

## VISUALIZACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE AUTÓMATAS PROGRAMABLES

*Manuel Casal Gómez-Camínero*

*Pedro Cruz Romero*

*Manuel Burgos Payán*

*Angel Gaspar González Rodríguez*

*Carlos Izquierdo Mitchell*

Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla  
Escuela Superior de Ingenieros Industriales

### RESUMEN

Se describe una actividad de innovación educativa en el área de máquinas eléctricas que intenta mejorar las prácticas de laboratorio que se realizan en la actualidad. Para ello se pretende visualizar en un ordenador aquellas variables eléctricas que intervienen en las prácticas y que son susceptibles de ser capturadas utilizando como dispositivos de adquisición de datos los autómatas programables actualmente disponibles en el Departamento, así como ampliar el nivel de conocimientos del alumnado en el campo de autómatas programables, extendiendo estos al ámbito de las comunicaciones.

### ABSTRACT

An innovative educational experience in the electrical machines area with the aim of improve the educational laboratory tests is described. The improvement consists on displaying on a computer the electrical variables that take part on the tests, by mean of Programmable Logic Controllers as data acquisition devices, as well as enlarging the students learning level in the Programmable Logic Controllers field, particularly in the communication area.

### 1. INTRODUCCIÓN

La actividad se encuadra en las temáticas **Técnicas de Aprendizaje y Diseño de Materiales Didácticos**. Se pretende mejorar el proceso de aprendizaje de los alumnos de Ingeniería Industrial especialidad Electricidad en todas las prácticas de laboratorio que se realizan en el área de Máquinas Eléctricas en los tres cursos en los que se desarrolla la mencionada especialidad, 4º, 5º y 6º, concretamente en las asignaturas de Máquinas Eléctricas de 4º curso (CASAL, 1992), Cálculo y Construcción de Máquinas Eléctricas de 5º curso (CASAL y otros, 1997), y Tracción Eléctrica de 6º curso. En dichas prácticas aparecen una serie de variables, fundamentalmente de carácter eléctrico, tales como la tensión, intensidad, potencia, fuerza electromotriz inducida, etc., etc., actualmente medidas con los correspondientes dispositivos.

Tradicionalmente la visualización se ha realizado sólo en contados casos y sin generalizarla a todos los alumnos (debido a la necesidad de disponer de material generalmente muy costoso).

El objetivo que se ha marcado el Departamento de Ingeniería Eléctrica en este sentido es el de proceder de forma paulatina a la visualización de aquellas magnitudes, generalmente de tipo eléctrico, que conlleven una mejora de la práctica desde el punto de vista del proceso de aprendizaje que se pretende realice el alumno. En este sentido, el Departamento dispone de autómatas programables con los que se pretende llevar a cabo la visualización de aquellas variables eléctricas que intervienen en las prácticas antes mencionadas, y que por su forma característica se prestan a ser capturadas por el autómata. Una vez capturadas dichas señales se trata de enviarlas a un ordenador personal (PC), con objeto de presentarlas en la pantalla del mismo. Se pretende, en definitiva, la visualización de dichas variables en la pantalla del ordenador, utilizando los autómatas programables actualmente disponibles como dispositivos de adquisición de datos.

El objetivo planteado abarca dos aspectos fundamentales y totalmente novedosos para el alumnado. Por un lado el análisis de la problemática que se plantea al tratar de capturar señales con los autómatas disponibles, y por otro, y fundamentalmente, el estudio del problema de la comunicación entre el autómata y los distintos periféricos.

Los alumnos globalmente implicados en la actividad corresponden a los de titulación de especialidad, asignaturas y cursos anteriormente mencionados, aunque en distinto grado. Dichos alumnos van a depender del curso en el que se encuentre el alumno. Para los de 4º curso se supondrá visualizar señales, para los de 5º curso ampliar sus conocimientos en el ámbito de los autómatas programables en el campo de captura de datos y comunicaciones, y para los de 6º curso utilizar dichos conocimientos en el campo de la Tracción Eléctrica.

## 2. CONTENIDOS QUE DESARROLLA

Se ha previsto el desarrollo de la innovación en cuatro fases. El inicio de una fase presupone el final de la anterior.

