

MONITORIZACIÓN Y CONTROL DEL ARRANQUE DE UNA MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA

Manuel Casal Gómez-Camirero

Manuel Burgos Payán

Pedro Cruz Romero

Ángel Gaspar González Rodríguez

Carlos Izquierdo Mitchell

Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla
Escuela Superior de Ingenieros Industriales
Avda. Reina Mercedes, s/n. 41012 Sevilla

RESUMEN

Se describe una experiencia de innovación educativa montada en torno a una práctica de laboratorio relacionada con las máquinas eléctricas. En ella se trata de que los alumnos conozcan técnicas de análisis y tratamiento de señales analógicas mediante autómatas programables y tarjeta de adquisición de datos y las apliquen al control del arranque de un motor de corriente continua por inserción de resistencias.

Descriptores: Prácticas de laboratorio, Máquinas eléctricas, Autómatas programables, Adquisición de datos.

ABSTRACT

An innovative educational experience developed around a laboratory practice related to electrical machines is described. The purpose of this experience is that the students learn new techniques about analysis and process of analog signals by mean of a programmable logic controller and a data acquisition board, and that apl y them to the starting control of a DC motor by resistances insertion.

Key words: Educational test laboratory, Electrical machines, Programmable logic arrays (PLC), Data acquisition.

INTRODUCCIÓN

El arranque de los motores de corriente continua es uno de los puntos clásicos tratados en la generalidad de los programas y textos de Máquinas Eléctricas (CHAPMAN, 1985; CORTES, 1972). Durante el transitorio que sigue a la conexión brusca de un motor a la red de alimentación se producen corrientes que toman valores muy elevados, como muestra la Fig. 1.

Corrientes transitorias de arranque tan elevadas producen diversos efectos negativos que pueden llegar a afectar a los receptores conectados a la misma línea de alimentación e, incluso, al propio motor. Entre estos efectos adversos cabe citar:

- Aumento de las pérdidas por efecto Joule en el inducido del motor y, consecuentemente, de su temperatura (puede ser grave en el caso de varios arranques sucesivos).
- Empeoramiento del proceso de conmutación.
- Generación de esfuerzos termomecánicos sobre el aislamiento.
- Incremento brusco del par con el consiguiente riesgo de fatiga mecánica en el eje y en los órganos mecánicos de transmisión.

- Caídas de tensión en la red que pueden afectar al correcto funcionamiento de los receptores que se alimentan de la misma línea.

Por todo ello, a lo largo del tiempo, se han desarrollado diversos procedimientos para conseguir limitar las puntas de intensidad que se producen durante los transitorios de arranque. De entre todos ellos, el método más intuitivo, y conceptualmente más simple, es el arranque con reostato o por inserción de resistencias, cuyo esquema se ilustra en la Fig. 2. La idea básica del método consiste simplemente en conectar, en serie con el inducido del motor, un reostato cuyo valor se va reduciendo hasta que, finalmente, queda cortocircuitado, y el motor directamente conectado a la red de alimentación.

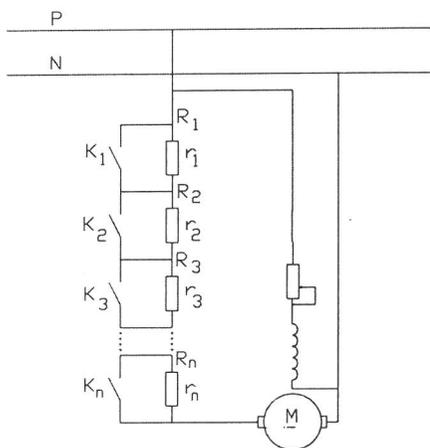


Figura 2. Esquema de arranque de un motor por inserción de resistencias

La intensidad va decayendo, hasta que en el instante t_1 alcanza su valor mínimo (punto 2). En ese instante debe cortocircuitarse el primer tramo de resistencia. El valor del tramo de resistencia a cortocircuitarse será tal que la intensidad alcance de nuevo su valor máximo (punto 2'). El proceso se va repitiendo (puntos 3,3',4,4') hasta que se eliminen todas las resistencias (punto 5) y el motor alcance el régimen de funcionamiento permanente, directamente conectado a la red.

La forma más extendida en la práctica de llevar a cabo este tipo de arranque consiste en realizar la eliminación de resistencias basándose en un programa temporal, en el que una serie de relés temporizados cronometran los tiempos t_1, t_2, \dots , y van generando las órdenes para cortocircuitar los correspondientes tramos de resistencia.

