

MATLAB '95

I Congreso de Usuarios de MATLAB

Madrid, 22 y 23 de Mayo de 1995



Organizan



Departamento de Informática y Automática
Facultad de Ciencias
U.N.E.D.

ADDLINK SOFTWARE CIENTIFICO

Programa Final MATLAB '95

HERRAMIENTA PARA ANÁLISIS Y DISEÑO EN EL ENTORNO MATLAB-SIMULINK

F. Morilla, S. Dormido Canto, S. Dormido

Dpto de Informática y Automática, UNED, Avda Senda del Rey s/n, 28040 Madrid.

Teléfono: 91-3987156, Fax: 91-3986697, E-mail: Fernando.Morilla@uned.es

Resumen: En este trabajo se describen las características más importantes de una herramienta de análisis y diseño desarrollada en el entorno de MATLAB-SIMULINK. El desarrollo de esta herramienta fue el objetivo principal del proyecto de fin de carrera "Diseño y Ajuste de Controladores en el Entorno Simulink", presentado por S. Dormido Canto en la E.T.S.I.I. (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales) del ICAI, en Mayo de 1994, bajo la dirección de F. Morilla. La herramienta está concebida con fines principalmente didácticos y está dirigida a usuarios con conocimientos básicos de sistemas de control, que encontrarán en ella la solución sistemática y razonada al problema de diseño del controlador.

1.- INTRODUCCIÓN.

Los entornos CACSD (Diseño de Sistemas de Control Asistido por Computadora), entendiéndose el término CACSD como "la utilización de computadoras como herramientas fundamentales durante las fases de modelización, identificación, análisis y diseño de un sistema de control", han experimentado en los últimos años grandes cambios. No obstante hay ciertos aspectos, principalmente de diseño, que estos entornos no llegan a cubrir. Concretamente en el entorno MATLAB, que es un programa de uso muy extendido académica e industrialmente, el diseño de sistemas de control sigue siendo una tarea poco sistematizada y abierta al usuario.

A finales de 1993, el Departamento de Informática y Automática de la UNED se propuso el desarrollo de una herramienta CACSD que facilitara el diseño de sistemas lineales de control realimentado. Como punto de partida ya se disponían de funciones propias en el entorno de MATLAB-386, contrastadas y utilizadas en el laboratorio de alumnos y el entorno "HyperAutomática". Pero como reto importante se planteaba aumentar sus prestaciones, incorporando las nuevas capacidades del interfaz gráfico de MATLAB en Windows y de la herramienta SIMULINK.

Estos objetivos se han cubierto satisfactoriamente, como se recoge en la memoria del proyecto de fin de carrera (Dormido 94), por lo que el Departamento dispone actualmente de una herramienta de análisis y diseño en el entorno MATLAB-SIMULINK, que cubre ampliamente los conceptos docentes impartidos en la asignatura de Automática I y que está concebida para ser fácilmente ampliable y mejorable. En este

documento, dada la limitación de espacio, se describen sólo las principales características de la herramienta.

2.- CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA.

La herramienta que se ha desarrollado en el entorno MATLAB-SIMULINK es capaz de a partir de un modelo conocido del proceso y de unas especificaciones de diseño, aconsejar sobre el tipo de controlador y encontrar la solución analítica, de acuerdo con los fundamentos descritos en (Morilla et al. 1994). Su aplicación al diseño de sistemas de control está por tanto limitada por las siguientes condiciones:

- El sistema de control tiene la estructura típica de control realimentado, con realimentación unitaria, de una sola entrada y una sola salida, en el que:
 - a) Tanto el proceso como el controlador vienen descritos por su función de transferencia en el dominio-s (sistema continuo), véase como ejemplo la figura 1.
 - b) Tanto el proceso como el controlador vienen descritos por su función de transferencia en el dominio-z (sistema discreto).
 - c) El proceso viene descrito por su función continua, el controlador por su función de transferencia discreta, y se conectan a través de un retenedor de orden cero (sistema muestreado).
- Las especificaciones de diseño están referidas a la respuesta temporal (errores en estado estacionario de posición y de velocidad) y a la respuesta en frecuencia (margen de fase y margen de ganancia).
- El controlador a diseñar puede ser: un bloque PID o sus variantes, una red de adelanto o una red de retardo. En la tabla 1 están recogidas sus funciones de transferencia, en la versión continua y en la versión discreta (aplicando la transformada bilineal inversa).

