

EQUIPO DE PRÁCTICAS PORTÁTIL PARA APRENDIZAJE SOBRE MANEJO Y PROGRAMACIÓN DE AUTÓMATAS PROGRAMABLES

Alfonso Valentín Poncela Méndez

Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción de la Universidad de Valladolid (ITAP UVa)
Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del cauce 59, 47011 Valladolid, poncela@eii.uva.es

Jesús Aguado Laguna

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Valladolid (ISA UVa)
Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del cauce 59, 47011 Valladolid, jesus.aguado@uva.es

Resumen

En este trabajo se presenta un equipo didáctico de sobremesa, concebido con fines puramente educacionales, diseñado, fabricado y montado de forma masiva, para la realización de prácticas de laboratorio, de aquellas asignaturas que impliquen manejo de autómatas programables en su aplicación al control de instalaciones industriales. El equipo incluye autómata programable industrial de última generación, y su programación se lleva a cabo con herramienta industrial propia del fabricante y asociada al hardware empleado.

Palabras clave: Autómatas Programables, PLC controladores industriales, Programación.

1 INTRODUCCIÓN

El disponer de medios físicos reales, con los que hacer que los estudiantes desarrollen habilidades, capacidades, competencias y adquieran destrezas relacionadas con el manejo y programación de autómatas programables. Que cada estudiante pueda tener un equipo individual para trabajar con él, y que el coste sea aceptable, motiva que se haya diseñado fabricado y montado en el Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), un equipo de sobremesa[1] adecuado para la realización de prácticas de laboratorio de asignaturas, que impliquen manejo de autómatas programables en su aplicación al control de instalaciones industriales.

El equipo busca así mismo, dotar al laboratorio de Autómatas Programables del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (ISA) de la Escuela de Ingenierías Industriales (EII) de la Universidad de Valladolid (UVa) de medios suficientes (medido en número de equipos), para que los estudiantes puedan trabajar con equipamiento real e industrial, ya sea tanto en las sesiones de Laboratorio incluidas en los planes de estudio y horarios, como en sesiones de libre acceso al

laboratorio gestionadas por el Departamento y su personal de administración y servicios. En la actualidad las asignaturas afectadas en la EII son: Automatización Industrial del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática (tercer curso, primer cuatrimestre 6ECTS) Automatización Industrial del Grado en Ingeniería en Organización Industrial (tercer curso, primer cuatrimestre, 4.5ECTS), Tecnología de Control del Master en Ingeniería Industrial (primer curso, segundo cuatrimestre 6ECTS) y Componentes de Sistemas de Sistemas de Control del Master en Electrónica Industrial y Automática (primer curso, primer cuatrimestre 6ECTS). El número de estudiantes de las asignaturas más voluminosas, hace que sea necesario montar en cada curso académico, hasta cuatro grupos de laboratorio por asignatura. Cada grupo implica a no más de veinte estudiantes, número éste (veinte) fijado por el Departamento ISA como aceptable para el buen desarrollo de la actividad docente, valorada ésta en términos de atención al estudiante por parte del profesor. El laboratorio de prácticas docentes, queda entonces dimensionado como laboratorio para trabajo de veinte estudiantes, cada uno con su consola de programación (ordenador personal con el software correspondiente) y maqueta de prácticas. Ambos (ordenador y maqueta) conectados a la red informática del Departamento. Adicionalmente y gracias a la configuración indicada, todos los estudiantes pueden acceder a los equipos de sus compañeros, lo cual hace que el equipo sea en si mismo interesante para asignaturas donde se impartan comunicaciones industriales.

2 DESCRIPCION DEL EQUIPO

Diseñado y desarrollado alrededor de una CPU de última generación del fabricante Siemens, se ha materializado un equipo portátil de sobremesa orientado al aprendizaje sobre manejo y programación del PLCs industriales[2]. El conjunto (a modo de sistema a controlar), incluye un pequeño motor corriente continua (dotado de reductora y

encoder incremental), así como el driver de potencia para la alimentación del motor.

