

SERVIDOR WWW PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL

F. Morilla

Dpto. de Informática y Automática, Facultad de Ciencias, UNED
Avda. Senda del Rey 9, 28040 Madrid. E-mail: fmorilla@dia.uned.es

A.W. Fernández

Instituto de Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Juan
Avda Libertador General San Martín 1109 Oeste, 5400 San Juan, Argentina.
E-mail: arnoldo@inaut.unsj.edu.ar ; afernandez@dia.uned.es

Resumen

En este trabajo se presenta una adaptación de la herramienta SISTEMAS con vistas a su utilización como servidor WWW para análisis y diseño de sistemas de control a través de una Intranet o de Internet o integrada en el paradigma de laboratorio virtual que el Dpto. de Informática y Automática de la UNED está desarrollando.

La herramienta, que cubre ampliamente los conceptos docentes impartidos en la asignatura de Automática I, se ha venido utilizando desde el curso académico 94/95 como material de apoyo en el estudio de la asignatura y en una de las sesiones prácticas que se desarrollan en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la UNED. Con la nueva concepción de servicio WWW, el alumno podrá utilizar la herramienta cuantas veces desee (para el estudio o para realizar la sesión práctica) desde su propio domicilio o desde el Centro Asociado, sólo necesitará de una conexión a Internet.

Palabras Clave: sistemas de control, diseño clásico, laboratorio virtual, enseñanza a distancia

1 INTRODUCCIÓN

Desde 1994, el Departamento de Informática y Automática de la UNED dispone de una herramienta CACSD (Diseño de Sistemas de Control Asistido por Computador) que facilita el diseño de sistemas lineales de control realimentados en el entorno Matlab-Simulink [1] [4] [5]. La herramienta cubre ampliamente los conceptos docentes impartidos en la asignatura de Automática I y desde el curso académico 94/95 se ha venido utilizando bajo el acrónimo *SISTEMAS*, con gran aceptación por parte de los alumnos (aproximadamente 70 alumnos por curso), en una de las prácticas de laboratorio de la asignatura [3]. En ese mismo curso, se eliminó su dependencia con Simulink y se hizo una adaptación

para la edición estudiante de la versión 4 de Matlab para que los alumnos pudieran utilizarla en su domicilio, previa solicitud al equipo docente de la asignatura. A partir del curso 99/00 la herramienta está al alcance de todos los alumnos de Físicas de la UNED, pues se incluye como un material auxiliar en el CD-Rom que acompaña a la guía de curso.

Desde 1999, el Departamento está trabajando en el desarrollo de nuevos paradigmas de laboratorios virtuales y remotos para la práctica a distancia de la Automática, cuyos resultados se han presentado en diversos foros entre los que destacan [2] [7]. A partir del año 2001, por un periodo de tres años, dicho desarrollo ha merecido financiación del Plan de Promoción de la Investigación en la UNED 2000.

En este trabajo se presenta una adaptación de la herramienta *SISTEMAS* con vistas a su utilización como servidor WWW para análisis y diseño de sistemas de control a través de una Intranet o de Internet, dentro de un nuevo contexto que podríamos denominar CSDS (Servidores para Diseño de Sistemas de Control), o integrada en el paradigma de laboratorio virtual. Dicha adaptación, que ha sido posible al Matlab Web Server, ha obligado a efectuar cambios significativos en los archivos *.m y a un desarrollo completo de la interfaz, basada en páginas HTML dinámicas. Pero también se ha aprovechado para incorporar nueva funcionalidad con el fin de facilitar al profesor la evaluación de los diseños realizados por los alumnos. El servidor está aún en fase de desarrollo pero ya ha sido utilizado desde la Intranet de la Facultad de Ciencias de la UNED por 16 alumnos durante los días 20 y 21 de abril de 2001 a razón de 4 horas diarias, 4 grupos por día y 2 alumnos por grupo con motivo de la semana de prácticas de los alumnos matriculados en el Centro Asociado de Madrid.