Tabla 1: Funciones de transferencia continuas y discretas de los controladores.

red de adelanto-retardo de fase	controlador PID
$G_C(s) = \frac{\frac{s}{\omega_{s_o}} + 1}{\frac{s}{\omega_{s_p}} + 1}$	$G_C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D s$
$G_C(z) = \frac{\omega_{z_o}}{\omega_{z_p}} \frac{1 + \omega_{z_p} \frac{z}{\omega_{z_o}} + 1}{1 + \omega_{z_o} \frac{z}{\omega_{z_p}} + 1}$	$G_C(z) = K_p \left(1 + \frac{T}{2 T_i} \frac{z+1}{z-1} + \frac{2 T_D}{T} \frac{z-1}{z+1} \right)$

Pero entorno al diseño la herramienta ofrece también la posibilidad de simular y analizar el sistema de control, con vistas al diseño posterior o para comprobar el diseño realizado.

- El análisis abarca respuesta temporal a entrada escalón unitario (del proceso, del sistema), respuesta en frecuencia (Bode y Nyquist) y lugar de las raíces. Así como la determinación de estabilidad y de características propias del diseño.
- La simulación, que tiene como único objetivo poner a disposición del usuario un espacio de trabajo SIMULINK, donde los bloques proceso y controlador están definidos por las funciones de transferencia elegidas por el usuario o calculada en el diseño, pero le permite efectuar todas las experiencias que desee.

3.- VENTANAS REPRESENTATIVAS DE LA HERRRAMIENTA.

A continuación se comentan ciertas ventanas, algunas de SIMULINK y otras de MATLAB, incluidas en la herramienta que dan una idea clara de su potencial.

En el menú principal el usuario elige, gráficamente, uno de los tres tipos de sistemas posibles (continuo, discreto o muestreado). De esta forma accede al menú de sistemas, en el que independientemente del sistema elegido siempre tiene las siguientes opciones: a) Pasar a configurar el sistema, introduciendo los polinomios de las funciones de transferencia del proceso y del controlador, b) Simular la respuesta temporal del sistema, c) Desencadenar un análisis del sistema, d) Efectuar el diseño del controlador, e) Volver al menú principal.

Mediante la opción de simulación el usuario accede a un espacio de trabajo SIMULINK, que representa al sistema previamente configurado más los bloques auxiliares de excitación y de visualización, en el que tiene la posibilidad de simular en distintas condiciones de excitación y de control, e incluso probar con distintos procesos, todo ello aprovechando el entorno SIMULINK. La figura 1 es un ejemplo de simulación correspondiente a un sistema continuo, donde el usuario puede observar el diagrama de bloques del sistema, la señales de error, de control, de salida y de referencia.

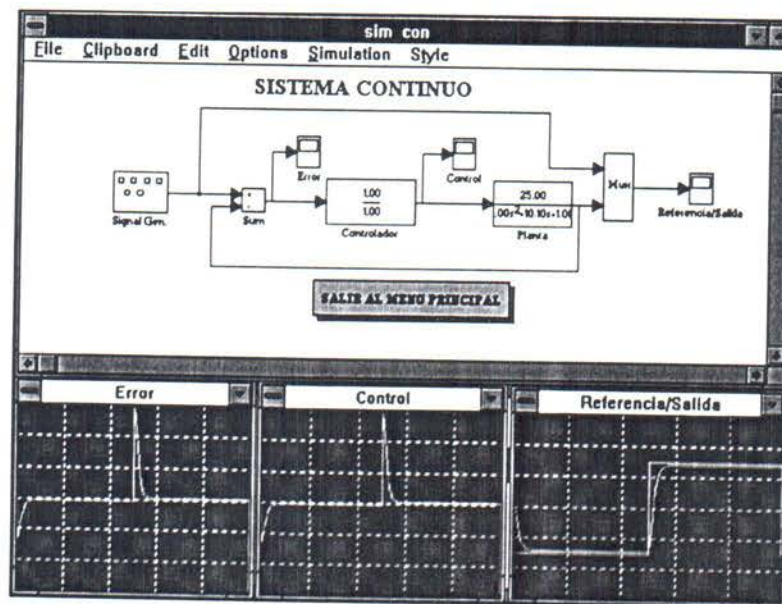


Figura 1: Entorno de simulación para sistemas continuos.