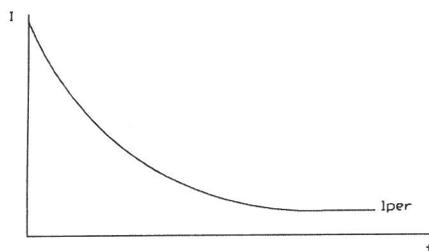


Figura 1. Evolución de la intensidad durante el arranque del motor

Existen varias formas de llevar esta idea a la práctica. Lo más frecuente es que el "reostato de arranque" esté realmente constituido por una serie de resistencias, todas ellas conectadas en serie, que se van cortocircuitando conforme va progresando el arranque. Los valores de cada una de estas resistencias se calculan de forma que la intensidad absorbida durante el transitorio esté siempre comprendida entre dos valores extremos, como se indica en la Fig. 3.

El proceso de arranque debería transcurrir como sigue: En el instante de conexión del motor a la red se insertan en serie con el inducido del motor todos los tramos de resistencia. El valor de la resistencia total a insertar será tal que la intensidad alcance su valor máximo admisible (punto 1 en la Fig. 3). Conforme la máquina va acelerando, la

Los tiempos t_1 , t_2 , etc., para una máquina determinada dependen, principalmente, de las características de la carga mecánica que tenga aplicada el motor (especialmente momento de inercia total y variación del par resistente con la velocidad), por lo que esta forma de realización del arranque tiene el inconveniente de que sólo puede ajustarse correctamente para unas condiciones de carga mecánica especificadas. Si éstas cambian, no hay garantía de que la intensidad se mantenga entre los valores límites especificados durante el transitorio de arranque.

Los inconvenientes inherentes a este procedimiento se evitan midiendo la intensidad en cada instante, procediendo a cortocircuitar el tramo de resistencia correspondiente cuando la intensidad desciende al valor I_{\min} .

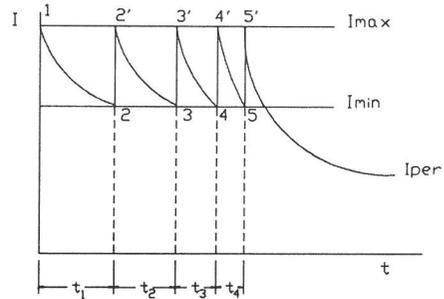


Figura 3. Evolución de la intensidad durante el arranque por resistencias

En lo que sigue se propone una práctica en la que se utiliza este procedimiento. En ella los alumnos utilizan un ordenador para controlar el proceso mediante un autómata y una tarjeta de adquisición de datos, con lo que se refuerza la línea de introducción de los ordenadores en las tareas de los alumnos (BURGOS y otros, 1993, 1994).

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

La actividad propuesta consiste en una práctica de laboratorio, dirigida inicialmente a los alumnos de la asignatura Tracción Eléctrica (6º Curso de Ingenieros Industriales, Especialidad Electricidad), y posteriormente ampliable a los alumnos de la asignatura Cálculo y Construcción de Máquinas Eléctricas (5º Curso de Ingenieros Industriales, Especialidad Electricidad), en la que éstos deben, esencialmente, realizar las siguientes tareas:

- Obtener la constante $k\Phi$ de la máquina, a partir del análisis del punto de funcionamiento nominal.
- Definir los tramos de resistencias que permitan que la intensidad, durante el transitorio de arranque, se mantenga entre unos valores máximo y mínimo, tal y como se indica en la Fig. 3.
- Utilizar un autómata programable para controlar el proceso de arranque del motor por inserción de resistencias, y eliminación de las mismas, basado en el seguimiento de la intensidad.
- Monitorizar las evolución temporal de la intensidad y la velocidad durante el transitorio de arranque mediante una tarjeta de adquisición de datos.

Tanto las dificultades que plantea el arranque como las soluciones posibles (particularmente el arranque por inserción de resistencia) son conocidas de antemano por los estudiantes, ya que el tema está incluido en el programa de la asignatura Cálculo y Construcción de Máquinas Eléctricas (5º Curso de Ingenieros Industriales).

Con respecto a los procedimientos, programas y equipos a utilizar, los alumnos disponen también de ciertos conocimientos previos sobre la utilización de los autómatas (tratamiento de

señales digitales) y su programación mediante el lenguaje STEP 5 (CASAL, 1992). De hecho, en los dos cursos previos han debido realizar sendas prácticas de laboratorio con autómatas programables.