2 CARACTERÍSTICAS DE "SISTEMAS"

Dado un modelo del proceso y unas especificaciones de diseño, la herramienta *SISTEMAS* es capaz de aconsejar sobre el tipo de controlador y encontrar la

solución analítica de acuerdo con los fundamentos de diseño que se resumen en la sección 2.1, descritos con mayor detalle en [1] [4]. El alcance de la herramienta viene determinado por las siguientes características generales:

- El sistema de control puede ser continuo, discreto o muestreado, con realimentación unitaria, tal como se muestra en la figura 1.

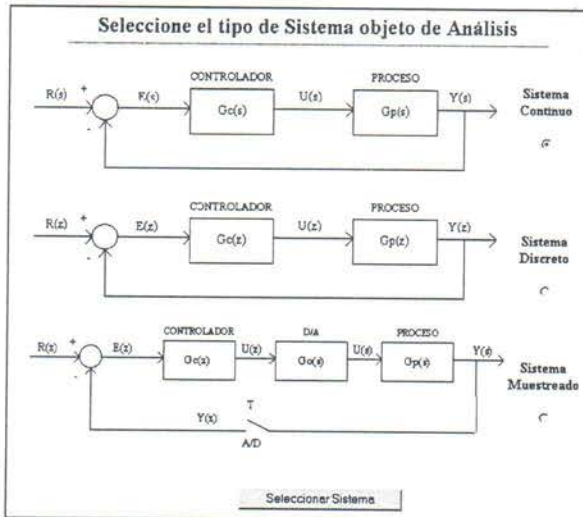


Figura 1: sistemas contemplados en la aplicación

- El modelo del proceso y el controlador vienen descritos por sus funciones de transferencia. Las dos continuas si el sistema es continuo, las dos discretas si el sistema es discreto, la del proceso continua y la del controlador discreta si el sistema es 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 (PI, PD), una red de adelanto (AF) o una red de retardo (RF). Según se recoge en la tabla 1.

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

red (adelanto-retardo)	controlador PID
$K \frac{\frac{s}{\omega_{s_0}} + 1}{\frac{s}{\omega_{s_p}} + 1}$	$K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$
$K \frac{\omega_{z_0} (1 + \omega_{z_p} \frac{z}{\omega_{z_0}}) \frac{z}{\omega_{z_0}} + 1}{\omega_{z_p} (1 + \omega_{z_0} \frac{z}{\omega_{z_0}}) \frac{z}{\omega_{z_p}} + 1}$	$K_P \left(1 + \frac{T}{2 T_I} \frac{z+1}{z-1} + \frac{2 T_D}{T} \frac{z-1}{z+1} \right)$

La herramienta ofrece también la posibilidad de analizar el sistema de control, con vistas al diseño

posterior o para comprobar el diseño realizado. El análisis abarca la respuesta temporal a entrada escalón unitario (del proceso, del sistema), la respuesta en frecuencia (Bode y Nyquist) y el lugar de las raíces. Así como la determinación de estabilidad y de las características propias del diseño, véase como ejemplo la figura 2.

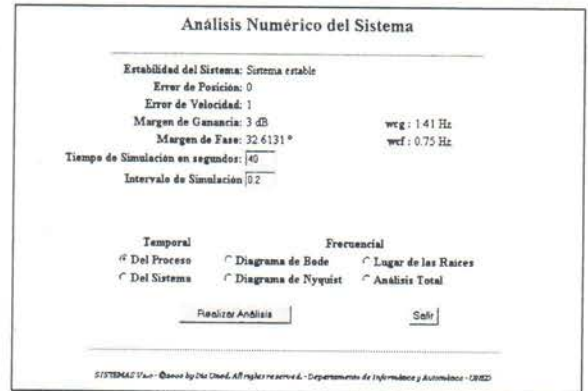


Figura 2: ejemplo de análisis

2.1 DISEÑO CON "SISTEMAS"

Cualquier sistema de control debe ser estable, luego ésta es una especificación primaria en el diseño del sistema de control. Además de la estabilidad absoluta, un sistema de control debe tener una estabilidad relativa adecuada, es decir, la respuesta del sistema debe ser relativamente rápida y presentar un amortiguamiento razonable. Un sistema de control debe también reducir a cero, o a un valor pequeño los errores de la salida respecto a la señal de referencia. La estabilidad relativa y la exactitud en régimen estacionario suelen ser exigencias algunas veces incompatibles, por lo que es necesario llegar a un compromiso eficaz entre ambos requisitos.

