



Organo del
Comité Español
de la I.F.A.C.
(International Federation
of Automatic Control)



miembro fundador

GRUPO ESPAÑOL
DE SENSORES



MIEMBRO DE LA
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE LA PRENSA
TECNICA Y PERIÓDICA



SUMARIO

N.º 174 - Noviembre 1987
Ingeniería

75	TIEMPO REAL. El Periódico de la Automática y la Instrumentación
143	INFORME ESPECIAL: LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL EN ESPAÑA Ferran Puig, Albert Solé.
191	INFORME INGENIERIA Y CONSULTORIA Jordi Griera, Pedro J. Hernández El carácter horizontal de las tecnologías de automatización, hace que el recurso a servicios exteriores constituya frecuentemente la mejor solución.
213	LA NEUMATICA ANTE LAS EXIGENCIAS ACTUALES DE LA INDUSTRIA Kurt Stoll
225	MANIPULADORES. REALIDADES Y TENDENCIAS Antoni Melción
233	VEHICULOS GUIADOS AUTOMATICAMENTE Y SUS APLICACIONES INDUSTRIALES Dario Maravall, José Ignacio Martí
241	MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MAQUINAS ASINCRONAS Luis Serrano
257	TARJETAS ELECTRONICAS PARA AUTOMATIZACION DE PROCESOS. 5. SMP Xavier Alcober
275	SECCION ESPECIAL: DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR DE SISTEMAS DE CONTROL
277	HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL ASISTIDO POR ORDENADOR M. Raúl Reyero
289	DISEÑO OPTIMO Y EXPERTO Anibal Ollero, Ricardo Marín
299	PROGRAMA DE AYUDA AL DISEÑO DE CONTROLADORES ADAPTATIVOS Francisco Rodriguez
309	PROGRAMAS PARA EL DISEÑO DE CONTROLADORES ADAPTATIVOS Y CON MODELOS REDUCIDOS J. M. de la Cruz, Sebastián Dormido, J. Aranda, F. Morilla
317	UN PAQUETE DE SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CONTROLADORES MULTIVARIABLES Richard Panera, César de Prada
327	DISEÑO CAD DE UN CONTROLADOR ADAPTATIVO MULTIVARIABLE A. Arruti, Julián Flórez
	FERIAS Y EXPOSICIONES
111	Metromática/Robótica '87 - Zaragoza: Avance de productos
121	Automación 87 - Bilbao: Avance de productos
357	BIBLIOGRAFIA: Libros y Catálogos
	SERVICIO LECTORES
73 y 339	Con la tarjeta «Servicio Lectores» puede Vd. obtener información más detallada y concreta sobre cualquiera de los temas tratados que lleve afectado un código numérico, tanto de publicidad como de redacción. No dude en utilizarla. Es un servicio para Vd. Por nuestra parte nos comprometemos a una rápida tramitación.

PROGRAMAS PARA DISEÑO DE CONTROLADORES ADAPTATIVOS Y CON MODELOS REDUCIDOS

J.M. de la Cruz, S. Dormido, J. Aranda, F. Morilla

Este trabajo describe dos paquetes que se han desarrollado en el Departamento de Informática y Automática de la UNED, de los cuales uno está dedicado a la identificación de sistemas lineales y al análisis y diseño de controladores adaptativos -DICOAD- y, el otro, al análisis y diseño con modelos reducidos de la planta o con controladores de complejidad restringida -DICOMR-.

Los autores pertenecen al Departamento de Informática y Automática de la UNED.

SUMARIO

1. Introducción
 2. El programa DICOAD
 3. El programa DICOMR
 4. Bibliografía
-

1. INTRODUCCION

Los programas DICOAD y DICOMR fueron diseñados para dotar al Departamento de Informática y Automática de la UNED de las herramientas necesarias para la simulación y el análisis y diseño del tipo de controladores que son objeto fundamental de estudio e investigación en dicho departamento: el diseño de controladores adaptativos y de controladores de complejidad restringida, denominación que se aplica a los controladores lineales que no son los óptimos para el modelo real del sistema.

Ambos programas están dedicados exclusivamente a los controladores discretos de una entrada una salida.