Con el fin de que se pueda hacer que el motor gire a velocidad variable en ambos sentidos en un caso, y como sistema de posicionamiento en otro, se ha incluido un potenciómetro para la generación de consigna externa (velocidad de deseada en un caso, posición a alcanzar en otro respectivamente). Así mismo, el sistema está preparado para leer el consumo instantáneo de corriente facilitado por el driver que alimenta al motor. Figura 1.

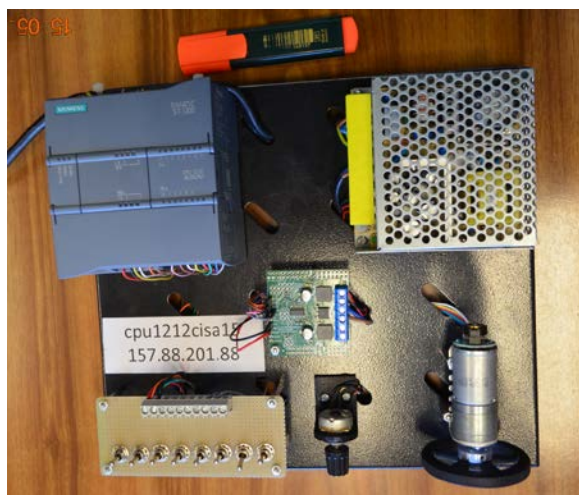


Figura 1: layout del sistema v04

En resumen, el conjunto presenta:

- ✓ Automata programable,
- ✓ Moto-reductor de corriente continua con encoder,
- ✓ Volante de inercia acoplado a la reductora,
- ✓ Driver de potencia,
- ✓ Potenciómetro para generar la referencia, consigna...,
- ✓ Fuente de alimentación principal para suministro de corriente al motor,
- ✓ Fuente de alimentación auxiliar para adaptar los niveles de señal del PLC al Driver de potencia-Encoder,
- ✓ Tarjeta de señales adicional necesaria para lectura del encoder disponible (señal de realimentación) y generación de la salida (variable manipulada) consiga de giro (modulación de anchura de impulso PWM) para atacar al driver de potencia del motor,
- ✓ Batería de pulsadores/selectores para suministro de órdenes todo nada al autómata,
- ✓ Regletero/bornero para conexionado de distintos elementos todo nada (lámparas de señalización, relés, contactores, electroválvulas...), si necesario,
- ✓ Base para montaje de todos los elementos citados.

2.1 EL CONTROLADOR

Se trata de una CPU compacta de Siemens (S7-1212C, AC/DC/RELAY)[3] . El modelo elegido se alimenta directamente de red eléctrica, y cuenta con ocho entradas todo nada 24Vcc, seis salidas todo nada a relé agrupadas en dos bloques 4+2 (dos comunes diferentes), y dos entradas analógicas 0..10Vcc. Para poder leer el encoder del motor (dados los niveles indicados por el fabricante del mismo), se ha incorporado una tarjeta de señales (Signal Board [4]) 2+2 entradas/salidas lógicas. El autómata cuenta con conexión a red de datos para la configuración, parametrización, programación, diálogo con otros sistemas compatibles y mantenimiento. Figura 2.



Figura 2: PLC empleado

El diseño hecho figura 1, conecta las ocho entradas digitales del PLC con otros tantos pulsadores /selectores, y de las seis salidas digitales, cinco, las lleva a un regletero externo de libre uso. La figura 1, parte inferior izquierda, muestra regletero y pulsadores/selectores. La primera entrada analógica con que cuenta el PLC se usa para leer el potenciómetro, y la segunda para leer el consumo del motor. Las dos entradas digitales adicionales de la tarjeta de señales (figura 2 zona central del PLC) son para leer las pistas A y B del encoder, y las dos salidas digitales de la misma tarjeta de señales, son empleadas para girar a la velocidad deseada en el sentido prefijado, y para cambiar el sentido de giro respecto del fijado por defecto.

2.2 DRIVER DE POTENCIA

Se trata de un puente H doble, del que solamente se usa uno de los canales, dejando el otro en reserva, figura 3.

