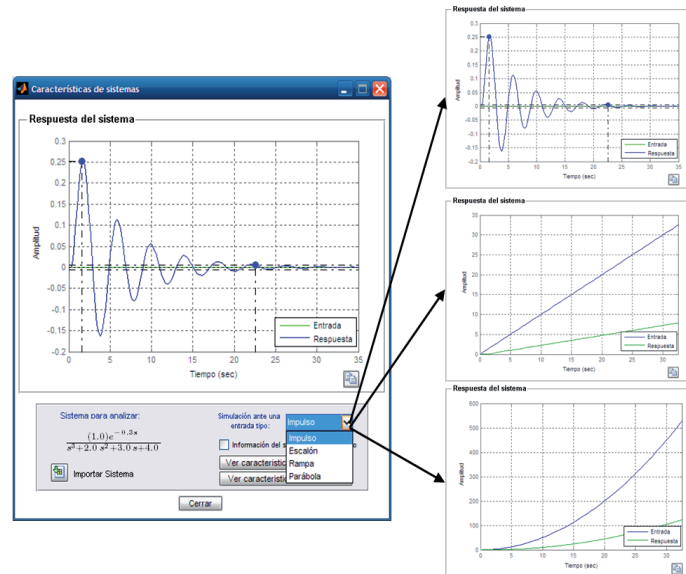
Gráfico 8. Visualización de parámetros de desempeño (Ventana derecha), y cálculo de W_n y Z para cada uno de los polos del sistema (Ventana izquierda)



Otra de las funciones de esta herramienta es simular y graficar la respuesta del sistema, tanto en lazo abierto como lazo cerrado ante las señales de prueba

típicas (ver gráfico 9): Impulso, Escalón, Rampa y Parábola resaltando algunas de sus principales características.

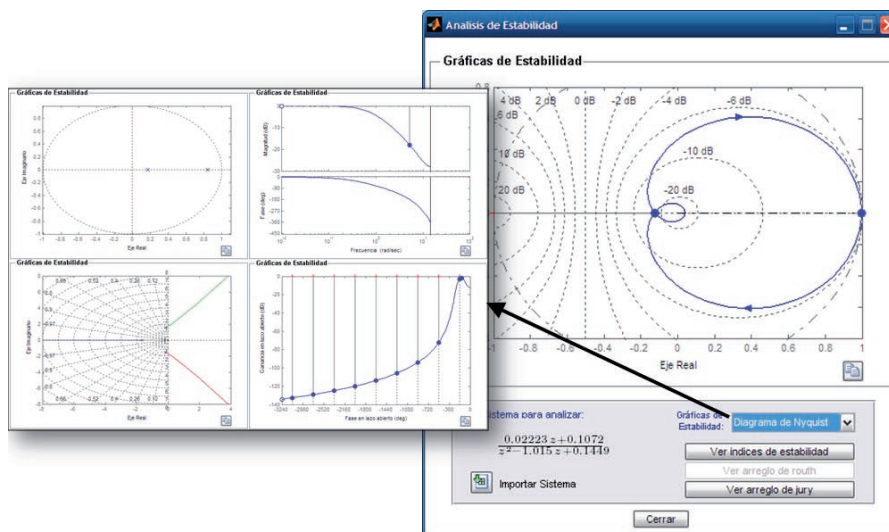
Gráfico 9. Respuesta ante las señales de prueba típicas



La estabilidad asociada a conceptos relacionados con la respuesta dinámica de un sistema, es una propiedad fundamental de los sistemas de control, tan importante como son la robustez, el rendimiento

y otras características asociadas al mismo, por esta razón DASC suministra una herramienta que abastece información y parámetros para analizar y determinar la estabilidad de sistemas continuos y discretos.