El programa DICOAD tiene una estructura de diálogo pregunta-respuesta, y el programa DICOMR está dirigido por menús con selección por medio de softkeys. Los programas de análisis y diseño de sistemas de control de propósito amplio, suelen presentar una estructura de comandos. La elección de una estructura tipo pregunta-respuesta para los programas DICOAD y DICOMR se debió a que estos programas tienen un propósito restringido a un tipo particular de sistemas de control, por lo que el número de opciones y posibilidades no es excesivamente elevado. Además, los programas fueron desarrollados para que pudieran ser utilizados por los alumnos del departamento que, al no ser expertos en control, necesitan ser guiados por el programa.

Ambos programas tienen una estructura muy modular, lo que facilita la inclusión de nuevos algoritmos.

El programa DICOAD está implementado en un sistema HP-1000; está escrito en FORTRAN y dispone de

módulos para la impresión de datos y la representación gráfica en plotter. El programa DICOMR está implementado en un sistema HP-9816 y está escrito enteramente en BASIC; permite la impresión de datos y la representación gráfica en la pantalla y plotter y su reproducción por impresora.

2. EL PROGRAMA DICOAD

El programa DICOAD permite cuatro tipos distintos de análisis: (i) identificación recursiva en lazo abierto; (ii) identificación recursiva en lazo cerrado por un controlador de parámetros fijos; (iii) respuesta de un proceso a una ley de control; (iv) control adaptativo mediante combinación de un método de identificación recursivo y una ley de control.

El programa dispone de los siguientes métodos recursivos de identificación [1-5]: mínimos cuadrados, mínimos cuadrados extendidos, máxima verosimilitud, mínimos cuadrados generalizados, variable instrumental e identificación paramétrica utilizando técnicas de sistemas adaptativos con referencia a un modelo. Se utiliza el algoritmo UD para actualización de la medida como algoritmo básico de cálculo [6].

En los métodos de identificación se ha incluido la posibilidad de identificar un término constante, y se permite la utilización de un factor de olvido variable según distintas leyes [2], [7], [8].

La ley de control puede ser descrita en el programa de tres formas distintas: mediante especificación directa de los polinomios de los lazos de control de *feedforward* y de *feedback*, especificando los polos y ceros de la función de transferencia en lazo cerrado, y también, por la elección de alguna de las leyes de control implementadas de forma explícita en el programa.

Como elemento básico para la obtención de los controladores se utiliza un algoritmo de diseño mediante asignación de ceros y polos [9-10], [4]. Una gran cantidad de leyes de control para procesos, sometidos o no a ruido estocástico, pueden interpretarse desde el punto de vista de asignación de ceros y polos [4]. Por ejemplo, para sistemas deterministas, los controladores de respuesta plana y de error cuadrático mínimo, ambos tanto para sistemas de fase mínima como no mínima, y en general todos los