Suministra al motor la corriente con polaridad necesaria, tanto para los arranques, como para el régimen de giro normal. A petición del PLC habilita las ramas del puente H necesarias, y a partir de la

consigna de velocidad recibida (señal PWM procedente del PLC), facilita el paso de corriente hacia el motor. El driver presenta una entrada más, para habilitar/deshabilitar su funcionamiento (cortar el paso de corriente al motor). Adicionalmente dispone de una salida analógica, proporcional a la corriente consumida por el motor en cada instante (525mV/A), y leída, como ya se ha dicho por el PLC, a través de la segunda entrada analógica disponible.

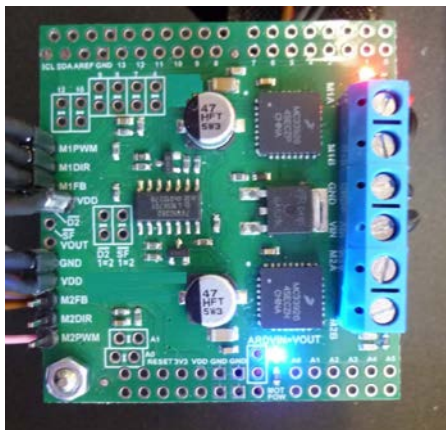


Figura 3: driver alimentación motor

2.3 EL MOTOR Y SU ENCODER

Se trata de un conjunto motor-reductor-encoder, figura 4, que trabaja a 12Vcc (160RPM y 200mA giro libre), y cuyo par máximo es 6Kg-cm a 2.1A. Incorpora reductora (46.85:1), y encoder calado al eje del rotor, que genera 12 pulsos/vuelta que se transforman en 48 aprovechando los cuatro flancos de las pistas A y B, figura 5.

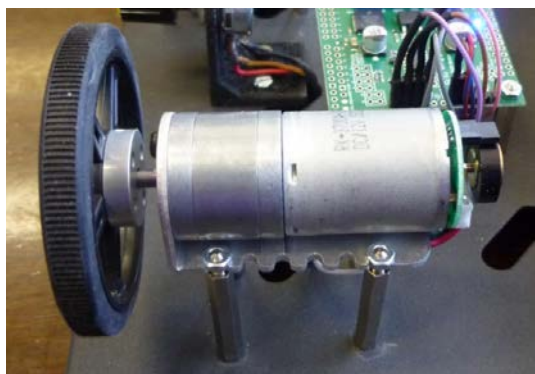


Figura 4: carga reductor-motor-encoder

Al eje de la reductora se le acopla una rueda a modo de carga.

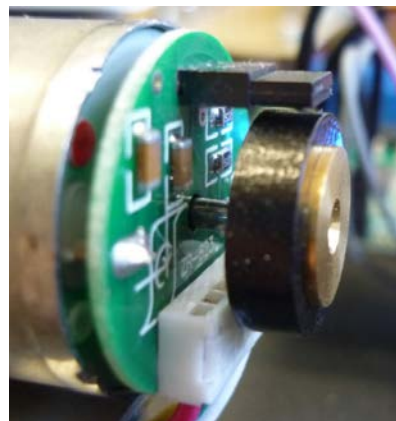


Figura 5: detalle encoder

2.4 OTROS ELEMENTOS PRESENTES

El PLC se alimenta directamente de la red eléctrica, no así el motor, el encoder y el driver, que tienen alimentaciones distintas. Por ello, el sistema incluye primera fuente de alimentación que a partir de la red eléctrica, suministra el voltaje necesario para via driver alimentar al motor, y otra para gestionar el funcionamiento de del propio driver y el encoder. Figura 6.

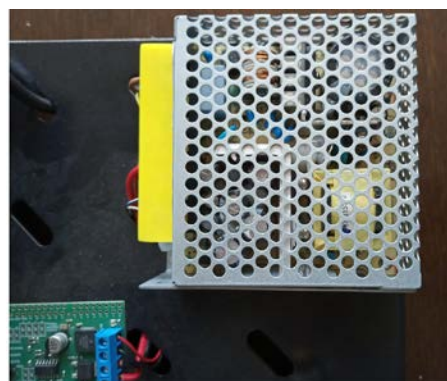


Figura 6: fuentes de alimentación adicionales

El potenciómetro presente en el sistema, figura 7, se halla conectado a la primera entrada analógica disponible en el PLC. De esta manera, el sistema permite manejar una señal analógica más cuya función es discrecional a diferencia de la otra entrada analógica, que se halla ligada al consumo del motor.



