

# Sistema Integrado de Simulación y Evaluación docente de la Automatización de Procesos Industriales

Álvaro Ariel Gómez Gutiérrez; F. Javier Molina Cantero;  
Alberto J. Molina Cantero; Mauricio Castaño Rubiano.

*Departamento de Tecnología Electrónica  
Universidad de Sevilla*

*C/Virgen de África, 7. Sevilla 41011*

E-mail; [ariel@cica.es](mailto:ariel@cica.es) Tfno.;95 455 12 13 Fax.:95 455 28 33

## RESUMEN

Ante la necesidad de proporcionar a los alumnos de prácticas de Automatización una herramienta que les permita comprobar el resultado de sus ejercicios, se genera una aplicación para entorno windows capaz de simular las señales provenientes de la instrumentación de una planta industrial susceptible de ser automatizada mediante un autómatas programable y representar gráficamente la actuación de los elementos de mando.

Dicha aplicación nace orientada a los autómatas programables Simatic-S5 de Siemens debido a que son los PLC de los que se dispone en el laboratorio, concretamente los S5-95U dotados de periferia integrada.

El sistema comunica el PC con el autómatas a través del puerto serie leyendo entradas y salidas digitales, marcas, y entradas y salidas analógicas así como escribiendo sobre ellas.

La aplicación consta de tres partes:

La primera constituye el soporte de la comunicación PC $\leftrightarrow$ PLC y el acceso manual a activar y desactivar entradas y salidas digitales, forzar marcas e introducir valores en las entradas y salidas analógicas.

La segunda es la simulación del proceso industrial que debe automatizar el PLC. La aplicación permite escoger entre varias plantas a automatizar constituyendo un entrenador ideal para los programadores de estos autómatas.

La tercera es un módulo de evaluación, el cuál lanza la simulación de una casuística de funcionamiento en la que se contemplan puntos clave del funcionamiento y comprueba si la respuesta del PLC es adecuada guardando en un archivo el resultado del test.

Como modificación en una siguiente versión, y dado que los equipos informáticos instalados en el Laboratorio de Automatización se hallan conectados en red, se pretende que el proceso de evaluación sea iniciado desde el ordenador del profesor, pudiendo estructurar la sesión de prácticas como un primer tiempo en el que el alumno desarrolla la automatización propuesta y un tiempo en el que el profesor evalúa el trabajo realizado.

## I. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA:

La presente comunicación trata de exponer la solución aplicada en la Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla para la evaluación de las prácticas de automatización.

En la asignatura de Electrónica Industrial de tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial, de la especialidad de Electricidad, sección de electrónica, se realizan unas prácticas de automatización de procesos industriales utilizando Autómatas Programables S5 de Siemens.

Debido al escaso tiempo disponible para realizar dichas prácticas, y a que los alumnos no reciben con anterioridad a la entrada en el laboratorio un fundamento teórico de automatización, hay que proporcionárselo durante el tiempo de prácticas por lo que se dispone de muy poco tiempo para el desarrollo de los ejercicios prácticos en sí.

Los autómatas utilizados en las prácticas son los S5 de Siemens en su versión S5-95U con periferia integrada.

El software de programación utilizado no es el propio de Siemens, optando por utilizar el S5w de la casa IBH Softec, el cual posee una interfaz mucho más amigable, corre bajo entorno windows e incorpora un simulador para comprobar el programa antes de volcarlo al autómata.

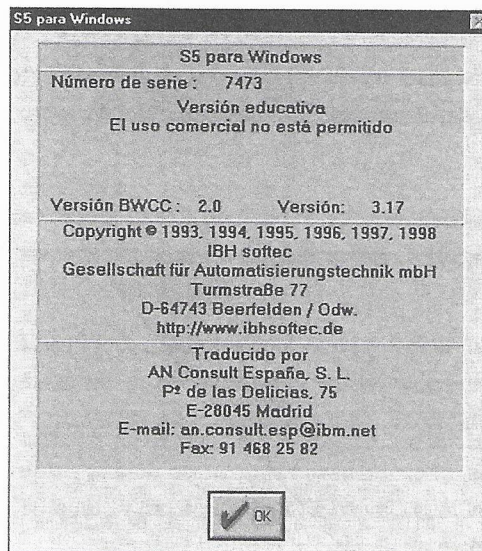


Fig.1- Software de programación bajo Windows para los autómatas S5 de Siemens

Además, el hecho de que la versión de demostración también incorpore el simulador, permite a los alumnos trabajar fuera del laboratorio y comprobar el funcionamiento de su programa antes de volcarlo en el autómata.