La opción de análisis desencadena un estudio y presentación de las siguientes características del sistema configurado: estabilidad, errores en estado estacionario, margen de fase y margen de ganancia. Dejando al usuario otras opciones de análisis como son el estudio de la respuesta temporal del proceso o del sistema, de la respuesta en frecuencia, del lugar de las raíces o una combinación de los tres (representado por la opción de análisis total). La figura 2 es un ejemplo de la pantalla con información textual y numérica del análisis del sistema de la figura 1.

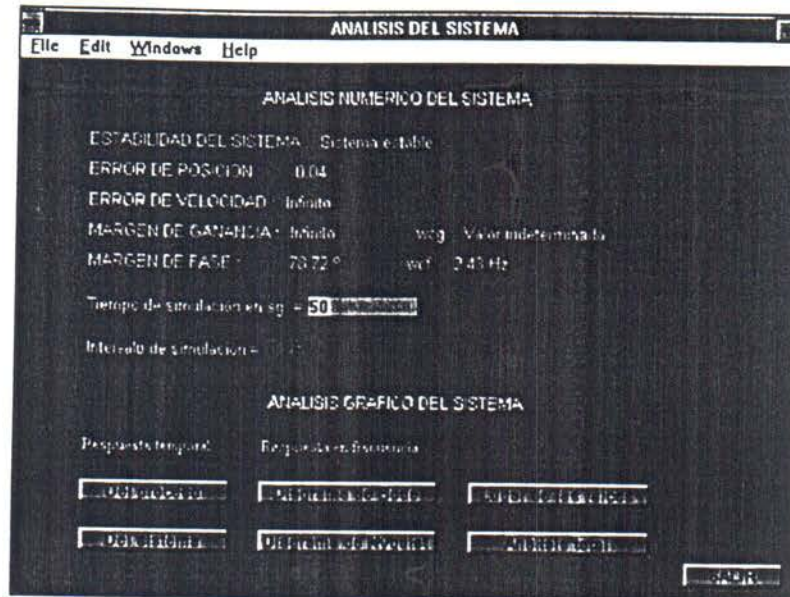
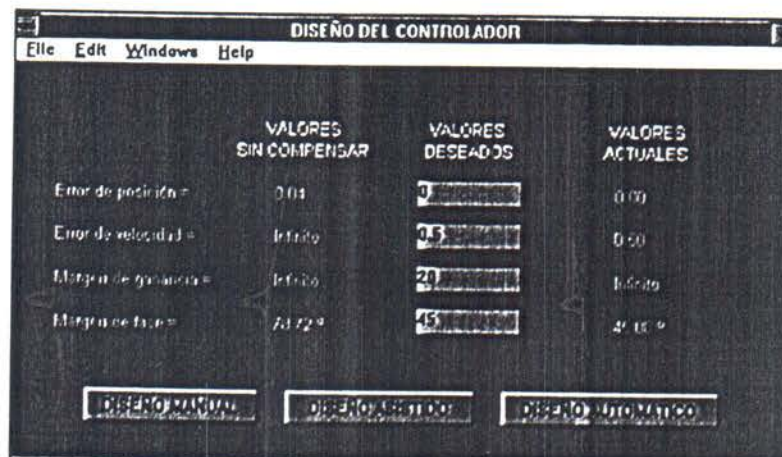


Figura 2: Ventana de análisis.



En la opción de diseño se presenta información sobre los errores de posición y velocidad, así como de los márgenes de ganancia y de fase del sistema sin compensar y del sistema actual. Se ofrecen cuatro campos activos donde el usuario debe introducir los valores que desea obtener con el diseño. También aparecen tres botones para que usuario elija el tipo de diseño: manual, asistido o automático. La figura 3 es un ejemplo de diseño PI automático para el sistema de la figura 1. Teniendo en cuenta que los errores en estado estacionario y que el margen de fase son el conjunto de especificaciones para el método de diseño (Morilla 94), se observa que tres de los valores deseados en la figura 3 se han conseguido y que el margen de ganancia es en este caso mayor que el deseado.

Como resultado del diseño, el usuario recibe información sobre el controlador diseñado. La figura 4 es un ejemplo de ello, corresponde al diseño PI para el sistema de la figura 1 con las especificaciones de la figura 3. En ella el usuario puede observar la función de transferencia del controlador, sus parámetros y sus características de respuesta en frecuencia.

