

1. Resumen

El presente proyecto consiste en un curso a distancia de automatización industrial con prácticas de autómatas programables por Internet y está formado por dos partes diferenciadas. La primera parte la integra un texto teórico que incluye, de forma muy amplia, las bases de la automatización en los siguientes capítulos: introducción a la automatización, autómatas programables, lenguajes de programación y comunicaciones industriales.

La segunda parte está formada por dos plantas de prácticas programables íntegramente, controladas por Internet y visualizadas mediante una cámara web. Se dispone de un autómata con módulo de conexión a Internet acoplado a las plantas, con el cual el usuario del curso podrá acceder a las prácticas desde cualquier ordenador con conexión a Internet y disponibilidad del software de programación del autómata. En las prácticas se realiza el control de los semáforos de un cruce de calles y de un motor paso a paso. Estas prácticas se complementan con unos manuales explicativos de los diferentes elementos de hardware y software que forman las prácticas y los enunciados de las mismas solucionados.

La visualización de las prácticas y la descarga del texto teórico, el manual de prácticas y su enunciado se realiza a través de una página web construida para este fin. La dirección corresponde a :

<http://www.citcea.upc.es/projecte/labremot/index.htm>

Durante la realización del curso se han seguido los preceptos de la educación a distancia, incidiendo en su aplicación en el campo de la ingeniería, de manera que se obtiene un producto de gran calidad educativa.

Este curso se enmarca en un proyecto del Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la UPC y de una ayuda del programa ALFA de la Unión Europea con el nombre de "*Interactive programs for distance learning of modules of industrial automation*" (Ref.: AML/B7-311/97/0666/II-0341-A). Este proyecto se lleva a cabo por el departamento de Ingeniería Eléctrica de la ETSEIB y un grupo de universidades de América latina: la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba y la Universidad Web de Curaçao. Se prevé que en un futuro próximo esta colaboración se amplíe a nuevos países.





2. Sumario

| | |
|--|-----------|
| 1. RESUMEN | 1 |
| 2. SUMARIO | 3 |
| 3. GLOSARIO | 5 |
| 4. ORIGEN DEL PROYECTO | 7 |
| 5. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 5.1. Objetivos del proyecto..... | 9 |
| 5.2. Alcance del proyecto..... | 9 |
| 6. EDUCACIÓN A DISTANCIA | 11 |
| 6.1. Bases de la Educación a Distancia..... | 11 |
| 6.2. Incidencia en los modelos educativos de la ingeniería | 14 |
| 6.3. Las TIC en países en desarrollo | 16 |
| 6.4. Estructuración de un curso | 17 |
| 6.5. Estructuración del presente curso | 18 |
| 7. PÁGINA WEB | 21 |
| 7.1. Introducción..... | 21 |
| 7.2. Distribución de la página web | 23 |
| 7.3. Frontpage..... | 25 |
| 7.4. WheresJames Webcam Publisher | 26 |
| 7.5. Free FTP | 29 |
| 8. AUTÓMATA PROGRAMABLE: MICROLOGIX 1500 | 30 |
| 9. MÓDULO ENI (ETHERNET NETWORK INTERFACE) | 33 |
| 9.1. Función..... | 33 |
| 9.2. Protocolos de comunicación utilizados | 34 |
| 9.3. Configuración del módulo | 35 |
| 10. SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN | 38 |
| 10.1. RSLinx..... | 38 |
| 10.2. RSLogix 500..... | 39 |
| 11. PLANTA DE PRÁCTICAS | 42 |
| 11.1. Montaje de la planta | 43 |



| | |
|--|------------|
| 11.2. Maqueta de cruce semafórico..... | 43 |
| 11.3. Maqueta de motor paso a paso | 45 |
| 11.4. Iluminación nocturna | 47 |
| 11.5. Relación de salidas del autómata. | 48 |
| 12. RESULTADOS OBTENIDOS | 49 |
| CONCLUSIONES | 51 |
| AGRADECIMIENTOS | 53 |
| BIBLIOGRAFÍA | 55 |
| Referencias bibliográficas | 55 |
| Bibliografía complementaria | 56 |
| ANEXO A. TEXTO TEÓRICO | 58 |
| A.1. La automatización | 58 |
| A.2. El PLC | 75 |
| A.3. Lenguajes de programación | 104 |
| A.4. Comunicaciones industriales | 132 |
| ANEXO B. MANUAL DE PRÁCTICAS | 153 |
| B.1. PLC: MicroLogix 1500..... | 153 |
| B.2. Módulo ENI (<i>Ethernet Network Interface</i>)..... | 165 |
| B.3. Introducción a RSLinx Lite | 181 |
| B.4. Introducción a RSLogix 500..... | 189 |
| B.5. Prácticas remotas | 205 |
| B.6. Solución prácticas remotas..... | 225 |
| ANEXO C. ESQUEMA ELÉCTRICO | 245 |
| ANEXO D. ARTÍCULO PUBLICADO (REV) | 246 |
| ANEXO E. HOJA DE EVALUACIÓN DEL CURSO | 254 |
| ANEXO F. PRESUPUESTO | 255 |
| ANEXO G. MANUALES TÉCNICOS | 258 |



3. Glosario

| | |
|-------------|---|
| API | Autómata Programable Industrial |
| CCD | Centro de Cooperación para el Desarrollo de la UPC |
| EaD | Educación a Distancia |
| FTP | <i>File Transfer Protocol</i> |
| HTTP | <i>Hypertext Transfer Protocol</i> |
| REV | <i>Remote Engineering and Virtual Instrumentation Symposium</i> |
| TIC | Tecnologías de la Información y la Comunicación |
| PLC | <i>Programmable Logic Controller</i> |
| CIM | <i>Computer Integrated Manufacturing</i> |
| OSI | <i>Open System Interconnection</i> |
| Ethernet/IP | <i>Ethernet Industrial Protocol</i> |
| WAN | <i>Wide Area Network</i> |
| LAN | <i>Local Area Network</i> |
| TCP | <i>Transport Control Protocol</i> |
| IP | <i>Internet Protocol</i> |
| CIP | <i>Control and Information Protocol</i> |



4. Origen del proyecto

El presente proyecto forma parte de un proyecto de cooperación más amplio llevado a cabo en los últimos 3 años con la ayuda del Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la ETSEIB, la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba (Cuba) y la Universidad Web de Curaçao (Antillas Holandesas). Mediante estas iniciativas se ha ido desplazando personal de la UPC para la creación de laboratorios. También se ha obtenido una ayuda de la Unión Europea mediante el programa ALFA con el título "*Interactive programs for distance learning of modules of industrial automation*" (Ref.: AML/B7-311/97/0666/II-0341-A).

En este proyecto se pretende crear una universidad *online* para la formación en carreras de carácter técnico a estudiantes de países en vías de desarrollo. La falta de recursos de estos países y el avance de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son las razones principales que han motivado este curso, como una aportación más a un proyecto mayor.

Hasta el momento se han realizado diferentes experiencias en esta dirección. Se han creado laboratorios remotos virtuales (figura 4.1 izquierda) y reales (figura 4.1 derecha) obteniendo así experiencia que ha sido muy útil para la creación de este curso. Estos proyectos apoyan las conclusiones alcanzadas en el capítulo 6, que realzan la idoneidad de realizar prácticas reales en las que se pueda programar de manera completa su funcionamiento en lugar de plantas virtuales.

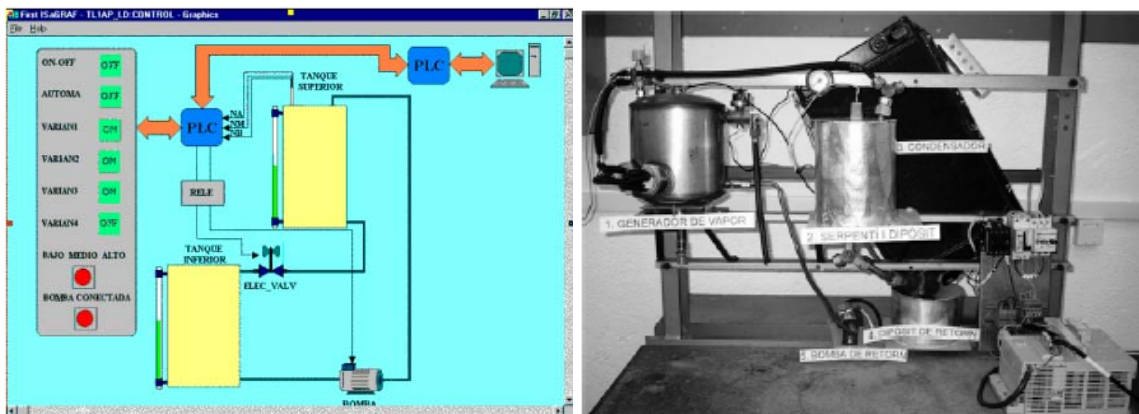


Figura 4.1: Experiencias realizadas con anterioridad [1]

Las impresiones obtenidas respecto a las experiencias realizadas se muestran ampliamente en el artículo creado para el REV (*Remote Engineering and Virtual Instrumentation Symposium*) realizado recientemente en Austria. [1]



5. Introducción

5.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto es crear un curso de automatización industrial con una parte práctica de programación de APIs (Autómatas Programables Industriales) abierto 24 horas al día y accesible íntegramente por Internet. Éste se puede desglosar en los objetivos siguientes:

- Creación de un texto teórico sobre automatización industrial donde se incluye los contenidos básicos: unidades de control, sensores, actuadores, buses industriales, lenguajes de programación, aplicaciones reales... de manera muy amplia.
- Creación de maquetas para su programación por Internet mediante los API con visualización vía cámara web. Éstas deben ser de fácil mantenimiento y de precio asequible para que puedan realizarse en los países destinatarios. Así como estar disponibles 24 horas al día para asegurar la flexibilidad que requiere un curso de educación a distancia.
- Creación de un manual de prácticas con el que se pueda llevar a cabo de manera sencilla e intuitiva el acceso a la planta de prácticas y su programación y comprensión. Con una descripción de los elementos de hardware y software utilizados, más los enunciados de prácticas y sus soluciones.
- A raíz de estos objetivos principales se derivó la creación de una página web que sirviera de soporte y permitiera la descarga de los manuales, la visualización de las prácticas mediante la cámara web y la comunicación con los alumnos.

5.2. Alcance del proyecto

Para la consecución de los objetivos expuestos en el apartado 5.1 se han desarrollado los siguientes puntos:

- Documentación sobre los preceptos de la educación a distancia (EaD), recurriendo a diversos medios, con especial interés en el Curso de profesores en EaD realizado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. De esta manera se dota al curso y en concreto el manual del contenido educativo necesario.



- Aplicación de la educación a distancia al campo de la ingeniería, buscando en instituciones especializadas como el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), realizando las plataformas de prácticas de la manera más adecuada posible.
- Estudio y configuración del API y el módulo de conexión a Internet, mediante los manuales proporcionados por el propio fabricante.
- Propuesta, diseño y construcción de las maquetas de prácticas remotas.
- Preparación del texto teórico sobre automatización industrial y el manual de prácticas. Para ello se consultó bibliografía específica al respecto y se revisó la oferta actual existente de los fabricantes del ramo, de manera que los conceptos expuestos fueran lo más actuales posible.
- Creación de la página web que sirve de soporte al curso, recurriendo a plataformas similares y atendiendo a las necesidades específicas del proyecto.
- Pruebas del correcto funcionamiento de las prácticas por Internet



6. Educación a distancia

6.1. Bases de la Educación a Distancia

La educación a distancia (EaD) surgió a partir de unas necesidades descubiertas por la enseñanza tradicional presencial, como son la distancia geográfica, la temporalidad, la edad, las dificultades económicas, etc. Por sus características y la flexibilidad de sus materiales se ha erigido con el tiempo en una herramienta eficaz para la solución de los problemas de acceso, calidad e igualdad de la educación. [2]

El primer curso se realizó en Gran Bretaña en forma de un curso por correo postal impulsado por Isaac Pitman sobre estenografía (1840). Pero no fue hasta 1960 que se empezaron a crear la mayoría de instituciones de educación a distancia. Éstas han experimentado un continuo crecimiento desde entonces, sobretodo en áreas en desarrollo. [3]. Actualmente en España existen centros de reconocido prestigio internacional en este ámbito: UOC (Universidad Oberta de Catalunya) o UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia).

