



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 143 947**

21 Número de solicitud: 009800807

51 Int. Cl.⁷: H02P 7/00

H02P 8/00

H02P 5/00

G05B 23/02

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación: **17.04.1998**

43 Fecha de publicación de la solicitud: **16.05.2000**

43 Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **16.05.2000**

71 Solicitante/s: **UNIVERSIDAD DE ALCALA**
Plaza de San Diego s/n
Alcalá de Henares, Madrid, ES

72 Inventor/es: **Mazo Quintas, Manuel;**
Ureña Ureña, Jesús;
García Domínguez, Juan Jesús;
Rodríguez Sánchez, Francisco J.;
Lázaro Galilea, José Luis;
Santiso Gómez, Enrique;
Espinosa Zapata, Felipe;
García López, Ricardo;
Revenge de Toro, Pedro Alfonso;
García García, Juan Carlos;
Mateos Gil, Raul;
Bueno Peña, Emilio José y
Hernández Alonso, Alvaro

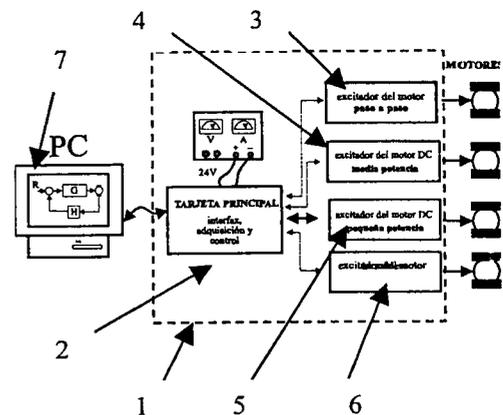
74 Agente: **No consta**

54 Título: **Equipo electrónico para el control de motores DC, sin escobillas y paso a paso, y procedimiento de control y excitación de los mismos.**

57 Resumen:

Equipo electrónico para el control de motores DC, sin escobillas y Paso a Paso, y procedimiento de control y excitación de los mismos.

Consiste en un equipo electrónico (1) para el estudio y experimentación del control de motores paso-paso, de corriente continua (DC), de media y baja potencia, y de conmutación electrónica (sin escobillas), el cual se compone de una tarjeta principal (2), que se encarga del control y/o excitación de otras cuatro tarjetas: tarjeta de excitación de motores DC de media potencia (4), tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia (5), tarjeta de excitación de motores paso-paso(3) y tarjeta de excitación de motores DC de conmutación electrónica (sin escobillas) (6) que a su vez excitan a los motores. Dicho equipo electrónico permite enviar información a un ordenador personal (7) como interfaz con el usuario (representación de señales, generación de trayectorias, etc.) ofreciendo una gran facilidad de uso y versatilidad al mismo.



ES 2 143 947 A1

DESCRIPCION

Equipo electrónico para el control de motores DC, sin escobillas y paso a paso, y procedimiento de control y excitación de los mismos.

5 **Sector de la técnica**

10 La presente invención se refiere a un equipo didáctico de control de motores eléctricos, gracias al cual se facilita la tarea docente con relación a los métodos y dispositivos para el control y excitación de motores, tanto desde un punto de vista teórico como práctico.

Estado de la técnica

15 Es bien sabido que el empleo de actuadores mecánicos basados en motores eléctricos constituye una de las alternativas más frecuentes en aplicaciones industriales de consumo. Esta creciente necesidad hace que cada vez sean más los fabricantes de circuitos integrados que incluyen en sus catálogos dispositivos de potencia inteligentes, que incorporan la etapa de potencia y la de excitación previa para el control de los mismos.

20 Todos los centros de enseñanza de materias relacionadas con estas temáticas contemplan en sus planes de estudio el tratamiento de los métodos y dispositivos para el control y excitación de motores, tanto desde un punto de vista teórico como práctico. El equipo didáctico desarrollado pretende facilitar esta tarea docente, presentando en un mismo entorno la posibilidad de ensayar con diversos tipos de motores y, dentro de cada uno de ellos, con diferentes métodos de control y/o excitación.

25 Por tanto, dotar a todos los centros públicos de investigación y empresas con un equipo didáctico de las características descritas supone reducir a un único aparato electrónico la enseñanza de estos sistemas, lo que sería económicamente beneficioso.

30 No se conoce la existencia de patente o modelo de utilidad alguno, cuyas características sean el objeto de la presente invención.

Explicación de la invención

35 El equipo se compone de cinco módulos hardware (tarjetas): una para cada tipo de motores (cuatro en total) y otra que se encarga del control y excitación de las anteriores, de la adquisición de datos y de la interfaz con el PC. El sistema de control de motores está acompañado de una completa interfaz de usuario, de fácil manejo que permite desde un PC y bajo un entorno Windows realizar gran cantidad de funciones teniendo en cualquier momento conocimiento exhaustivo del equipo.

40 El sistema desarrollado responde al diagrama de bloques general mostrado en la figura 1. En ella se puede observar que existen cinco tarjetas denominadas: tarjeta principal (2), excitación de motores DC de media potencia (4), excitación de motores de pequeña potencia (5), excitación de motores paso-paso (3) y excitación de motores sin escobillas (6).

45 Las funciones desarrolladas por cada una de estas placas se describe a continuación

Tarjeta principal

50 Se puede decir que esta tarjeta es el núcleo del equipo ya que se encarga de configurar, controlar y supervisar el comportamiento del sistema, de acuerdo con la elección realizada desde el PC. Más detalladamente sus funciones son:

1. Recibir del PC, vía puerto paralelo, los comandos de configuración y control referentes al tipo de motor seleccionado por el usuario.
2. Enviar al PC información sobre el estado del equipo y la presencia de cualquier anomalía.
3. Enviar al PC las muestras, adquiridas en tiempo real, de varias señales procedentes de la tarjeta excitadora conectada. El programa que se ejecuta en el PC se encargará, posteriormente, de presentarlos adecuadamente.
4. Generar, a partir de una única fuente de 24 V, las diferentes tensiones de alimentación necesarias para las tarjetas excitadoras de motores.

ES 2 143 947 A1

5. Generar las consignas de control en lazo abierto, por medio de un potenciómetro digital.
6. Proporcionar a cada una de las tarjetas de excitación de motores las señales que precisan para funcionar adecuadamente: señales de modo, señal de actuación y, según el tipo de tarjeta, señal de consigna (control en lazo abierto), fases, reloj (paso a paso), etc.

Comunicaciones con el PC

La tarjeta principal del sistema (figura 2) intercambia, bidireccionalmente, datos y comandos con el PC usando el puerto paralelo. Esta vía garantiza una gran velocidad de intercambio de información y además permite usar algunas líneas suplementarias para el control del enlace de datos. La transferencia es asíncrona, estando la velocidad de transferencia limitada por el procesador más lento entre ambos (de forma similar a lo establecido en la interfaz IEEE488). Esta característica hace que la comunicación siempre se establezca a la velocidad más alta posible, independientemente del PC o del microcontrolador utilizado.

Selección de control y tipo de controlador

La tarjeta permite la *selección del tipo de control*, del circuito encargado del mismo, del tipo de señal de actuación y del origen de la consigna. En cuanto al tipo de control, se puede realizar en lazo abierto o cerrado.

- 1) *Control en lazo abierto*: En este caso la consigna puede proceder de tres fuentes diferentes: del potenciómetro digital ubicado en la tarjeta principal, del potenciómetro dispuesto para tal fin en las tarjetas excitadoras, o del ordenador. En este último caso sólo se usa para el control de motores paso a paso y para realizar la tarea de identificación a bajo nivel de los motores
- 2) *Control en lazo cerrado*: La consigna en este tipo de control procede siempre del ordenador, siendo generada mediante el software de interfaz. En este caso se puede elegir entre tres alternativas diferentes:
 - a) *Mediante el controlador LM628*: Este controlador opera en 32 bits, aunque la señal de actuación final es un código de 8 o 12 bits. El algoritmo de control digital es el de un PID que responde a la expresión:

$$u[n] = Kp \cdot e[n] + ki \sum_{N=0}^n e[n] + Kd(e[n'] - e[n' - 1])$$

donde n es la muestra actual, tomada a intervalos de $2048/f_{clock}$ y n' es la muestra para el cálculo del término derivativo del PID.