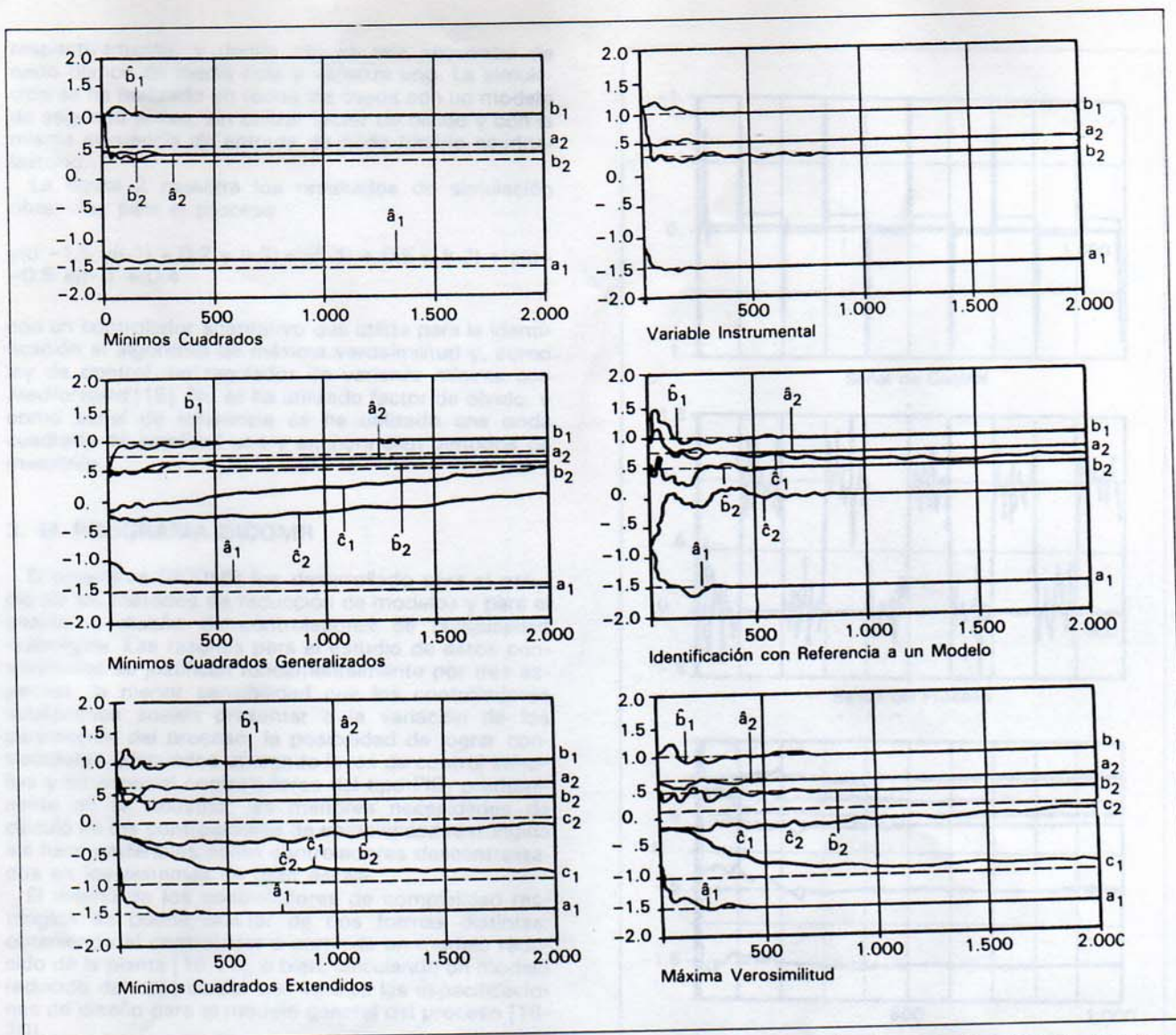


Fig. 1.- Valores de los parámetros identificados en lazo abierto utilizando distintos algoritmos de identificación. Las líneas discontinuas muestran los valores reales de los parámetros y las continuas los resultados de la identificación.

controladores de cancelación [11]; para los procesos con ruido estocástico, los reguladores de varianza mínima y varianza mínima desintonizada, tanto para sistemas de fase mínima como no mínima, y también los reguladores de desplazamiento de polos [12-14]. Todas las leyes enunciadas se han implementado en el programa de forma explícita y pueden ser seleccionadas por menú.

Las leyes de control adaptativo que se pueden implementar en el programa son del tipo explícito. En este método, los valores estimados de los parámetros reales del proceso, que obtiene el método de identificación recursivo, se utilizan para determinar los parámetros de controlador según la ley de control elegida. Este método tiene la ventaja frente al método implícito, en que la estructura del modelo se modifica de modo que los parámetros estimados coincidan con los de la ley de control, lo que normalmente requiere que se identifiquen un número menor de parámetros y que permite conocer directamente los parámetros del proceso, siendo además preferible desde un punto de vista de asignación de polos y ceros, debido a la dificultad que representa en este caso la estima de los parámetros con el método implícito [9].

En principio, el programa permite que cualquier método de identificación pueda utilizarse con cualquier ley de control, sin embargo, algunas combinaciones pueden resultar extrañas.

La realización de una determinada tarea con DICOAD

se consigue a través de las respuestas adecuadas a las preguntas y opciones del programa.