La evolución de la EaD ha venido determinada principalmente por la innovación en los recursos tecnológicos utilizados. Se pueden diferenciar cuatro etapas básicas (figura 6.1), en las que se puede apreciar el rápido crecimiento que han permitido las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

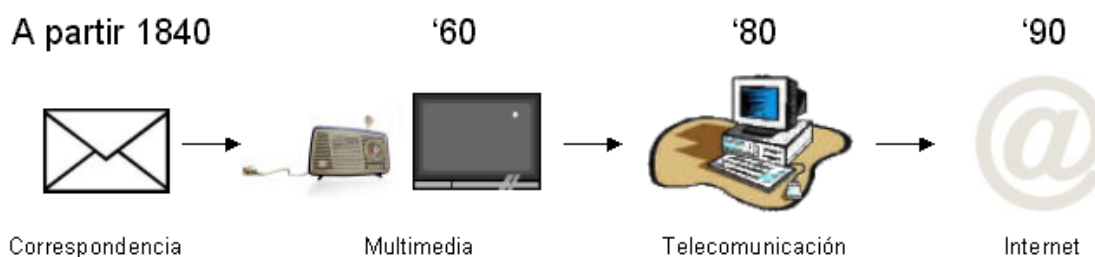


Figura 6.1: Evolución de la Educación a Distancia

1. Correspondencia: durante sus inicios básicamente se reproducía la clase presencial en soporte escrito manuscrito o impreso. Aparece la figura del tutor con el que existía comunicación mediante correo ordinario.[2]
2. Multimedia. A partir de los años sesenta y con la aparición de la radio, la televisión y el teléfono se combinaron los materiales escritos con recursos audiovisuales.[2]



3. Telecomunicación. A mediados de los ochenta aparece la EAO (Enseñanza Asistida por Ordenador) en la que se integran las telecomunicaciones con los otros métodos educativos mediante la informática.[2]
4. Internet. Debido a la posibilidad de intercambiar información a tiempo real entre puntos muy distantes a precio cada vez más bajo, se ha implantado como una solución de presente y futuro. Nunca un medio de comunicación había crecido tan rápido en la historia. [2]

Las características básicas de la educación a distancia se pueden resumir como una separación entre el profesor y el alumno en espacio o tiempo, entre los que existe una comunicación de doble vía. El alumno puede estudiar de manera independiente a su ritmo e itinerario.

Las ventajas más destacadas de este método son:[2]

- Apertura: se ha podido diversificar y ampliar las ofertas de estudio.
- Flexibilidad: se puede atender a un número de población mayor sin rigideces de tiempo o espacio, en la que se puede combinar estudio y trabajo.
- Economía: costes de formación son más bajos, no existen los costes de desplazamiento y se puede reutilizar el material de los cursos.
- Interactividad: se puede acceder a la información de manera permanente y existe una realimentación entre alumnos y profesores.

Los componentes principales de un sistema de educación a distancia, como en cualquier otro sistema educativo son: el alumno, el docente, los materiales utilizados, las vías de comunicación empleadas y un soporte de organización y gestión (figura 6.2). Se hará un estudio de estas características enfocadas al curso realizado.

- Alumnos: actualmente existen dos perfiles de usuarios esenciales de este tipo de cursos:
 - Estudiantes de carreras técnicas. Muchas veces no es suficiente el tiempo dedicado a la enseñanza presencial y en concreto a su parte más práctica. Esto es debido a la limitación del material utilizado y a la masificación de las clases actuales, por lo que la educación a distancia puede ser un gran complemento a la educación presencial.
 - Profesionales. Debido a un cambio propio de la sociedad, la educación que anteriormente se recibía únicamente en la niñez y adolescencia actualmente se



requiere también en la etapa laboral (formación continuada) mediante cursos de reciclaje. Estos alumnos cuentan con unas obligaciones diferentes y por tanto con unos hábitos de estudio diferentes, al que el sistema educativo debe adaptarse. [3]

Un profesional en activo debería atender entre 100 y 300 h/año de educación continuada para estar actualizado en los cambios tecnológicos que se suceden. [4]

- Existen muchos tipos de materiales o soportes de los contenidos, a continuación se expondrán los utilizados en este curso con sus ventajas e inconvenientes.
 - Material impreso. Todo y los avances tecnológicos sigue formando el 80% del material didáctico, debido principalmente a que es el que presenta mejor relación coste-eficacia. Sus ventajas principales son su accesibilidad, el hecho de ser fácilmente transportable y que permite la relectura. Por el contrario no permite recrear ciertas realidades, y la motivación para el estudio es más limitada que con recursos audiovisuales. Es el tipo de material que se ha utilizado para el texto teórico y el manual del curso.[2]
 - Material de exposición proyectado. Este recurso es muy conveniente debido a que motiva y facilita la comprensión de cuestiones complicadas, así como refuerza los contenidos transmitidos por otra vía. Este sería el caso de la visualización de las prácticas mediante la cámara web.
- Vías de comunicación. Son las que servirán de enlace entre el personal docente y el alumnado. Actualmente el curso únicamente dispone de comunicación vía correo electrónico, mediante el cual el alumno podrá consultar las dudas. Este es un método muy útil ya que se puede enviar información de distinta naturaleza, guardarla, distribuirla y recuperarla.

En un futuro, cuando exista un registro de estudiantes se creará una lista de distribución de los diferentes usuarios del curso, así como herramientas de chat electrónico, creando grupos de discusión o debate. De esta manera existirá también una comunicación entre los diferentes alumnos, lo que es muy positivo ya que crea un espíritu de pertenencia a una comunidad.

Se analizó también la posibilidad del uso de las videoconferencias, que a nivel pedagógico tiene unas posibilidades muy interesantes ya que permite la interacción cara a cara y con el material de estudio. Pero tienen el inconveniente de requerir un ordenador actual, buena conexión a Internet y una pequeña cámara de video lo que encarece en exceso el proceso.



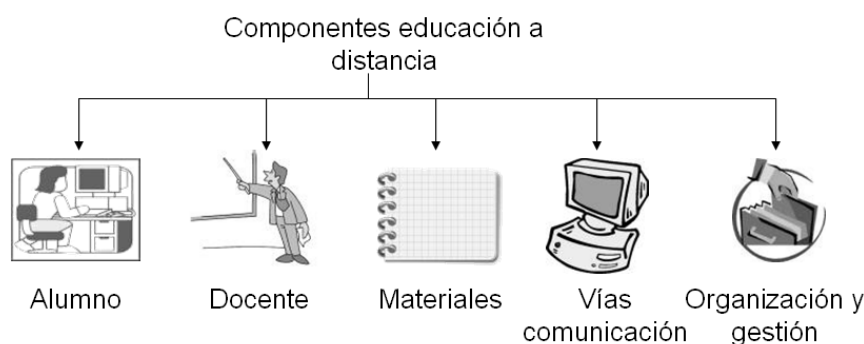


Figura 6.2: Elementos de un curso a distancia

6.2. Incidencia en los modelos educativos de la ingeniería

Los elementos básicos de un buen curso a distancia por Internet son una base teórica y experimentación remota. Este aspecto se hace de vital importancia cuando el curso trata sobre contenidos de ingeniería, en el que los estudiantes deben poder observar fenómenos dinámicos que son difíciles de explicar en material escrito. [5]

La parte de experimentación remota presenta algunos conflictos sobre la idoneidad de los laboratorios reales respecto los virtuales.

Un primer nivel lo componen los laboratorios virtuales que simulan inclusive los propios autómatas, es decir, utilizan autómatas virtuales. Existen software libres que permiten la simulación de procesos reales y del propio autómata, como Codesys (Anexo A.3), y son una buena solución, sobretodo por la parte económica, para una iniciación en la programación de estos dispositivos. Aunque tiene sus limitaciones y es preferibles el uso de autómatas reales para el aprendizaje. Pero sigue quedando la disyuntiva sobre que es mejor, prácticas reales o virtuales.

Desde la perspectiva educativa parece más adecuada la realización de prácticas reales remotas. La experimentación interactiva en dispositivos del mundo real mejora la motivación de los estudiantes y desarrolla aptitudes para resolver problemas reales. El porcentaje de la interacción con el sistema experimental es la medida de lo que gana el estudiante en el experimento. Si el alumno es un observador pasivo o una parte semiactiva del experimento, no entenderá ni la correspondencia ni la diferencia entre la teoría y la práctica. Es importante en estos casos que se utilice algún tipo de medio para dar sensación de realidad, como por ejemplo la cámara web. [5]



Pero cabe decir también que tiene ciertos inconvenientes, ya que las instalaciones reales son muy caras y normalmente se dispone de un espacio limitado para su instalación. También existe el hecho de que si estas plantas son frágiles, pueden sufrir desperfectos debido a algún error en la programación de los alumnos. Para evitar este tipo de situaciones peligrosas se ha optado por realizar prácticas en las que no se programe completamente los dispositivos, sino que solamente se varíen algunos parámetros clave. A nivel de percepción de realidad por parte del alumno, y por tanto de motivación, no es una medida tan recomendable.

La simulación de procesos es una buena alternativa a las plantas tangibles aunque, en general, no puede reemplazar los experimentos en dispositivos reales. Tienen la ventaja que se puede generar gran número de plantas, de grandes dimensiones y con gran complejidad a bajo costo.

Una vez escogido el tipo de plantas a utilizar se presenta otra disyuntiva, el hecho de si éstas deben realizarse en grupo o de forma individual.

La flexibilidad de tiempo y espacio que deben tener estas prácticas dificulta la realización de las mismas en grupos, pero a nivel educativo es más positivo el trabajo en equipo. La colaboración en las sesiones de laboratorio es esencial, ya que resultados de investigaciones prueban que el aprendizaje en grupo comparando con el individual lleva al alumno a conseguir un nivel más alto, adquiere habilidades en la resolución de problemas y ofrece ventajas cognitivas e influencias positivas en conseguir el desarrollo de trazos de personalidad. Esto puede ser muy beneficioso para el aprendizaje o trabajo futuro. [5]

Se podría concluir entonces que la mejor opción es la de realizar prácticas reales en grupos de trabajo. Aunque eso depende siempre de los recursos económicos, tecnológicos y de espacio de cada institución.

En los últimos dos o tres años se han realizado incontables proyectos (muchos a nivel europeo) en laboratorios remotos en el campo de la ingeniería. Algunos ejemplos de estas iniciativas se ven reflejados en la bibliografía complementaria en los que se puede consultar ejemplos de laboratorios virtuales ([17], [18], [19]) y reales ([20], [21], [22]) en funcionamiento.

En relación a los laboratorios virtuales o reales se ha realizado recientemente un congreso Internacional con el nombre de *Remote Engineering and Virtual Instrumentation Symposium* (REV) en el Carinthia Tech Institute (Villach, Austria), en el que se colaboró con un artículo. [1]



Ingeniería remota

El desarrollo de estos laboratorios remotos es también un primer paso para nuevos ambientes futuros de *teleworking* y *e-working*, como la ingeniería remota o la instrumentación virtual. Se prevé que el número de especialistas que se necesitarán en un horizonte cercano en este campo (ingeniería remota) crezca de manera importante. Se están tomando iniciativas en esa dirección debido a la falta de formación en los currículos actuales, como el master planeado en Alemania para el 2005. [6]

La ingeniería remota consiste en una mezcla de ingeniería y telemática en la que se pueden desarrollar actividades como programación, diseño, control, mediciones, monitoreado y mantenimiento. Tiene su importancia en la resolución de problemas como la creciente complejidad de las tareas en la ingeniería, los equipos y el software extremadamente caros (simuladores) necesarios en proyectos cortos, la necesidad de personal cualificado para controlar el equipo, etc. Esto se podría solucionar con plataformas de compartición de equipo o para el entrenamiento de los empleados. [6]

6.3. Las TIC en países en desarrollo

“Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) deben utilizarse para reducir la brecha digital y acelerar el progreso en los rincones más pobres del planeta. “

Koffi Annan, Secretario General de las Naciones Unidas [7]

Las TIC son un medio muy eficaz para la integración de países en desarrollo a las redes de información existentes. Uno de los problemas principales que presenta es el acceso limitado de la población a los recursos tecnológicos como puede ser Internet (figura 6.3).

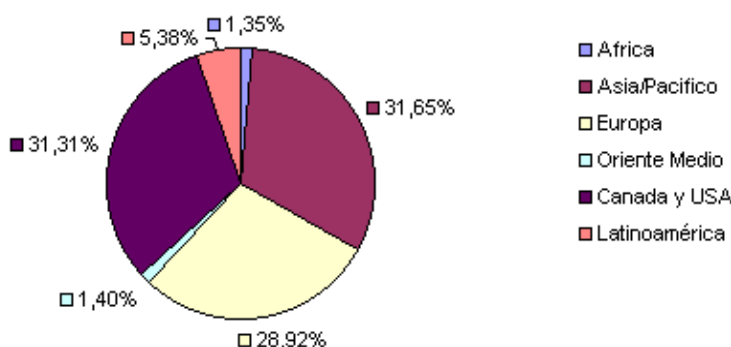


Figura 6.3: Distribución del número de usuario de Internet (Febrero 2002) [8]

Aunque estas tecnologías se están implantando cada vez con más fuerza en estos países, sobretodo entre la población más joven. Siendo la educación uno de las necesidades más



apremiantes que existen, es importante desarrollar proyectos de este tipo. De esta manera se crea un precedente a partir del cual pueden surgir nuevas iniciativas des del propio país.

Aunque es irreal pensar que sus beneficios llegarán a toda la población en tanto no se hayan resuelto las carencias básicas de los sistemas públicos de la enseñanza, es un pequeño paso a la normalización de estos países. [7]

6.4. Estructuración de un curso

Para conseguir buenos resultados con un curso a distancia se debe seguir un guión, mediante el cual se puedan conseguir los objetivos educativos esperados. El curso debe tener un aspecto atractivo, usando iconos o ilustraciones para realzar ideas importantes, así como realces tipográficos y ejemplos para clarificar conceptos. Debe constar también de una introducción general que justifique su utilidad e interés, con sus objetivos y los contenidos más relevantes. Con esto se motiva a los alumnos explicando que van a aprender y se centra la atención en estos objetivos.