Los parámetros del control digital que pueden modificarse son las constantes del PID y el intervalo de muestreo para el término derivativo, programable desde $2048/f_{clock}$ hasta $256 \cdot 2048/f_{clock}$. Se pueden realizar controles de posición o velocidad

- b) *Mediante un controlador HCTL1100*: Este regulador opera con menor resolución interna que el LM628, pero ofrece más alternativas a la hora de realizar el control de diferentes tipos de motores. La señal de actuación puede obtenerse como un código digital y al mismo tiempo como una señal de PWM con módulo y signo. Además permite generar las fases, a partir de un encoder, para motores sin escobillas y paso a paso. Puede realizar control de velocidad y posición mediante un algoritmo con tres parámetros ajustables, denominados a , B y K en la expresión que sigue:

$$D(z) = \frac{K(z - \frac{A}{25})}{4(z + \frac{B}{256})}$$

Ofrece además, la posibilidad de modificar el periodo de muestreo. Las consignas se codifican en 8, 16 ó 24 bits, dependiendo del tipo de control que se esté realizando (Hewlett-Packard, 1993).

- c) *Mediante algoritmos de control ejecutados por el microcontrolador*. Para añadir más flexibilidad al sistema, es posible realizar los algoritmos de control sin recurrir a ningún circuito de propósito específico: es el propio microcontrolador el encargado de ejecutarlos.

ES 2 143 947 A1

Uno de ellos, es el de control en micropaso para motores paso-paso. En este caso el microcontrolador se encarga de generar tanto las referencias de tensión como las señales de fase. Los códigos que genera subdividen cada paso completo en 10 posiciones intermedias o micro-pasos. Para obtener una separación más o menos uniforme entre micro-pasos, las corrientes por los devanados, IA e IB, han de seguir las secuencias:

$$I_A = \sin\left(\frac{90n}{s}\right) \qquad I_B = \cos\left(\frac{90n}{s}\right)$$

siendo s el numero total de micro-pasos (10 en este caso), y n el micro-paso actual ($1 \leq n \leq 10$).

Elección de la señal de actuación

Elegido el controlador, pueden seleccionarse diferentes señales de actuación, dependiendo de la tarjeta de excitación de motores conectada.

Las señales de actuación disponibles son: tensión analógica (unipolar o bipolar), PWM (Pulse Width Modulation) más señal de signo y PWM sin señal signo (PWM al 50 % motor parado, PWM > 50 % para un sentido de giro y PWM < 50 % para el otro sentido). La generación de estas señales se realiza de la siguiente manera:

- a) *Actuación mediante señal analógica:* se convierte el código digital proporcionado por cualquiera de los controladores en tensión, mediante un convertidor D/A en configuración bipolar.
- b) *Actuación mediante señal PWM sin señal de signo:* convirtiendo el código digital proporcionado por los controladores, mediante un contador y un comparador.
- c) *Actuación mediante señal PWM más signo:* directamente desde la salida proporcionada por el controlador HCTLI 100.

Sistema de adquisición de datos

Este bloque es el encargado de transmitir al PC las muestras de señales relativas tanto al control de motores (consigna, señal aplicada, etc.), como al estado y evolución de los mismos (velocidad, posición, consumo y errores).

En lo referente a las señales relativas al control, proporciona el valor de la velocidad (o posición) deseada, así como el valor de la tensión o ciclo de trabajo, según sea el caso, de la señal de actuación.

Con respecto al estado real del motor conectado, se adquiere su velocidad (o posición) y en el caso de tratarse de un motor sin escobillas, se muestrea además la corriente que circula por los devanados. Si se trata de motores paso a paso, se suministran las fases de activación.

Las señales de error, que advierten de un corte de la alimentación del motor, provocadas por una sobrecorriente, se muestrean a 150 kHz, ya que son de corta duración. El resto de las señales se muestrean a 15 kHz.

Tarjetas excitadoras

Como se comentó en el apartado anterior, y como muestra la figura 1, el equipo dispone de cuatro tarjetas excitadoras: dos dedicadas al control de motores DC, de pequeña y media potencia; otra para motores paso a paso y la última para motores DC de conmutación electrónica (sin escobillas).

Los diagramas de bloques que se mostrarán para cada una de las tarjetas, son los mismos que ofrece el software de interfaz para que el usuario pueda realizar la configuración. Los cambios se van a producir en el bloque *excitador*, dependiendo de la tarjeta conectada al equipo, la señal de actuación seleccionada y el modo de excitación elegido

Una característica común a todas estas tarjetas, es la incorporación de numerosos puntos de test, con sus correspondientes acondicionadores de señal. Con ello se pretende facilitar el aprendizaje y realizar un estudio más exhaustivo de las tarjetas. De esta manera se permite visualizar en un osciloscopio las señales más importantes que aparecen en los circuitos que forman el sistema de control. Algunas de estas

ES 2 143 947 A1

señales se pueden visualizar también en la pantalla del ordenador mediante el software de interfaz.

Tarjeta de excitación de motores DC de media potencia

5 En la figura 3 se presenta, a modo de ejemplo, el diagrama de bloques general de esta tarjeta. A partir de él se realizan las diferentes configuraciones.

Este módulo permite realizar el control de motores de corriente continua (DC) de 100V y hasta 30A. Como características más destacables de este módulo se pueden citar:

10

- Control del motor en los cuatro cuadrantes con una única fuente de alimentación y transistores MOS de canal N

15

- Alimentación del puente después de que han sido establecidas las señales de control.

- Excitación de los transistores MOS a partir de circuitos integrados específicos, que evitan la conducción simultánea de dos transistores del mismo lado del puente.

20

- Empleo de señales de excitación de frecuencias no audibles.

- Protección contra caídas de alimentación y fallos de algún transistor del puente.

25

- Monitorización de la corriente por el motor mediante un sensor de corriente por efecto Hall.

- Protección contra sobrecorrientes. Además, la corriente por el motor se puede ajustar manualmente al valor deseado. Si momentáneamente se detecta una sobrecorriente el puente se bloquea y si cesa la sobrecorriente se recupera el funcionamiento normal del motor. Sólo si persiste la situación anormal durante un tiempo preestablecido, la tarjeta principal bloquea el funcionamiento del circuito. Mediante un indicador LED se puede observar la aparición de estas situaciones de fallo.

30

Tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia

Mediante esta tarjeta (figura 4 y 8) se pueden realizar ensayos con motores DC de 24V y hasta 2A aprovechando las consignas enviadas desde la tarjeta principal.

35

Se han implementado tres módulos diferentes de excitación o control de motores:

- Control lineal en corriente o tensión (figura 4). Se realiza mediante dos amplificadores operacionales de potencia, configurados en modo de puente lineal de tal forma que se pueda realizar un control en los cuatro cuadrantes con una única fuente de alimentación (alimentación de los AAOO's unipolar).

40

- Servocontrol en corriente (figura 8). Llevado a cabo mediante el circuito integrado L292 que incluye el puente de excitación del motor, así como la etapa de realimentación de corriente previa. También incorpora un conversor tensión-PWM interno, puesto que la señal de control es analógica bipolar (positiva para un sentido de giro y negativa para el otro).

45

- Control mediante puente de transistores MOSFET de canal N con diversos modos de excitación.