Fase I. Resolución por parte de los alumnos y profesores implicados, de los problemas técnicos y de programación que hagan posible la comunicación del autómata tanto con los sensores destinados a capturar las distintas magnitudes a visualizar, como con el correspondiente ordenador personal.

Fase II. Confección de un manual de instrucciones para el manejo del programa de comunicaciones del autómata tanto con los sensores como con el ordenador. Así mismo, se confeccionará una encuesta a realizar por el alumnado al término de la Fase III, cuyo objetivo será el de la evaluación por su parte de la actividad llevada a cabo.

Fase III. Adquisición por parte de los alumnos de la asignatura Tracción Eléctrica de los conocimientos derivados de esta experiencia mediante la realización de la correspondiente práctica de laboratorio, titulada «Visualización de variables eléctricas mediante el empleo de autómatas programables. Aplicación práctica», la cual consta de sesiones tanto teórica como práctica. En la sesión teórica, se desarrollan los contenidos del manual generado

en la Fase II. La sesión experimental desarrolla en el laboratorio el procedimiento práctico para proceder a visualizar señales eléctricas.

Fase IV. Actualización de todas las prácticas de 4º y 5º y 6º cursos introduciendo en las mismas la visualización de las señales eléctricas factibles de ser capturadas por el procedimiento desarrollado.

Fase V. Durante el próximo curso 98/99, los alumnos de 5º curso realizarán la práctica «Visualización de variables eléctricas mediante el empleo de autómatas programables. Aplicación práctica».

### 3. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES

Al inicio de la actividad se organizó un equipo de trabajo compuesto por los profesores implicados y dos alumnos colaboradores matriculados en la asignatura Tracción Eléctrica (6º curso Ingeniero Industrial especialidad Electricidad). A continuación se describe el contenido de cada una de las fases.

#### 3.1. FASE I

En esta fase el equipo de trabajo analizó primeramente las posibilidades de comunicación del autómata con el periférico. Para ello elaboró un informe previo de aproximación al problema.

En este informe se analizó el proceso de comunicación serie síncrona y asíncrona, parámetros que intervienen en la comunicación serie (velocidad de transmisión, bit de paridad, bit de inicio, bit de parada, etc.), y se centró la atención en la interfaz serie más empleada, la RS-232. Asimismo se estudió la UART, un dispositivo clave, cuya función principal es la gestión automática de la comunicación serie.

Se estudió así mismo la forma de llevar a cabo la comunicación autómata-periférico, optándose por el empleo de un módulo de comunicaciones enchufable al bus del autómata y con posibilidad de comunicación serie con el exterior. Sobre este módulo, comercialmente denominado CP 521 SI, el informe describe el principio de operación y los modos de funcionamiento o protocolos que incluye, a saber:

- Modo impresora. Empleado cuando el periférico es una impresora (comunicación unidireccional)
- Modo ASCII transparente. Permite la comunicación bidireccional
- Modo ASCII interpretativo. Permite la comunicación bidireccional, y además tiene la posibilidad de emplear caracteres especiales de final de mensaje
- Modo terminal. Combinación del modo impresora y ASCII
- Procedimiento 3964 (R). Permite la comunicación bidireccional según el protocolo estándar 3964 (R).
- Modo SINEC L1. Permite la conexión entre autómatas

Dadas las características de la comunicación que se pretendía realizar, se escogió como modo de funcionamiento más adecuado el ASCII transparente.

Como resultado de este informe se elaboró una publicación titulada **Comunicación serie autómatas-periférico a través del módulo CP 521 SI** (CASAL y otros, 1998). Esta publicación fue expuesta por uno de los alumnos colaboradores al resto de los alumnos de asignatura Tracción Eléctrica, consiguiéndose de este modo dos objetivos, introducir alumnado de la mencionada asignatura en el tema de las comunicaciones así como mantenerle informado del desarrollo de la actividad.

Debido a que la principal innovación se centra en el ámbito de las comunicaciones autómatas-periférico, en el apartado se describe sucintamente el proceso de comunicación autómatas-módulo, módulo-periférico así como la configuración del módulo.

En el informe se analizó igualmente la comunicación sensores-autómatas, así como la velocidad de muestreo de estos. En relación a la comunicación del autómatas con los sensores esta se lleva a cabo a través de las distintas entradas de aquel, bien sean estas de tipo digital o analógico o de contador. Respecto a la velocidad de muestreo de los autómatas, la misma ha estimado que puede oscilar en torno a 200 muestras/segundo, siendo esta la principal limitación en el empleo de los autómatas programables disponibles en el Departamento con finalidad de adquirir datos de un sistema.