El curso ha de estar dividido en unidades de aprendizaje que tendrán un sentido propio, unitario y completo. Los aspectos que se deben cuidar de una manera especial son: [2]

- Elegir un título adecuado para el capítulo, dando una idea clara del contenido del mismo.
- Facilitar un índice lo más detallado posible para poder tener en cada momento una visión general de la unidad.
- Desarrollar una introducción en la que se explique la estructura que sigue el capítulo añadiendo algún detalle que pueda provocar la curiosidad del estudiante. Debe fijar los objetivos concretos a conseguir en el capítulo, centrando la atención del alumno en esos puntos.
- Esquematizar los contenidos clave para evitar que el alumno se pierda, dando una visión estructurada y secuenciada. El uso de imágenes refuerza contenidos y motiva y relaja de los contenidos complejos.
- Crear una bibliografía de la unidad, de este modo se ensancha el horizonte del alumno diversificando las fuentes de información. El material aportado sobre el tema es una guía de orientación más que un paquete completo de contenidos.
- Crear un glosario donde se encuentren términos fundamentales y nuevos. Se debe indicar cuando salen que son motivo de definición en el glosario.



- Realizar ejercicios de autoevaluación para comprobar el nivel de comprensión que se obtiene en cada unidad. Estos deben ir seguidos de su solución y su localización en la unidad.

6.5. Estructuración del presente curso

El curso de automatización que se ha realizado tiene como elementos básicos el texto teórico, el manual de prácticas, la página web y el laboratorio remoto. Para acceder al laboratorio y a la página web el alumno deberá disponer de conexión a Internet.

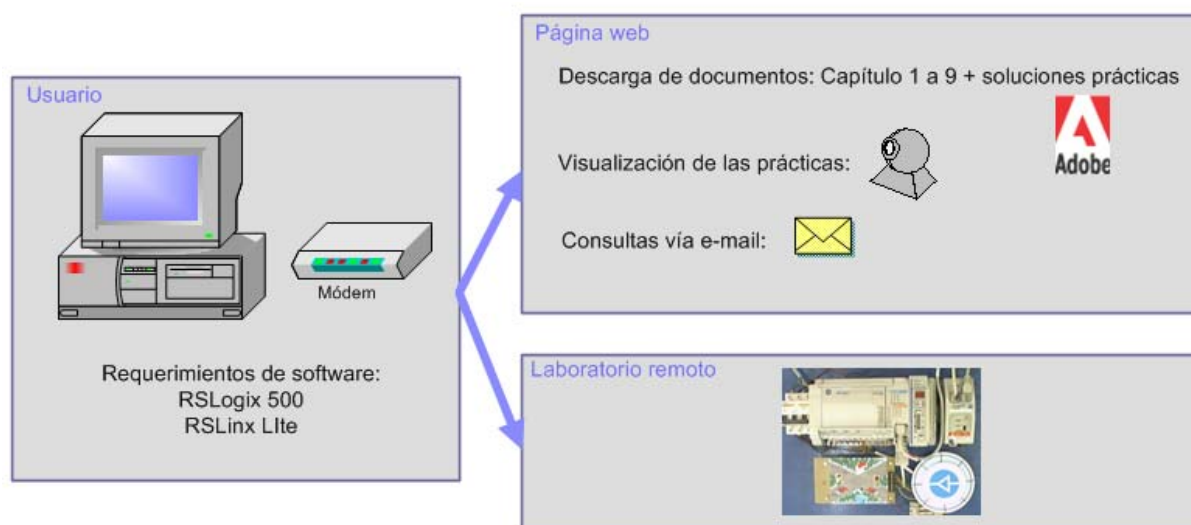


Figura 6.4: Elementos del curso

La página web es una herramienta muy útil para la distribución a los alumnos del material del curso, así como para informar de cualquier aspecto que se crea importante. El curso consta de nueve capítulos que se podrán descargar en formato PDF, un formato universal que está al alcance de todos los públicos. Para aprovechar de manera completa los contenidos del curso es importante tener una formación básica en conocimientos técnicos.

La documentación del curso consta de dos partes diferenciadas. Una primera parte consiste en un texto teórico (Anexo A) que da una visión global del mundo de la automatización industrial. Para su realización se ha hecho una búsqueda en profundidad sobre los elementos básicos de la automatización, siguiendo bibliografía especializada o buscando recursos en la red. Se hace referencia a diversos fabricantes del ramo, así como a otros recursos educativos, como cursos más especializados o programas libres de instrucción para ampliar conocimientos.

El primer capítulo consiste en una introducción al mundo de la automatización, en el que se describe sus elementos principales, sus objetivos y las aplicaciones actuales. En el segundo capítulo se hace referencia a los API como elemento central de los sistemas automatizados,



comentando las funciones que realiza junto con la estructura externa e interna y sus modos de funcionamiento. En el tercer capítulo se hace referencia a los cinco lenguajes de programación que siguen el estándar IEC 1131-3: Grafset, esquema de contactos, mnemónico, bloque de funciones y texto estructurado, que son actualmente utilizados por gran parte de los fabricantes no mayoritarios. También se hace referencia a software de programación libres que permiten desarrollar proyectos a bajo costo, pero que está destinado únicamente a un grupo restringido de fabricantes. Y finalmente se hace referencia a la Guía Gemma, un método muy útil a la hora de caracterizar los diferentes estados posibles de un sistema de automatización, sea cual sea su complejidad o extensión. Para finalizar se ha incluido un capítulo sobre comunicaciones industriales, haciendo una perspectiva histórica sobre los sistemas de cableado y introduciendo los buses de campo más utilizados en la actualidad, así como las soluciones futuras a adoptar en forma de comunicaciones *wireless* (inalámbricas). Para comprender la aplicación y funcionamiento de los buses industriales se han introducido conceptos como: la pirámide CIM (*Computer Integrating Manufacturing*) en el se agrupan jerárquicamente las redes industriales según la información tratada, y el modelo de referencia OSI (*Open System Interconnection*) en el que se estandariza los buses para conseguir una conexión adecuada entre los diferentes niveles de comunicación (físico, datos, aplicaciones,...).

Al final de cada uno de los capítulos se realiza una pequeña evaluación para afianzar los conocimientos adquiridos, con la solución indicada en el propio texto.

| Correspondencia Anexos | Capítulos | Título | Extensión (páginas) |
|------------------------|-----------|-----------------------------|---------------------|
| A.1. | 1 | La automatización | 17 |
| A.2. | 2 | El PLC | 29 |
| A.3. | 3 | Programación | 28 |
| A.4. | 4 | Comunicaciones industriales | 21 |

Tabla 6.1 : distribución del contenido teórico del curso

La segunda parte está integrada por los manuales de funcionamiento de los diferentes elementos que forman las prácticas, tanto de hardware como de software, y el enunciado de las experiencias remotas con su solución comentada (Anexo B). Se han planteado 7 experiencias prácticas para aportar una amplia abanico de posibilidades de programación. Para apoyar la realización de las mismas se ha dotado al estudiante de numerosas explicaciones, así como diagramas de tiempo y Grafsets.



| Correspondencia Anexos | Capítulos | Título | Extensión (páginas) |
|------------------------|-----------|--|---------------------|
| B.1. | 5 | PLC: MicroLogix 1500 | 12 |
| B.2. | 6 | Módulo ENI (<i>Ethernet Network Interface</i>) | 16 |
| B.3. | 7 | Introducción a RSLinx Lite | 8 |
| B.4. | 8 | Introducción a RSLogix 500 | 16 |
| B.5. | 9 | Prácticas remotas | 20 |
| B.6. | 9 | Solución en lógica escalera | 20 |

Tabla 6.2: distribución del contenido práctico del curso

En los capítulos pertenecientes a los diferentes dispositivos (capítulos 5 a 8) se ha expuesto su configuración de forma muy detallada. De esta manera, permite la posibilidad de recrear este laboratorio remoto en las localizaciones para las que están destinados los cursos, así como facilitar posibles ampliaciones a partir de la experiencia obtenida.

Las soluciones en lógica escalera de los diferentes apartados de las prácticas se presentan por separado en la página web, dificultando que los alumnos las consulten antes de que las realicen de forma autónoma.

Para la realización del curso será necesario que los alumnos instalen los paquetes de software RSLinx Lite y RSLogix 500, cuyo funcionamiento se describe en los capítulos 7 y 8 del manual de prácticas.



7. Página web

7.1. Introducción

Se ha creado una página web para dar soporte al curso (figura 7.1), permitiendo la visualización de las prácticas mediante la cámara web, la descarga en formato PDF de los diferentes capítulos e información complementaria a éste.

La dirección de la página web es la siguiente: <http://www.citcea.upc.es/proyecto/labremot>



Figura 7.1: Pantalla inicial del curso

Las relaciones de los diferentes elementos que forman la red de comunicación se especifican en la figura 7.2, en la que podemos ver cómo son las conexiones entre el PC del laboratorio y el servidor, red LAN (*Local Area Network*), y con los PC de los usuarios, red WAN (*Wide Area Network*), así como los elementos físicos que las conectan.



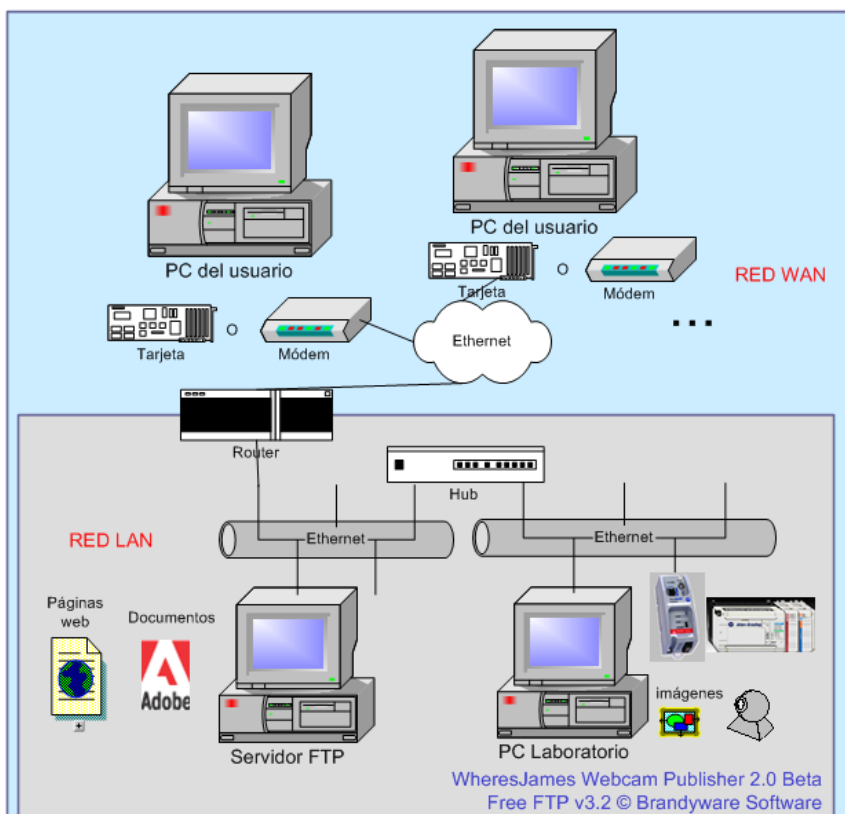


Figura 7.2: Relaciones de comunicación

Las imágenes capturadas por la cámara web se almacenan en el PC del laboratorio, donde está instalado el programa *Webcam Publisher* que las captura y las envía al servidor mediante FTP (*File Transfer Protocol*). Se barajaron diferentes posibilidades para realizar la visualización de las imágenes de las prácticas remotas, que se fueron descartando debido a los problemas que presentaban:

- *Streaming* o video en directo: era necesario un *plugging* (pequeño programa de Java que ejecuta el navegador) que, dependiendo de la configuración de seguridad del navegador, no se cargaba y no permitía la visualización de las imágenes.
- Almacenamiento de las imágenes en el PC del laboratorio y instalación de un programa (Apache 2.0) para que funcione como servidor vía HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). Se descartó por el hecho de que si el PC de la cámara web no funcionara, no se podrían visualizar tampoco las páginas del curso.

Por tanto se optó por copiar las imágenes cada cierto intervalo de tiempo en el disco duro del servidor vía FTP, opción que es suficiente para visionar el funcionamiento de las prácticas adaptando el funcionamiento de las mismas al intervalo utilizado (3 s). Este intervalo se obtuvo después de realizar diferentes pruebas con conexiones a Internet de distintas capacidades, obteniendo así el intervalo mínimo en el que se visualizan sin problemas.