No obstante, este simulador opera con el programa que vamos a cargar en el autómata, pero no con el autómata en sí.

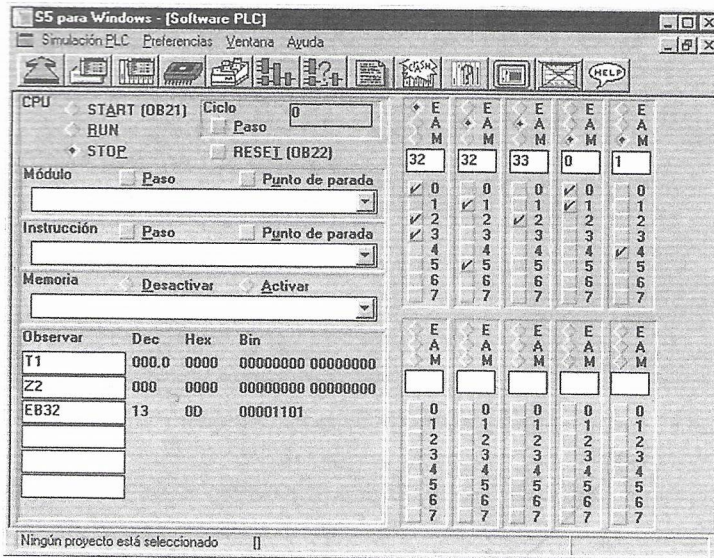


Fig. 2-Simulador del S5w

Además de este software de programación, se han considerado otros programas de simulación de plantas y de respuesta de los autómatas pero volvían a realizar la simulación actuando sobre el programa almacenado en el PC, y no directamente sobre el autómata pareciéndonos más didáctico para el alumno que el simulador actúe directamente con el autómata en vez de con el software.

Con la idea de disponer de una herramienta que sea capaz de: simular los estímulos que recibiría el autómata instalado en una planta industrial de la instrumentación de la misma, de representar gráficamente dicha planta y los efectos de las respuestas del autómata ante los estímulos enviados, y de permitir realizar unas pruebas objetivas de adecuación de la programación efectuada al problema propuesto en poco tiempo, se concibe la aplicación presentada.

## 2. APLICACIÓN DESARROLLADA

Para su realización se han utilizado el Borland C++ Builder y el S5 ToolKit de IBH-Softec. Este ToolKit proporciona una librería para establecer comunicación vía puerto serie con los autómatas S5 y permitiendo leer y escribir directamente en la memoria del PLC.

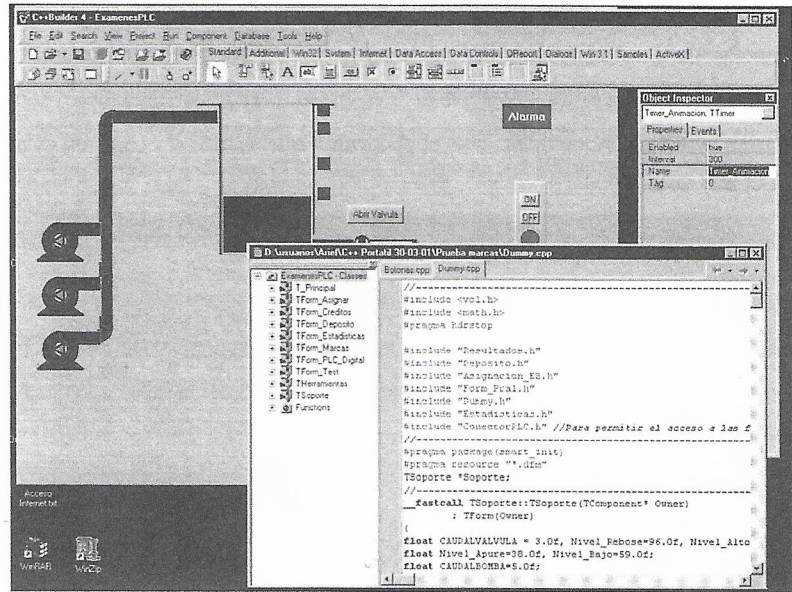


Fig. 3-Desarrollo de la aplicación.

De esta manera, el ordenador en que corre la aplicación escribe en el área de memoria correspondiente a las entradas digitales, analógicas y a las marcas del autómatas leyendo entradas y salidas digitales, analógicas y marcas del mismo.