Figura 7: potenciómetro

3 PUESTA EN SERVICIO

Para trabajar con el sistema basta con conectar el autómatas a la red eléctrica por una parte y a la red de datos por otra, vía toma PROFINET presente en el PLC. Caso de no disponer de red de datos, es posible conectar el PLC al PC de trabajo (conexión punto a punto) utilizando cable estándar de datos (no hace falta par cruzado alguno).

Para la configuración, parametrización y programación del sistema, es necesario emplear el software de Siemens TIA portal [14]. Si el autómatas es la primera vez que se pone en funcionamiento, será necesario/aconsejable la grabación previa de su dirección IP para facilitar la comunicación con el PLC.

Para poder explotar el potencial del PLC, deberá indicarse al configurar el PLC, que se dispone de encoder para medir la posición, y encoder para medir velocidad de giro. También debería configurarse la modulación de anchura de impulsos, para trabajar con el motor a régimen variable, caso de no hacerlo el motor girará a velocidad máxima en el sentido elegido. El tratamiento de las señales analógicas disponibles (potenciómetro y sensor de corriente) implica únicamente su normalización y escalado a las unidades correspondientes. Hecho esto, se podrá trabajar con ellas libremente como dos señales más en función del trabajo que se esté realizando.

El PLC, dispone de función trace que permite usar el PLC como un analizador lógico (máximo 16 canales) o registrador de datos. Basta para ello definir la frecuencia de muestreo en el bloque lógico correspondiente, y posteriormente configurar la toma de datos que se desea. El almacenamiento dependerá, de si se dispone de tarjeta de memoria o no. En caso de no tenerla, el sistema usará la memoria disponible.

4 CATÁLOGO DE PRÁCTICAS PLANTEADAS

A la fecha de la publicación del presente artículo, se han usado y valorado positivamente en el laboratorio las siguientes prácticas:

4.1 TEST DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Esta es la primera práctica que se realiza en el laboratorio. Previamente, en sesiones grupales, se imparten unas nociones básicas sobre la herramienta software a emplear. En esta práctica el alumno entra en contacto por primera vez con el equipo,

facilitándole una herramienta para saber si el equipo asignado, ya sea en horario normal o en los turnos de trabajo libre, funciona correctamente. Consiste en descargar del campus virtual, el programa empleado en el control de calidad durante el proceso fabricación, y adaptarlo al equipo asignado (cambio de la dirección IP, máscara de la subred y dirección de la router del laboratorio), para posteriormente compilarlo y cargarlo en el PLC. Hecho esto, el estudiante puede ver si el encoder funciona, los pulsos que emite, si la modulación de anchura de impulsos varía la velocidad del motor (lo cual implica que el potenciómetro funciona), si arranca y para el motor, dejarlo girar libremente en sentido antihorario y obligarlo a girar solamente una vuelta en sentido horario. También puede pararlo cortando el paso de corriente (parada con inercia). Adicionalmente controla la protección del motor leyendo la corriente consumida. El programa se entrega con password de manera que el usuario solamente puede ejecutarlo. Hecho esto, al estudiante se le solicita devuelva el PLC a la configuración de fábrica (reseteando dirección IP). El PLC debe quedar en estado operativo STOP.

4.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

En esta segunda práctica se muestra al estudiante como configurar[6] el PLC de dos formas:

1. Manual, leyendo las referencias impresas que presentan tanto la CPU como la Signal Board (tarjeta de señales instalada).
2. Automática, vía detección por la propia herramienta.

Tanto en uno como en otro caso, se le pide que ponga nombre a seis señales (tres selectores con entradas y tres salidas, la que habilita el driver, la que pone el motor en marcha y la que invierte el sentido de giro), para que una vez compilado y cargado el programa, el estudiante vea que el sistema funciona. Todo ello sin olvidar, que debe indicar previamente dirección IP, máscara de subred y dirección del reouter del equipo asignado (cada equipo lleve una pegatina indicando número de equipo y los datos citados). De nuevo una vez finalizado el trabajo el equipo debe devolverse a la configuración de fábrica.