El servidor es el ordenador donde están alojadas físicamente las páginas que forman el curso y es al que accederán los diferentes usuarios del curso a través del navegador. El servidor consta de varios programas que realizan las tareas necesarias para llevar a cabo este trabajo. Así existe un software de servidor de FTP que se utiliza para gestionar la transferencia de archivos entre este y el ordenador del laboratorio. También dispone de un software de servidor de HTTP (Apache 2.0) que se encarga de recibir las peticiones de páginas del navegador del usuario producidas cada vez que alguien pulsa un enlace o escribe una dirección en la barra de direcciones, y devuelve la página con el código HTML que luego interpreta el navegador.

La gestión y configuración del servidor no forma parte del proyecto y únicamente se realizó la conexión mediante el software FreeFTP comentado en el apartado 7.5. Personal del departamento gestionó y proporcionó el acceso y la capacidad de almacenamiento requerida para el proyecto.

Es importante remarcar que el usuario del curso no deberá poseer ningún programa especial para acceder a los contenidos de la página.

7.2. Distribución de la página web

La circulación por la página web se realiza de manera muy sencilla a partir de la página principal (figura 7.1), que da acceso a las secciones de: contenidos del curso, antecedentes y página de contacto.

En la página de contenido del curso (figura 7.3) se pueden descargar o abrir directamente los diferentes archivos PDF que forman el texto y el manual. También se incluye en enlace a la web de Acrobat Reader desde la que se puede descargar el programa que permite visualizarlos. Existe la posibilidad de visualizar un pequeño resumen de cada capítulo con el índice correspondiente de la unidad (figura 7.4). De esta manera se puede decidir la conveniencia de descargar el capítulo según las necesidades individuales de cada alumno. En la parte inferior derecha se da acceso a la página desde donde se visualiza la realización de las prácticas remotas (figura 7.6).



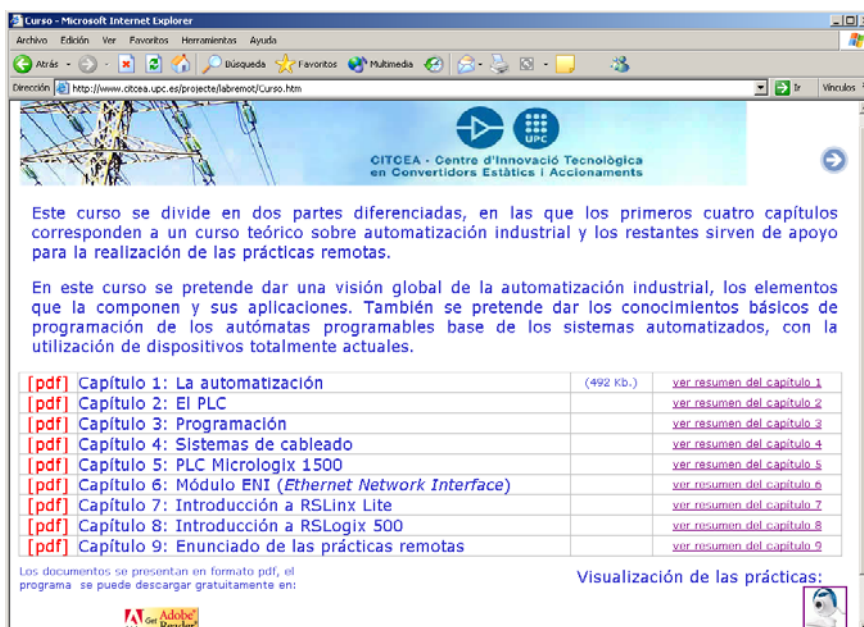


Figura 7.3: Página de descarga de documentos

En la página resumen del capítulo 9 (Enunciado de las prácticas remotas), se incluye el enlace para descargar las soluciones en lógica escalera de las diferentes experiencias.



Figura 7.4: Página del capítulo 9

La página de antecedentes muestra las diferentes experiencias en la línea de trabajo de los laboratorios remotos que se han llevado a cabo hasta el momento con la ayuda del CCD.

Finalmente, en la página de contactos, se puede encontrar la dirección de correo electrónico de soporte para resolver las dudas que puedan surgir durante la realización del curso. Del



mismo modo se incorpora un pequeño cuestionario sobre el curso para poder introducir mejoras en el futuro y saber la opinión que merece a los usuarios (Anexo E). [9]

A continuación se hace referencia a los diferentes paquetes de software que se han usado para la configuración de la página web.

7.3. Frontpage

Las páginas de las que está compuesto este curso se han realizado mediante el software de programación *Front Page* de *Windows*. Éste es un programa muy intuitivo que permite programar la página en un entorno conocido como es el entorno *Windows*, aunque se podría haber usado cualquier editor de páginas web existente actualmente. Admite la visualización de la página en lenguaje html o la vista preliminar de ésta (figura 7.5).

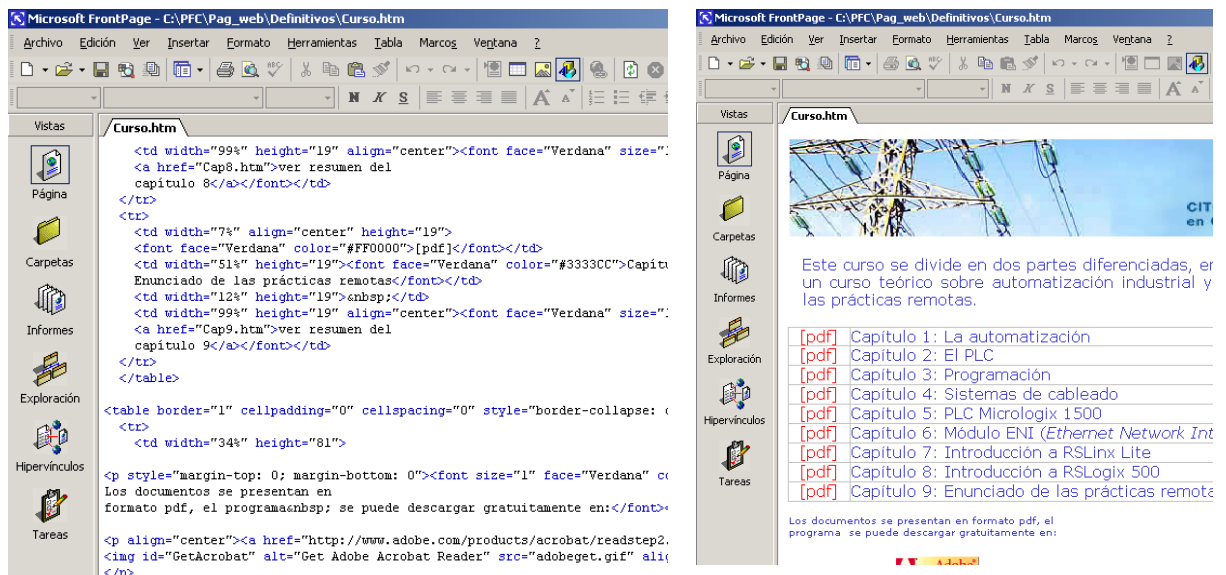


Figura 7.5: Vistas de Frontpage de Windows

El código correspondiente a la copia de la imagen des de la cámara web es la parte más crítica de la programación de la página, el resultado obtenido se puede ver en: <http://www.citcea.upc.es/proyete/labremot/webcam.htm>.





Figura 7.6: Vista de la página de la cámara web

La imagen que proviene de la cámara web es forzada a realizar un *refresh* (refresco) cada tres segundos. Según lo que se comentará en el apartado 7.4 este refresco debería realizarse de manera automática por el programa *Webcam Publisher*, pero debido a problemas ocasionales con el servidor que se colapsaba se decide incluir este código en la página para asegurar la renovación de la imagen.

```
<p><meta http-equiv="refresh" content="3"></p>
```

Debido a esta renovación la página solo contiene un pequeño texto y la propia imagen. Así como cada tres segundos se vuelven a cargar todos los componentes de la página, el tiempo invertido es más pequeño.

El código que realiza el vínculo entre las imágenes salvadas en el servidor vía FTP (con el nombre *webcam.jpg*) y la página web es el siguiente:

```
<center><p> </p></center>
```

En el código se define que la posición (centrado), la fuente de la imagen y su tamaño.

7.4. WheresJames Webcam Publisher

Para poder visualizar las imágenes es necesario que el ordenador al que está conectada la cámara web, posea un software específico para recogerlas y transferirlas al servidor vía FTP. En este caso se ha utilizado el *WheresJames Webcam Publisher 2.0 Beta* que permite esa transferencia. Este software se puede descargar de manera gratuita en la página web: <http://www.wheresjames.com/> (18/10/2004)



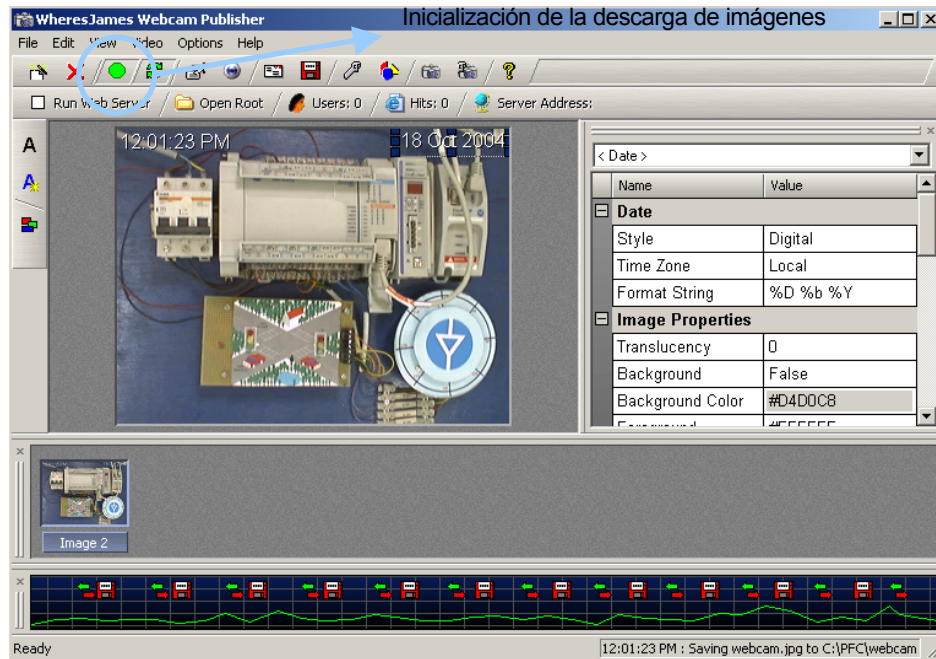


Figura 7.7: Pantalla principal del *WheresJames Webcam Publisher*

Se ha escogido este software debido al hecho de ser gratuito, por permitir la transmisión al servidor FTP (www.citcea.upc.es) y por facilitar la configuración del tiempo de carga de las imágenes de manera muy sencilla. Para activar la descarga de las imágenes se debe presionar el botón verde (figura 7.7).

Accediendo al menú *Options>Settings* se pueden configurar los parámetros necesarios para realizar la transferencia de manera correcta.

En primer lugar se configuran las opciones de publicación de la imagen (figura 7.8). Se debe definir el archivo que guarda la imagen en la memoria del ordenador del laboratorio y el intervalo de tiempo de muestreo (3 s). Seguidamente se define el archivo que se deberá transmitir al servidor FTP y el intervalo de tiempo (3 s) de envío. Se puede visualizar como el programa va salvando (disquete) y transmitiendo (flecha verde y roja) las imágenes en tiempo real en la parte inferior de la figura 7.7. De esta manera se puede detectar fácilmente se existe algún problema de transmisión.