### 2.1.- Primera aproximación, versión simplificada.

Inicialmente se desarrolló una versión simplificada consistente exclusivamente en un examinador. Su uso estaba orientado a realizar la misión de evaluación de la resolución del ejercicio propuesto. El procedimiento de uso del examinador fue:

Primero el alumno realizaba el programa de automatización propuesto por el profesor, después lo comprobaba con el simulador del S5w y lo volcaba al autómatas. Una vez estaba el autómatas programado, se activaba el examinador. El Examinador pasaba un test de funcionamiento al autómatas consistente en simular los efectos correspondientes a las señales de la instrumentación real instalada en la planta industrial del ejercicio propuesto en su funcionamiento normal (escribiendo directamente en las áreas de memoria del PLC) siguiendo una casuística de funcionamiento de la planta, y de anotar en un cuestionario si las respuestas del autómatas ante esos estímulos eran las debidas (leyendo directamente en las áreas de memoria del PLC).

No obstante la simplicidad del examinador, se realizó de forma que permitiera asignar las entradas y salidas utilizadas por el alumno de manera que no fuera necesario obligarlos a asignar los recursos del autómatas de una forma rígida.

Variable	Entrada	Salida
Nivel de Rebose	E 32	.3
Nivel Alto	E 32	.2
Nivel Bajo	E 32	.1
Nivel de Apure	E 32	.0
Botón PARO	E 32	.4
Botón MARCHA	E 32	.5
Bomba1	A 32	.1
Bomba2	A 32	.2
Bomba3	A 32	.3
Alarma	A 32	.0
R. Térmico 1	E 33	.1
R. Térmico 2	E 33	.2
R. Térmico 3	E 33	.3

Fig.4-Asignación de entradas y salidas del PLC

## 2.2.- Segunda aproximación, primera versión completa.

Una vez comprobado que el sistema era eficiente y rentable, se desarrolla la versión que responde a la idea original completa. Esta versión se dota de tres modos de funcionamiento para responder a los requerimientos de: acceso manual a variables del sistema (lectura y escritura de entradas, salidas y marcas); simulación de proceso industrial con posibilidad de introducción de eventos por el alumno (botones correspondientes a pulsadores, detectores, etc); y evaluación de la respuesta del autómat a una secuencia de estímulos predefinidos (simulación de funcionamiento de la planta).

### 2.2.1.- Modo de funcionamiento manual.

Desde la pantalla principal del programa, se dispone de acceso al PLC de forma manual sirviendo para realizar comprobaciones previas a la simulación y para poder corregir errores de inicio tales como no haber activado determinada marca ya que frecuentemente el alumno olvida realizar un módulo de inicialización en programas secuenciales alcanzándose nunca el estado inicial requerido.

Este tipo de errores puede pasar inadvertido usando el simulador que incorpora el S5w ya que las entradas en el simulador son activadas manualmente por el usuario y frecuentemente el alumno fuerza la inicialización de su programa activando marcas a mano de forma inconsciente encontrándose después con la sorpresa de que su programa no funciona al volcarlo al autómat.

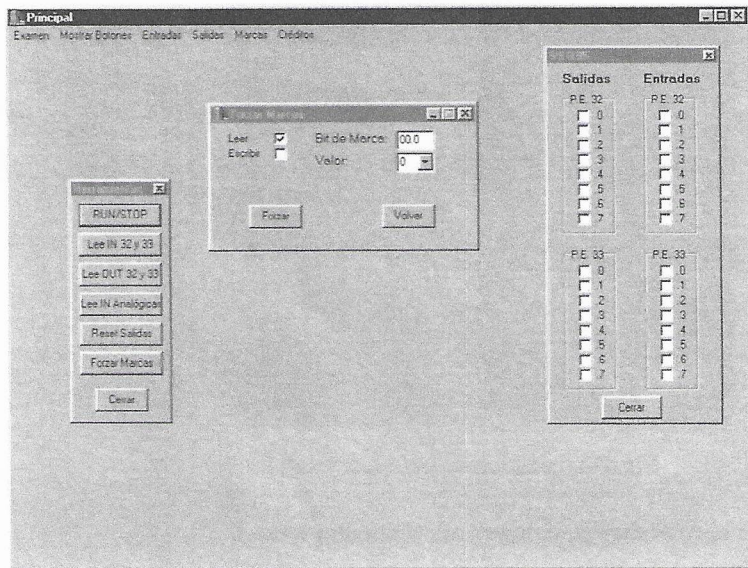


Fig. 5- Pantalla principal y modo de funcionamiento manual.