La herramienta *SISTEMAS* aborda el diseño automático del sistema de control en dos pasos:

1º) **Compensación de errores en estado estacionario:** entendido como aquel procedimiento que, dado un proceso y unas especificaciones de errores de posición y de velocidad, selecciona el conjunto de posibles controladores y determina el valor de alguno de sus parámetros de control.

2º) **Compensación por margen de fase:** entendido como aquel procedimiento, continuación del anterior, que elige el controlador más adecuado y determina el resto de parámetros de control para conseguir la especificación de margen de fase condicionada si fuera necesario a la especificación de margen de ganancia.

La tabla 2 muestra todos los casos posibles de compensación de errores con los controladores contemplados en *SISTEMAS*, agrupados en dos familias, (AF, RF, PD) y (PI, PID), porque:

- La red de adelanto-retardo y el controlador PD permiten modificar el error finito del sistema sin compensar mediante la elección adecuada de uno de sus parámetros, la ganancia K o la ganancia proporcional K_p respectivamente.
- Los controladores PI y PID permiten anular el error finito del sistema sin compensar, y su ganancia integral $K_i=K_p/T_i$ se puede utilizar para conseguir un determinado valor finito del error de orden superior.

Tabla 2: Posibles controladores para la compensación de errores en estado estacionario.

sistema sin compensar		sistema compensado		posible control
error de posición	error de velocidad	error de posición	error de velocidad	
finito	infinito	finito	infinito	AF,RF,PD
finito	infinito	nulo	finito	PI, PID
finito	infinito	nulo	nulo	Ninguno
nulo	finito	finito	infinito	Ninguno
nulo	finito	nulo	finito	AF,RF,PD
nulo	finito	nulo	nulo	PID, PID
nulo	nulo	finito	infinito	Ninguno
nulo	nulo	nulo	finito	Ninguno
nulo	nulo	nulo	nulo	AF,RF,PD PI, PID

En la tabla 3 se recogen las fórmulas de compensación por margen de fase para sistemas continuos, propuestas por Phillips y Nagle [6], aplicables también a los sistemas discretos y muestreados en el dominio w de la transformación bilineal. Donde $G(j\omega)$ es la respuesta en frecuencia del proceso y θ es la fase que debe aportar el controlador para que a la frecuencia ω_c se consiga el margen de fase deseado. Su valor viene determinado por la expresión

$$\theta = MF_{\text{deseado}} - 180^\circ - \arg(G(j\omega_c))$$

Tabla 3: Compensación por margen de fase.

red adelanto-retardo de fase	controladores PID
$\omega_c = \frac{\text{sen}\theta}{1 - \frac{\text{cos}\theta}{ K G(j\omega_c) }}$	$K_p = \frac{\text{cos}\theta}{ G(j\omega_c) }$
$\omega_c = \frac{\text{sen}\theta}{\text{cos}\theta - K G(j\omega_c) }$	$K_D \omega_c - \frac{K_i}{\omega_c} = \frac{\text{sen}\theta}{ G(j\omega_c) }$

En las fórmulas de la tabla 3 se parte de la premisa que la frecuencia de diseño ω_c se conoce de antemano y de que existe total libertad para los parámetros del controlador (K , ω_{so} y ω_{sp} en el caso de la red; K_p , $K_i=K_p/T_i$ y $K_D=K_p T_D$ en el caso del controlador PID). Pero ésta no es la situación habitual en *SISTEMAS*, porque ω_c aún no se conoce y porque previamente, como consecuencia de la compensación de errores en estado estacionario, se ha determinado el valor de K para la redes AF y RF, el valor de K_p para el

controlador PD o el valor de K_i para los controladores PI y PID, pero aún no se ha decidido el controlador. De ahí que la compensación por margen de fase en *SISTEMAS* esté también acompañada de la selección del controlador, uno de entre los miembros de la familia (AF, RF, PD) o (PI,PID), de la determinación del rango de valores de ω_c para el que existe solución. Dejando como grado de libertad la elección de la frecuencia de diseño, al que se une otro grado de libertad (el valor de la ganancia integral o de la ganancia derivativa) cuando el controlador es PID y su ganancia integral no está forzada por la compensación de errores.