Los nuevos conocimientos que se pretende introducir en esta práctica son, principalmente:

- El tratamiento de señales analógicas con autómatas programables.
- La captura de señales analógicas mediante una tarjeta de adquisición de datos instalada en un ordenador de tipo PC.
- La utilización de un paquete informático para la programación de la tarjeta de adquisición.

A fin de implicar al máximo al alumnado, se ofreció a dos estudiantes de la anteriormente mencionada asignatura de Tracción Eléctrica de 6º Curso, la posibilidad de participar activamente en la fase previa de puesta a punto de la actividad. A estos alumnos se les proporcionó la documentación necesaria relativa a estos temas, tanto la referida a trabajos desarrollados anteriormente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, como la bibliográfica. Durante el desarrollo de su trabajo, estos alumnos fueron tutorados por los profesores participantes en esta experiencia de innovación docente. A esta tarea se le dio la consideración de trabajo voluntario de la asignatura.

METODOLOGÍA

Como se ha podido comprobar, la actividad propuesta tiene dos partes claramente diferenciadas:

- Adquisición de nuevos conocimientos relacionados con dos equipos específicos:
 - Tratamiento de señales analógicas con autómatas programables.
 - Captura de señales analógicas mediante una tarjeta de adquisición de datos.
- Aplicación de los conocimientos adquiridos a la resolución del problema del arranque de un motor.

Esto hizo que el desarrollo de la actividad se organizara en las tres fases que se pasan a describir.

La primera fase correspondió al aprendizaje de conocimientos relativos al tratamiento de señales analógicas con autómatas programables. Esta fase se dividió, a su vez, en dos partes: en la primera se introdujeron los nuevos conocimientos mediante exposición oral (clase magistral) con apoyo de transparencias y, en la segunda, el alumno ponía en práctica dichos conocimientos aplicándolos a dos ejemplos prácticos incluidos en un manual elaborado para la práctica (CASAL y otros, 1997, SIEMENS, 1991). Para ello se montaron cinco puestos de trabajo en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas. En cada uno de estos puestos se disponía de un autómata programable, un ordenador y una fuente de alimentación de tensión continua para simular la entrada analógica. Para la exposición oral se hizo una previsión temporal de una hora y media que, en la práctica, resultó acertada.

La segunda fase se enfocó hacia el aprendizaje de conocimientos relativos a la programación de la tarjeta de adquisición de datos. Debido a la gran cantidad de instrucciones y posibilidades que ofrece el paquete informático de programación de la tarjeta, se optó por introducir los conocimientos mediante dos ejemplos que englobaran todas las instrucciones necesarias para poder desarrollar, posteriormente, el programa correspondiente al arranque del motor. Para cubrir las necesidades de esta fase se elaboró el manual correspondiente (CASAL

y otros, 1997, LÁZARO, 1997, National instruments, 1992), y la exposición se hizo en un aula con un proyector de vídeo y cinco ordenadores para los alumnos (con el programa de control de la tarjeta). De esta forma, a medida que el monitor iba explicando los ejemplos, los alumnos los podían ir desarrollando interactivamente en su propio puesto de trabajo, lo que aseguraba la implicación del alumno en su propio aprendizaje. El tiempo dedicado a esta fase fue de dos horas, que resultó algo escaso.

En la tercera y última fase es donde se produce la participación más activa de los alumnos, que debían aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución del problema del arranque. Para esta fase se organizaron dos turnos en el Laboratorio, con cuatro puestos de prácticas, de forma que en cada puesto hubiera uno o dos alumnos. El tiempo previsto para la realización de esta fase fue de dos horas, que resultó escaso.

Antes de la última fase, se dio a los alumnos la posibilidad de prepararla dejándoles una semana de tiempo, así como habilitando los cuatro puestos de trabajo para que pudieran practicar con el lenguaje de programación.

PRÁCTICA DE LABORATORIO

En la Fig. 3 se muestra la evolución de la intensidad de inducido durante un arranque con cuatro escalones de resistencias. Como puede verse, los tramos de resistencia deben calcularse de forma que la intensidad durante el arranque esté siempre comprendida entre un límite superior (I_{max}) y otro inferior (I_{min}), siendo ambos límites superiores al valor nominal (I_n).

La elección del número de escalones está sometida a dos restricciones contrapuestas. Por un lado, para que el arranque sea suave interesa que el número de escalones sea elevado pero, por otro lado, para que el coste del equipo de arranque (fundamentalmente resistencias y contactores para cortocircuitarlas) sea mínimo interesa disponer pocos escalones. En la práctica, y con valores de $I_{max} \approx 1,1 \div 1,3 \cdot I_{min}$ e $I_{min} \approx 1,5 \cdot I_n$, el número de escalones suele limitarse a 4 o 5.