4.3 MARCHA/PARO DEL MOTOR A VELOCIDAD MÁXIMA: EJECUCIÓN CÍCLICA PROGRAMACION LINEAL

En esta práctica, el estudiante deber programar una maniobra sencilla, mediante ejecución cíclica y programación lineal [7], que permita arrancar y parar el motor usando: pulsador de marcha; pulsador

de paro; seta de emergencia (con lógica negativa), relé térmico de protección y disyuntor magnético de protección. Estos dos últimos elementos se simulan mediante dos selectores. La práctica admite dos variantes:

- a) la puramente electrotécnica, es decir replicando el esquema eléctrico típico empleado en lógica cableada.
- b) la que emplea elementos set y reset para activar y desactivar la salida correspondiente.

Deben señalizarse así mismo, la activación de la emergencia y el disparo de las protecciones del motor, mediante el parpadeo a distintas frecuencias de las salidas correspondientes. En caso de activación de las protecciones, o de activación de la seta de emergencia, el sistema no arrancará con la sola eliminación de las mismas, y en esta situación deberá ser el usuario quien lo solicite.

4.4 MARCHA/PARO DEL MOTOR A VELOCIDAD MÁXIMA: PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA

En esta práctica y aprovechando los resultados de la anterior, se pide al estudiante re programe el sistema, pero empleado en esta ocasión ejecución cíclica con programación estructurada [8]. Inicialmente se le propone el empleo de funciones sin parámetros, es decir, empleando variables globales. En una segunda variante, se le pide que repita el trabajo, pero empleando bloques de función, con parámetros formales y bloques de datos correspondiente, finalizando la práctica con una tercera variante donde se trabaja con multiinstancia.

4.5 MARCHA/PARO DEL MOTOR A VELOCIDAD MÁXIMA CON INVERSIÓN DEL SENTIDO DE GIRO

Se trata de una variante mínima de las dos prácticas anteriores, en la que se pide adicionalmente que pueda invertirse el sentido de giro del motor, pero activándose solamente a motor parado, para no deteriorar prematuramente la reductora del sistema. Resto de especificaciones iguales.

4.6 MANEJO DE TEMPORIZADORES Y CONTADORES

En esta práctica se pide que el motor arranque, pero “n” segundos después de solicitada la maniobra, y que pare “m” segundos después de haber solicitado[9] el paro. A diferencia de las anteriores, solamente se cuenta con un pulsador marcha/paro. El sistema además deberá controlar el número máximo

de activaciones de las protecciones, de modo que una vez superado un máximo (n+m) sea imposible su arranque hasta que se halla recargado el contador[10] de fallos. La práctica presenta dos variantes:

- a) sólo con ejecución cíclica y programación lineal, y
- b) con ejecución cíclica programación estructurada, empleando un bloque de función que se haga cargo de la maniobra indicada y a su vez, llame a otro bloque de función para la señalización (emergencia activada, fallo del motor y fallo reiterado del motor).

4.7 MANEJO DE CONTADORES RÁPIDOS Y PROGRAMACION POR EVENTOS

En esta práctica se muestra al estudiante como parar el motor en tres posiciones distintas de la carga (un cuarto de vuelta, media vuelta y menos un cuarto de vuelta), empleando el encoder como sensor de posición, y los contadores rápidos[12] con que cuenta la CPU empleada, que a su vez pueden provocar interrupciones, lo cual implica programación por eventos hasta ahora desconocida. La maniobra se ejecuta a velocidad máxima y de forma lógica.

Entre otras especificaciones se incluyen:

- a) funcionamiento en modo manual (el usuario pide avance y retroceso mediante pulsadores),
- b) funcionamiento en automático (una vez activado el modo automático el sistema se posiciona vía tres entradas que indican marcha y posición a alcanzar).

El tratamiento de los fallos y las emergencias, se mantienen similares a los casos anteriores.

4.8 CONTROL EN LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR

En esta práctica se introduce:

- a) el manejo de señales analógicas [5] (para fijación del régimen de giro del motor, y para controlar la corriente consumida).
- b) el manejo de la modulación de anchura de impulsos [11] con que cuenta la CPU.
- c) el manejo del encoder como sensor de velocidad.