### 3.2. FASE II

En esta segunda fase el equipo de trabajo abordó la confección de un manual de utilización del módulo de comunicaciones CP 521 SI (CASAL y otros, 1998), por el que se optó en la fase anterior para llevar a cabo la comunicación autómatas-periférico.

El manual se elaboró teniendo en cuenta que el alumnado ya disponía de los conocimientos básicos sobre programación de autómatas, adquiridos en prácticas de laboratorio realizadas en los cursos 4º y 5º. No obstante este supuesto, se incluyeron en el manual notas aclaratorias sobre conceptos relativos a las mencionadas prácticas.

En el manual se describe inicialmente la filosofía del proceso de transmisión que emplea el módulo, así como el procedimiento para configurar los distintos parámetros de la interfaz serie.

En relación a la comunicación autómatas-módulo, el manual analiza la transferencia de información entre dos zonas especiales de ambos dispositivos. Por un lado el autómatas dispone de la imagen de proceso de entrada (almacena el mensaje recibido) y de la imagen de proceso de salida (almacena el mensaje a transmitir). Por otro lado el módulo dispone de la memoria de transferencia, tanto para enviar como recibir mensajes. Asimismo describe los pasos para enviar un mensaje al módulo y viceversa, acompañado de ejemplos de programación.

En relación a la comunicación módulo-periférico el manual analiza el formato en el que el mensaje se estructura para su transmisión vía serie.

Dado que en la comunicación se emplean caracteres de control, configuración, petición de tarea, información, etc, cuyo valor se ha de conocer para programar el módulo, en el manual se han empleado con profusión tablas de fácil localización mediante su inclusión en anexos.

Otro aspecto a destacar del manual es la inclusión de un glosario con términos nuevos relativos a la comunicación, junto con términos ya conocidos pero que era conveniente recordar.

Como última tarea de la fase II, el grupo de trabajo elaboró una encuesta de control a realizar por los alumnos que iban a participar en la fase III. Las preguntas que se incluyeron son las siguientes:

1. Anota tu impresión global de la práctica y lo que más te ha llamado la atención.
2. Indica lo que te ha parecido menos interesante.
3. Indica alguna mejora que podría introducirse en el futuro (horario, manual, exposición teórica, contenido y objetivos de la práctica, etc.).
4. Indica algo que podría suprimirse de la práctica.
5. Anota las mayores dificultades encontradas en la realización de la práctica.

### 3.3. FASE III

En la fase III, el equipo de trabajo diseñó una práctica de laboratorio (CASAL y otros, 1998), con el objetivo de introducir al alumnado en la programación del módulo de comunicaciones.

La práctica consiste en la realización de un programa en el autómata que debe llevar a cabo dos tareas diferentes:

1. Capturar una señal analógica de tensión con un intervalo de 10 milisegundos entre toma y toma.
2. Transmitir los valores de las lecturas a un ordenador para proceder a su representación gráfica en la pantalla del mismo mediante un programa ya realizado.

La práctica se completa con la realización de la correspondiente memoria de prácticas, consistente en describir el programa diseñado.

El desarrollo de la mencionada práctica se divide en dos partes. La primera de ellas consiste en una exposición oral por parte del profesor (clase magistral) con apoyo de transparencias, en la que se explican los contenidos del manual elaborado en la fase II. La duración total de esta primera parte es de dos horas y media, repartiéndose la clase magistral en dos sesiones, en días diferentes, de una hora y quince minutos de duración cada una. La segunda parte consiste en la propia realización práctica en el laboratorio por parte del alumnado.

Tal y como estaba previsto para la fase III, la práctica fue realizada por los alumnos de la asignatura Tracción Eléctrica de 6º curso. Tras la parte teórica, los alumnos dispusieron de una semana para poder asimilar los nuevos conocimientos y ponerlos en práctica.

Para la actividad de laboratorio se dispuso de un puesto de prácticas, por lo que los alumnos, diez en total, se dividieron en cinco grupos de dos alumnos por grupo. La duración de actividad no estaba prefijada, lo cual facilitaba la realización de la misma en un ambiente relajado que en las prácticas habituales. La duración media de realización de esta sesión práctica fue de dos horas y media.