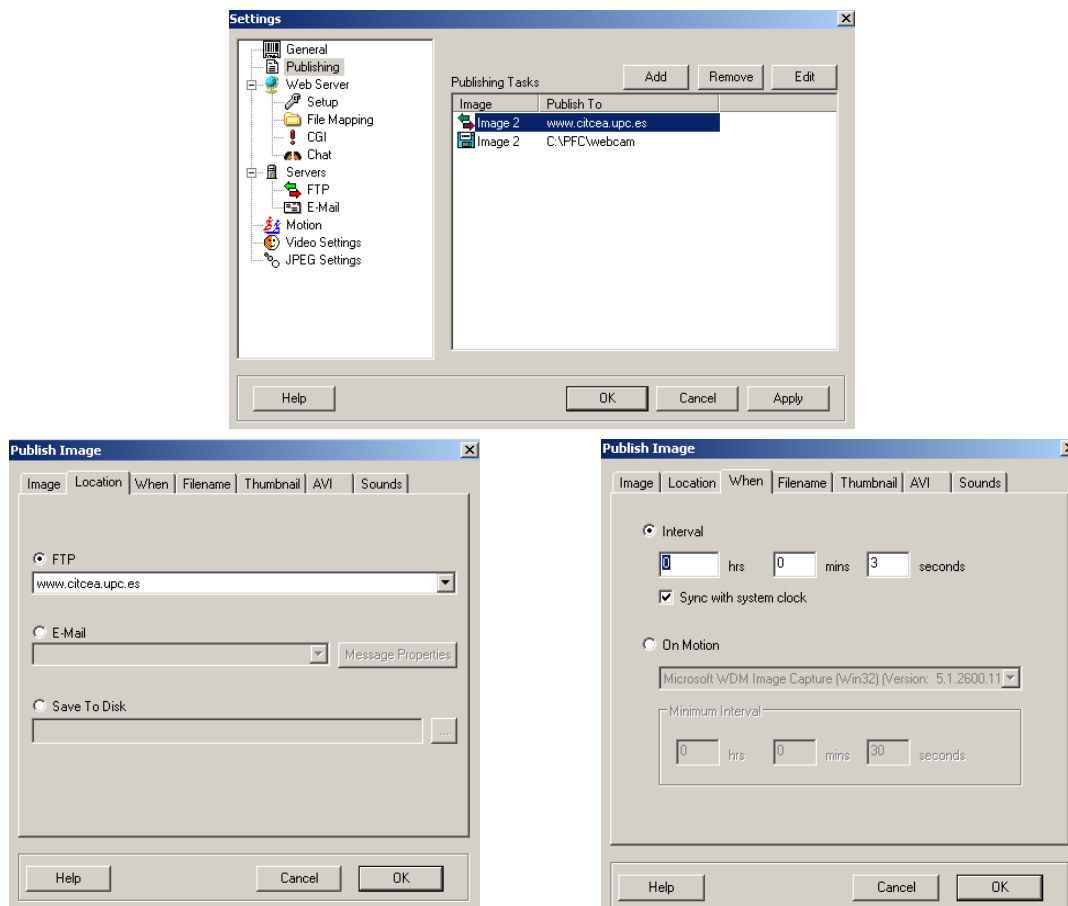
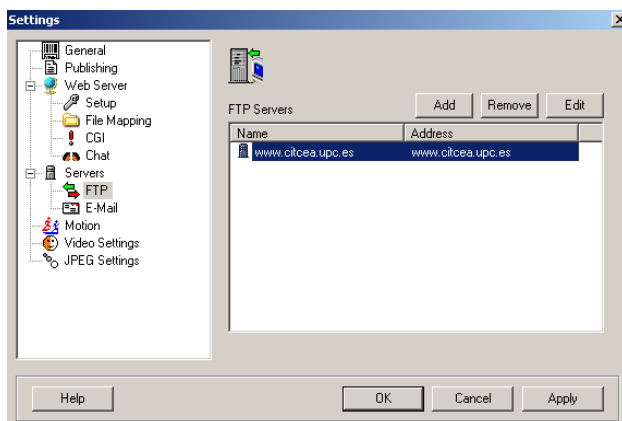


Figura 7.8: Parámetros de imagen de *Webcam Publisher*

A continuación se define la ruta de acceso al servidor FTP, en el que se define su dirección y la contraseña de acceso al mismo (figura 7.9). Así se completará la transmisión de la imagen definida anteriormente.



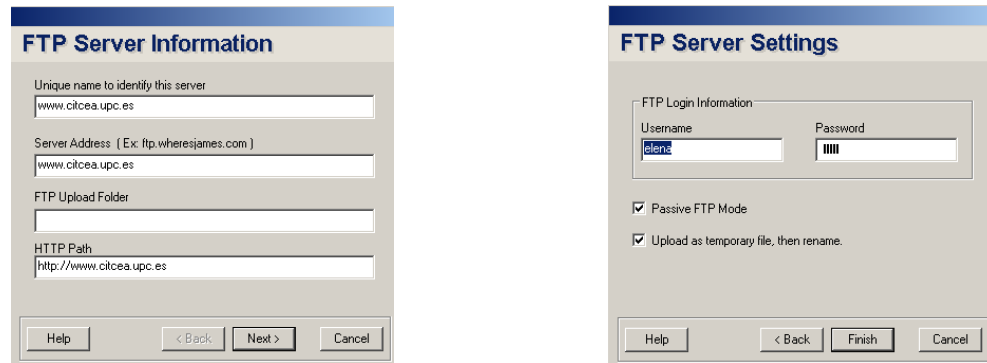


Figura 7.9: Parámetros principales del servidor FTP

Es importante seleccionar la opción de *Upload as temporary file, then rename* (graba como archivo temporal y luego renómbralo). Esta opción hace que hasta que la imagen no se ha cargado totalmente en el servidor no le adjudique el nombre de webcam.jpg, ya que ésta es la que se está mostrando en la página. Si no se realizara este renombramiento existirían problemas con la imagen mostrada, que no se cargaría correctamente.

7.5. Free FTP

El programa permite de manera muy sencilla la carga de los diferentes componentes de la página web desde el ordenador personal en el que está instalado. Éste se puede descargar de manera gratuita en numerosos sitios de la red.

Una vez se introduce la contraseña y se inicia la conexión con el servidor (Conecte), se seleccionan los diferentes archivos (Sus Archivos) desde el disco duro del ordenador del laboratorio y se envían (*Send*) al servidor (FTP Site Archivos) como se muestra en la figura 7.10.

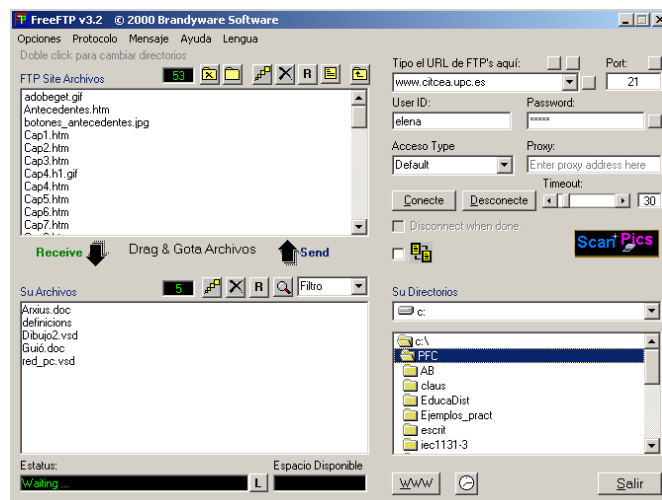


Figura 7.10: Pantalla principal de FreeFTP



8. Autómata programable: MicroLogix 1500

Para realizar el control de las prácticas remotas se hizo primeramente un estudio de mercado para obtener la mejor elección según los objetivos fijados.

Era preciso un autómata programable con al menos 12 salidas de tipo relé y con acceso a Internet. Debía poder ser programable con los lenguajes de programación que siguen el estándar 1131-3 de la IEC (*Internacional Electrotechnical Commission*) para cumplir su función educativa, ya que estos son los utilizados en ambientes industriales. También debía ser económico, de tal manera que los países para los que está destinado el proyecto: Cuba, Curaçao,... con pocos recursos económicos, pudieran adquirir el material y crear su propio laboratorio remoto.

Actualmente no existen autómatas con esas características a bajo precio, así que se utilizó el material existente en el departamento de Ingeniería Eléctrica de la ETSEIB. Éste era un MicroLogix 1500, una plataforma de control lógico programable de Allen Bradley con el complemento del módulo ENI (Ethernet Network Interface) que lo dota de conectividad a Ethernet (capítulo 9). Está formado por los siguientes componentes esenciales:

- Fuente de alimentación 120/240 V_{CA}
- Circuito de entrada (12 entradas a 24 V_{CC})
- Circuito de salida (12 salidas de relé)
- Procesador modelo 1764-LSP, con 7 Kbit de capacidad para programa de usuario.



Figura 8.1: MicroLogix 1500 de Allen Bradley [10]

Para programar el controlador se usa el software RSLogix 500 de Rockwell Software (capítulo 10.2)



Mediante el puerto RS-232 se acopla el módulo ENI, que le da conectividad a Internet. Este puerto utiliza el protocolo de comunicación DF1 Full-duplex, muy útil cuando se requiere comunicación RS-232 punto a punto. Este protocolo acepta transmisiones simultáneas entre dos dispositivos en ambas direcciones. El protocolo DF1 controla el flujo de mensajes, detecta y señala errores y efectúa reintentos si se detectan errores.

La velocidad de transmisión del puerto por defecto es de 19200 Bps. Este dato deberá ser tomado en cuenta más tarde en la configuración del módulo ENI. Para que no existan problemas de comunicaciones, los dos dispositivos deberán tener la misma velocidad de transmisión.

Funciones de seguridad

Actualmente cualquier estudiante que tenga el software necesario para configurar el autómata y la red de comunicaciones (RSLogix 500 y RSLinx respectivamente), junto con la dirección IP del módulo ENI, puede descargar sus programas.

Uno de los conceptos que ha presentado más problemas en la realización del proyecto es la función de seguridad. Se pretendía realizar un sistema de seguridad que regulara el tráfico de estudiantes con acceso a la planta remota de prácticas. De forma que se asignara un tiempo determinado (10 minutos) a cada estudiante para evaluar el programa realizado, de manera que nadie más pudiera conectarse.

Se estudiaron diferentes alternativas que se fueron descartando por su ineficacia o alto coste.

En primer lugar se pensó en el software de Rockwell: *Security Server*. Esta aplicación bloquea mediante una contraseña el software de programación en el ordenador personal en la que está instalado. Está pensado para restringir el acceso a los programadores de los PLC en un ambiente industrial. En este caso no interesaba ya que es el propio estudiante quien debería programar la aplicación, y una vez tuviera la contraseña podría acceder al autómata en cualquier momento. Por tanto se descartó la opción.

Más tarde se pensó en la opción disponible en el RSLogix de adjudicar una contraseña al propio archivo de programa que se quiere enviar. Este método tampoco es válido ya que se puede anular simplemente borrando la memoria del controlador.

También se planteó la posibilidad de restringir el acceso a la página web que muestra las imágenes de la cámara web. Con esto se impide la visualización del funcionamiento de las prácticas pero no la descarga de los programas al autómata, por tanto se desestimó esta opción.



Como última posibilidad se pensó en la colocación de un PLC que regulase los accesos al PLC de control. Es la única opción que se apuntó como viable pero debido a las actuales dimensiones reducidas del laboratorio remoto no era económicamente procedente. Si el laboratorio creciera en número de plantas entonces sería más conveniente la colocación de un PLC maestro que permitiera el acceso a los diferentes PLC de control de las plantas de prácticas.

Así que finalmente se ha separado como línea futura de trabajo del proyecto actual.



9. Módulo ENI (*Ethernet Network Interface*)

9.1. Función

El módulo 1761-NET-ENI (figura 9.1) proporciona conectividad mediante el protocolo de comunicación Ethernet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) a dispositivos con puerto RS-232 que usen el protocolo de comunicación DF1 full-duplex, en nuestro caso el autómata MicroLogix 1500. Este módulo permite conectar los autómatas programables a una red Ethernet, cargar y descargar programas, intercambiar información entre dispositivos y editar programas lógicos entre otras opciones. [11]



Figura 9.1: Aspecto exterior del módulo ENI [11]

La función del módulo es la de recibir un mensaje del autómata (en formato DF1/PCCC) por el puerto RS-232 y encapsularla poniéndole un envoltorio CIP, este nuevo mensaje se envía a través del puerto Ethernet hacia su destino. El procedimiento es el inverso para un mensaje recibido desde Ethernet, la función será desencapsularlo revelando el mensaje original en formato DF1/PCCC y enviarlo por el puerto RS-232 hacia el autómata (figura 9.2). [11]

Con PCCC (*Programmable Controller Communications Commands*) se entiende los comandos de comunicación de un controlador programable. Para que este formato se pueda enviar a través de la red LAN, Rockwell ha desarrollado el CIP (*Control and Information Protocol*). [11]

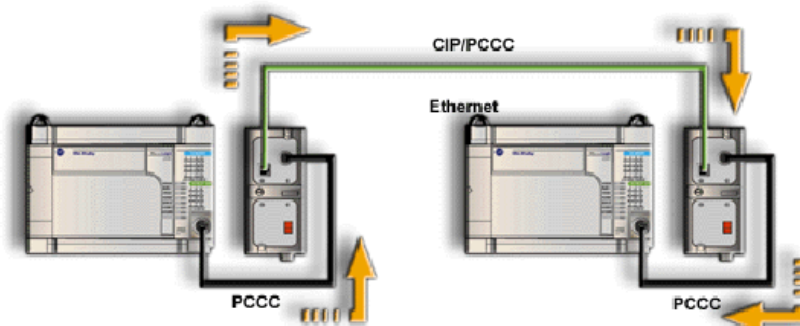


Figura 9.2: Encapsulamiento de los mensajes [11]



9.2. Protocolos de comunicación utilizados

Ethernet es una LAN que transmite información a velocidades de 10 o 100 millones de bits por segundo (Mbps). En 1985 se estandarizó con el nombre de: "IEEE 802.3 *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*" o más escuetamente "IEEE 802.3 CSMA/CD", lo que significa: [13]

Carrier Sense: cada nodo escucha continuamente el tráfico existente en el medio para determinar cuando aparece un hueco en el que no exista información. [12]

Multiple Access: el nodo empieza a transmitir cuando se detecta que no existe tráfico. [12]

Collision Detection: Si dos o más nodos en un dominio de colisión empiezan a transmitir al mismo tiempo, las cadenas de bits colisionarán y las dos conexiones se invalidarán. Los nodos deben ser capaces de detectar la colisión antes de acabar de enviar su información y detener la transmisión. Entonces esperan un tiempo aleatorio antes de volver a probar la transmisión. Y así sucesivamente. [12]

Este funcionamiento hace que el protocolo no sea determinista, es decir, que no se pueda asegurar el envío de la información aunque la posibilidad de que no se envíe es ínfima. De todas maneras existen vías para garantizar ese determinismo y poder utilizar el protocolo en ambientes industriales. Una de ellas sería el uso de un *switch* de Ethernet para cada nodo más la utilización del protocolo *full-duplex*. El nodo únicamente se comunica con el *switch* y existen dos sentidos de comunicación debido al *full-duplex*, por lo que no hay manera de colisionar, aunque es una medida con un precio elevado. Un *switch* es un dispositivo de interconexión entre estaciones de una misma red.