La eliminación de resistencias por detección de la intensidad exige disponer de un transductor de corriente que permita conocer los valores instantáneos de la intensidad de inducido durante el arranque. Conocidos estos valores, se comparan con el valor establecido para I_{min} , y se cortocircuita el tramo de resistencia correspondiente cuando sean iguales (con el método cronométrico se calcularían los tiempos t_1 , t_2 , t_3 , y t_4).

En el caso de esta práctica, las operaciones de comparación y control del cortocircuitado se realizarán mediante un autómata programable con capacidad para gestionar entradas/salidas analógicas.

Para seguir la evolución del proceso, se dispone de un sistema de adquisición de datos basado en una tarjeta analógico/digital (A/D) enchufable a un PC, que permitirá la visualización de la evolución temporal de la intensidad y velocidad durante el arranque. La programación de la tarjeta A/D se llevará a cabo mediante un paquete informático.

1 CÁLCULO DEL REOSTATO DE ARRANQUE

Si se consideran como datos de partida el valor de I_{max} y el número de escalones (N) se puede obtener una expresión para el valor mínimo de la intensidad de arranque (I_{min}) en

función de I_{max} y N . Para ello se parte de la ecuación de inducido del motor (despreciando la caída de tensión en las escobillas):

$$U = R_{it} I + k \phi \Omega \quad (1)$$

En esta expresión, U es la tensión en bornas del motor, I la intensidad de inducido, R_{it} la resistencia total del circuito de inducido (incluyendo los tramos de resistencia del reostato de arranque que tenga conectado), Ω la velocidad, ϕ el flujo máximo por polo y k la constante de la máquina.

Este ecuación pone de manifiesto que la relación entre la intensidad y la velocidad es lineal. Si se divide por U ambos miembros resulta:

$$1 = \frac{I}{\frac{U}{R_{it}}} + \frac{\Omega}{\frac{U}{k\phi}}$$

Si se tiene en cuenta que $I_{ia} = U/R_i$ representa la intensidad de arranque directo (correspondiente a una resistencia total del circuito de inducido R_i), y que $\Omega_0 = U/k\phi$ representa la velocidad (ideal) de vacío, los puntos de corte de la recta $I = I(\Omega)$ con los ejes son: $(0, I_{ia})$ y $(\Omega_0, 0)$, respectivamente, como puede verse en la Fig. 4.

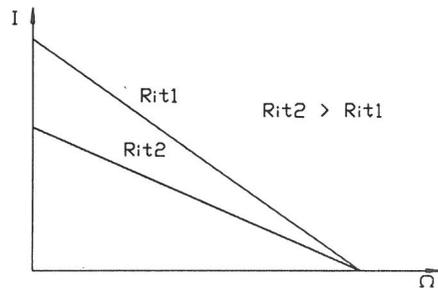


Figura 4. Rectas $I(\Omega)$ para dos valores distintos de R_{it}

Si se consideran N tramos de resistencias la evolución del arranque quedaría como se ilustra en la Fig. 5.

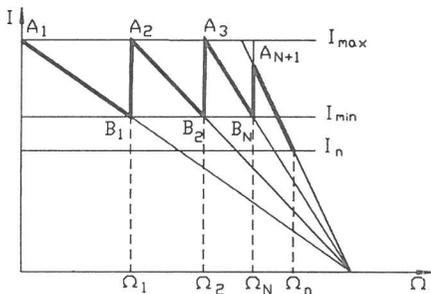


Figura 5. Arranque mediante N escalones de resistencia

Si se aplica la ecuación (1) en los puntos A_1, A_2, \dots, A_N de la Fig. 5 se obtienen los valores de las resistencias totales del circuito de inducido R_1, R_2, \dots, R_N (por simplicidad se han suprimido las letras *it*). El punto A_{N+1} corresponde a la recta de resistencia $R_{N+1} = R_i$, siendo R_i la resistencia de inducido. Como puede verse en la figura, la intensidad correspondiente al punto A_{N+1} puede ser menor que I_{max} , ya que en este momento se elimina el último tramo de resistencia externa (sólo queda insertada la resistencia del propio inducido) y no hay ningún grado de libertad para imponer la condición.