La secuencia de entrada de datos y de selección de alternativas es como sigue: especificación del proceso objeto de estudio; selección o no de la opción de identificación de la planta y, en caso afirmativo, selección del método a utilizar, del modelo a identificar (que no necesita coincidir con el del proceso) y de otros datos como el tipo de factor de olvido y los valores iniciales de los parámetros del modelo especificado; elección o descripción de la ley de control; por último se fijan ciertas condiciones experimentales como si el control va a ser o no del tipo adaptativo, el tipo de entrada al sistema, y el número de ciclos a ejecutar.

El programa permite la impresión y representación gráfica de los valores de los parámetros identificados, de las señales de control, referencia y salida, así como de ciertas funciones asociadas a la identificación y que siempre son calculadas, como la covarianza de las estimas, la traza de la matriz de covarianza y otras funciones que se utilizan como criterios de comparación entre los distintos métodos [4].

La figura 1 muestra los resultados de simulación obtenidos al identificar en lazo abierto el proceso.

$$y(t) - 1.5 y(t-1) + 0.7 y(t-2) = u(t-1) + 0.5 u(t-2) + e(t) - 1.0 e(t-1) + 0.2 e(t-2)$$

donde $y(t)$ y $u(t)$ son las señales de salida y control,

respectivamente, y donde $e(t)$ es una secuencia de ruido blanco de media nula y varianza uno. La simulación se ha realizado en todos los casos con un modelo de segundo orden, sin utilizar factor de olvido y con la misma secuencia de entrada de ruido binario pseudoaleatorio.

La figura 2 muestra los resultados de simulación obtenidos para el proceso

$$y(t) - 1.5 y(t-1) + 0.7 y(t-2) = u(t-1) + 0.5 u(t-2) + e(t) - 0.5 e(t-1) + 0.4$$

con un controlador adaptativo que utiliza para la identificación el algoritmo de máxima verosimilitud y, como ley de control, un regulador de varianza mínima con *feedforward* [15]. No se ha utilizado factor de olvido, y como señal de referencia se ha utilizado una onda cuadrada de amplitud uno y anchura cien períodos de muestreo.

3. EL PROGRAMA DICOMR

El programa DICOMR fue desarrollado para el estudio de los métodos de reducción de modelos y para el análisis y diseño de controladores de complejidad restringida. Las razones para el estudio de estos controladores se justifican fundamentalmente por tres aspectos: la menor sensibilidad que los controladores subóptimos suelen presentar a la variación de los parámetros del proceso; la posibilidad de lograr controladores adecuados utilizando leyes de control sencillas y en especial controladores del tipo PID, predominante en la industria; las menores necesidades de cálculo de los controladores de complejidad restringida les hace preferibles como controladores descentralizados en los sistemas de gran escala.

El diseño de los controladores de complejidad restringida se puede realizar de dos formas distintas: obteniendo el controlador a partir de un modelo reducido de la planta [16, 17], o bien, calculando un modelo reducido del controlador que verifica las especificaciones de diseño para el modelo general del proceso [18-20]

El programa dispone de una gran variedad de métodos para la obtención del modelo reducido de la planta o del controlador. Estos métodos se pueden clasificar en dos grupos, según se obtengan de forma conjunta o separada los polinomios numerador y denominador de la función de transferencia. Dentro del primer grupo, el programa permite que el modelo reducido se pueda obtener a partir de los *parámetros de Markov* y/o de los *momentos temporales* del modelo original, especificando el número de éstos que se desea mantenga el modelo reducido, y también mediante aproximaciones de Chebyshev [21]. Para la obtención separada de los polinomios numerador y denominador, el programa permite obtener el denominador a partir del modelo original mediante derivación o por aproximación de Routh [22], obteniéndose el numerador de modo que el modelo reducido mantenga el número de Parámetros de Markov o de Momentos Temporales que se especifiquen.