La figura muestra una fotografía del montaje preparado para la práctica, en la que distinguen dos ordenadores y el autómata. Uno de los ordenadores se empleó para la introducción del programa en el autómata, y el otro se conectó al módulo de comunicaciones para recibir los valores de tensión y representarlos en una curva mediante un programa en VSUAL BASIC realizado previamente.

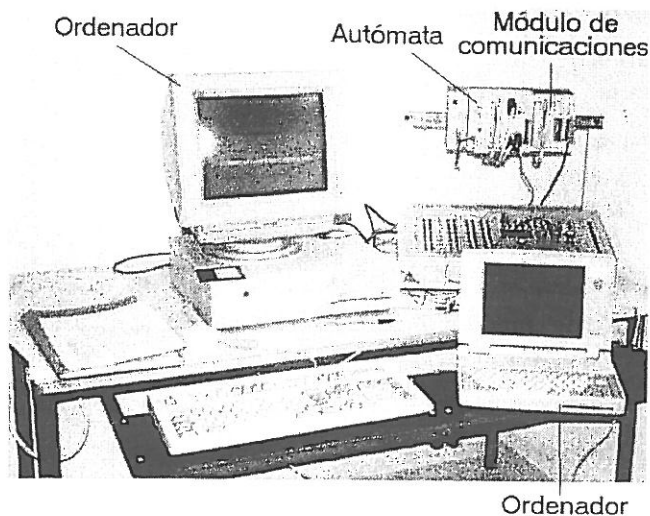


Figura 1. Fotografía del equipo empleado para la práctica.

#### 3.4. FASE IV

Esta fase se encuentra actualmente en ejecución, de manera que durante el próximo curso y a medida que se vayan realizando las distintas prácticas contenidas en el temario de cada asignatura, se pretende actualizarlas en el sentido de la visualización de todas aquellas variables susceptibles de ser capturadas por el procedimiento aquí desarrollado.

#### 3.5. FASE V

Según está previsto se realizará el próximo curso 98/99.

### 3.6. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE COMUNICACIONES

Sin pretender ser exhaustivos en la exposición, es interesante reseñar algunos detalles de interés relativos al módulo de comunicaciones CP 521 SI.

El módulo tiene como finalidad permitir el intercambio de información entre el autómata y otro dispositivo, llamado normalmente periférico.

En la figura se observa un esquema donde aparecen el autómata (identificado como S5-CPU) y el periférico, unidos mediante el módulo de comunicaciones.

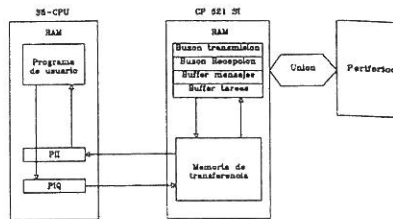


Figura 2. Esquema de comunicaciones.

La comunicación entre el autómata y el módulo se inicia siempre por una petición de tarea enviada por el autómata. Hay tres tipos de peticiones de tarea:

- Relativas al proceso de envío al periférico
- Relativas al proceso de recepción desde el periférico
- Relativas al proceso de configuración del módulo

Para realizar una petición de envío, el autómata transmite su código identificativo desde el programa de usuario a una zona especial de la memoria del autómata llamada Imagen de Proceso de Salida (PIQ), desde donde se copia al módulo, en un registro de ocho bytes denominado memoria de transferencia. El módulo contesta a dicha petición con un reconocimiento de aceptación o de rechazo (ha existido algún error). Para ello almacena en la memoria de transferencia los bytes de respuesta, que son transferidos a otra zona de memoria del autómata llamada Imagen de Proceso de Entrada (PII), desde donde el programa de usuario los puede leer.

En la siguiente fase del envío el autómata transmite la información útil al módulo por el mismo procedimiento, guardándose los bytes de información en una zona de la memoria interna del módulo llamada buzón de envío. La máxima capacidad del buzón de envío es 256 bytes.

Por último, una vez que se ha enviado todo el mensaje al módulo, se transmite al periférico automáticamente mediante una conexión o interfaz serie, sin esperar ninguna orden especial del programa de usuario.