Por otro lado, aplicando la ecuación (1) en los puntos B_1, B_2, \dots, B_N , se calculan las velocidades de inicio de cada tramo. Operando se obtiene:

$$I_{\min}(I_{\max}, N) = \frac{I_{\max}}{N \sqrt{\frac{U}{R_t I_{\max}}}}$$

Una vez conocido I_{\min} se obtienen los valores de las resistencias de cada tramo y las totales del circuito de inducido que, lógicamente, resultan en orden decreciente, por lo que para modificar el valor de la resistencia de arranque en cada escalón se van cortocircuitando tramos de resistencias.

2 ESQUEMA DE LA PRÁCTICA

Para la realización del trabajo experimental en el laboratorio se dispusieron cuatro puestos de trabajo. La Fig. 6 muestra el esquema general de la práctica.

Como puede verse, el motor de C.C. lleva acoplado en el eje un freno de corrientes parásitas para simular el efecto de la carga mecánica. El par resistente que ejerce este freno se controla mediante un autotransformador.

Una dinamo tacométrica (D.T. en Fig. 6) permite medir la velocidad de funcionamiento del motor. La dinamo disponible en el laboratorio genera una señal alterna que, mediante un divisor de tensión, se adapta para la lectura de la tarjeta A/D.

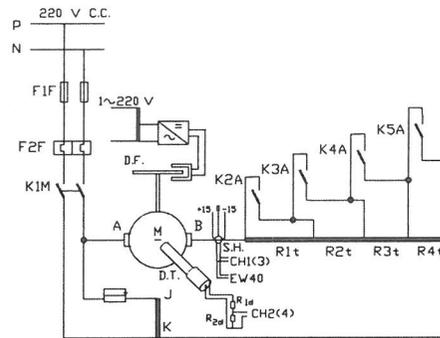


Figura 6. Esquema eléctrico de la práctica

El contactor principal K1M permite la conexión y desconexión del motor a la red de 220 V. Como puede verse, el reostato de arranque está formado realmente por cuatro resistencias variables ($R_{1t}, R_{2t}, R_{3t}, R_{4t}$), lo que permite ajustar el valor de la resistencia de cada tramo.

Como ya se ha indicado, conforme va progresando el arranque se van cortocircuitando tramos de resistencias. Para ello se emplean los contactores K2A, K3A, K4A y K5A, que inicialmente están abiertos y que, en este caso, se cierran siguiendo la secuencia creciente de su designación. Las órdenes de apertura y cierre (maniobra) de todos los contactores se generan mediante el programa de control de un autómata. La Fig. 7 muestra el esquema de entradas y salidas correspondiente.

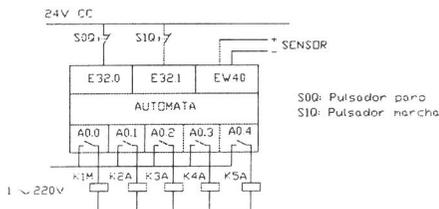


Figura 7. Esquema de entradas y salidas del autómata

La captura de la onda de intensidad se lleva a cabo mediante sensores de efecto Hall (producen tensiones proporcionales a la corriente a medir, S.H. en Fig. 6). La salida del transductor de la intensidad se conecta tanto al autómatas (entrada EW40) como a la tarjeta de adquisición de datos (canales CH1 o CH3).

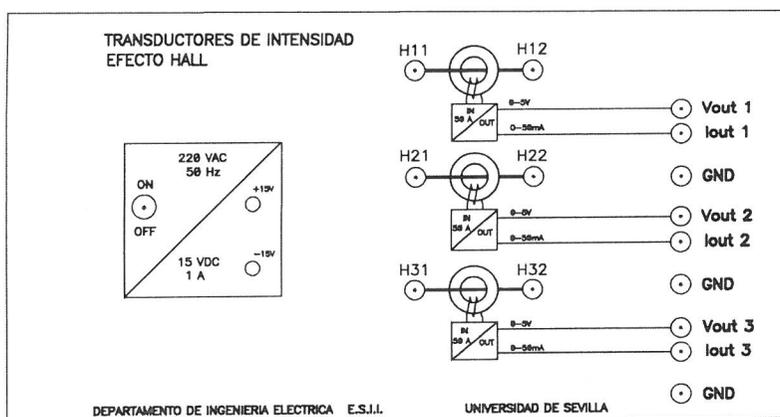


Figura 8. Carátula de los transductores de intensidad

El equipo de sensores Hall fue realizado en el laboratorio expresamente para esta práctica, y consta de una caja en la que se incluye una fuente de alimentación de ± 15 V y tres sensores Hall. La Fig. 8 muestra la carátula de la caja de transductores. Igualmente los cuadros de resistencias fueron expresamente realizados para la práctica.