2.2 TIPOS DE DISEÑO

Los grados de libertad comentados en la sección anterior no se transmiten al usuario en la modalidad de DISEÑO AUTOMÁTICO, donde la elección del controlador y la elección de la frecuencia de diseño corre a cargo de la aplicación. Pero se transmiten totalmente al usuario en la modalidad de DISEÑO MANUAL, donde éste podrá elegir el controlador (entre aquellos que puedan compensar los errores en estado estacionario), la frecuencia de diseño (dentro del rango de posibles soluciones) y el valor de la ganancia integral o derivativa si fuera necesario.

Existe una modalidad intermedia, el DISEÑO ASISTIDO, donde la elección del controlador corre a cargo de la aplicación, con los siguientes criterios:

- PI o PID: sólo cuando el MF del sistema sin compensar sea menor que el MF deseado, se elige el controlador PID.
- (AF,PD) o RF: sólo cuando el MF del sistema sin compensar sea mayor que el MF deseado, se elige la red RF.
- AF o PD: sólo cuando el MG del sistema sin compensar sea menor que el MG deseado, se elige el controlador PD.

SISTEMAS incorpora las siguientes reglas para hacer la selección automática de la frecuencia de diseño:

- AF, RF, PD sin condición sobre su K_p , PI o PID sin condición sobre su K_i : se elige ω_c como la media geométrica de los extremos del rango de frecuencias en el que existe solución.
- PI con condición sobre su K_i : se elige ω_c como el máximo valor de las frecuencias pertenecientes al rango de soluciones PI que satisfacen además la ecuación:

$$K_i |G(j\omega_c)| + \omega_c \text{sen}\theta = 0$$

- PD con condición sobre su K_p : se elige ω_c como el mínimo valor de las frecuencias pertenecientes al rango de soluciones PD que satisfacen además la ecuación:

$$K_p |G(j\omega_c)| - \text{cos}\theta = 0$$

- PID con condición sobre su K_I : se elige ω_c como el mínimo valor de las frecuencias pertenecientes al rango de soluciones PID que satisfacen además la ecuación:

$$0 < \left(\frac{K_I}{\omega_c} + \frac{\text{sen } \theta}{|G(j\omega_c)|} \right) \omega_c < K_I$$

E incorpora las siguientes reglas para hacer la selección automática de la ganancia integral o de la ganancia derivativa en el caso PID sin condición sobre su K_I :

- Si $\theta < 0$: se elige K_I como un 20% superior al mínimo posible, concretamente

$$K_I = -1.2 \frac{\text{sen } \theta}{|G(j\omega_c)|} \omega_c$$

- Si $\theta > 0$: se elige K_D como un 20% superior al mínimo posible, concretamente

$$K_D = 1.2 \frac{\text{sen } \theta}{\omega_c |G(j\omega_c)|}$$

3 LA VERSIÓN SERVIDOR DE SISTEMAS

El objetivo principal del desarrollo de *SISTEMAS* en 1994 [4] fue la creación de una aplicación en Matlab para que el usuario (alumno de Automática I) con conocimientos básicos de sistemas de control pudiera analizarlos y diseñarlos sin necesidad de programar en Matlab, sólo con unos mínimos conocimientos de su sintaxis. Pero lógicamente el usuario debía disponer de una versión de Matlab, la edición estudiante de la versión 4 o superior.

Desde entonces la herramienta ha sufrido pequeñas adaptaciones, comentadas en la sección 1, y en la actualidad se dispone de una adaptación a la versión 5.3. En cambio la adaptación que se presenta en este trabajo es de mayor envergadura y está motivada por la preocupación constante del Dpto. de Informática y Automática de la UNED de ofrecer una enseñanza de calidad y adaptada a los nuevos cambios tecnológicos.