El proceso de recepción se inicia también con una petición desde el programa de usuario seguido por la recepción de bytes de información útil procedentes del periférico y almacenados previamente en el buzón de recepción.

La configuración del módulo consiste en la selección del protocolo de comunicación y la modificación de ciertos parámetros de la interfaz serie entre el módulo y el periférico (v. velocidad de transmisión, bit de paridad), que deben ser similares en ambos dispositivos. En relación a los protocolos de comunicación, el módulo dispone de protocolos dedicados exclusivamente a la comunicación con impresoras o con otros autómatas, y protocolos de carácter general que pueden emplearse para la comunicación con ordenadores.

En la figura se observan también otras dos zonas de memoria del módulo, el buffer de tareas y el buffer de mensajes. El buffer de tareas almacena las peticiones de tarea que el autómata solicita, y el buffer de mensajes es empleado cuando el periférico es una impresora para almacenar los mensajes que se van a enviar.

#### 4. CONCLUSIONES

Se relacionan a continuación las conclusiones más relevantes como consecuencia del desarrollo de la actividad.

1. Se han elaborado las siguientes publicaciones:

Comunicaciones serie autómata periférico a través del módulo CP 521 SI

Manual de utilización del módulo de comunicaciones CP 521 SI.

2. Se ha preparado una nueva práctica titulada Visualización de variables eléctricas mediante el empleo de autómatas programables. Aplicación práctica, la cual pasa a formar parte del temario de prácticas de la asignatura Cálculo y Construcción de Máquinas Eléctricas de 5º curso de Ingeniero Industrial especialidad Electricidad.

3. A tenor del estudio realizado en la fase I se han acotado las posibilidades de utilización de los autómatas como dispositivos de adquisición de datos, concluyéndose que el período mínimo de muestreo con los autómatas disponibles es de 5 milisegundos.

4. En el campo de los autómatas programables, el bagaje de conocimientos del alumnado implicado se ha ampliado al ámbito de las comunicaciones en general, y al de las comunicaciones autómata-ordenador en particular.

5. Como resultado de la encuesta se ha observado un interés generalizado de los alumnos por el área de las comunicaciones serie, en particular de los protocolos de comunicación y de su importante papel como garante de la integridad de la información. Por otro lado, debido a que la programación del autómata se ha visto únicamente en prácticas realizadas en cursos anteriores, sin afianzamiento posterior, los alumnos han destacado las dificultades encontradas a la hora de realizar el programa. Esto ha hecho ver al profesorado la necesidad de incluir para el próximo curso una clase donde se revisen los principales aspectos relativos a la programación.



Destacar como conclusión final el carácter innovador de la actividad en el área de prácticas de máquinas eléctricas, por dar con ella un paso más en la dirección de centralizar en un elemento, el ordenador, la gestión de la automatización de los montajes realizados y la visualización de las magnitudes eléctricas involucradas.

## 5. REFERENCIAS

- 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). *Monitorización y control del arranque de una máquina de corriente continua*, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla.
- CASAL, M.; BURGOS, M.; CRUZ, P.; GONZÁLEZ, A.G. e IZQUIERDO, C. (1997). *Manual de tratamiento de señales analógicas con autómata programable*, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla.
- CASAL, M.; CRUZ, P.; BURGOS, M.; GONZÁLEZ, A.G. e IZQUIERDO, C. (1998). *Comunicaciones serie autómata-periférico a través del módulo CP 521 SI*, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla.
- CASAL, M.; CRUZ, P.; BURGOS, M.; GONZÁLEZ, A.G. e IZQUIERDO, C. (1998). *Manual de utilización del módulo de comunicaciones CP 521 SI*, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla.
- SIEMENS, (1991). *Autómata programable S5-90U/S5-95U. Manual del sistema*
- SIEMENS, (1994). *Simatic S5 CP 521 SI Communications Processor. Manual*

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de D. Manuel Rey Portero y D. Miguel Angel Rivero Gómez, alumnos de la asignatura Tracción Eléctrica (6º Curso de Ingenieros Industriales, Especialidad Electricidad), que formaron parte del grupo de trabajo creado para poner en marcha la actividad, así como a D. José Luis Domínguez Reina, Técnico de Apoyo a la Investigación y la Docencia, adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla.

Igualmente, los autores desean expresar 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 1997/98.