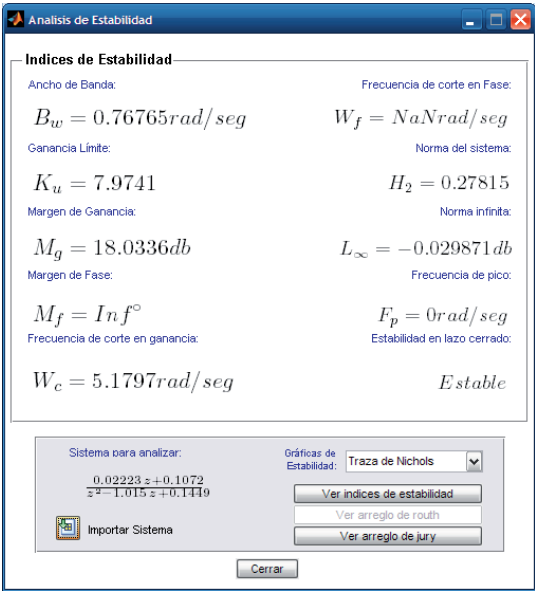
Gráfico 10. Herramienta para el análisis de estabilidad. Gráficas de Estabilidad



En el gráfico 10 se observa esta herramienta que representa en pantalla, los criterios gráficos más utilizados para determinar la estabilidad de un sistema

tales como el diagrama de Bode, el lugar de raíces, ubicación de polos y ceros, diagrama de Nyquist y la traza de Nichols.

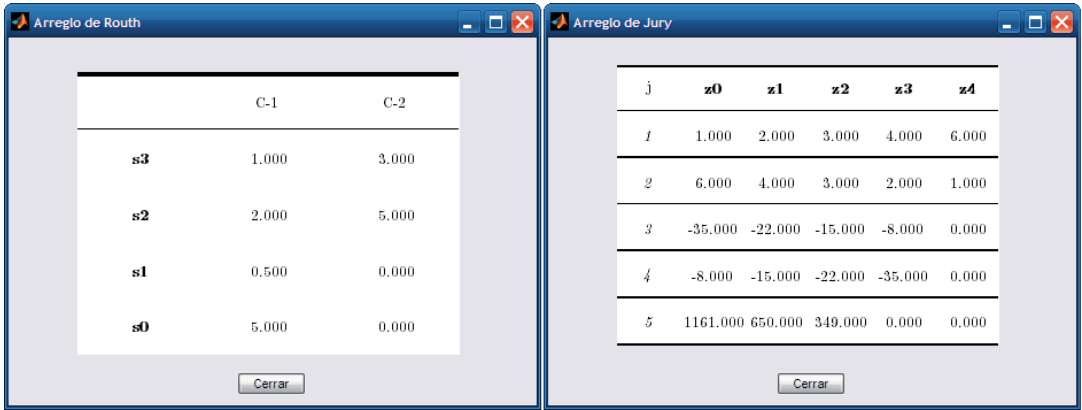
Gráfico 11. Herramienta para el análisis de estabilidad. Cálculo y visualización de índices de estabilidad



También se muestran diversos índices de estabilidad (ver gráfico 11), que ayudan a comprender, y manejar los conceptos de frecuencia crítica y márgenes de estabilidad (Tiapa, 2009), resultando de gran utilidad para diseñar y evaluar sistemas de control, y

finalmente el calculo y visualización de los arreglos de Jury y Routh (García, 2009), los cuales son unos métodos aplicables a la ecuación característica del sistema para determinar la estabilidad absoluta sin necesidad de encontrar sus raíces (ver gráfico 12).

Gráfico 12. Cálculo y visualización de los arreglos de Jury y Routh respectivamente



La utilización de los sistemas de control digital permite satisfacer especificaciones más exigentes que las que se pueden lograr con los sistemas analógicos, así como posibilitar nuevas funcionalidades. En este contexto, el diseño de sistemas de control digital requiere tratar los sistemas dinámicos en tiempo discreto.

La conversión de sistemas continuos a discretos, requiere un análisis previo para la selección del periodo de muestreo y los diversos métodos de discretización resultando ser parámetros de diseño muy importantes que deben seleccionarse en función de un compromiso entre el deterioro de la calidad del control y