La versión servidor de *SISTEMAS* presenta además una serie de ventajas respecto a la versión local:

- No obliga a que el usuario tenga que disponer de Matlab. Sólo necesita de un navegador estándar.
- Facilita al equipo docente de Automática I la programación de una serie de sesiones prácticas que el alumno puede abordar desde su propio domicilio cuando y como desee, sin tener que acogerse a ningún tipo de horario.
- Sólo existe una copia de la herramienta, la que está en el servidor del Dpto., luego su actualización o mejora puede ser casi continua sin producir ningún tipo de trastornos entre los usuarios. Al mismo tiempo que se puede tener un control sobre los accesos.

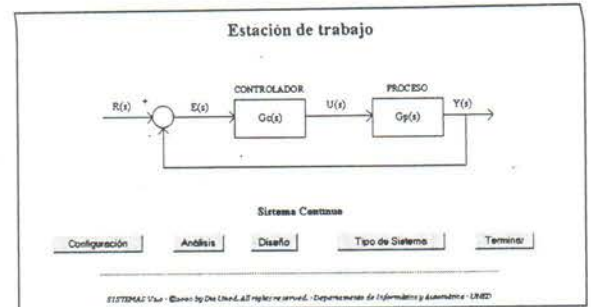


Figura 3: Aspecto de la estación de trabajo cuando está seleccionado un sistema continuo.

La nueva versión mantiene toda la funcionalidad, sólo cambia la interfaz, basada ahora en páginas HTML dinámicas. Pero también incorpora nueva funcionalidad con el fin de facilitar al profesor la evaluación de los diseños realizados por los alumnos. Una de las páginas HTML más representativas de la aplicación es la denominada *Estación de trabajo*, véase la figura 3, que muestra el esquema del tipo de sistema (continuo, discreto o muestreado) seleccionado en ese momento y presenta las siguientes cinco opciones al usuario:

Configuración: para que el usuario acceda a la página HTML que le permitirá ver y modificar las funciones de transferencia del proceso y del controlador, y el periodo de muestreo en caso de que el sistema sea discreto o muestreado.

Análisis: para desencadenar el estudio y presentación de las características del sistema (estabilidad, errores en estado estacionario, margen de fase y margen de ganancia), véase como ejemplo la figura 2, dejando al usuario las otras opciones de análisis (respuesta temporal, respuesta en frecuencia y lugar de las raíces) comentadas en la sección 2.1. Además de la opción de análisis total que presentará en una misma página HTML la respuesta temporal del sistema, el diagrama de Bode y el lugar de las raíces.

Diseño: para obtener información sobre los errores de posición y de velocidad, así como los márgenes de ganancia y de fase del sistema sin compensar y del sistema actual, permitiendo al usuario que solicite un nuevo diseño (con las especificaciones actuales o con otras distintas), que elija otro tipo de diseño, que genere un informe del diseño realizado o que vuelva a la estación de trabajo. Véase como ejemplo la figura 4.

Tipo de sistema: para que el usuario acceda a la página de la figura 1, donde tras observar el sistema seleccionado actualmente tiene la opción de cambiarlo.

Terminar: para salir de la aplicación.

Otra página HTML representativa de la aplicación es la denominada *Controlador diseñado*, véase la figura 5, en la que como resultado del diseño, el usuario recibe información sobre la función de transferencia del controlador, sus parámetros y una justificación

textual de cómo se ha llegado a la solución. Puede entonces volver a página de *Diseño* para comprobar si se han alcanzado las especificaciones, pero también tiene la opción de hacer un análisis comparativo entre el sistema sin compensar y el sistema compensado.