50

Según las formas de excitación arriba mencionadas, desde el software se puede establecer cuatro modos principales de trabajo: *lineal en tensión (figura 4)*, *lineal en corriente*, *puente en H* y *servocontrol en corriente (figura 8)*

Se ha previsto, así mismo, un conector adicional de forma que se pueda utilizar la tarjeta junto con otro sistema *hardware específico de usuario*, siempre que se respeten los niveles y exigencias de las señales involucradas. Existen dos posibilidades:

55

- 1) Aprovechar las salidas de los reguladores de la placa principal como entrada de excitadores del motor diseñados o montados por el usuario.

60

- 2) Usar las señales de consigna (sin pasar por los reguladores de la placa principal) como excitación de un regulador propio del usuario. La salida de este regulador puede llevarse a cualquiera de los excitadores existentes en esta tarjeta.

Tarjeta de excitación de motores paso-paso

La tarjeta excitadora desarrollada permite controlar motores paso a paso bipolares con dos devanados.

5 Su función básica consiste en transformar las señales procedentes de la tarjeta principal en señales con potencia suficiente para excitar al motor. El diagrama de bloques de esta tarjeta se muestra en la figura 5.

Su arquitectura esta basada en dos subsistemas:

10

1. Troceado (chopper) de señales de fase (A, B, C y D), lo que permite regular la corriente por los devanados del motor. La comparación entre las tensiones proporcionales a la corriente por los devanados y una tensión de referencia (dos en el caso de micropaso) fijada por el usuario hace que se habilite el troceado de fases al ritmo impuesto por un oscilador (también ajustable por el

15

usuario).

2. Dos puentes en H, uno para cada devanado, incorporados en el mismo circuito integrado junto a los diodos de libre circulación.

20

Los modos de funcionamiento admitidos son los propios de un motor paso a paso bipolar: *paso completo con dos devanados excitados, paso completo con un devanado excitado, medio paso y micropaso.*

25

El interés del modo micropaso radica en la posibilidad de conseguir que la transición del motor entre dos posiciones consecutivas sea más gradual, además de poder acceder a posiciones intermedias que no podrían conseguirse con los otros modos (paso completo o medio paso). Aunque, en principio, se ha fijado en diez las divisiones de un paso completo, podría reprogramarse el microcontrolador de la tarjeta principal para cualquier otra configuración de micropaso.

30

De las diferentes soluciones existentes para hacer trabajar al motor en modo micropaso se ha incorporado aquélla que varia mediante aproximación sinusoidal las tensiones de referencia del sistema de troceado de fases. En este caso se necesitan dos tensiones, independientes y desfasadas 90°, que la tarjeta principal envía codificadas en 6 bits. El tratamiento electrónico posterior se lleva a cabo en esta tarjeta excitadora.

35

Tarjeta de excitación de motores DC de conmutación electrónica (sin escobillas)

40

Los motores sin escobillas se puede considerar como una alternativa a los motores de corriente continua con escobillas. Sin embargo existen importantes diferencias en el modo de funcionamiento. En efecto, mientras que en un motor con escobillas se incorpora un conmutador mecánico que asegura la perpendicularidad entre el campo creado por el devanado del inducido con el campo creado por el inductor, en los motores sin escobillas para obtener un resultado análogo se debe asegurar que la alimentación de los devanados se efectúe teniendo en cuenta la posición del eje magnético del imán rotórico en relación a los ejes de estos devanados. Por tanto los motores sin escobillas deben incluir necesariamente sensores de posición, cuyas señales se utilizan para asegurar la correcta alimentación de los devanados.

45

Dentro de los diferentes tipos de motores sin escobillas el sistema aquí descrito está pensado para motores de f.c.e.m trapezoidal, tres devanados (que son los más frecuentes), acoplamiento en estrella y con señales de sensores desfasadas 60°, 120°, 240° o 300°.

50

El módulo de excitación de motores sin escobillas permite realizar el control de motores de hasta 24V y 4A. Las dos alternativas básicas de control que permite el sistema desarrollado son: control por tensión (con consigna analógica o PWM) y por corriente cuyo diagrama de bloques, a modo de ejemplo, se muestra en la figura 6.

55

Las señales que indican la posición del rotor respecto a las bobinas del estátor se pueden obtener a partir de los sensores Hall o del regulador. En este ultimo caso es el propio regulador el que monitoriza las entradas de los encoders y a partir de ellas genera las secuencias apropiadas. Se han incluido, así mismo, potenciómetros de ajuste que permiten: fijar la máxima corriente por el motor, seleccionar la amplitud de las señales de consigna y generar la señal de consigna para un control en lazo abierto.

60

El sistema incluye también, entre sus características, limitadores de corriente, protección contra sobretemperaturas y caídas de tensión, detectores e indicadores de fallos y entradas de habilitación, freno

y selección de sentido de giro, etc.

Software de Interfaz

5 El sistema de control de motores descrito anteriormente esta acompañado de una completa interfaz software de usuario (figura 7, pantalla principal) que permitirá tener un conocimiento exhaustivo del equipo, ofreciendo además una idea general de funcionamiento y posibilidades de trabajo. Mediante esta interfaz se pueden configurar fácilmente las etapas excitadoras de los motores, generar consignas, visualizar señales de test, etc. Todo ello confiere al equipo unas altas prestaciones para el aprendizaje de los
10 aspectos más importantes que deben considerarse en el control de motores.

El programa ha sido realizado en lenguaje C++ para sistema operativo WINDOWS (versión 3.1 o posterior) con lo cual se ofrece un entorno atractivo, cómodo de manejar, y completamente adaptado a las nuevas tendencias.

15

A continuación se hará una descripción más detallada de las posibilidades que admite este software.

Procedimiento general de configuración

20 El programa ha sido diseñado para que el método de trabajo sea siempre el mismo, independientemente del motor que se desee controlar y las actividades a desarrollar.

En la figura 9 se muestra mediante un diagrama de flujo el método de trabajo con este sistema. A continuación se describen cada uno de los elementos que intervienen en el proceso de configuración. Bien entendido que previo a la configuración del software se deberá realizar la conexión hardware entre las
25 diferentes tarjetas y el PC.

1) *Preparación del software.* El proceso de configuración se inicia ejecutando el software y creando una *sesión de trabajo*. El procedimiento de configuración ha sido pensado para que, desde el primer momento, el usuario se vea obligado a crear una *sesión de trabajo*. Esta aglutina un grupo de
30 ficheros que almacenan la siguiente información: consignas generadas, respuestas obtenidas de los motores, medidas de error, configuraciones de las diferentes tarjetas, etc. Cada vez que se active una sesión de trabajo, el usuario podrá operar con los datos mencionados anteriormente.

2) *Selección del motor.* Se debe seleccionar el motor con el que se desea trabajar, que será el correspondiente a la tarjeta excitadora esté conectada al equipo. Si el *motor seleccionado no coincide con la tarjeta excitadora conectada, el sistema no permitirá que se realice ninguna configuración.*
35

3) *Selección de modo.* Según la tarjeta excitadora conectada, el sistema admite un modo de trabajo diferente, que será función de los parámetros que intervienen en el lazo de control. Para cada modo en la pantalla de configuración aparece un diagrama de bloques con los elementos configurables. Con este diagrama de bloques se persiguen dos objetivos: primero, que el usuario tenga una visión global de cómo es el control seleccionado y, segundo, que se pueda configurar el propio lazo de control, de una manera cómoda y precisa.
40

Una vez seleccionado el motor, el modo de control se elige dentro de la misma. Dentro de cada pantalla de modo, se pueden seleccionar: tipo de consigna, regulador control en lazo abierto o cerrado, así como configurar el número de pulsos por vuelta que genera el encoder del motor.
45

En la ventana que aparece durante la configuración de los diferentes modos, se muestran también aquellos bloques que no son configurables. No obstante, si se intenta acceder a ellos se presenta un diagrama más detallado de la estructura de dicho bloque proporcionando así al usuario un mayor conocimiento del control y de los principales circuitos integrados que interviene en el mismo.
50

4) *Configuración del regulador.* En esta fase se debe configurar la forma de trabajo del regulador digital elegido en el punto anterior. Los reguladores configurables son el HCTL1100 y el LM628. Según cual se haya elegido existen diferentes posibilidades, imponiendo estos elementos el tipo de control que se realiza: posición o velocidad. Por tanto, el tipo de consigna que se crea será diferente según la configuración que se realice en este punto. También se establecerá desde esta opción los parámetros característicos del regulador digital compensador polo-cero o PID-digital.
55

5) *Establecer consigna.* Según la selección realizada sobre el regulador digital, se pueden crear diferentes consignas numéricas de posición y velocidad. En algunos casos se puede, también, establecer como parámetro la aceleración. Más adelante se describirá otro tipo de consigna que se puede
60

ES 2 143 947 A1

generar con el software. Con la creación de la consigna finaliza el proceso de configuración del software.