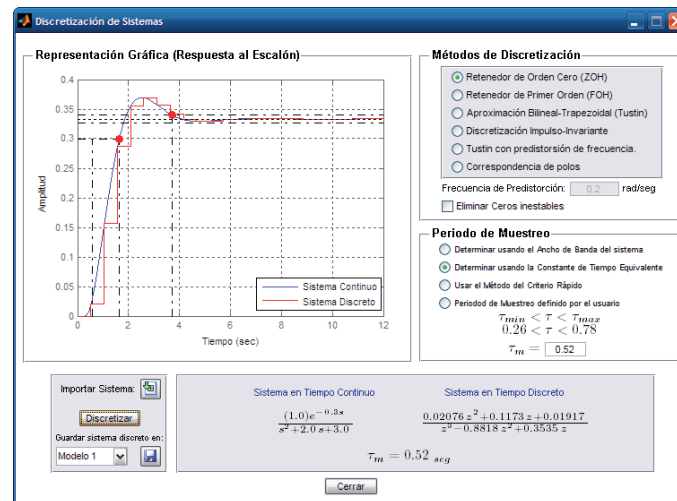
la cantidad de cálculos necesarios para ejecutar el algoritmo de control (García, 2009).

Por estas razones DASC contiene un módulo para la discretización de sistemas (ver gráfico 13), que permite realizar selección del periodo de muestreo con la ayuda de diferentes criterios en el campo del procesamiento digital de señales como el “Ancho de Banda”, “Contante de Tiempo equivalente” y “Criterio Rápido” que dependen de las características de la señal, también incluye los procedimientos más

utilizados para la discretización como los retenedores de orden cero ZOH y primer orden FOH, Método de Tustin y su variante con predistorsión de frecuencia, método de invarianza al impulso, y correspondencia de polos.

Algunos de estos métodos de discretización hacen que el sistema tenga un mejor rendimiento en el dominio de la frecuencia, por que introducen menos ganancia y distorsión de fase cerca a la frecuencia de Nyquist (Franklin et al., 1990).

Gráfico 13. Herramienta para la discretización de sistemas



Módulos para sintonización y diseño de sistemas de control

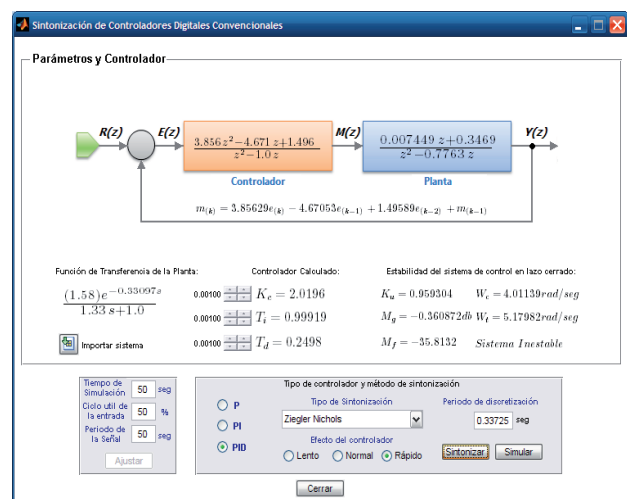
La aplicación de las técnicas de control son las únicas que posibilitan el funcionamiento de los procesos en puntos operativos rentables, exactos y seguros. Para ello DASC contiene numerosos módulos y herramientas para englobar las diferentes técnicas que involucran los sistemas de control convencional y avanzado, referente al diseño y sintonía de controladores, con un énfasis teórico y práctico, ofreciéndole al usuario comandos simples para asignación de parámetros, ajuste y simulación.

Estas herramientas se describen a continuación:

1) Sintonización de Controladores: Interfaz que provee diferentes métodos de sintonización y ajuste de controladores como Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Ganancia Límite, Criterios de Error (IAE, ICE,

IAET) y 3C, para sistemas en tiempo continuo y discreto (ver gráfico 14).