### 2.2.2.- Modo de Simulación.

El segundo modo de funcionamiento es el de simulación. En él, el alumno ha programado el autómata para resolver el ejercicio propuesto y el autómata está corriendo el programa correspondiente a la gestión de dicha planta.

El Sistema Integrado de Simulación y Evaluación escribe en memoria del autómata los efectos que ocasionarían las señales procedentes de la instrumentación instalada en la planta real a través de una comunicación vía puerto serie y lee la respuesta del autómata.

Toda esta información es representada gráficamente en pantalla del PC y actualizada. El alumno puede provocar estímulos a través de botones en la pantalla y observar la respuesta del autómata ante la información suministrada por la instrumentación virtual que crea el PC.

Con este modo el alumno puede comprobar si su programación del autómata contempla todos los aspectos de funcionamiento real de la planta pudiendo ensayar cortes de alimentación, funcionamientos anómalos, averías, inhibir detectores, inicializaciones, etc.

En este aspecto, la correcta simulación por el PC del funcionamiento de la planta es fundamental.

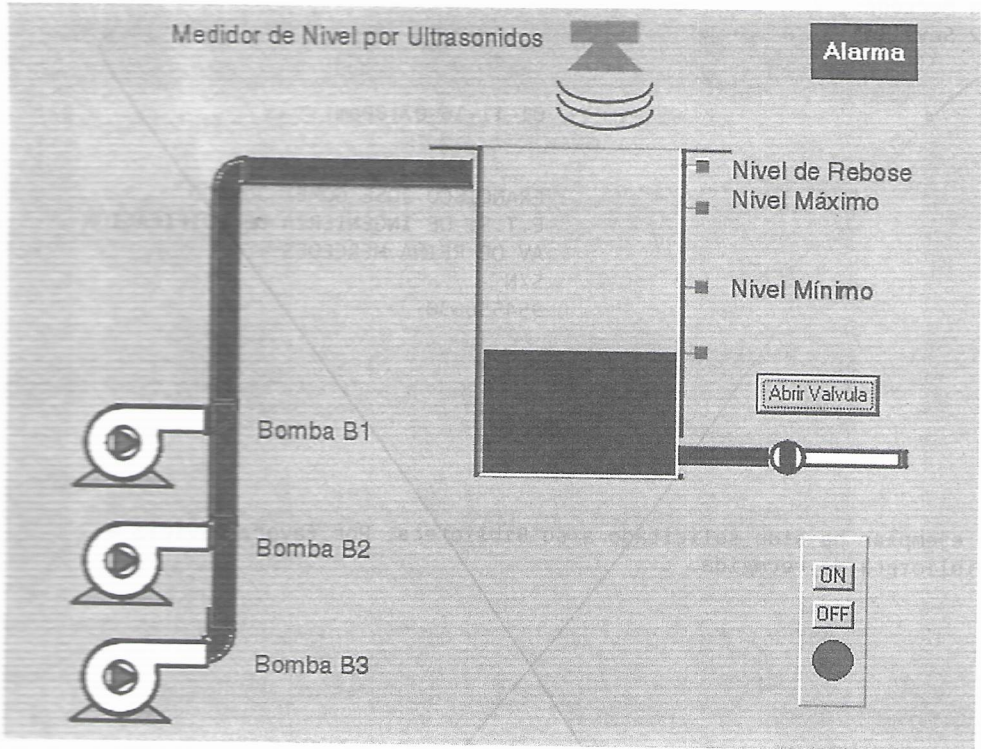


Fig. 6- Programa en modo simulación de planta

En el ejemplo de la figura el alumno tendría que realizar un programa para que el autó-mata respondiera ante la llegada de estímulos según se especifica en el documento del ejer-cicio propuesto.