Las salidas de los transductores de intensidad y velocidad (divisor de tensión conectado a la dinamo tacométrica) que van a la tarjeta A/D están identificadas por sus correspondientes canales de entrada. Como se indica de la Fig. 6 hay dos canales para cada salida (el segundo entre paréntesis). Esto es debido a que hay una tarjeta A/D por cada dos puestos, lo que obliga a direccionar las señales de los dos puestos a canales distintos mediante una caja de conexiones, como trata de ilustrar la Fig. 9.

3 PROGRAMA DE CONTROL DEL AUTÓMATAS

El programa ha de contemplar las entradas y salidas indicadas en la Fig. 7. La entrada S0Q corresponde a la del pulsador de parada, y la S1Q a la del pulsador de marcha. La entrada SENSOR corresponde a la salida del sensor de efecto Hall de la Fig. 6. La relación entre la intensidad medida y la señal de salida en los sensores empleados en la práctica es:

$$I/V_H = 10 S$$

El programa que deben realizar los alumnos debe cumplir dos requisitos básicos:

- Máxima modularidad.
- Empleo del módulo FB250 para la adquisición de la señal analógica (SIEMENS, 1991).

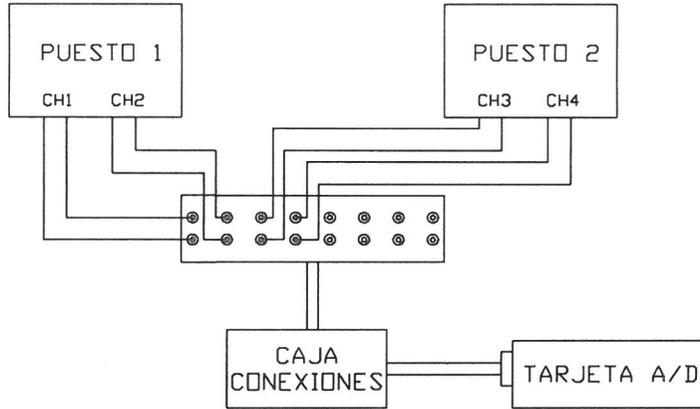


Figura 9. Esquema de conexión del sistema de monitorización

En relación a la programación hay que tener especial precaución en los instantes en que I llegue al valor I_{min} (Fig. 3), para evitar que puedan activarse a la vez todas las salidas de los contactores asociados a los tramos de resistencias. Para ello se propone una posible solución, que se basa en el empleo de una marca que esté a 0 ó 1 en función del valor relativo de I en relación a una intensidad arbitraria I_u , comprendida entre I_{min} e I_{max} . Si se observa la Fig. 10, cuando la intensidad se encuentre en el tramo (1) no se comprueba si activar el siguiente contactor. Al cruzar el umbral I_u , la marca se pone a 1 y se empieza a comprobar la activación del siguiente contactor (tramos (2), (3) y (4)), hasta llegar al punto c , en el que la marca se pone a cero, y vuelve a empezar el ciclo.

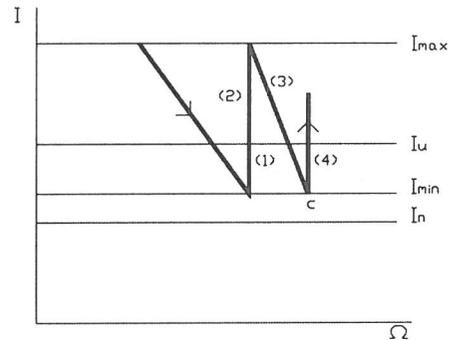


Figura 10. División de cada escalón en tramos en función de la intensidad umbral I_u

4 PROGRAMA DE MONITORIZACIÓN MEDIANTE TARJETA A/D

Los alumnos deben realizar y probar el programa de monitorización de las señales de intensidad de inducido y velocidad del motor. Para ello se empleará la tarjeta A/D AT-MIO-16E-2 y el programa Labview. A tal fin se dispone el montaje ya indicado en la Fig. 9. Los valores límite para la señal de entrada son ± 10 V.

Como ya se ha indicado, la salida de la dinamo es una señal alterna cuya amplitud es proporcional a la velocidad, por lo que para obtener la velocidad es necesario detectar la amplitud de la señal en cada instante. El método a adoptar se deja a elección del alumno.