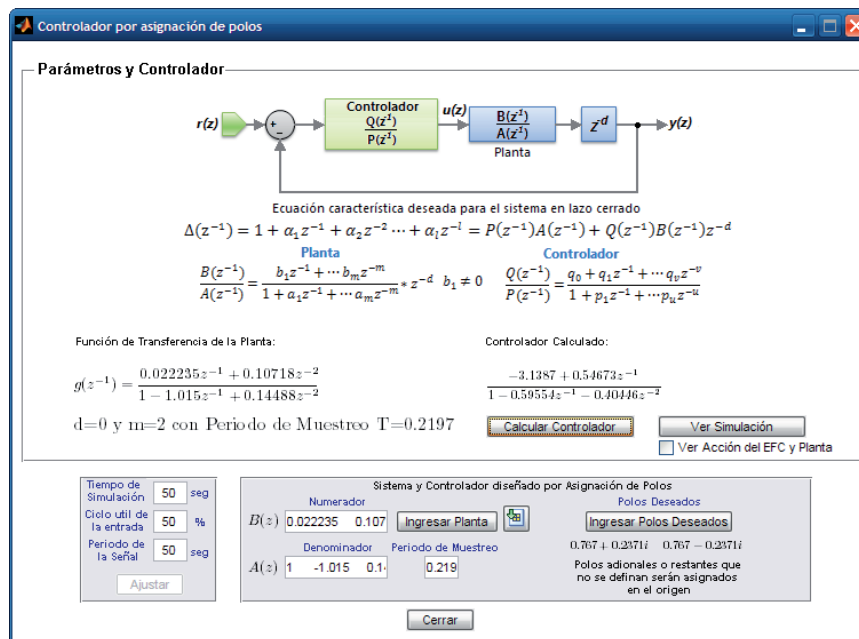
Gráfico 14. Interfaz para el ajuste y sintonía de controladores



2) Controladores digitales convencionales: Herramientas que permiten obtener controladores discretos en función del error como Dead-Beat, Kalman y

Dahlin, y el método de asignación de polos (García, 2009) (ver gráfico 15).

Gráfico 15. Herramienta para el diseño y simulación de controladores digitales usando el método de asignación de polos



3) Control en el espacio de estados: Diversas interfaces gráficas para la estimación y parametrización de sistemas de control en variables de

estado como reguladores por realimentación del estado, observadores y sistemas tipo servo (ver gráfico 16).

Gráfico 16. Herramienta para el diseño de sistemas tipo servo

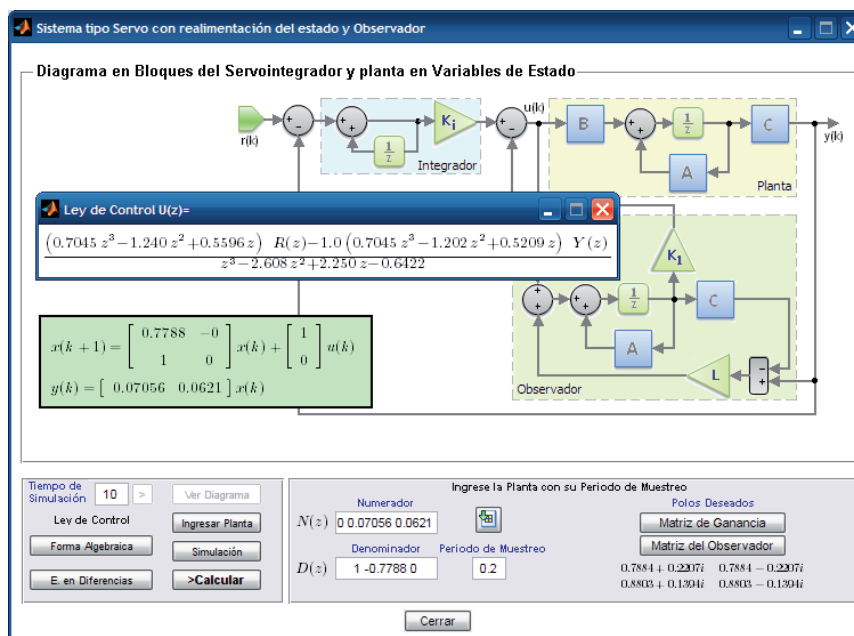
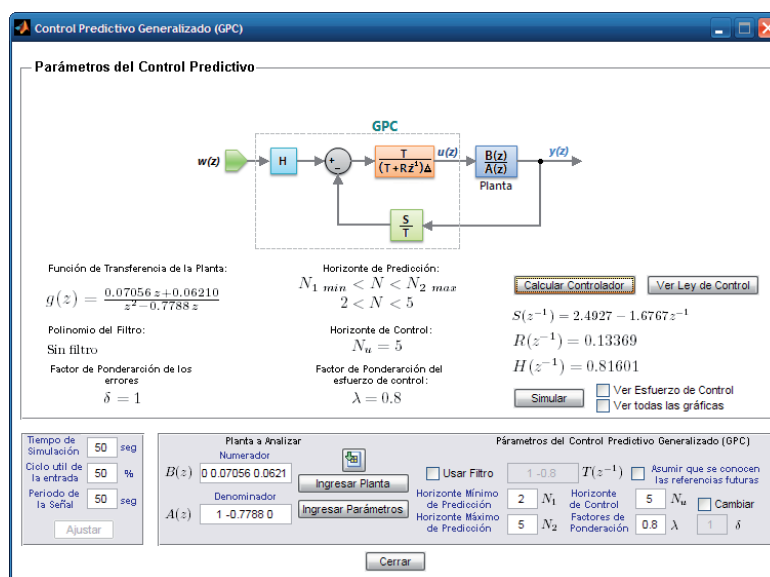