El programa está estructurado en bloques que realizan unas tareas específicas:

- 1) Lectura del modelo real del proceso, éste puede introducirse como un modelo continuo o discontinuo, y obtención, si se desea, de un modelo reducido del proceso. Análisis de la planta y del modelo reducido: respuesta en frecuencia, situación de las raíces.
- 2) Especificación de la ley de control para el proceso original o para el modelo reducido. La descripción del controlador se puede realizar de una de las tres formas siguientes: especificación directa de los polinomios de la ley de control; especificación de las

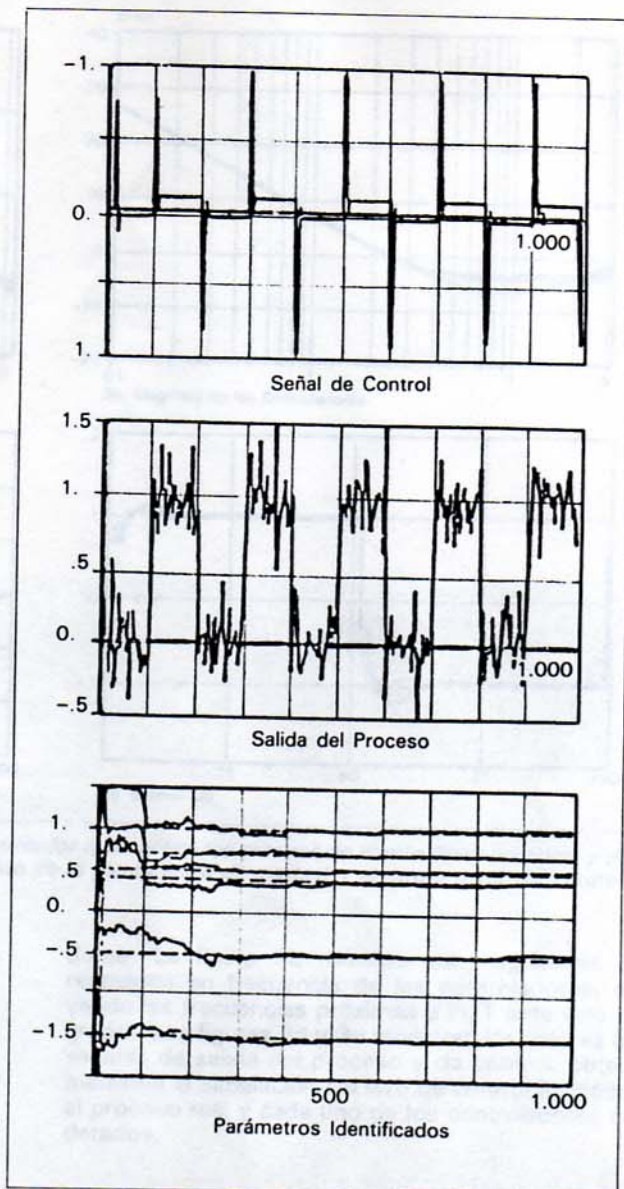


Fig. 2.- Resultados de simulación de un proceso con un controlador adaptativo que utiliza el método de identificación de máxima verosimilitud y un algoritmo de control de varianza mínima con acción de reset.

raíces de la función de transferencia en lazo cerrado deseada; selección de una ley de control específica y programada. El algoritmo básico utilizado en el programa DICOMR para obtener la ley de control es el mismo que el del programa DICOAD: el método de asignación de ceros y polos. Análisis del controlador obtenido: respuesta en frecuencia, situación de las raíces.

- 3) Obtención, si se desea, de un controlador de complejidad restringida a partir del controlador más general obtenido en el bloque anterior, y análisis del mismo.
- 4) Cálculo de la función de transferencia en lazo cerrado con el proceso real o un modelo reducido de éste y con el controlador general o un modelo reducido de éste. Análisis de la función en lazo cerrado.
- 5) Simulación del lazo de control con un tipo especificado de señal de entrada.

Desde cada bloque se puede pasar al siguiente o a cualquiera de los anteriores. Las tareas de cada bloque se pueden realizar de forma repetitiva antes de pasar a otro. Por ejemplo, dado un proceso de entrada podemos obtener modelos reducidos utilizando distintos