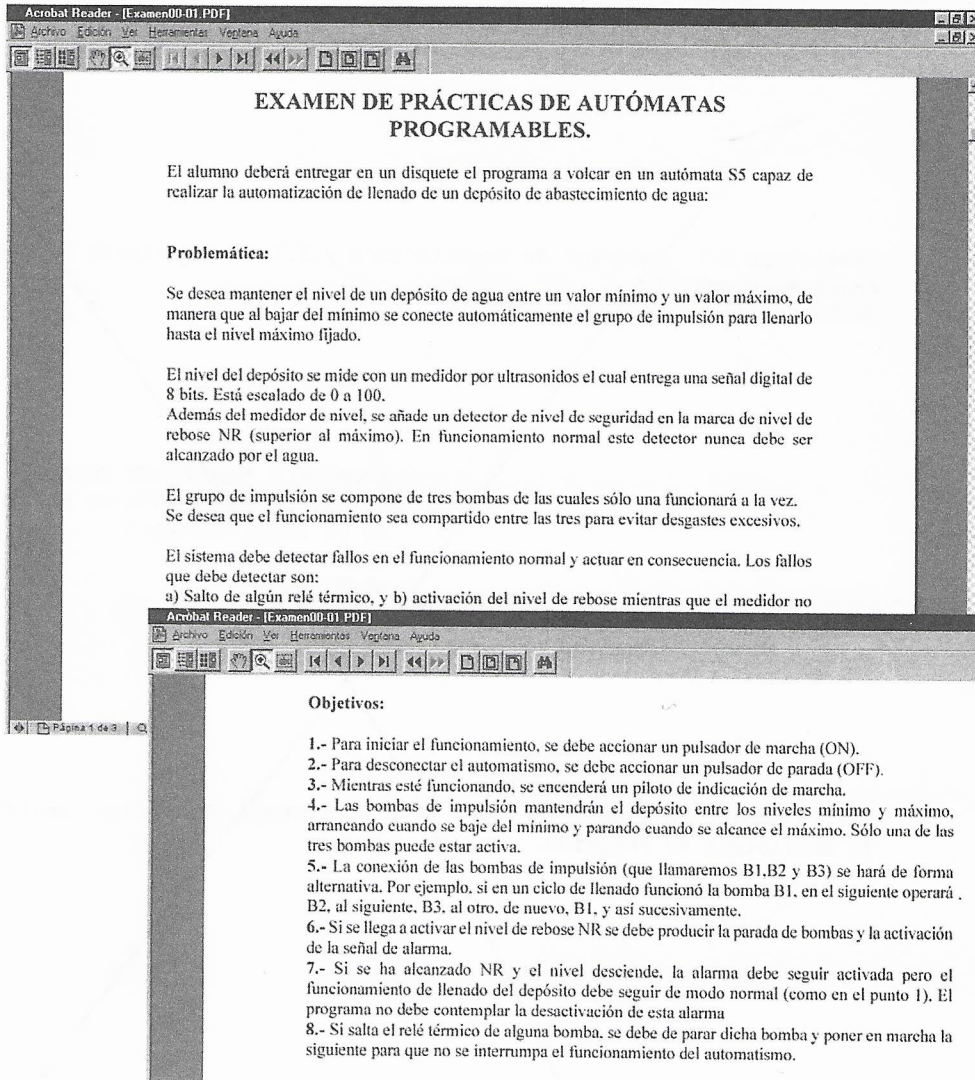


Fig. 7-Especificación del ejercicio propuesto

### 2.2.3.- Modo de evaluación.

El tercer modo de funcionamiento es el de evaluación. A efectos docentes, quizás sea este modo de funcionamiento el más interesante ya que permite evaluar una serie de parámetros del funcionamiento del programa de forma automática en un tiempo muy pequeño obteniendo al término un formulario donde se marcan los aspectos evaluados indicando si



el comportamiento es correcto o fallido. Para ello, el PC escribe en la memoria del autómeta los estados a evaluar y lee las respuestas del autómeta ante estas situaciones interpretando si la actuación es correcta o no. Este resultado se refleja en un formulario sirviendo para evaluar el trabajo del alumno de forma rápida y objetiva.

The screenshot shows a window titled "Resultado del Examen" with a list of test items. Each item has two checkboxes: "Fallo" and "Correcto". The "Correcto" column is filled with checked boxes for all items, while the "Fallo" column is empty. At the bottom of the window are two buttons: "Cerrar" and "Guardar".

Fallo	Correcto	Item
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Inicia Programa al Pulsar Botón ON
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Para Correctamenta al Pulsar Botón OFF (Salidas a 0)
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	El Piloto de ON se Activa Correctamente
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Marcha Alguna Bomba al Alcanzar NB
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Parada de Bomba al Alcanzar NA
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	El Funcionamiento de las Bombas Rota Cíclicamente
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sólo Funciona una Bomba a la vez
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En NR, Para Bomba y Alarma de Rebose ON
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sigue Activa la Alarma Después de Bajar de NR
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Parada de Bomba y Marcha de Siguiente al Saltar el Relé Térmico

Fig. 7-Formulario de evaluación.