Gráfico 17. Interfaz gráfica para obtener y diseñar un sistema de control predictivo GPC



4) Controladores avanzados: Una variedad de herramientas con técnicas de control que tienen como objetivo optimizar la respuesta del sistema, asegurar el mínimo esfuerzo de control y el obtener el buen funcionamiento del proceso ante la presencia de ruido. Algunas de estas técnicas incluidas en DASC son:

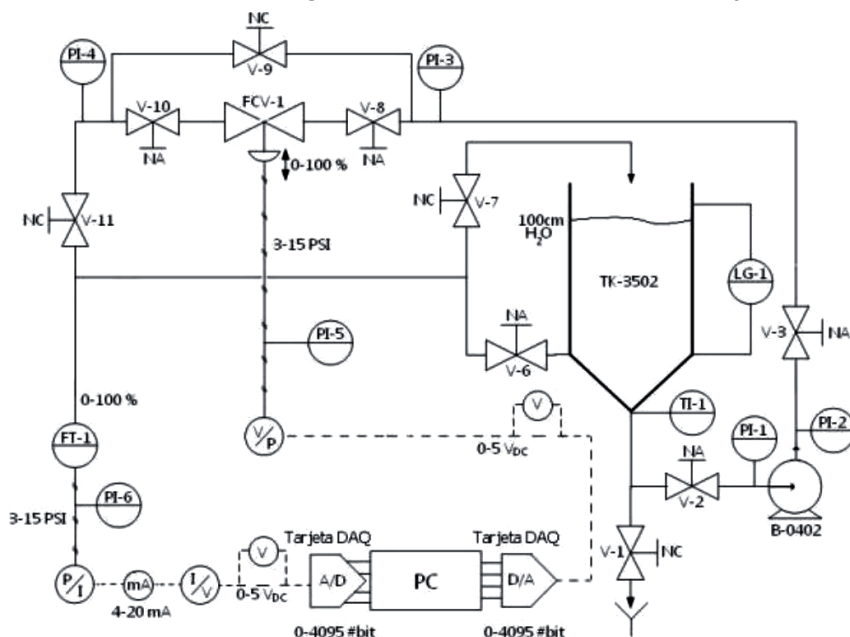
- Control Predictivo Generalizado GPC (ver gráfico 17).
- Control de Mínima Varianza.

- Control por modelo de referencia MRAC.
- Control por ganancia programable.

Caso de estudio

Esta sección ilustra algunas de las características de DASC con el objetivo de hallar un controlador óptimo en un punto de operación para el sistema de microflujo mostrado en el gráfico 18, ubicado en el Laboratorio de Controles Automáticos del Politécnico Colombiano JIC, Medellín Colombia.

Gráfico 18. Diagrama P&ID del sistema de microflujo

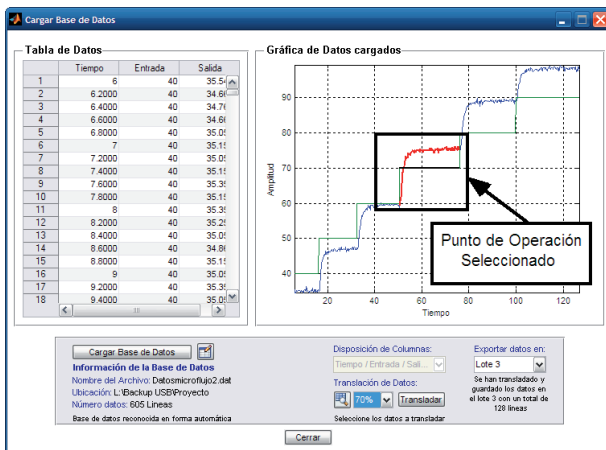


Los datos del proceso fueron tomados con una tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6221 usando un programa desarrollado en LabVIEW® 7.1.