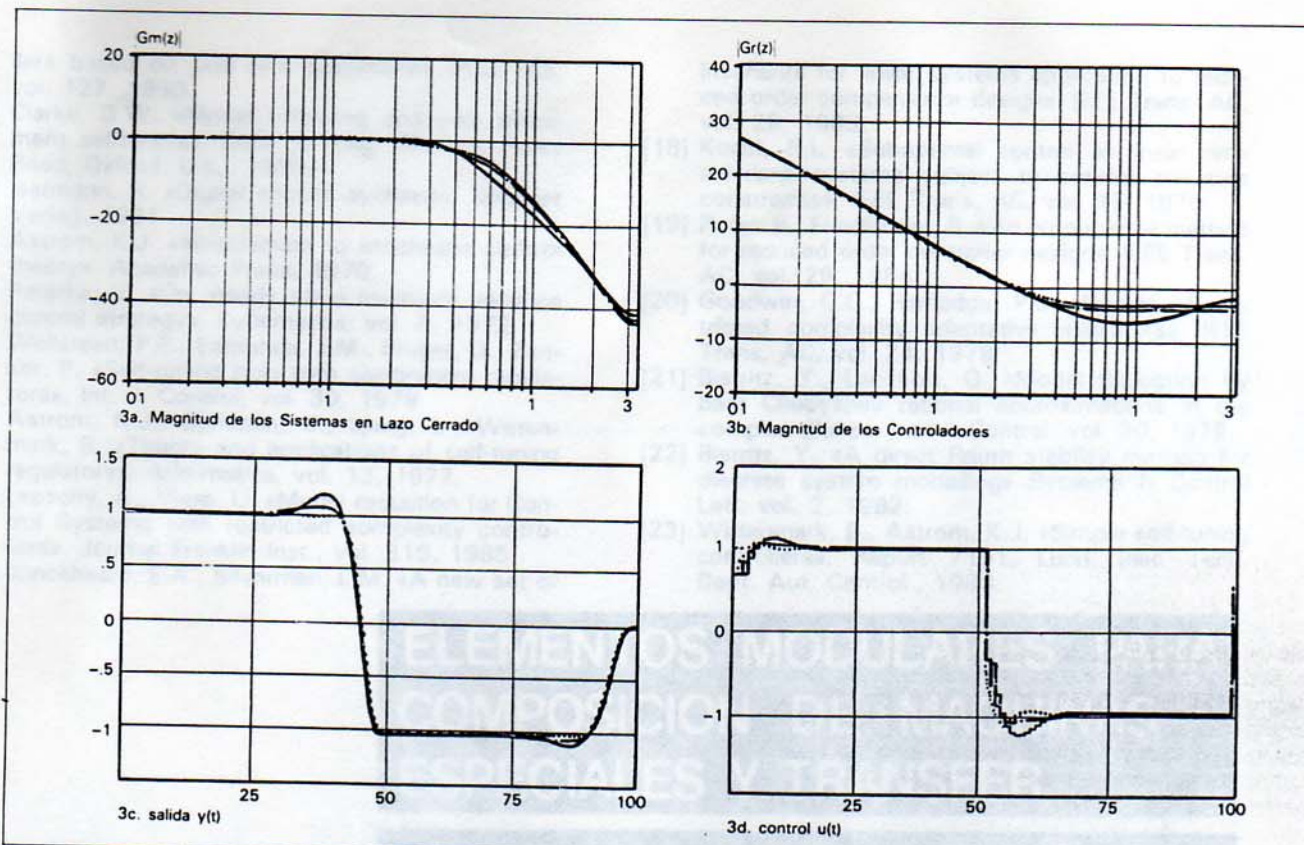


Fig. 3.- Resultados de simulación para un proceso con un controlador que verifica los criterios de diseño (línea continua) y de dos controladores PID obtenidos, uno mediante un modelo reducido de la planta (línea de puntos) y el otro a partir del control más general mediante reducción del modelo (línea discontinua).

métodos, examinar para cada uno de ellos su respuesta en frecuencia y la situación de sus ceros y polos, y proseguir el diseño con el modelo reducido deseado.

El programa permite en todos los bloques la impresión de resultados y la representación gráfica por pantalla, plotter o impresora.

Se muestran a continuación algunos resultados obtenidos al diseñar un controlador discreto del tipo PID [23] para el proceso con función de transferencia:

$$\frac{1}{(s + 1)^4}$$

Especificaciones para el diseño del controlador son que el sistema en lazo cerrado debe poseer una respuesta equivalente a la de un sistema de segundo orden con un coeficiente de amortiguamiento de 0.7 y, una frecuencia natural de 3 rad/seg.