Diseño			
	Valores sin Compensar	Valores Deseados	Valores Actuales
Error de Posición:	0	0	0
Error de Velocidad:	1	1	1
Margen de Ganancia:	3 dB	3	3.75763
Margen de Fase:	32.6131 *	45	45

Tipo de Diseño: Diseño Manual

Figura 4: Aspecto de la página de diseño después de haber realizado un diseño manual

Controlador diseñado	
Tipo de Controlador: Red de adelanto	
Numerador del Controlador:	2.497 s + 1
Denominador del Controlador:	1.3762 s + 1
Parámetros del Controlador	
Kp:	1
cero:	-0.400487
polo:	-0.726638
Justificación:	
El controlador a diseñar debe ser: red de adelanto, de retardo o PD para mantener el error de velocidad finito. Y para conseguir el error de velocidad deseado su ganancia en estado estacionario	
<input type="button" value="Análisis de la Compensación"/> <input type="button" value="Salir"/>	

Figura 5: Aspecto de la página del controlador diseñado

En la figura 6 se muestra un ejemplo de informe generado por la aplicación: se trata de una página HTML con información relevante del último diseño realizado más el nombre del usuario y un campo con los comentarios que el usuario haya deseado incluir. El usuario tiene entonces la opción de imprimir la página desde el navegador, pero además tiene la opción de guardar la información asociada a dicho informe en su computador. Los informes así generados tienen como finalidad que el alumno pueda documentar los diseños que haya tenido que realizar en una sesión práctica. Pero si además el alumno se ha preocupado de guardar un informe por cada diseño realizado, el profesor los podrá evaluar desde una aplicación especial simplemente conociendo el código que la aplicación asoció a cada diseño.

Informe de la Práctica

Nombre: FERNANDEZ, Arnaldo

Configuración del Sistema		Controlador	
Numerador:	[2]	Numerador:	[0.5355 1]
Denominador:	[1 3 2 0]	Denominador:	[0.58579 1]

Datos del Diseño:

	Valores sin Compensar	Valores Deseados	Valores Actuales
Error de Posición:	0	0	0
Error de Velocidad:	1	1	1
Margen de Ganancia:	3 dB	3	3.42956
Margen de Fase:	32.6131 *	45	45

Datos del Control diseñado:

Tipo de Controlador: Red de adelanto

Numerador del Controlador: [1.5355 s + 1] Denominador del Controlador: [0.58579 s + 1]

Parámetros del Controlador:

Kp: 1
cero: -0.400487
polo: -1.72711

Justificación:

El controlador a diseñar debe ser: red de adelanto, de retardo o PD para mantener el error de velocidad finito. Y para conseguir el error de velocidad deseado su ganancia en estado estacionario debe ser 1.0000 El diseño es manual y ha elegido una red de adelanto. El diseño corresponde a una red de adelanto, elegida previamente. Con frecuencia de diseño $\omega_c = 1.0000$ elegida manualmente.

Informe Gráfico del diseño:

RESPUESTA A ESCALON UNITARIO

AMPLITUD SIN COMPENSAR Y COMPENSADA

RESPUESTA A RAMPA UNITARIA

FASE SIN COMPENSAR Y COMPENSADA

Comentarios de la Práctica:

El controlador diseñado cumple los requerimientos de respuesta... (comentarios del alumno)

Figura 6: Ejemplo de informe generado por la aplicación

3.1 SESIÓN PRÁCTICA

A continuación se describe la secuencia habitual de una sesión práctica con la versión servidor de *SISTEMAS*:

Comienzo de sesión: El usuario accede a la página HTML principal del servidor, véase la figura 7, y tiene la opción de comenzar una sesión o de retomar una sesión que tuvo que interrumpir por algún motivo. Todo esto es posible porque a ese usuario se le asignó en algún momento un código de acceso y tuvo la oportunidad de guardar la sesión.

Selección del tipo de sistema: El usuario accede a la página de la figura 1, donde tras observar la selección actual tiene la opción de cambiarla o aceptar la que está.

Configuración, análisis y diseño del sistema de control: El usuario accede a la "Estación de trabajo" de la figura 3 desde donde puede realizar

todas las tareas encaminadas al diseño del controlador.

Generación de informe: El usuario accede a la página de diseño de la figura 4 y genera el informe cuando está convencido de que el diseño actual es el más adecuado a los objetivos de la sesión práctica.