Todos los resultados fueron obtenidos en MATLAB® R2008a ejecutándose en un PC con Intel® Pentium 4 de 3,02 GHz y 2GB de RAM.

El procedimiento de adquisición de datos se realiza generando perturbaciones al sistema, abriendo la válvula de control FCV-1 por medio del programa de adquisición en el PC, con estímulos tipo escalón, en forma ascendente del 10%, desde 40% a 90%. Finalmente se obtiene un archivo de base de datos en formato de Microsoft Excel® 2003, con el registro del tiempo, el estímulo o entrada, y la respuesta de salida del proceso.

Gráfico 19. Herramienta para cargar bases de datos. Base de datos, y el punto de operación seleccionado para analizar el proceso



Como se muestra en el gráfico 19, la base de datos fue cargada en DASC, donde se seleccionó el punto de operación, para el caso de este proceso el 70%, que es generalmente su rango de funcionamiento.

Con la ayuda de DASC los datos son trasladados y normalizados para proceder con la identificación del sistema.

Usando los módulos de identificación de sistemas que proporciona DASC se estimaron diversos modelos y se seleccionaron aquellos que presentaban mejores métricas de evaluación respecto al los datos reales (ver Tabla 1).

Tabla 1. Mejores aproximaciones al sistema de microflujo

Modelo	E [%]	J
$\frac{1.58e^{-0.331s}}{1.33s + 1}$	14.40	13.7590
$\frac{10.7e^{-0.231s}}{s^2 + 9.61s + 6.75}$	14.51	13.6630
$\frac{0.1662z^{-1} + 0.17413z^{-2}}{1 - 0.31403z^{-1} + 0.3958z^{-2}}$	9.889	12.8453
$\frac{0.0097656z^{-1} + 0.27139z^{-2}}{1 - 0.4437z^{-1} - 0.31753z^{-2}}$	10.18	10.5807
$\frac{0.039063z^{-1} + 0.19247z^{-2}}{1 - 0.60519z^{-1} - 0.2496z^{-2}}$	11.21	10.7890

De esta tabla se toma como referencia para el cálculo del controlador aquel que presenta menor error comparado con el proceso real.

$$G_p(z^{-1}) = \frac{0.0097656z^{-1} + 0.27139z^{-2}}{1 - 0.4437z^{-1} - 0.31753z^{-2}} \quad (5)$$

En todo sistema de control el objetivo principal lo constituye la elección adecuada del controlador, lo que permite tener una respuesta dinámica adecuada, procurando obtener el menor tiempo de establecimiento y sobreimpulso. En este sentido es importante no solamente seleccionar la acción de control más adecuada, sino también aquel que permita obtener una respuesta satisfactoria.

Esta tarea se efectuó de manera simple con ayuda del DASC, obteniendo para el sistema un controlador predictivo generalizado GPC, que optimiza la respuesta del sistema y mejora el comportamiento de la acción de control, la cual recae sobre la válvula de control FCV-1. La ley de control que se obtuvo fue la siguiente:

$$u(t) = 1.305u(t-1) - 0.3046u(t-2) - 0.6663y(t) + 0.2956y(t-1) + 0.2015y(t-2) + 0.8461w(t) \quad (6)$$

La simulación del sistema de control se observa en el gráfico 20, y la implementación real sobre el proceso se muestra gráfico 21. Se puede comprobar que el funcionamiento del proceso cumple con objetivo propuesto.

Con estos resultados se puede ver la aplicabilidad del toolbox en conceptos teóricos como prácticos de la teoría de control.