6) *Configurar el sistema.* Mediante esta opción, se realiza la configuración deseada sobre el sistema hardware.

7) *Habilitar tarjeta.* Una vez configurado el hardware, el siguiente paso será comenzar con el control del motor. Para ello se debe habilitar la tarjeta mediante la opción software preparada para este fin. Sincronizadamente con la habilitación de la tarjeta, se realiza siempre una adquisición de las señales más relevantes del modo de trabajo establecido, de manera que se pueda analizar el transitorio del sistema.

8) *Deshabilitar tarjeta.* Una vez finalizado el proceso de control se puede deshabilitar la tarjeta dejando así el sistema en estado de espera para realizar nuevas modificaciones sobre los elementos descritos anteriormente.

Como se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 9, una vez que el motor está bajo control, se pueden realizar diferentes reconfiguraciones, como pueden ser posición, velocidad, parámetros de los reguladores, etc. De esta forma se puede ir comprobando como responde el motor, sin necesidad de deshabilitarlo. También es posible la adquisición de datos en el momento que el usuario determine, pudiendo de esta forma analizar el lazo de control en el instante deseado.

Otras características relevantes del software de interfaz.

Además de las prestaciones descritas anteriormente, el sistema posee otras características que lo hacen aun más atractivo. Entre ellas cabe destacar:

- *Configuración de bajo nivel de los controladores.* Una de las características importantes del sistema desarrollado es la de permitir la configuración a nivel de registro de los controladores HCTL1100 y LM628. Ello permite realizar estudios más precisos del comportamiento del sistema de control y el efecto que sobre, él tiene los diferentes parámetros del controlador. Esto puede resultar de interés para usuarios más expertos en estas materias.
- *Exportar.* Se incorpora un formato de salida de datos compatible con MATLAB/SIMULINK. Lo que abre una vía para la realización de trabajos de análisis más detallado en este entorno.
- *Consignas gráficas.* Si se desea se pueden establecer consignas gráficas, con un editor dispuesto para tal fin.
- *Ayuda.* Como en cualquier aplicación Windows, se incorpora una opción de ayuda, en la que se incluye una descripción precisa el funcionamiento del sistema, así como los diferentes modos de control soportados por los motores. Además se incluyen aspectos teóricos, que facilitan la interpretación del control que se está realizando
- *Analizador de señales.* Se pueden analizar todas las señales de una forma sencilla mediante herramientas como zoom y cursores (para realizar medidas absolutas y relativas).
- *Señales de alarma.* Existen señales de detección de fallo que alertan de posibles anomalías en las distintas tarjetas.
- *Impresión de resultados.* Todas las señales con las que se trabaja, se pueden registrar en la impresora que esté configurada en Windows.

En resumen, este equipo electrónico constituye una importante herramienta en el campo del control de motores, en cuyo diseño se han tenido presentes aspectos didácticos, facilidad de manejo, variedad de motores y alternativas de control.

Breve descripción de los dibujos

Para la mejor comprensión de cuanto queda descrito en la presente memoria, se acompañan unos dibujos en los que se aclara todo lo comentado anteriormente.

En dichos dibujos la *figura 1* muestra un diagrama de bloques general del sistema desarrollado en el que se puede observar que existen cinco tarjetas denominadas: tarjeta principal (2), excitación de motores de media potencia (4), excitación de motores de pequeña potencia (5), excitación de motores paso-paso

(3) y excitación de motores sin escobillas (6); la *figura 2* muestra un diagrama de bloques funcional de la tarjeta principal; la *figura 3* muestra el diagrama de bloques de la tarjeta de excitación de motores DC de media potencia; la *figura 4* consiste en un diagrama de bloques de la tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia (lineal en tensión); *figura 5* muestra un diagrama de bloques de la tarjeta de excitación de motores paso-paso; *figura 6* consiste en el diagrama de bloques de control por corriente de motores sin escobillas; *figura 7* muestra el Menú Principal del software que permite al usuario familiarizarse con el equipo; *figura 8* consiste en un diagrama de bloques de la tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia (servocontrol de corriente); *figura 9*, muestra el diagrama de flujo general de configuración del sistema.

Modo de realización

El equipo desarrollado ha sido concebido para realizar estudios detallados sobre el control de motores paso-paso, DC (pequeña y media potencia) y de conmutación electrónica (sin escobillas). Con la particularidad de que sobre cada tipo de motor se pueden ensayar diferentes tipos de control y de drivers, obtener funciones de transferencia en régimen estático respuestas temporales, etc. Todo ello dentro de una filosofía de trabajo en la que el usuario puede, fácilmente, desde un PC y bajo entorno Windows seleccionar y configurar los modos de control, así como definir las consignas y visualizar la evolución temporal de las variables mas importantes que intervienen en el sistema de control.

Con ello se pueden realizar prácticas que pueden ir desde la identificación de la dinámica de motores hasta el estudio detallado del comportamiento de los diferentes modos de control.

A continuación vamos a describir una de las formas de realizar el equipo que aquí se patenta:

El equipo, como se ha comentado, está formado por cinco módulos hardware (tarjetas): una para cada tipo de tarjetas y otra que se encarga del control y excitación de las anteriores, de la adquisición de datos y de la interfaz con el PC.

La tarjeta principal (ver *figura 2*, diagrama de bloques de la tarjeta principal) incluye como elementos destacables: un microcontrolador, dos circuitos integrados específicos para el control de motores, dos FPGA'S que contienen toda la lógica necesaria para la adquisición de datos y la configuración del sistema. A esto debemos unir la circuitería precisa para convertir los códigos digitales en señales aptas para actuar sobre la tarjeta de interfaz conectada.

El equipo dispone de cuatro tarjetas excitadoras: dos dedicadas al control de motores DC, de pequeña y media potencia; otra para motores paso a paso y la última para motores DC de conmutación electrónica (sin escobillas). Veamos, a modo de ejemplo los elementos para desarrollar cada una de estas placas:

En la *figura 3* se representa el diagrama general de la tarjeta de excitación de motores DC de media potencia. A partir de él se realizan las diferentes configuraciones.

El circuito excitador esta constituido por un puente en H de cuatro transistores MOS de canal N que, permite realizar un control en los cuatro cuadrantes utilizando, además, una única fuente del alimentación. El control del puente se realiza por medio de una señal PWM proveniente de los reguladores de la tarjeta principal. La estrategia de conmutación del puente en H es del tipo bipolar, esto es, los transistores del puente son llevados a conducción por pares cruzados de acuerdo con la señal PWM. De esta forma cuando el ciclo de trabajo de la señal PWM sea del 50 % el motor estará parado. El giro en uno u otro sentido se consigue haciendo que el ciclo de trabajo sea superior o inferior al 50 %.

Para la realización de la tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia se implementan tres módulos diferentes de excitación o control de motores.