El usuario indica mediante el potenciómetro la velocidad y sentido deseados y mediante la pulsantaría disponible el modo de trabajo, la marcha, el paro... En el modo manual no se controla la

velocidad, en tanto que en el modo automático, el sistema mediante el encoder vigila la velocidad. La práctica admite dos variantes:

- programando la ecuación en diferencias.
- usando el PID[13] disponible.

4.9 CONTROL EN LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO DE LA POSICION DEL EJE DE LA CARGA

Práctica similar a la anterior pero dedicada esta vez, al control de la posición del eje de la carga. El usuario mediante el potenciómetro indica la posición a alcanzar dentro del rango 0..360°. Resto de especificaciones similares a las anteriores.

4.10 INTERFACE HOMBRE MAQUINA

En esta práctica se realiza un interface hombre máquina (HMI) mediante la pantalla del PC usado en la configuración y programación del PLC. No se usan pantallas HMI por lo elevado de su coste. La práctica, es la suma de las dos anteriores, es decir, el PLC se programa de modo que pueda trabajar tanto para el control de la posición del eje, como para el de su velocidad.

En la figura 8 se muestra la botonera real y en la figura 9, una posible pantalla HMI. La pantalla creada muestra en su parte inferior botones software, en la zona centro, una imagen (estática o en movimiento, según corresponda) de la rueda calada al eje, en las zonas superiores, ventanas para indicar el consumo del motor, velocidad y posición deseada.

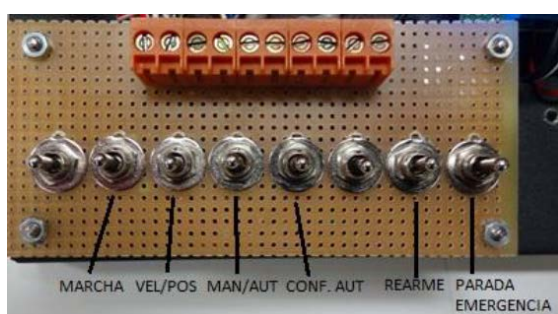


Figura 8: pulsaneria asignada

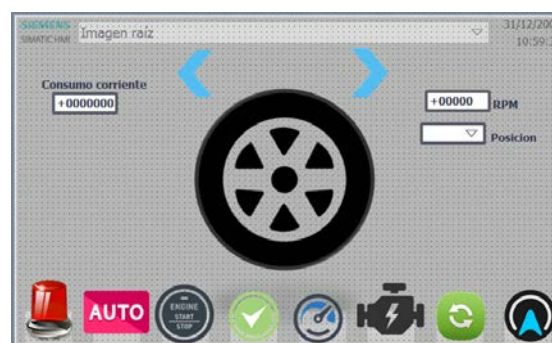


Figura 9: un HMI desarrollado

El catálogo de prácticas va aumentando curso a curso, según van surgiendo nuevas ideas y a medida que se va profundizando en las posibilidades de la CPU. Ahora mismo se está trabajando en otra nueva que implica comunicaciones entre dos PLCs.

5 USO DEL EQUIPO

Dependiendo del curso (grado o máster) se seleccionan las prácticas a realizar por parte de los alumnos. Debe tenerse en cuenta que cada asignatura tiene una carga horaria distinta (10 horas, 20 horas 30 horas), por lo que el nivel de profundización es diferente. Algunas prácticas son de “propósito general”, es decir, para ir adquiriendo destrezas y habilidades, en tanto que otras son “entregables” cuyo objetivo es la evaluación. Para que las prácticas sean “diferentes” de modo que cada estudiante presente un trabajo original e individual, cada práctica se personaliza adaptándolo al perfil del estudiante en la medida de lo posible.

Los estudiantes acceden a los equipos de dos formas:

- En las sesiones incluidas en los horarios y supervisadas por el profesor.
- de forma libre, en horarios que el personal responsable del laboratorio del departamento, indica al profesor y que éste comunica a los estudiantes para que así puedan éstos organizarse y ajustarse a su situación particular.

6 CONCLUSIONES

Habiéndose planteado como objetivo el impartir sesiones de prácticas de laboratorio con equipamiento real, industrial e individual, a la vista de las disponibilidades existentes en el mercado, y el precio de las mismas, se optó por el diseño, fabricación y puesta en servicio de un equipo que cumpliera con las citadas expectativas, llegándose a la solución aquí presentada y que lleva en uso dos cursos y medio.