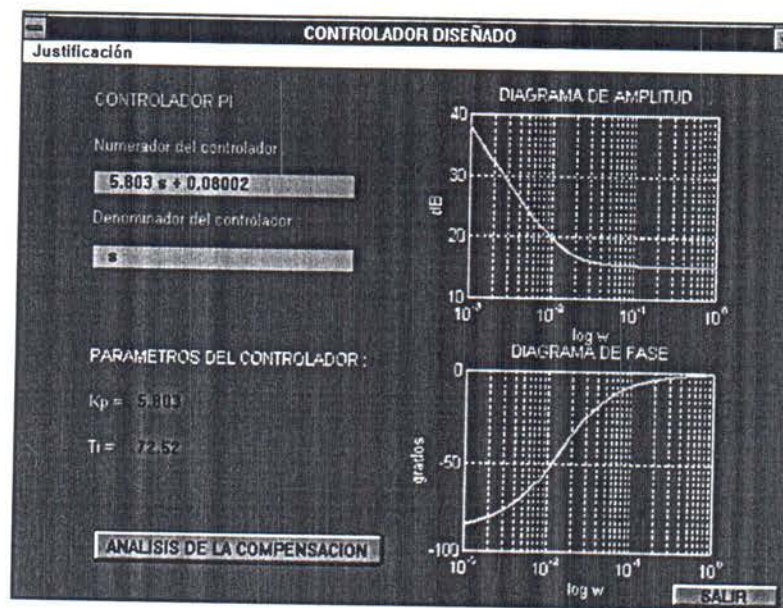


Figura 4: Ventana de parámetros del controlador.

Si el usuario selecciona diseño manual, aparece un menú con los posibles controladores para conseguir las especificaciones de errores estacionarios. Una vez elegido el controlador: informa si existe solución, y de existir solicita un valor de la frecuencia de diseño (ω_c) que pertenezca al rango de soluciones, presenta resultados intermedios del diseño y presenta los parámetros del controlador diseñado. En el caso PID, solicita además un valor de la ganancia integral K_I o de la ganancia derivativa K_D para que exista solución (Morilla 94). Si selecciona diseño asistido, la elección del controlador corre por cuenta de la herramienta, según los criterios que se exponen en (Morilla 94), y el usuario sólo interviene en la elección de la frecuencia de diseño ω_c y en la elección de la ganancia proporcional integral o derivativa en el PID. Si selecciona

diseño automático, se presenta directamente el controlador diseñado sin ningún tipo de intervención por parte del usuario.

En cualquier caso, el usuario siempre tiene acceso a una información textual sobre las condiciones en las que se ha realizado el diseño realizado. La figura 5 es un ejemplo de ello, corresponde al diseño PI automático de para el sistema de la figura 1, con las especificaciones de la figura 3, que dió como resultado el controlador de la figura 4.

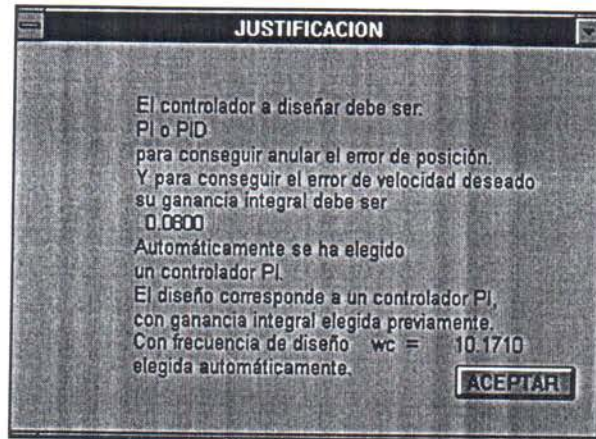


Figura 5: Ventana de justificación del diseño.

Con el botón análisis de la compensación de la figura 4 el usuario puede comparar el sistema sin compensar con el sistema compensado. La figura 6 es un ejemplo de ello, corresponde a la comparación del sistema de la figura 1, con el controlador unitario y con el controlador PI de la figura 4.

4.- CONCLUSIONES.

Los innumerables ejemplos de diseño que se han realizado en las fases de desarrollo y de documentación del proyecto nos confirman la gran utilidad práctica de este tipo de herramientas para fines docentes en la universidad e incluso en ambientes industriales. En el curso académico 94/95 ya ha sido utilizada, con buen agrado, por los alumnos en los laboratorios de la asignatura Automática I y por personal técnico de REPSOL en el curso de formación que se les imparte en este Departamento.