La relación numérica entre la señal de lectura y la magnitud medida viene dada por un factor, indicado a continuación:

- Señal proporcional a la intensidad: $V_{CH1(3)} = nv \cdot I / 10$
- Señal proporcional a la velocidad: $V_{CH2(4)} = V_{DIN} \cdot R_{2d} / (R_{1d} + R_{3d})$

siendo nv el número de veces que el conductor del inducido entra en el anillo del sensor, y V_{DIN} el valor eficaz de la salida de tensión de la dínamo, cuya relación con la velocidad es:

$$V_{DIN} (V) = 0,0195 \cdot N (r/min.)$$

Finalmente, R_{1d} y R_{2d} son las resistencias del divisor de tensión (Fig. 6).

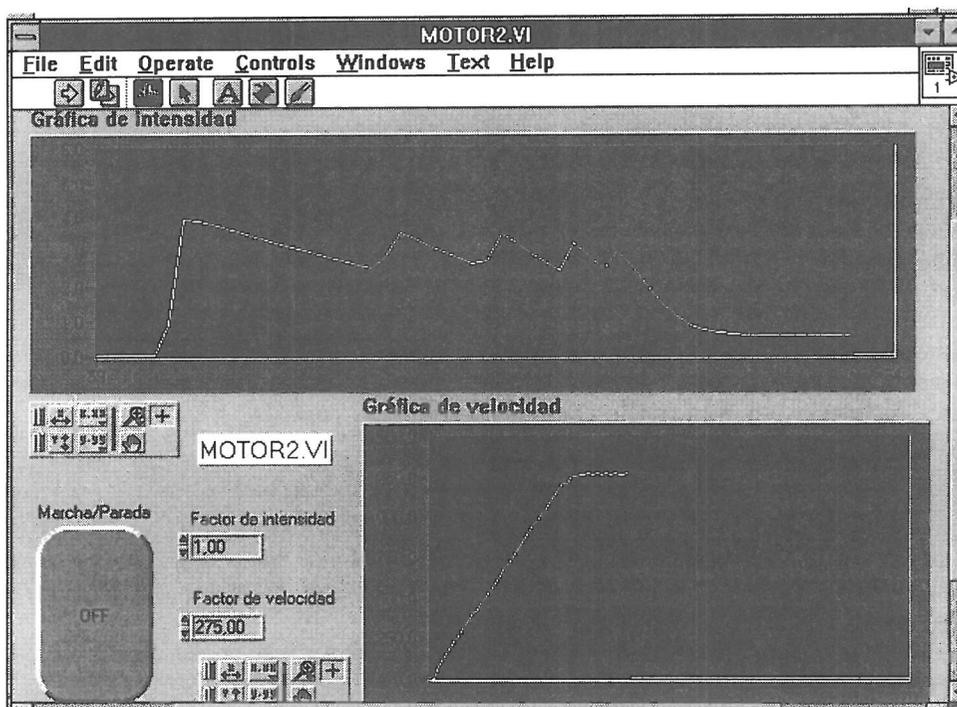


Figura 11. Panel principal del programa de monitorización con la evolución del transitorio de arranque

El *Panel principal* correspondiente al programa de monitorización ha de contener los siguientes elementos:

- Un botón de marcha/paro del proceso de adquisición.
- Dos controles para los factores de intensidad y velocidad.
- Una gráfica de velocidad.
- Una gráfica de intensidad.
- Un control para la selección de canal.

La Fig. 11 muestra dos de las secuencias de programación de la tarjeta. La Fig. 12 muestra la pantalla del monitor con la evolución temporal de las señales de intensidad (parte superior) y velocidad (parte inferior), capturadas mediante la tarjeta de adquisición de datos durante el transitorio de arranque del motor.

CONCLUSIONES

Innovaciones introducidas:

- Ampliación de conocimientos por parte del alumnado en el ámbito del tratamiento de señales analógicas con autómatas programables y en el de captura de señales mediante tarjetas de adquisición de datos.
- Participación de alumnos en la planificación, desarrollo y puesta a punto de la actividad.

Principales resultados obtenidos:

- La actividad fue bastante bien acogida por los alumnos. Aunque el tiempo resultara algo escaso y las fechas de realización de la práctica no fueran las más adecuadas (mayo), consideran que la actividad está bien estructurada y el material de apoyo es completo y funcional, como se refleja en la correspondiente encuesta de control, realizada al finalizar el trabajo.