En una red Ethernet cada nodo conectado al sistema funciona independientemente de los demás, es decir, no existe un controlador central y todos los elementos del sistema se conectan a un elemento compartido (el medio físico), por donde se transporta la señal. En este caso el medio físico consiste en un cable de par trenzado. [13]

Ethernet ocuparía las dos primeras capas del modelo de referencia ISO-OSI (figura 9.3). Éste modelo se creó a partir de la necesidad de crear un estándar para las comunicaciones asegurando la conectividad a todos los niveles (físico, datos, aplicaciones...). (Anexo A.4)



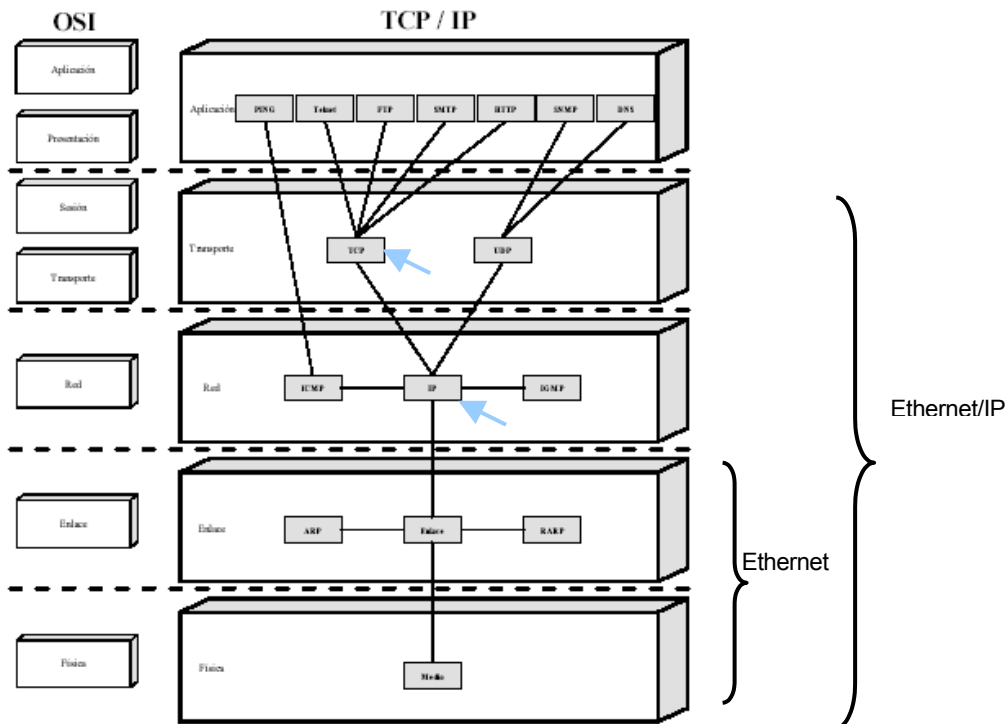


Figura 9.3: Correspondencia capas OSI [14]

Para comunicar un nodo de una LAN con un nodo de otra LAN se tiene que usar un protocolo de comunicaciones entre LANs, el *Internet Protocol* (IP). IP es un protocolo *connectionless* y no asegura la entrega correcta del mensaje en el destino, esa seguridad deben proporcionarla protocolos de capas superiores. El protocolo más utilizado en este caso es el TCP (*Transport Control Protocol*). Este conjunto de protocolos forman el llamado Ethernet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) (figura 9.3). [13]

9.3. Configuración del módulo

Para configurar el módulo se ha usado el software ENI *Configuration Utility* de Rockwell Software, descargable de manera gratuita en la página web de Allen Bradley. Existe otra opción de configuración por medio de un mensaje a un nodo preconfigurado (255) pero esta es más complicada y por tanto se ha optado por el ENI *Configuration Utility*.

Para realizar la configuración se debe conectar el módulo al puerto serie del ordenador personal mediante el puerto RS-232. Se precisa de alimentación externa al módulo, ya que normalmente éste toma la alimentación de la fuente del autómata mediante el puerto RS-232, que está ocupado por la comunicación con el PC.



Para tal efecto se usará una fuente de alimentación Hyperion (figura 9.4) que proporciona el voltaje de 24 V necesario para el correcto funcionamiento del módulo.

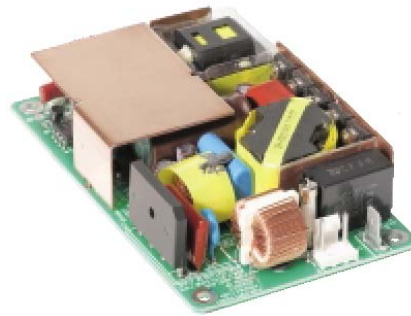


Figura 9.4: Fuente de alimentación [15]

Se debe revisar en primera instancia que el puerto serie del ordenador esté libre y tenga las características adecuadas para comunicarse con el módulo.

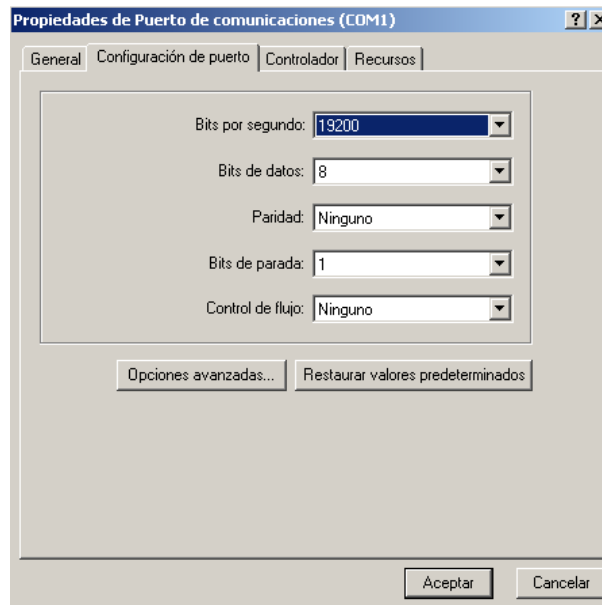


Figura 9.5: Configuración del puerto serie del ordenador

La velocidad de transferencia ha de ser la misma que se ha configurado en el MicroLogix 1500 y la que se configurará en el módulo. Se ha escogido 19200 Bps, velocidad más que suficiente para la transmisión de los datos del programa.

Una vez asegurada la buena comunicación y la alimentación del módulo se procede a la propia configuración del mismo. Primeramente se definen los parámetros del puerto serie del ordenador que se va a utilizar:

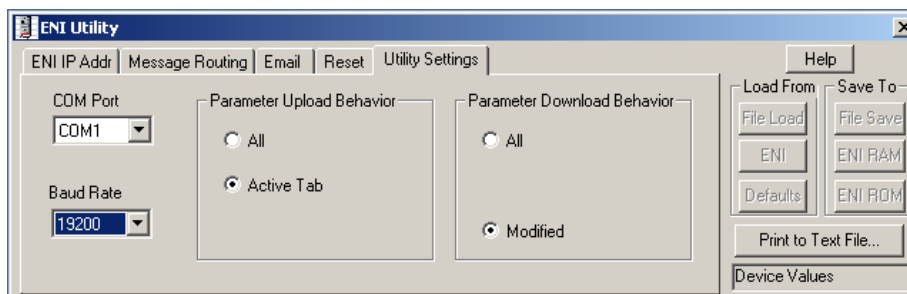


Figura 9.6: Definición de los parámetros de conexión con el ordenador



A continuación se configura la dirección IP del módulo ENI. Debemos introducir los valores de la dirección IP que se le asignará al módulo junto con los parámetros de la red en la que se encontrará (máscara de subred y *Gateway*).

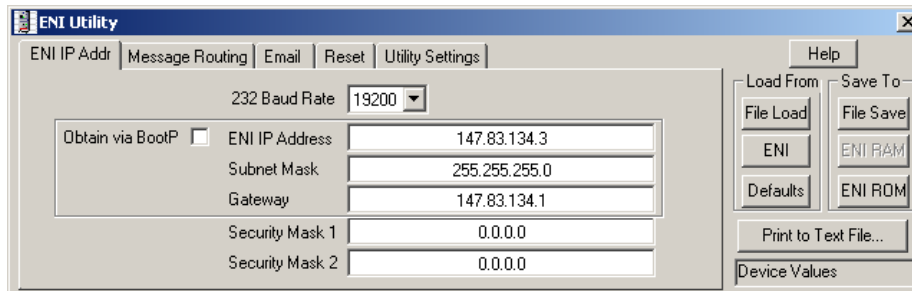


Figura 9.7: Definición de la dirección IP del módulo

La máscara de subred se usa para interpretar las direcciones IP cuando la red está dividida en subredes, como es nuestro caso. Y Gateway o pasarela es la dirección del dispositivo que realiza la unión entre la red LAN y Internet. En la figura 7.2 se muestra la configuración de comunicación existente en el laboratorio remoto.

Finalmente, una vez configurados los parámetros anteriores, se carga a la memoria ROM del módulo para que se quede de forma permanente.

Existen otras posibilidades de configuración en este software como son: configuración de las IPs de otros nodos de la red Ethernet y configuración de direcciones de correo electrónico para informar de alarmas o estados. En el caso del presente curso estas opciones no son necesarias, pero se deben tener en cuenta para futuras ampliaciones.

Una vez finalizados los pasos anteriores el módulo está listo para su conexión con el MicroLogix 1500 a través del puerto RS-232. Solo restará la configuración de la red y el PLC mediante el software específico (capítulo10).



10. Software de programación

10.1. RSLinx

RSLinx es un sistema operativo de red (*Network Operating System*) que se encarga de regular las comunicaciones entre los diferentes dispositivos de la red. Proporciona el acceso de los controladores Allen-Bradley a una gran variedad de aplicaciones de *Rockwell Software*, tales como RSLogix 500.

Existen diferentes paquetes según la funcionalidad a la que se haya de destinar el software. En nuestro caso y debido a las necesidades del proyecto se usará RSLinx Lite, que es el paquete más sencillo y económico. Éste no está disponible comercialmente pero se incluye en el RSLogix 500, el software propio de programación del autómatas. A partir de ahora nos referiremos al producto únicamente como RSLinx.

Primeramente se debe configurar la red de comunicaciones de nuestros dispositivos. Para ello se debe configurar el controlador óptimo, que en este caso se trata de una red con dispositivos conectados a Ethernet (*Ethernet devices*).

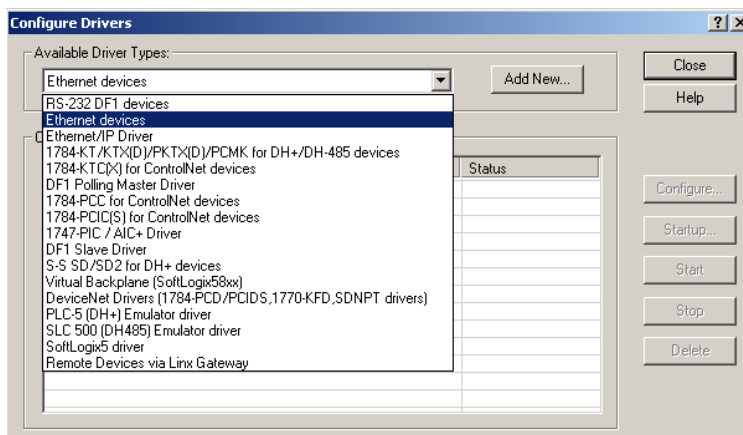


Figura 10.1: Elección del controlador

Un controlador es la interface de software al dispositivo de hardware, que en este caso es el módulo ENI, y permite la conexión con el RSLinx.

Se especificará a continuación la dirección IP del módulo ENI (figura 10.2) que es el único elemento de nuestra red, ya que el ordenador personal del usuario viene representado por el propio RSLinx del usuario. La dirección IP será la que se ha asignado previamente con el *ENI Configuration Utility*.