A pesar del gran trabajo realizado en el proyecto, la herramienta en su versión actual debe sufrir ciertas ampliaciones y mejoras, algunas de las cuales se enumeran a continuación.

- El proceso y el controlador sólo pueden venir descritos por sus funciones de transferencia. Una futura ampliación debería incluir representación en variables de estado para ambos. Además sería conveniente poder elegir el tipo de controlador y en

ese caso el usuario introduciría los parámetros de control en lugar de su función de transferencia.

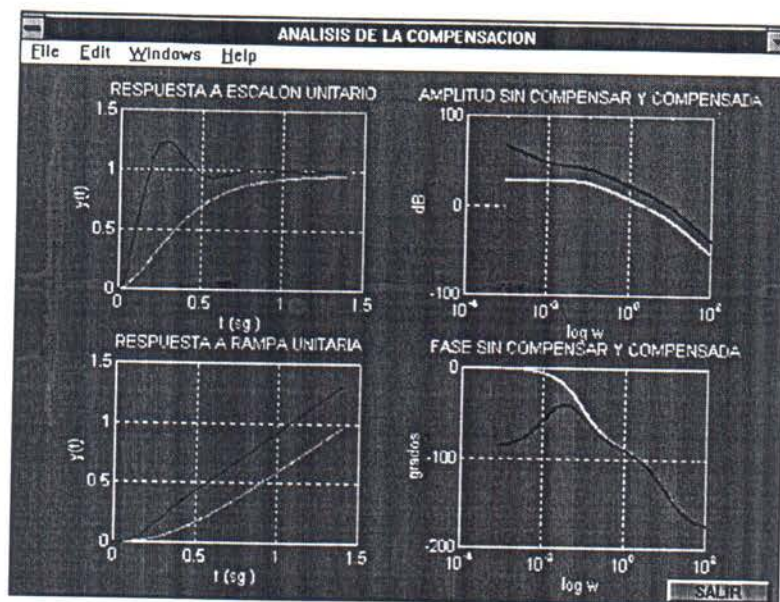


Figura 6: Ventana de análisis de la compensación.

- Un diseño realizado se compara con el sistema sin compensar, pero no se compara con otros diseños realizados, se debería incorporar esta otra posibilidad.
- El usuario no tiene la capacidad de almacenar más de un sistema concreto (en la versión actual sólo es posible guardar una configuración, la última aceptada por el usuario) y los resultados asociados al mismo con un nombre que permita posteriormente recuperarlos a efectos de comparación con otros diseños o continuar con el mismo.
- La especificación de margen de ganancia sólo se utiliza en el caso de diseño automático para decidir sobre el controlador más adecuado y en general le sirve al usuario como una medida de estabilidad relativa del diseño realizado. En una futura versión se puede plantear el diseño por margen de ganancia, en ese caso la especificación de margen de fase jugaría el otro papel. El usuario tendría entonces opción a elegir el tipo de compensación.
- Las especificaciones de diseño que se refieren a estabilidad relativa, como son los márgenes de ganancia y de fase, se pueden sustituir o complementar con especificaciones sobre la respuesta temporal, como son el tiempo de asentamiento y la máxima sobreelongación. El diseño analítico actual seguiría siendo válido, simplemente habría que establecer una correspondencia entre las especificaciones de respuesta temporal y las de respuesta en frecuencia.

5.- REFERENCIAS.

Aranda, J., Dormido, S. Cruz, J. M. de la, Fernández, J. L., Morilla, F., Canto, M. A. Hyperautomática: Un entorno multimedia para la enseñanza del control automático. Jornadas de Automática (Navarra, Septiembre 1991).

Aranda, J., Dormido, Fernández, J. L., Morilla, F. Memoria final del proyecto de innovación educativa: Curso de Automática con técnicas de hipertexto. UNED, 1992.

Dormido Canto, S. Proyecto de diseño y ajuste de controladores en el entorno Simulink. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, I.C.A.I., Mayo 1994.

Morilla, F., S. Dormido Canto y S. Dormido. 1994. "Diseño de controladores en el entorno MATLAB-SIMULINK". Jornadas de Automática (Málaga, 13-14 Octubre 1994): 7-14.