- *Control lineal en corriente o tensión.* Se realiza mediante dos amplificadores operacionales de potencia, configurados en modo de puente lineal de tal forma que se pueda realizar un control en los cuatro cuadrantes con una única fuente de alimentación (alimentación de los AAOO's unipolar).
- *Servocontrol en corriente.* Llevado a cabo mediante el circuito integrado L292 que incluye el puente de excitación del motor, así como la etapa de realimentación de corriente previa. También incorpora un conversor tensión-PWM interno, puesto que la señal de control es analógica bipolar (positiva para un sentido de giro y negativa para el otro).
- Control mediante puente de transistores MOSFET de canal N con diversos modos de excitación.

ES 2 143 947 A1

Todos estos modos de excitación se han implementado en base a dos únicos circuitos integrados: el L6506 y el L6203. Este último incorpora el puente de transistores junto con la lógica de excitación y protección adecuadas para garantizar el correcto funcionamiento del mismo. En cualquier caso se dispone de la posibilidad de limitar la corriente por el motor mediante un ajuste externo.

5

En lo concerniente a la tarjeta de excitación de motores paso-paso, la ejecución de los tres primeros modos se puede llevar a cabo mediante dos técnicas diferentes:

10

1. Recibiendo de la tarjeta principal tres señales: reloj, sentido de giro y modo de trabajo. A partir de ahí un circuito trasladador se encarga de generar convenientemente las fases A, B, C y D.

2. Recibiendo de la tarjeta principal directamente las señales de fase (A, B, C y D). Señales que, a su vez, pueden generarse en el microcontrolador 80C51 o en el controlador HCTL1100 (para lo cual ha de recibir las señales provenientes del encoder del motor) según elija el usuario.

15

En cuanto a la tarjeta de excitación de motores DC de conmutación electrónica (brushless) hay que considerar que las dos alternativas básicas de control que permite el sistema son: control por tensión (con consigna analógica o PWM) y por corriente. En todos los casos las señales que indican la posición del rotor respecto a las bobinas del estátor se pueden obtener a partir de los sensores Hall o del regulador. Mediante potenciómetros de ajuste se permite fijar la máxima corriente por el motor, seleccionar la amplitud de señales de consigna y generar la señal de consigna para un control en lazo abierto.

20

En cuanto al programa software ha sido realizado en lenguaje C++ para sistema operativo WINDOWS (versión 3.1 o posterior) con lo cual se ofrece un entorno atractivo, cómodo de manejar, y completamente adaptado a las nuevas tendencias.

25

30

35

40

45

50

55

60

REIVINDICACIONES

1. Equipo electrónico para el control de motores: DC, sin escobillas y paso a paso **caracterizado** por facilitar el estudio y experimentación del control de motores paso a paso, de corriente continua (DC), de media y baja potencia y de conmutación electrónica (sin escobillas). El equipo didáctico presenta en un mismo entorno la posibilidad de ensayar con diversos tipos de motores y, dentro de cada uno de ellos, con diferentes métodos de control y/o excitación. El equipo consta de cinco módulos hardware: tarjeta principal (figuras 1, 2), tarjeta de excitación de motores DC de media potencia (hasta 100V y 30 A) (figuras 1, 3), tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia (hasta 24V y 2 A) (figuras 1, 4), tarjeta de excitación de motores paso-paso bipolares (figuras 1, 5); tarjeta de excitación de motores sin escobillas (de conmutación electrónica) (hasta 24V y 4A) (figuras 1, 6). El sistema soporta tanto control en lazo abierto como cerrado, pudiendo establecerse consignas tanto de posición como de velocidad, operando hasta con 32 bits de resolución. Los controladores disponibles (LM628, HCTL1100 y microcontrolador) permiten realizar la implementación de PID digitales y de filtros polo-cero para llevar a cabo las tareas de regulación y control. También se han establecido opciones que permitan la identificación de los parámetros característicos de los motores DC con y sin escobillas (ganancias y tiempos). Dispone también de un completo sistema de adquisición de datos, con un buffer de hasta 4096 muestras, con periodo de muestreo configurable (entre 1.3 y 205 Khz, según los casos), que permite la captura de señales como: velocidad del motor, tensión aplicada y corriente: consumida. Las cinco tarjetas que componen el equipo llevan incorporados numerosos puntos de test, que permiten monitorizar las señales que se están generando en los diferentes elementos que intervienen en el lazo de control, así como evaluar el correcto funcionamiento del equipo.
2. Equipo electrónico para el control de motores: DC, sin escobillas y paso a paso, según reivindicación 1, **caracterizado** porque la tarjeta principal (figuras 1, 2) controla, configura a las tarjetas excitadoras de motores (tarjeta de excitación de motores DC de media potencia (figuras 1, 3); tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia (figuras 1, 4), tarjeta de excitación de motores paso a paso bipolares (figura 1, 5) y tarjeta de excitación de motores sin escobillas (de conmutación electrónica) (figura 1, 6), controlando y supervisando el comportamiento de todo el sistema.
3. Equipo electrónico para el control de motores: DC, sin escobillas y paso a paso, según las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque la tarjeta de excitación de motores DC de media potencia, permite realizar el control de motores de corriente continua de 100V y hasta 30A.
4. Equipo electrónico para el control de motores: DC, sin escobillas y paso a paso, según las reivindicaciones 1, 2 y 3, **caracterizado** porque la tarjeta de excitación de motores DC de pequeña potencia, permite realizar ensayos con motores DC de 24V y hasta 2A aprovechando las consignas enviadas por la tarjeta principal.
5. Equipo electrónico para el control de motores: DC, sin escobillas y paso a paso, según la reivindicación 1, 2, 3 y 4, **caracterizado** porque la tarjeta de excitación de motores paso-paso bipolares con dos devanados transforma las señales procedentes de la tarjeta principal en señales con potencia suficiente para excitar el motor.
6. Equipo electrónico para el control de motores: DC, sin escobillas y paso a paso, según la reivindicación 1, 2, 3, 4 y 5, **caracterizado** porque la tarjeta de excitación de motores sin escobillas (de conmutación electrónica) permite el control por tensión (hasta 24V) y por corriente (4 A).
7. Un equipo según reivindicación 1, 2, 3, 4, 5 y 6 **caracterizado** por poseer comunicación con una computadora mediante una completa interfaz software de usuario que permitirá tener un conocimiento exhaustivo del equipo, ofreciendo además una idea general de funcionamiento y posibilidades de trabajo; configurando fácilmente las etapas excitadoras de los motores, generando consignas y visualizando las señales de test.
8. Procedimiento de control y excitación de los motores DC, sin escobillas y paso a paso, **caracterizado** por presentar en un mismo entorno la posibilidad de ensayar con diversos tipos de motores y, dentro de cada uno de ellos, con diferentes métodos de control y/o excitación.
9. Procedimiento de control de motores DC, según la reivindicación 8, en posición y velocidad, haciendo uso de diferentes tipos de excitación: lineal en tensión, lineal en corriente, servocontrol en corriente y puente en H.
10. Procedimiento de control de motores sin escobillas, según la reivindicación 8, en posición y velo-

cidad, permitiendo tanto la excitación por tensión como por corriente.

11. Procedimiento de control de motores paso a paso, según la reivindicación 8, en posición y 1 velocidad, permitiendo los modos de excitación: paso completo con dos devanados excitados, paso completo
5 con un devanado excitado, medio paso y micropaso.