En la figura 3 se muestran algunos resultados obtenidos con el controlador general de cancelación que verifica las especificaciones de diseño (línea continua) y con dos controladores con estructura PID [23]. Uno de los controladores PID (línea de puntos) se ha obtenido a partir de un modelo reducido del proceso real; el denominador se ha obtenido por el método de Routh y el numerador se ha determinado de modo que el modelo conserve el primer parámetro de Markov (respuesta a altas frecuencias) y el primer momento temporal (respuesta a baja frecuencia) de la planta. El otro controlador PID (línea discontinua) se ha determinado a partir del controlador más general; el denominador se ha calculado por el método de Routh y el numerador se ha calculado de modo que el controlador reducido mantenga el primer parámetro de Markov y los dos primeros momentos temporales del controlador general.

La figura 3a muestra las magnitudes de las respuestas en frecuencia de las funciones de transferencia en lazo cerrado obtenidas con cada uno de los controladores.

La figura 3b muestra las magnitudes de la respuesta en frecuencia de los controladores, excluyendo las frecuencias próximas a π/T (intervalo de un grado). Las figuras 3c y 3d muestran los valores de las señales de salida del proceso y de control, obtenidas mediante la simulación del lazo de control formado por el proceso real y cada uno de los controladores considerados.

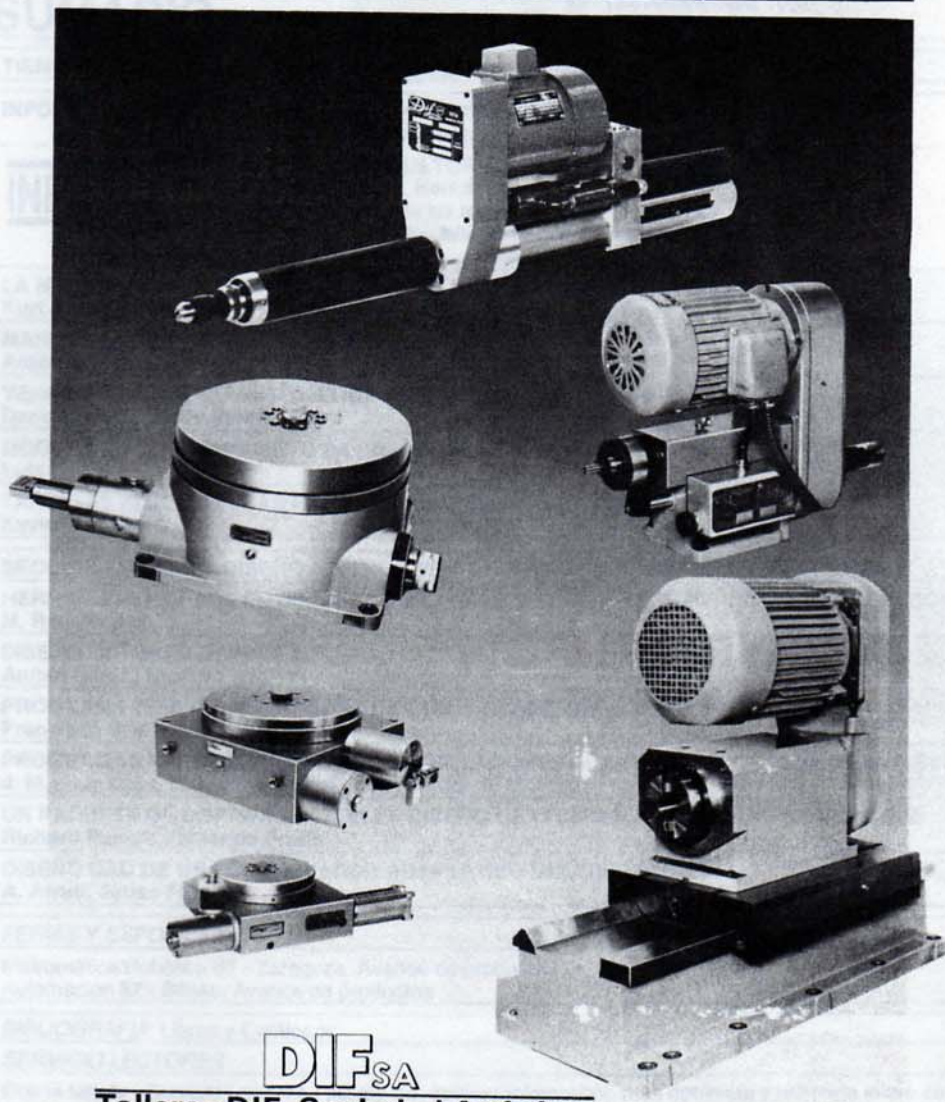
4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Soderstrom, T., Ljung, L., Gustavsson, I. «A comparative study of recursive identification methods». Report 7427, Lund Inst. Tech. Dept. Aut. Control. 1974.
- [2] Soderstrom, T., Ljung, L., Gustavsson, I. «A theoretical analysis of recursive identification methods». Automatica, vol. 14, 1978.
- [3] Stoica, P. and Soderstrom, T. «Optimal instrumental variable estimation and approximate implementations». IEEE Trans. AC, vol. 28, 1983.
- [4] De la Cruz, J. «Contribución al estudio y síntesis de reguladores autosintonizados». Tesis Doctoral, Universidad Complutense, 1984.
- [5] Landau, I.D. «Adaptive Control». Marcel Dekker, N.Y., 1979.
- [6] Bierman, A.I. «Factorization algorithms for discrete sequential estimation». Academic Press, 1977.
- [7] Fortescue, T.R., Kershenbaum, L.S., and Ydstie, B.E. «Implementation of self-tuning regulator with variable forgetting factors». Automatica, vol. 17, 1981.
- [8] Wellstead, P.E., and Sanoff, S.P. «Extended self-tuning algorithm». Int. J. Control, vol. 34, 1981.
- [9] Astrom, K.J., Wittenmark, B. «Self-tuning control».