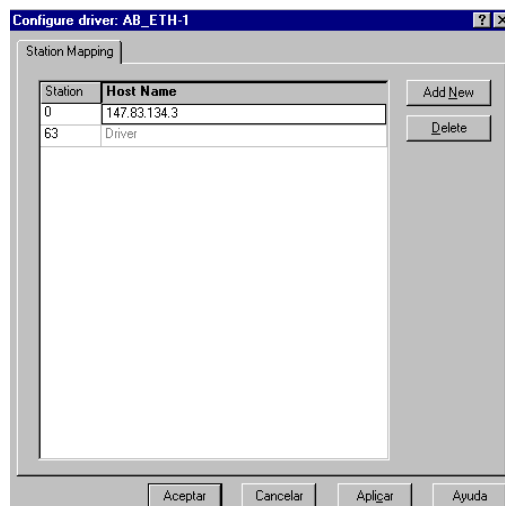


Figura 10.2: Definición de los componentes de la red

Una vez está bien configurada se obtiene la siguiente imagen, de la red funcionando (figura 10.3). Como se puede ver a partir de la dirección IP del módulo ENI el software ha detectado el controlador MicroLogix 1500 que está conectado a él. La red está configurada.

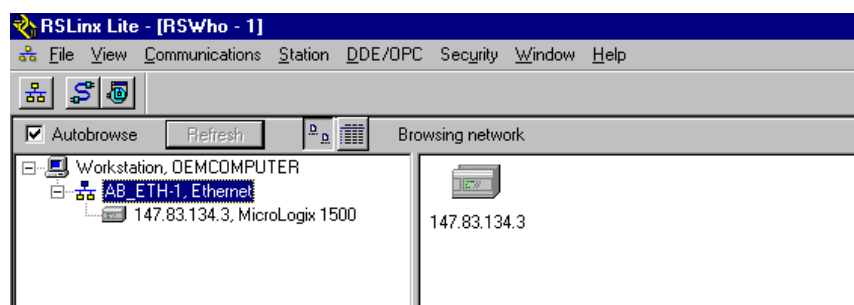


Figura 10.3: Pantalla principal de RSLinx Lite

10.2. RSLogix 500

RSLogix 500 es el software destinado a la creación de los programas del autómata en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógica de escalera (*Ladder*).

Existen diferentes partes dentro de la aplicación, las más importantes son: el editor *Ladder*, el panel de resultados (donde se genera la lista de errores por medio del verificador de proyectos) y el árbol de proyectos mediante el cual se manejan todas las posibilidades existentes.

Este producto se ha desarrollado para funcionar bajo el sistema operativo Windows®.



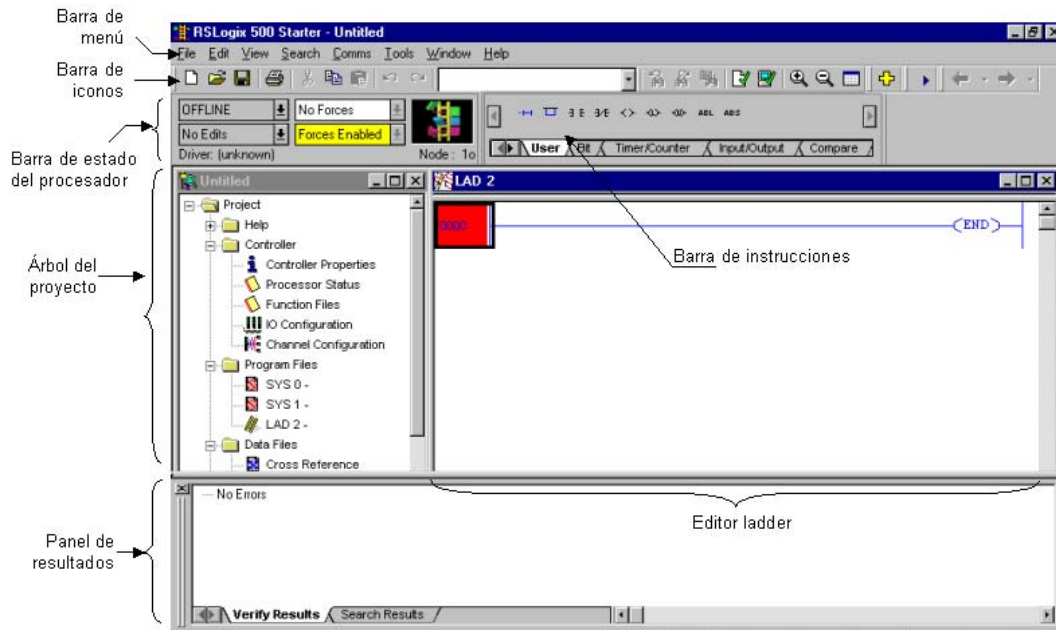


Figura 10.4: Pantalla principal del RSLogix 500

Al iniciar un nuevo proyecto con el RSLogix 500 se debe especificar el tipo de autómeta utilizado y la red de comunicación a la que pertenece. Escogemos el MicroLogix 1500 LSP series C y lo cargamos.

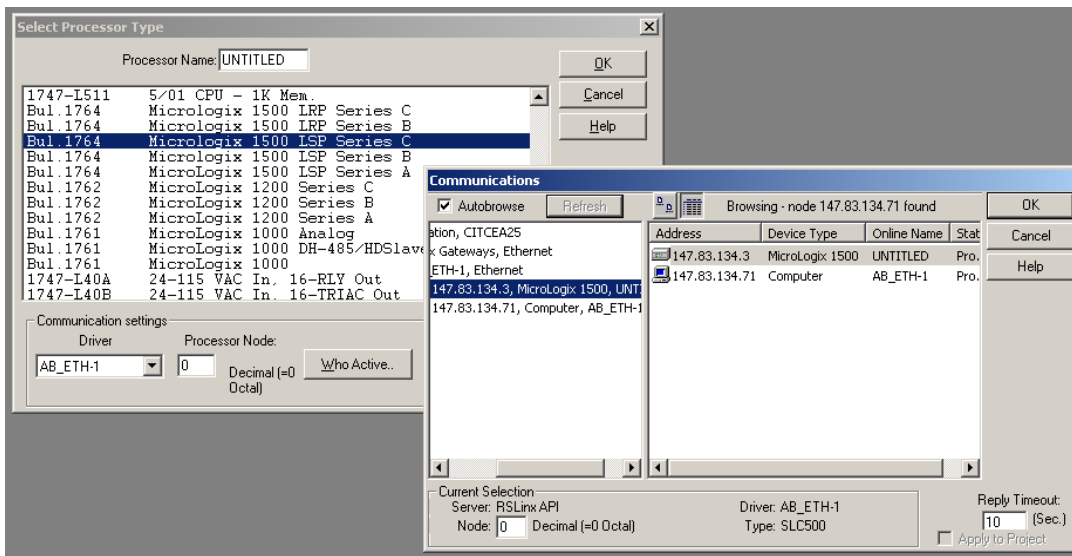


Figura 10.5: Selección del procesador

Si la red se ha configurado de manera correcta anteriormente en el RSLinx, ésta ya aparecerá como opción de *driver* en el menú desplegable de *Communications settings* (figura 10.5). Si no apareciera se puede acceder también a las redes existentes mediante el



pulsador *Who Active* o desde el apartado *Controller Properties* del árbol de proyecto (figura 10.4), apareciendo una ventana que se muestra en la figura 10.6.

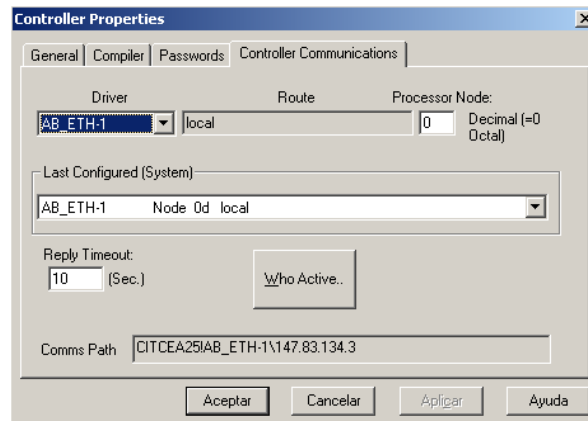


Figura 10.6: Configuración de las comunicaciones del autómata

Si no apareciese la red especificada debe volver a configurarse mediante RSLinx.

Una vez configurados estos parámetros, el alumno será capaz de enviar el programa al autómata, interactuar con él mediante el forzado de variables y visualizar los resultados obtenidos mediante las imágenes de la cámara web (figura 10.7). Para ello solo debe desplegar las opciones de la barra de estado del procesador (figura 10.4) y pasar del modo *offline* a *download*. Con esto el programa ya se enviará al autómata. Se deben aceptar las distintas peticiones que realiza el software hasta llegar al modo *remote run*, es decir, funcionamiento remoto. Este procedimiento está ampliamente explicado en el Anexo B.4, con la explicación de los problemas usuales que se pueden encontrar.

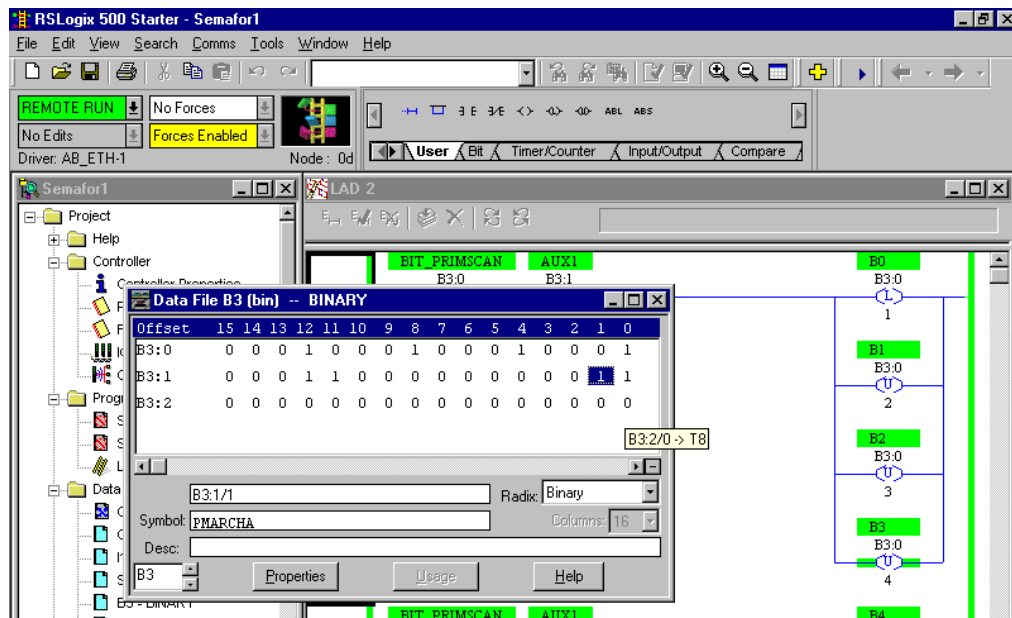


Figura 10.7: Programa *on-line* y forzado de entrada



11. Planta de prácticas

Uno de los objetivos básicos en la realización de las plantas del laboratorio remoto fue el hecho que fueran reales y se pudieran programar de manera completa. Como se ha expuesto en el apartado 6.2, este tipo de experiencias tienen un contenido educativo mayor que las virtuales ya que el estudiante se implica más en el proceso de aprendizaje.

Al poderse programar íntegramente, son susceptible a desperfectos por programaciones incorrectas de los alumnos. Por tanto debía ser robusta, sin componentes demasiado complejos de controlar (por ejemplo elementos neumáticos) o consumos energéticos demasiado importantes. El mantenimiento requerido o la intervención del personal debía ser pequeño o nulo, ya que una de las propiedades que debía tener era la de ser autónoma.

También debía permanecer en activo durante las 24 horas del día, permitiendo así la flexibilidad de horarios que es uno de los pilares de la educación a distancia. Debido a esta cuestión se ha creado además un sistema de iluminación que es accionado por el propio alumno cuando la situación lo requiere (figura 11.6).

Por otro parte debía adaptarse al autómatas disponible en el laboratorio, con 12 entradas digitales y 12 salidas de tipo relé. Esto implicaba que si se quería brindar una oferta de al menos dos prácticas, para ofrecer un poco de variedad, no podían ser plantas muy complejas.

También debían permitir que se apreciaran los cambios acaecidos de manera clara en las imágenes, así como ser de pequeño tamaño para permitir la utilización de una sola cámara web para las dos plantas más el PLC. Es importante que éste también se muestre para dar una sensación mayor de prácticas reales y para poder visualizar los LEDs que este presenta.

Como última premisa, pero no menos importante, debía ser un sistema económico para que se pudiesen reproducir sin coste elevado en las universidades a las que está destinado este curso.

Con estas condiciones se resolvió la creación de una planta de un cruce de calles regulado por dos semáforos y la de un motor paso a paso.

Otro aspecto a comentar es que no se ha utilizado las entradas disponibles en el autómatas. Puesto que la complejidad debía ser mínima no se han utilizado detectores, y los únicos sistemas de entrada de datos, los pulsadores, se fuerzan por el alumno mediante el software de programación.