Gráfico 20. Simulación del sistema de control GPC para el proceso de microflujo

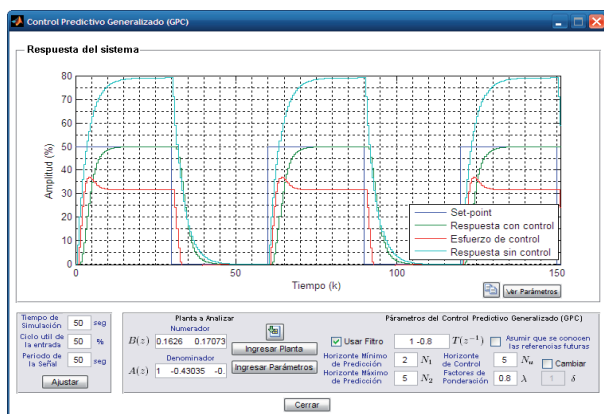
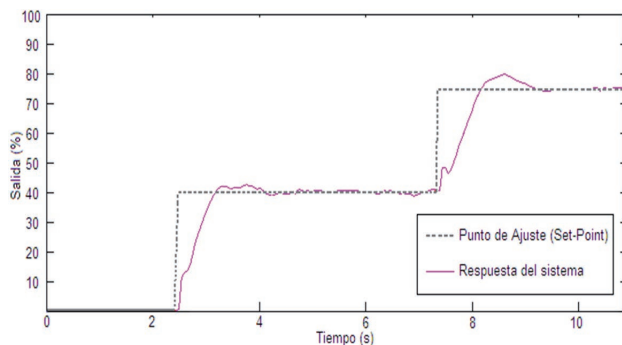


Gráfico 21. Respuesta del sistema de microflujo con el controlador GPC



Referencias

- Alfaro, Victor M. (2001). Identificación de procesos sobreamortiguados utilizando técnicas de lazo abierto, San José. Costa Rica, pp. 11-25.
- Control Station (2009). Loop Pro® Software, Consultado el 5 de julio de 2009 en <http://www.controlstation.com/cs-products/index.html>
- Franklin, G.F., J.D. Powell, and M.L. Workman. (1990). Digital Control of Dynamic Systems, Second Edition, Addison-Wesley, pp. 156.
- García Jaimes, Luis E. (2009). Control Digital: Teoría y Práctica, 2nd Edición, Politécnico Colombiano JIC, 2009.

Conclusiones

DASC cuenta con una variedad de procedimientos para el análisis y diseño de sistemas de control y una completa interfaz gráfica de usuario. Su diseño y la interactividad de los contenidos expuestos en diferentes módulos, cumple satisfactoriamente con la función de apoyar a los usuarios en el proceso de aprendizaje y enseñanza de los sistemas de control lineal. Estas características hacen de DASC una herramienta que puede ser usada para propósitos educacionales en asignaturas de control análogo y digital en programas de pregrado para las carreras de ingeniería.

El uso de este paquete de software acompañado de una buena orientación y otros recursos (libros y artículos) puede favorecer los procesos de enseñanza y aprendizaje grupales e individuales en los estudiantes.

Finalmente, cabe señalar la incorporación de nuevas funcionalidades, como nuevos módulos para abordar los conceptos de sistemas expertos, tratamiento de sistemas no lineales, y otras técnicas de análisis y diseño.

- Mathworks (2009), Product Overview, Consultado el 15 de agosto de 2009 en <http://www.mathworks.com/products/pfo/>
- QxDesign (2009), Visual ModelQ® Software, Consultado el 8 de julio de 2009 en <http://www.qxdesign.com/VisualModelQ.htm>
- Sanguino Botella, Javier. (1997). Iniciación a LaTeX2. Un sistema para preparar documentos, Madrid, Addison-Wesley.
- Systems Technology Inc. (2009). About Program CC®, Consultado el 5 de julio de 2009 en <http://www.programcc.com/about.asp>

Tiapa Jonatan (2009). Sistemas Lineales. Consultado el 6 de abril de 2009 en: <http://www.monografias.com/trabajos46/sistemas-lineales/sistemas-lineales2.shtml>

Vallero, Eric R. (1997). Identificación paramétrica de sistemas dinámicos, Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte, pp. 10-22.

Sobre el autor

Juan Camilo Gómez Cadavid

Ingeniero en Instrumentación y Control, miembro activo del Grupo de Investigación en Instrumentación, Control Automático y Robótica ICARO del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid,

Medellín Colombia, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Carrera 48 N° 7-151, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería en Instrumentación y Control, Medellín (Colombia).
juancamilogc@ingenieros.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.