- llers based on pole-zero placement». Proc. IEE, vol. 127, 1980.
- [10] Clarke, D.W. «Model following and pole placement self-tuners». Dept. of Eng. Science, Parks Road, Oxford, U.K., 1980.
- [11] Isermann, R. «Digital control systems». Springer Verlag, 1981.
- [12] Astrom, K.J. «Introduction to stochastic control theory». Academic Press, 1970.
- [13] Peterka, V. «On steady state minimum variance control strategy». Kybernetika, vol. 8, 1972.
- [14] Wellstead, P.E., Edmunds, J.M., Prager, D., Zanker, P. «Self-tuning pole zero assignment regulators». Int. J. Control, vol. 30, 1979.
- [15] Astrom, K.J., Borisson, U., Ljung, L., Wittenmark, B. «Theory and applications of self-tuning regulators». Automatica, vol. 13, 1977.
- [16] Lepschy, A., Viaro, U. «Model reduction for Control Systems with restricted complexity controllers». Journal Franklin Inst., vol. 319, 1985.
- [17] Jonckheere, E.A., Silverman, L.M. «A new set of

- invariants for linear systems application to reduced order compensator design». IEEE Trans. AC, vol. 28, 1983.
- [18] Kosut, R.L. «Suboptimal control of linear time invariant systems subject to control structure constraints». IEEE Trans. AC, vol. 15, 1970.
- [19] Porat, B., Friedlander, B. «An output error method for reduced order controller design». IEEE Trans. AC, vol. 29, 1984.
- [20] Goodwin, G.C., Ramadge, P.J. «Design of restricted complexity adaptive regulators». IEEE Trans. AC, vol. 24, 1979.
- [21] Bistritz, Y., Langholz, G. «Model Reduction by best Chebyshev rational approximations in the complex plane». Int. J. Control, vol. 30, 1979.
- [22] Bistritz, Y. «A direct Routh stability method for discrete system modelling». Systems & Control Lett. vol. 2, 1982.
- [23] Wittenmark, B., Astrom, K.J. «Simple self-tuning controllers». Report 7191, Lund, Inst. Tech. Dept. Aut. Control., 1980.

ELEMENTOS MODULARES PARA COMPOSICION DE MAQUINAS ESPECIALES Y TRANSFER



DIF_{SA}

Talleres DIF, Sociedad Anónima

B.º Puigoriol, 114 - Apartado de Correos 104 - EL MASNOU
 Telfs: (93) 555 33 04* - Tèlex 57705 DIF E
 TEIÀ / BARCELONA / ESPAÑA

Servicio lectores: Publicidad n.º 202