Fin de la sesión: El usuario sale de la aplicación y anota el código de acceso por si decide en algún momento retomar la sesión.

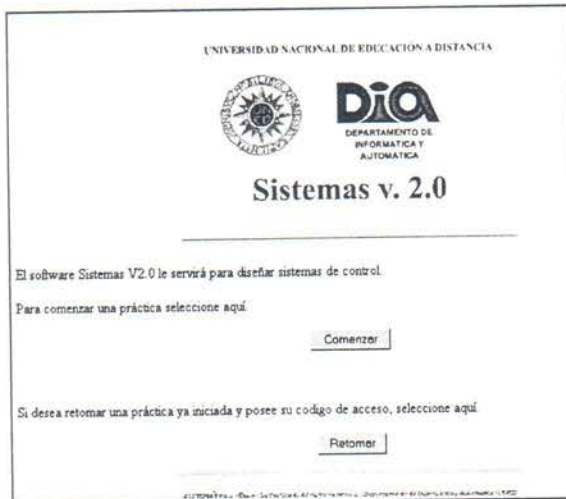


Figura 7: Página de entrada a la aplicación

4 CONCLUSIONES

Los innumerables ejemplos de diseño que han realizado los alumnos y el equipo docente de Automática I con la herramienta *SISTEMAS* avalan la gran utilidad de este tipo de herramientas para fines docentes. Con la versión presentada en este trabajo se amplía aún más esta utilidad ya que:

- El usuario no necesita tener instalado Matlab en su computador.
- La nueva interfaz es mucho más intuitiva y de fácil uso para cualquier usuario que haya navegado por Internet.
- El usuario podrá acceder en cualquier momento y desde cualquier lugar a la última versión de la herramienta (la única, realmente disponible).
- El equipo docente de la asignatura tendrá mucha más flexibilidad para programar un conjunto de sesiones prácticas, así como para su seguimiento y evaluación.
- El Dpto. de Informática y Automática de la UNED la puede integrar como un pilar más del laboratorio virtual y remoto de Automática, permitiendo el acceso a alumnos de otras asignaturas y de otras universidades.
- Las mejoras o ampliaciones de la herramienta pueden ser continuas, sin causar ningún tipo de trastorno en los usuarios.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Nacional de San Juan (Argentina) y a la UNED por haber favorecido la estancia del profesor A.W. Fernández en el Dpto. de Informática y Automática.

Referencias

- [1] Dormido Canto, S., (1994) "Proyecto de diseño y ajuste de controladores en el entorno Simulink". Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, I.C.A.I., Mayo.
- [2] Dormido, S., Sánchez, J., Morilla, F. (2000), "Laboratorios virtuales y remotos para la práctica a distancia de la Automática", *Sesión Plenaria, XXI Jornadas de Automática*, Sevilla 18, 19 y 20 de septiembre.
- [3] Dormido Canto, R., Dormido Canto, S., Duro, N., Hernández, R., Lázaro, J.C., López, I., Morilla (Coordinador), F., Pastor, R., Pérez de Madrid, A., Ros, S., Vázquez, F. (2001) "Guiones de Prácticas de la asignatura: Automática I. Revisión 2001", Dpto. de Informática y Automática, UNED.
- [4] Morilla, F., Dormido Canto, S., Dormido, S., (1994) "Diseño de Controladores en el entorno MATLAB-SIMULINK", *Jornadas de Automática*, Málaga.
- [5] Morilla, F., Dormido Canto, S., Dormido, S. (1995), "Herramienta para el análisis y diseño en el entorno Matlab-Simulink", *MATLAB '95 I Congreso de Usuarios de Matlab*, Madrid.
- [6] Phillips, C. L., Troy Nagle, H., (1987) "Sistemas de control digital: Análisis y diseño". Ed. Gustavo Gili.
- [7] Sánchez, J., Morilla, F., Dormido, S., Aranda, J., Ruipérez, P., (2000) "Conceptual Learning of Control by Java-based Simulations", *IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education (ACE 2000)*, 17-19 December, Gold Coast, Australia.