12. Un equipo según reivindicaciones 1 y 8 **caracterizado** por poseer comunicación con cualquier sistema que permita tener un conocimiento exhaustivo del equipo, ofreciendo además una idea general de funcionamiento y posibilidades de trabajo que no sea una computadora.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

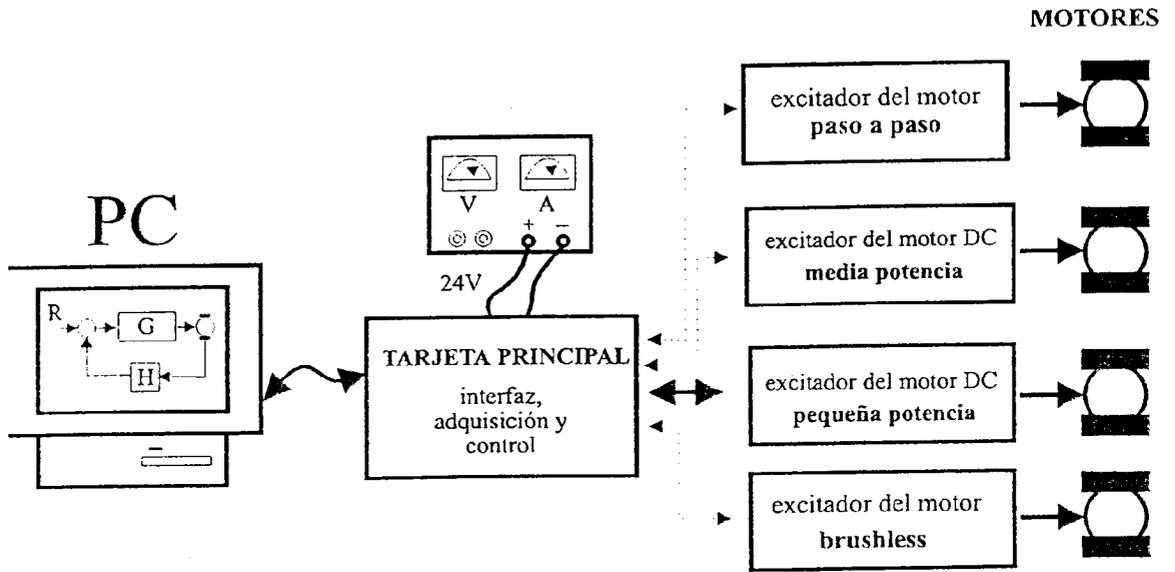


Figura 1

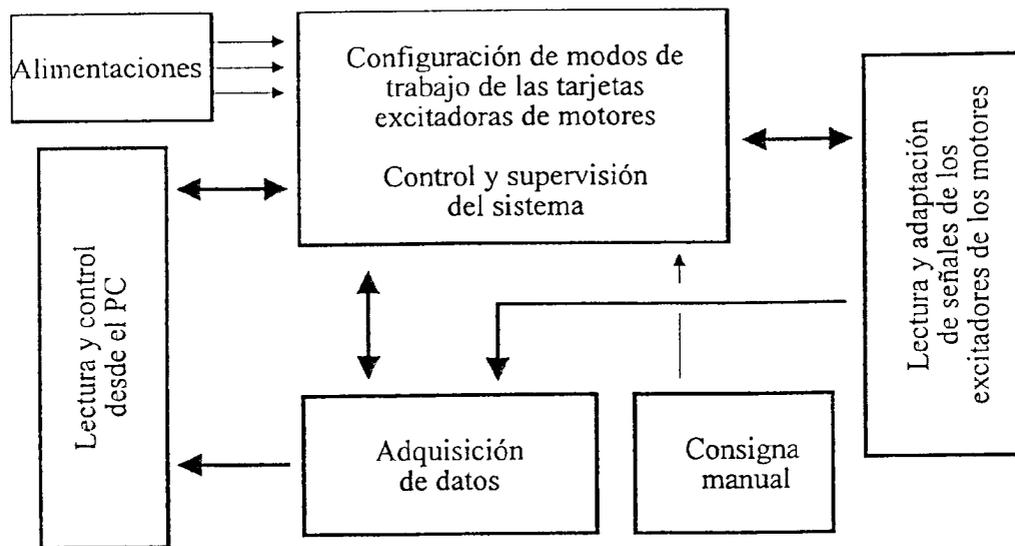


Figura 2

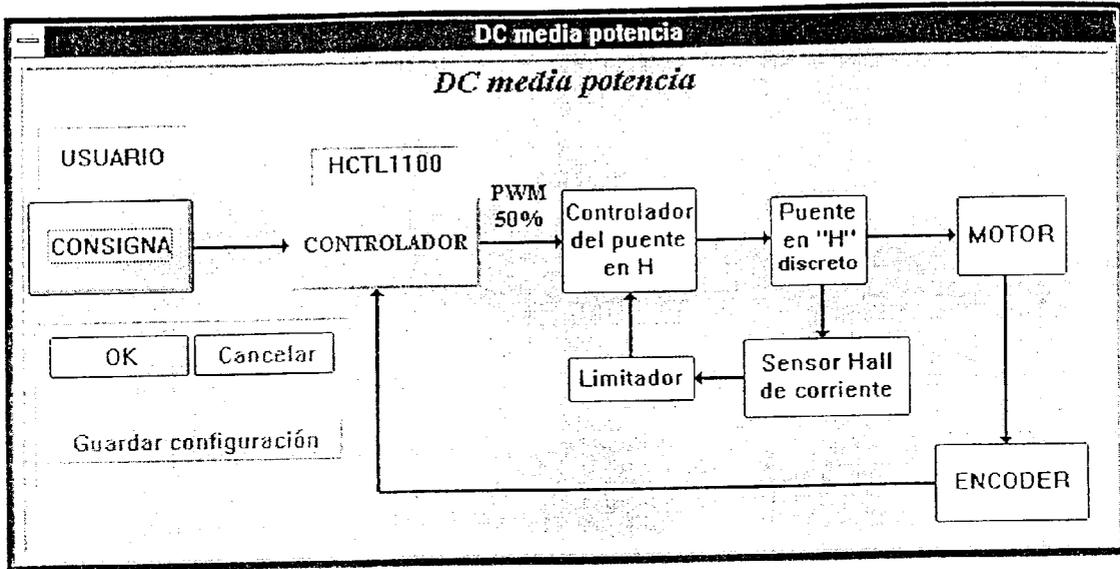


Figura 3

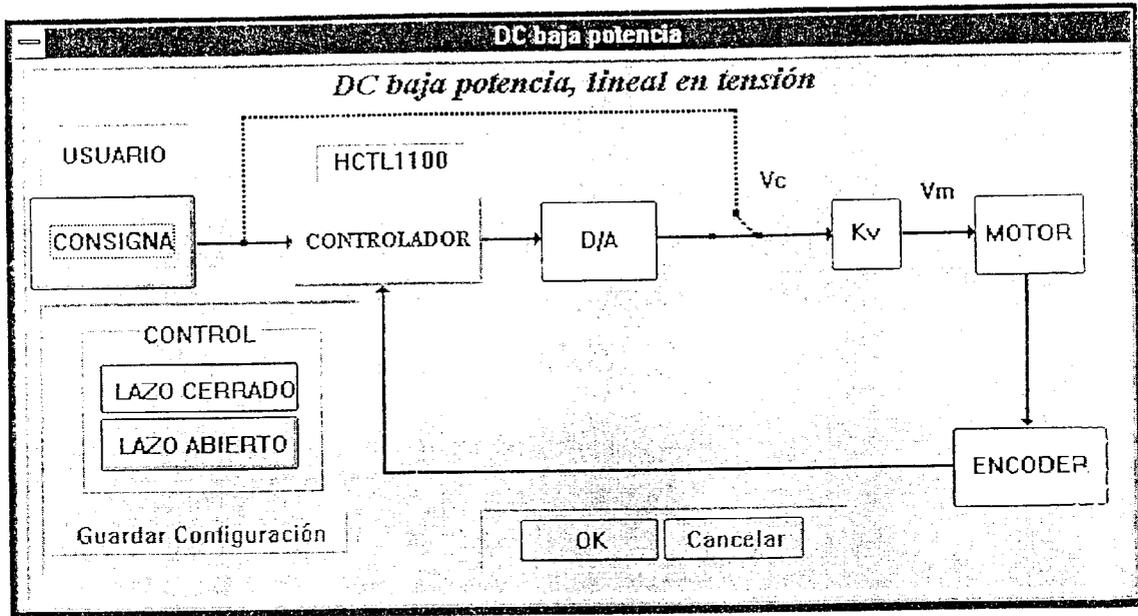


Figura 4

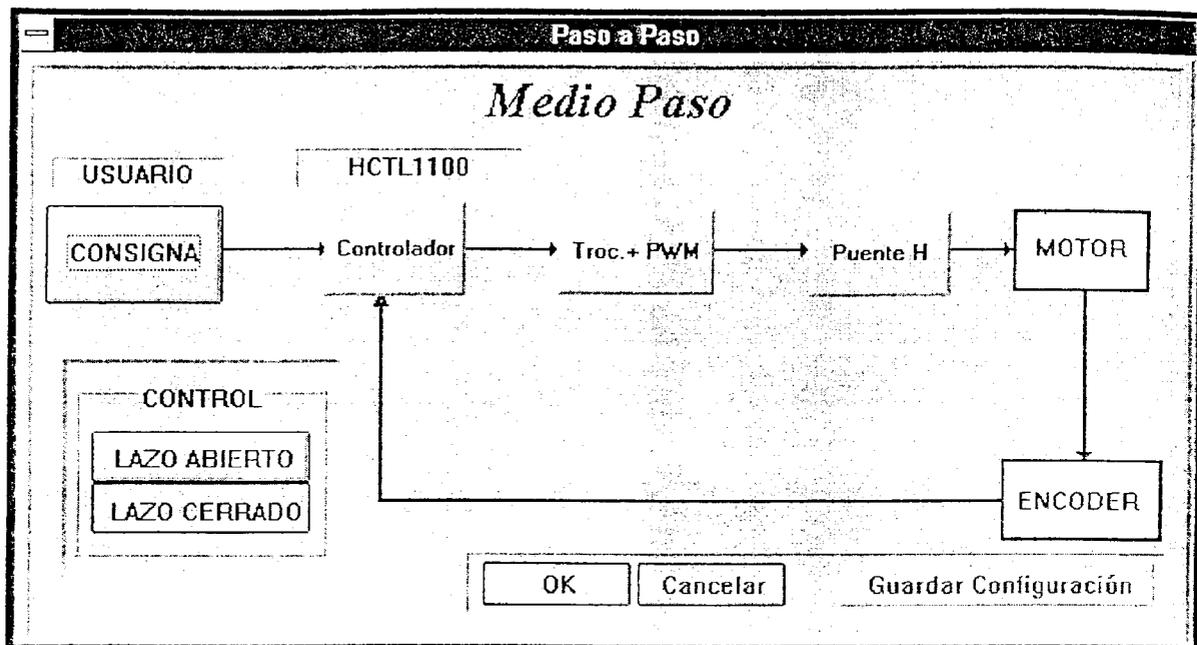


Figura 5

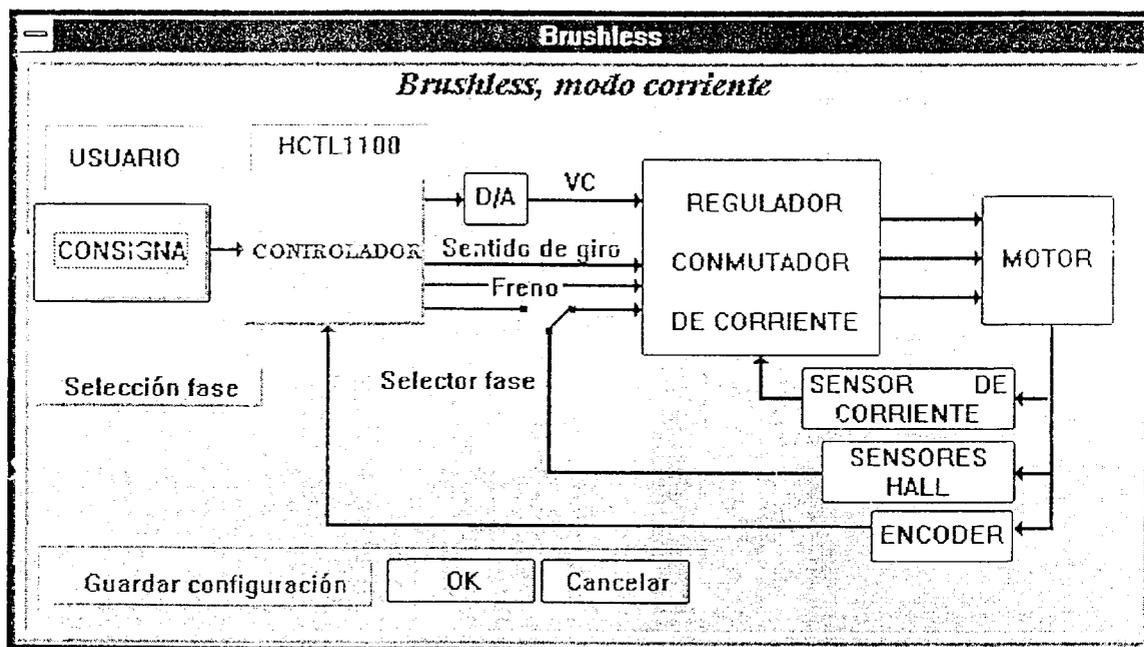