Este modo de funcionamiento permite al alumno comprobar su trabajo antes de la entrega haciéndole notar de forma rápida los defectos de su programación. Utilizando como complemento el simulador del programa S5W el alumno puede de forma sencilla depurar su programa ya que el Sistema Integrado de Simulación y Evaluación le señala los fallos operativos de su programación debiendo usar para localizar el error en la programación el simulador del S5w el cual es un auténtico debugger que permite colocar puntos de interrupción en el programa y observar las variables internas de la memoria del autómeta (valores de temporizadores, registros, entradas, salidas, marcas, ...), correr el programa paso a paso etc.

### 2.3.- Limitaciones de la aplicación desarrollada y mejoras futuras.

Al tener un corto periodo de vida y dado que se construyó de forma simplificada para evaluar su idoneidad como solución al problema concreto de las prácticas, la aplicación presentada carece de cierta flexibilidad. Una vez comprobado que cubre las necesidades requeridas, se plantean mejoras a la aplicación.

Se distinguen dos grandes bloques:

Mejoras básicas, que corresponderían a mejoras de flexibilidad para el alumno que realiza la automatización y

Mejoras de tipo docente, las cuales serían de directa influencia en la evaluación de las prácticas.

### *2.3.1.- Mejoras de flexibilidad.*

La aplicación se adapta a la configuración actual del laboratorio por lo que nace para comunicar con autómatas S5 de Siemens ya que son con los que se realizan las prácticas. No obstante, aunque en la actualidad no disponemos de autómatas del tipo S7 en nuestro laboratorio es inminente la creación de un nuevo laboratorio de automatización con motivo de la implantación del nuevo plan de estudios de esta carrera y es posible que en breve plazo se pueda contar con varias unidades de dichos autómatas.

Por ello, y ante la facilidad que proporciona el Kit de desarrollo de IBH-Softec, con muy poco esfuerzo se puede ofrecer la opción de elegir el autómata con el que se realizará la automatización de la planta entre un S5 y un S7 de Siemens.

Así mismo, en el laboratorio actual se dispone de dos unidades de autómatas Omron modelo CPM2A y se plantea también ofrecer como opción realizar la automatización con este tipo de autómatas ya que está previsto en un futuro la adquisición de más unidades.

### *2.3.2.- Mejoras docentes.*

Todos los ordenadores del Laboratorio de Automatización se encuentran conectados en una red local por lo que el profesor puede tener acceso a las máquinas de los alumnos.

La mejora planteada consiste en permitir que la evaluación sea activada desde otro ordenador (desde el puesto del profesor) de manera que permita estructurar la clase de prácticas como un tiempo para realizar la programación y un tiempo final para evaluar los trabajos de forma automática.

De esta manera, el profesor recibiría en su ordenador los informes de resultados de cada puesto sin tener que evaluarlos uno a uno de forma individual realizando una evaluación continua en “tiempo real” del trabajo de los alumnos. Esto unido al corto tiempo que necesita el PC para simular los distintos casos de funcionamiento y evaluar la respuesta del autómata, permite al alumno disponer de mucho más tiempo para dedicarlo a la programación de los ejercicios propuestos en las clases prácticas y conocer de forma inmediata cuáles son sus fallos de programación.

## **2.4.- Referencias Bibliográficas**

- [1] Mandado Pérez, Enrique; Marcos Acevedo, Jorge; Pérez López, Seraffín Alfonso; “Controladores Lógicos y Autómatas Programables”. España: Marcombo, S.A., 1992. ISBN: 84-267-0845-5.

- [2] Montanero, A. P. ; Porras, A.; “Autómatas Programables. Fundamento, manejo, instalación y prácticas”. España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., 1990. ISBN: 84-7615-493-3.
- [3] Romera, J. Pedro; Lorite, J. Antonio; Montoro, Sebastián; “Automatización. Problemas resueltos con autómatas programables”. España: Paraninfo, S.A., 1994. ISBN: 84-283-2077-2.
- [4] García Vázquez, C. A.; Gil Mena, A. J.; Llorens Iborra, F.; Mañas Sánchez, C. J.; Martín García, J. A.; “Autómatas Programables: Programación y Aplicación Industrial”. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 1999. ISBN: 84-7786-566-3.
- [5] “Autómata Programable S5-90U/S5-95U. Manual del Sistema”. Siemens AG, 1994. EWA 4NEB 812 6115-04.
- [6] “S5 for Windows User’s Guide”. 1996, IBHsoftec GmbH.
- [7] “S5 for Windows DLL Tool kit” . 1996, IBHsoftec GmbH.