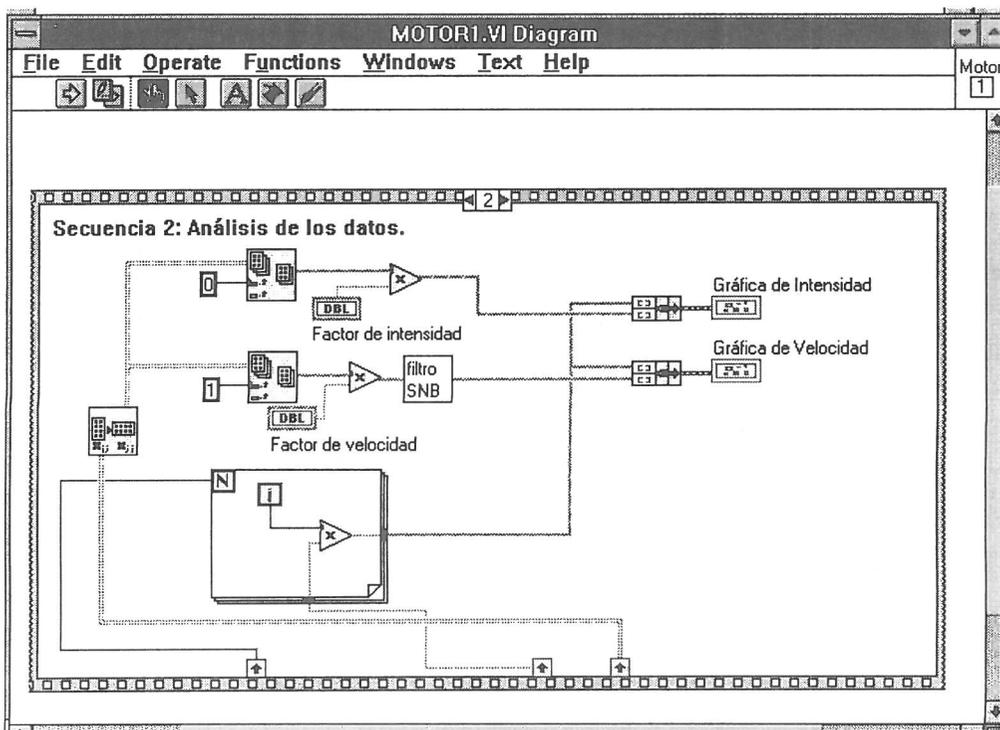


Figura 12. Secuencia 2 del programa de control de la tarjeta

REFERENCIAS

- BURGOS, M.; CASAL, M. e IZQUIERDO, C. (1993). Mejora de una Práctica sobre Máquinas de Inducción Utilizando un Ordenador, *Revista de Enseñanza Universitaria*, 5, pp. 57-67.
- BURGOS, M.; GONZÁLEZ, A.G. y VALLEJO, M.A. (1994). Generadores de Inducción en las Prácticas de Laboratorio, *Revista de Enseñanza Universitaria*, 7-8, pp. 87-101.
- CASAL, M. (1992). *Introducción a los autómatas programables. Aplicación a esquemas eléctricos*, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla.
- CASAL, M.; BURGOS, M.; CRUZ, P.; GONZÁLEZ, A.G. e IZQUIERDO, C. (1997). *Manual de adquisición de señales analógicas con tarjeta analógico/digital*, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla.
- CASAL, M.; BURGOS, M.; CRUZ, P.; GONZÁLEZ, A.G. y IZQUIERDO, C. (1997). *Manual de tratamiento de señales analógicas con autómata programable*, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Sevilla.
- CHAPMAN, S.J. (1985). *Electric Machinery Fundamentals*, McGraw-Hill, New York.
- CORTES, M. (1972). *Curso Moderno de Máquinas Eléctricas Rotativas*, Editores Técnicos Asociados, Barcelona.
- LÁZARO, A.M. (1997). *Labview. Programación gráfica para el control de instrumentación*, Paraninfo.
- NATIONAL INSTRUMENTS,(1992). *Labview for Windows. User Manual*.
- SIEMENS, (1991). *Autómata programable S5-90U/S5-95U. Manual del sistema*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de D. José Delgado Márquez y D. Sergio Nogales Becerra, alumnos de la asignatura Tracción Eléctrica (6º Curso de Ingenieros Industriales, especialidad Eléctrica), que participaron activamente en las tareas preparatorias de esta actividad.

De igual forma, los autores desean dejar constancia de su agradecimiento a D. José Luis Domínguez Reina, Técnico de Apoyo a la Investigación y la Docencia, por su relevante participación en el diseño y construcción de las cajas de transductores y reostatos.

Finalmente, los autores desean expresar también su agradecimiento al Instituto de Ciencias de la Educación (I.C.E.) de la Universidad de Sevilla por la financiación de este trabajo mediante la concesión de una ayuda, en el marco de la Convocatoria de Ayudas a la Docencia Universitaria para el curso 1996/97.