Figura 6

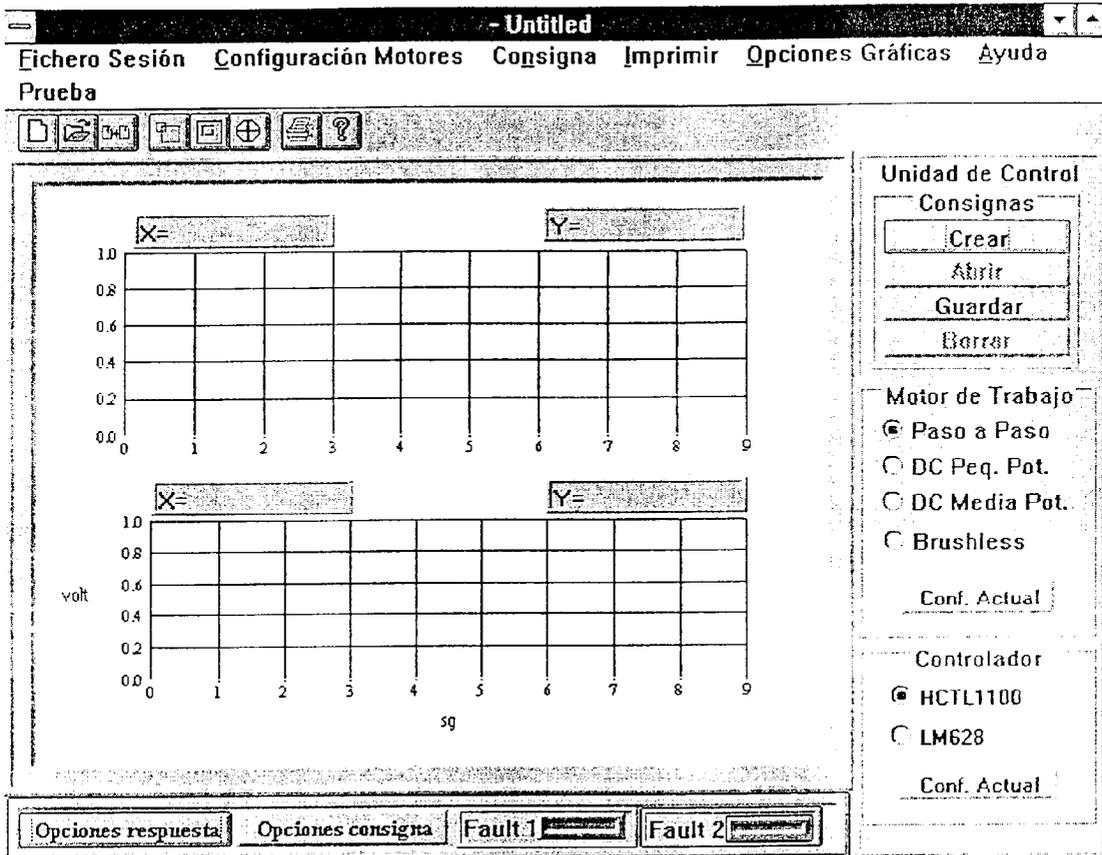


Figura 7

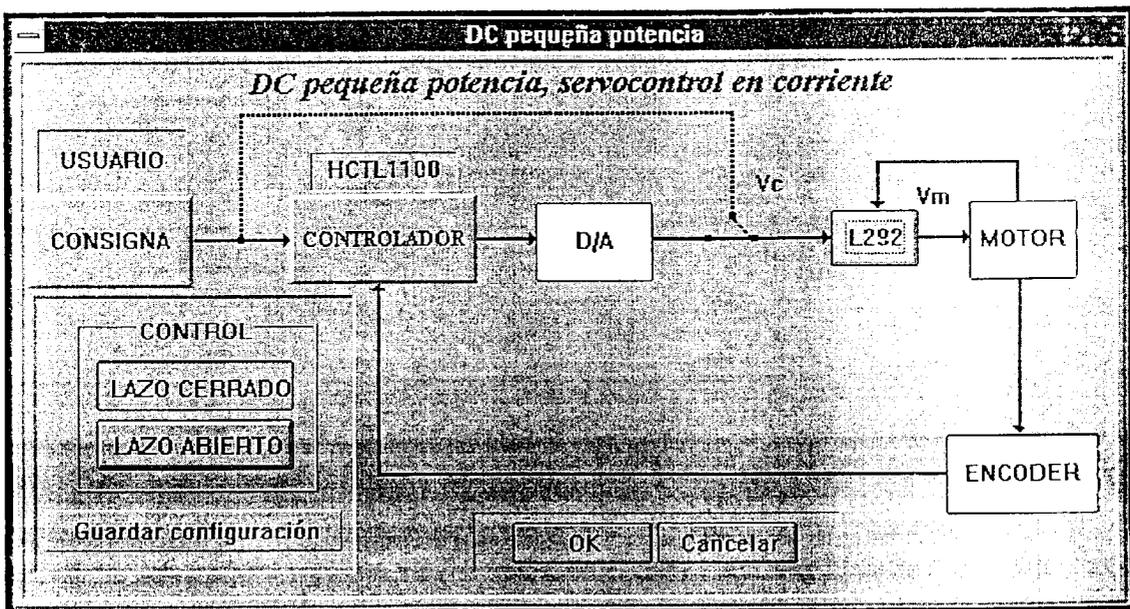


Figura 8

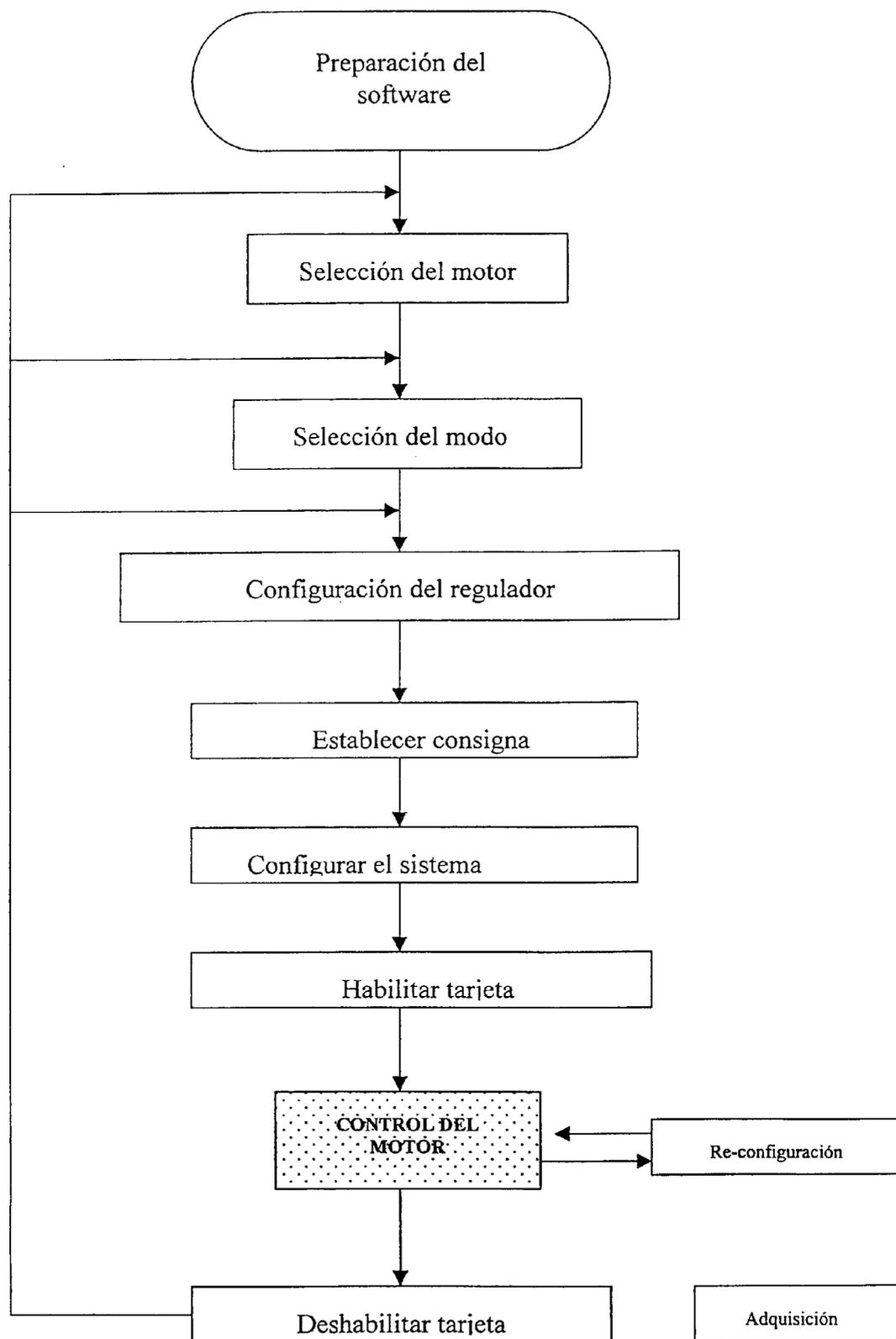


Figura 9



INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.⁷: H02P 7/00, 8/00, 5/00, G05B 23/02

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 5390068 A (SCHULTZ et al.) 14.02.1995, columna 2, línea 8 - columna 5, línea 65; reivindicación 1; resumen; figura 1.	1-12
A	US 4833372 A (KOBAYASHI et al.) 23.05.1989, resumen; columna 1, línea 41 - columna 3, línea 31.	1-12
A	US 4264848 A (JANSEN) 28.04.1981, columna 2, línea 3 - columna 3, línea 43.	1-12
A	BAUSZ, J.; BORKA, J.; HORVATH, M. "Macroprogrammable measurement data acquisition and processing system for electric motors and drives". ICEM 96 Proceedings. International Conference on Electrical Machines, Vigo, Spain, 1996, páginas 399-404, Vol. 3 of 3 Vol.	1-12
A	ANDERSON, M.D.; HANK, S.A.; LARAMORE, R.; POTTINGER, H.J. "Computer-cuded Testing of Electrical machines: Software development". IEEE Transactions on Power Systems (Aug. 1987), Vol. PWRS-2, n° 3, páginas 824-30 5 refers.	1-12

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n°:

Fecha de realización del informe

31.03.2000

Examinador

L. García Aparicio

Página

1/1