El sistema cumple holgadamente con las prestaciones deseadas y además puede decirse de él que es:

- ✓ portátil (tamaño similar ordenador portátil de 14”).
- ✓ Ligero (2Kg).
- ✓ Permite trabajar con señales analógicas gracias a sus dos entradas analógicas integradas.
- ✓ Apto para tareas de control de posición y velocidad, en lazo cerrado.
- ✓ Apto para realizar HMI con PC, y WEB, gracias a su servidor web incorporado.
- ✓ Apto para realizar comunicaciones entre PLCs sin elementos adicionales.

El hardware empleado es de última generación, así como el software necesario para su manejo, lo cual redundará en un mayor beneficio para los estudiantes de cara a su rápida adaptación al entorno industrial actual.

Por otro lado, la portabilidad del equipo, hace que pueda ser utilizado indistintamente en laboratorios dotados únicamente de ordenadores personales y tomas de corriente, sin condenar por tanto el laboratorio a un uso único (optimización de medios e instalaciones). Fuera del periodo de uso, los equipos se guardan en armarios y el laboratorio queda listo para cualquier otra demanda.

El hecho de ser un desarrollo propio, hace que su mantenimiento frente a averías sea fácil, y ajeno a terceras partes, lo cual redundará en mayor y mejor respuesta frente a problemas derivados del uso diario, como se ha podido comprobar en los dos cursos y medio que lleva el laboratorio operando. Cada uno de los equipos es usado de forma totalmente aleatoria por un elevado número de estudiantes cada curso.

Agradecimientos

Los autores dan las gracias al Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción de la Universidad de Valladolid (ITAP UVa), al Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Valladolid (ISA UVa) por los medios económicos y recursos materiales facilitados para la realización de este proyecto, y a la Delegación de Siemens en Valladolid por su apoyo material y técnico.

PORTABLE SYSTEM FOR USING AND LEARNING ABOUT PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS

Abstract

This work introduces a desktop learning equipment, designed and manufactured to make practices in laboratory in courses related with programmable logic controllers working in industrial facilities. The system has a programmable logic controller last generation, and its programming is made using industrial software.

Keywords: Programmable logic controllers, PLC, Industrial controllers, programming.

Referencias

- [1] Poncela Méndez A.V, Aguado Laguna J, (2016) Dispositivo de Programación de Automatas. Patente de Invención con Examen ES 2 670 851 B2. Fecha presentación 01.12.2016, fecha concesión: 31.08.2018. <http://consultas2.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P201631541> Último acceso 8 mayo 2019.
- [2] Poncela Méndez A.V, (2017) Programación de PLCs: Equipo de Prácticas para Programación de Automatas.
- [3] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Anexo5 CPU 1212C, págs 1439-1452. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016.
- [4] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Anexo13 Signal Boards digitales (SBs), págs 1566-1569. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016.
- [5] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap5.3 Principios básicos del PLC: Procesamiento de valores analógicos, págs 134-135. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016
- [6] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap6 Configuración de dispositivos págs 167-198. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48

- 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016.
- Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016
- [7] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap7 Principios básicos de programación, págs 199-205. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016.
- [8] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap7 Principios básicos de programación, págs. 206-209. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016.
- [9] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap8.2 Instrucciones Básicas: Temporizadores, págs 252-260. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016
- [10] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap8.3 Instrucciones Básicas: Contadores, págs 261-267. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016.
- [11] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016. Cap9.8 Instrucciones Avanzadas: Impulso. pags 511-522. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016
- [12] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap10.1 Instrucciones Tecnológicas: Contaje (contadores rápidos), págs 585-590. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG, ALEMANIA Copyright © Siemens AG 2016.
- [13] Siemens. (2016) Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2, 09/2016, Cap10.2 Instrucciones Tecnológicas: Control PID, págs 619-685. A5E02486683-AK. Siemens AG Division Digital Factory
- [14] TIAPortal
<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/pages/tiaportal.aspx>, (último acceso mayo 2019)



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).