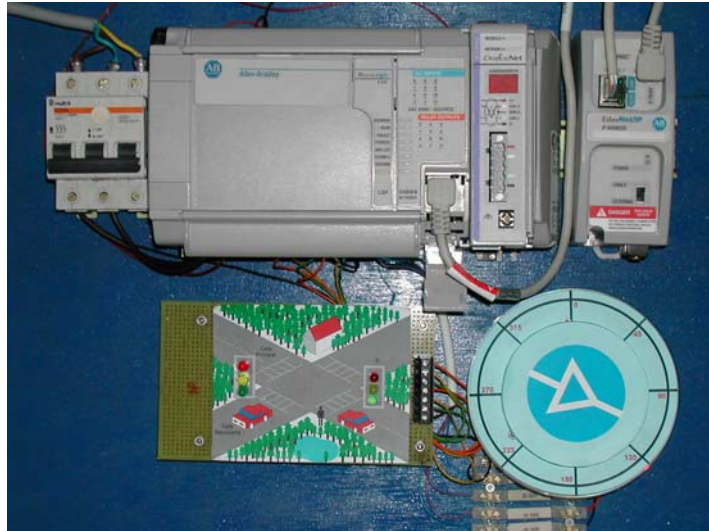


Figura 11.1: Vista de las plantas de prácticas

11.1. Montaje de la planta

La alimentación correspondiente a la planta se realiza mediante un cable eléctrico a una toma de tensión de 230 V_{CA}. El sistema está protegido por un magnetotérmico.

Para la protección de la línea de corriente alterna que va al controlador se ha utilizado un transformador de aislamiento. Este tipo de transformador proporciona aislamiento desde el sistema de distribución y reduce el ruido eléctrico que entra al controlador. En nuestro caso se ha usado un transformador monofásico Minaven modelo MO001 16830 5R5.

Todos los elementos que forman las prácticas remotas trabajan a 24 V_{CC} y toman la alimentación de la fuente del autómatas, que hace la transformación de la toma de tensión principal.

11.2. Maqueta de cruce semafórico

Confección de la maqueta

La maqueta del cruce semafórico consiste en el cruce de una calle principal con una secundaria, con sus respectivos semáforos (figura 11.2). Esta experiencia se utiliza con éxito en una asignatura presencial del departamento, y se ha adaptado a las necesidades del proyecto. Se ha reducido su tamaño, se le ha dado una apariencia más atrayente y se han reemplazado los pulsadores necesarios por el forzado de bits mediante el software.



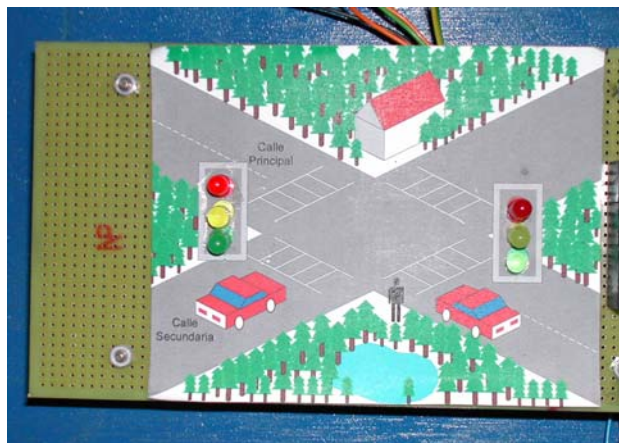


Figura 11.2: Vista del cruce semafórico

Para su confección se ha utilizado una placa estándar de fibra de vidrio sobre la que se han montado directamente los componentes del circuito, que son LEDs y resistencias.

Los cálculos realizados son muy sencillos y se basan en la Ec. 11.1:

$$R = (E - V_d) / I_d \quad (\text{Ec. 11.1})$$

Siendo E la tensión de alimentación ($24V_{CC}$), V_d la tensión en bornes del LED e I_d la corriente que lo atraviesa. La corriente I_d se recomienda que se encuentre 10 y 20 mA para conseguir una intensidad luminosa suficiente.

Enunciados de la prácticas remotas

Los enunciados de las diferentes prácticas se han complementado de gráficos temporales explicativos y de una posible solución comentada (Anexo B6) con la incorporación del Grafset de control.

Los enunciados planteados son:

A. Cruce de calles con dos semáforos

En la primera parte de esta práctica se trata de controlar el encendido de las luces de dos semáforos para coches, colocados en un cruce de unas calles. El funcionamiento de los semáforos será el típico de un semáforo (verde-ámbar-rojo), y seguirá el diagrama de tiempos especificado en la figura 11.3.



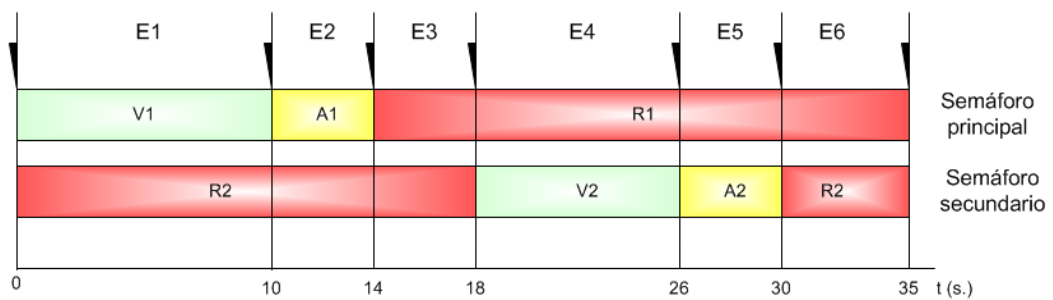


Figura 11.3: Diagrama de tiempos del apartado A

B. Cruce de calles con pulsador para peatones

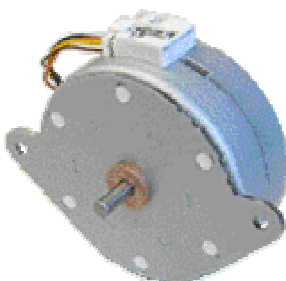
En la segunda parte se simulará un pulsador de paso de peatones para cruzar la calle principal que también se podría asimilar al funcionamiento de un detector de vehículos en la calle secundaria. Es decir, inicialmente el semáforo de la calle principal se encuentra en verde y el de la calle secundaria en rojo. Al detectar un vehículo en la calle secundaria o al pulsar el pulsador de peatones se iniciará una nueva rutina. Después de asegurar un tiempo mínimo en verde del semáforo principal (5 s) éste pasará a ámbar y después a rojo, mientras que el semáforo secundario (o en este caso lo podemos identificar también con el de los peatones) pasará a ámbar y a verde intermitente.

11.3. Maqueta de motor paso a paso

Se escogió esta práctica debido a la sencillez y robustez que presentan estos motores, unido al hecho que son un elemento muy cotidiano que se pueden encontrar en juguetes, ordenadores,...

Confección de la maqueta

Para la realización de esta maqueta se ha utilizado un motor paso a paso de pequeño tamaño de MINEBEA (PM35L-024), con un soporte realizado con metacrilato.



| Motor | Minebea PM35L-048 |
|---------------------------|------------------------------|
| Nº pasos por rotación | 24 (15° / paso) |
| Drive Method | 2-2 fase |
| Drive Circuit | Unipolar a voltaje constante |
| Voltaje de funcionamiento | 24 V |
| Resistencia del bobinado | 100 Ω |
| Temperatura operacional | -30 a 80 °C |

Figura 11.4: Maqueta del motor paso a paso [16]



La intensidad que circula por las diferentes bobinas se limita a valores aceptables mediante el uso de resistencias.

Enunciados de las prácticas remotas

Las prácticas vienen complementadas por una parte teórica sobre el funcionamiento de los motores paso a paso. Los apartados de las prácticas consisten en los diferentes modos utilizados para controlar este tipo de motores.

A. Secuencia Normal.

Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto par de paso y de retención.

B. Secuencia del tipo *wave drive*

En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores ésto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el par de paso y retención es menor.

C. Secuencia del tipo medio paso

En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma que brindan un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero dos bobinas y luego solo una y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de ocho movimientos en lugar de cuatro.

D. Giro de 45°.

Con la secuencia de paso normal conseguir que el motor paso a paso gire exactamente 45° respecto a la posición inicial.

E. Giro antihorario.

Con la secuencia de paso normal conseguir que se pueda realizar la secuencia en modo horario y antihorario con la ayuda de un interruptor simulado.

Estas prácticas también vienen complementadas por gráficos temporales de ayuda y por una posible solución comentada. Para verlas de forma más detallada se puede recurrir al Anexo B.5.



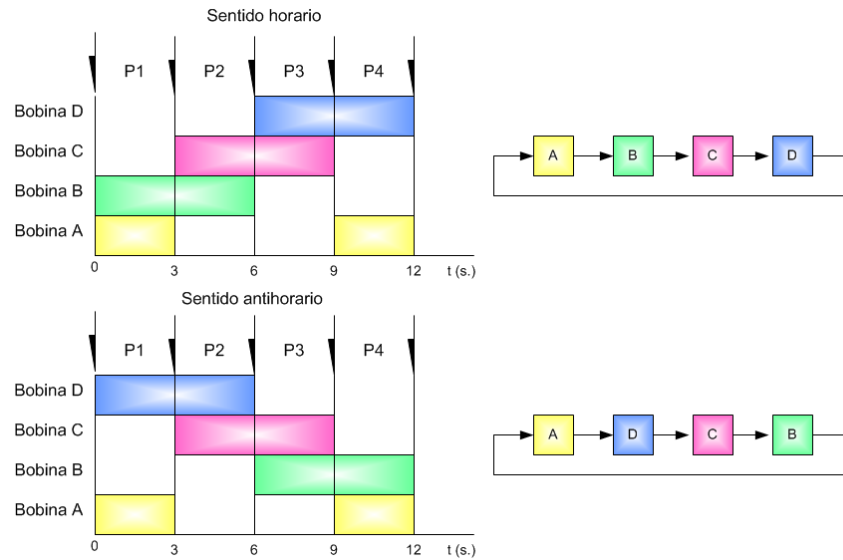


Figura 11.5: Secuencias de cambio de sentido

11.4. Iluminación nocturna

Para asegurar la posibilidad de realizar las prácticas 24 horas al día, se ha instalado un sistema de iluminación activado por el propio alumno que consiste en dos focos situados estratégicamente.



Figura 11.6 : Iluminación nocturna

Estos focos se alimentan a 230 V_{CA} y se activan mediante el forzado de una salida del autómata conectada a un contactor estático.



11.5. Relación de salidas del autómata.

En la tabla 11.1 se exponen las salidas ocupadas del autómata.

| Numeración | Referencia | Descripción |
|------------|------------|---|
| O:0/0 | - | Iluminación nocturna |
| O:0/2 | R1 | Luz roja del semáforo de la calle principal |
| O:0/3 | A1 | Luz ámbar del semáforo de la calle principal |
| O:0/4 | V1 | Luz verde del semáforo de la calle principal |
| O:0/5 | R2 | Luz roja del semáforo de la calle secundaria |
| O:0/6 | A2 | Luz ámbar del semáforo de la calle secundaria |
| O:0/7 | V2 | Luz verde del semáforo de la calle secundaria |
| O:0/10 | BOB_A | Bobina A |
| O:0/11 | BOB_B | Bobina B |
| O:0/9 | BOB_C | Bobina C |
| O:0/8 | BOB_D | Bobina D |

Tabla 11.1: Relación de salidas del autómata



12. Resultados obtenidos

Este curso puede servir de complemento al aprendizaje presencial de programación de autómatas con las siete prácticas planteadas, así como aportar una visión global del mundo de la automatización. Estas prácticas son reales y completamente programables por el estudiante, que las puede visionar a partir de una página web desde cualquier lugar del mundo. Lo que garantiza una motivación extra para el alumnado. Su comprensión se facilita enormemente a través del material explicativo que las complementa.

Es un laboratorio totalmente autónomo que no requiere mantenimiento ni intervención de personal para su funcionamiento continuado durante las 24 horas del día. No existe posibilidad de encasquillamiento o de que existan desperfectos debido a su sencillez y robustez, y dispone de un sistema de iluminación propio. Por este motivo puede ser realizado en cualquier centro educativo sin requerir consumo de tiempo por el personal docente.

Las maquetas del laboratorio remoto se han realizado de forma económica, hecho que facilitará su diseminación a través de las universidades correspondientes. Se han materializado en pequeño tamaño sin perder por ello contenido.

El texto teórico (con una extensión de unas 100 páginas) y sus enlaces, cubren de forma completa los puntos más esenciales de la automatización industrial, y puede ser una perfecta introducción a este campo con una sencilla base técnica del usuario.

La página web resulta un método muy eficaz de comunicación con el alumno, al que se puede acceder desde cualquier parte del mundo a cualquier hora, alcanzando de esta manera las premisas básicas de la educación a distancia.

Con la experiencia acumulada en la realización del proyecto, se ha publicado un artículo sobre experimentación remota en el primer Simposio de Ingeniería Remota y Instrumentación Virtual (REV) realizado del 28 al 29 de septiembre de 2004 en Villach (Austria), con el nombre de *Experience in Remote Automation Laboratories with Virtual and Real Plants*.





Conclusiones

En este proyecto se ha realizado un curso de educación a distancia sobre automatización industrial con prácticas de autómatas programables por Internet, funcional las 24 horas del día desde cualquier lugar del mundo.

A nivel de cumplimiento de los objetivos prefijados se han alcanzado todos a excepción de la realización de las funciones de seguridad debido a los problemas que presentaba, como se ha comentado en el capítulo 8. Se ha obtenido dos plantas de prácticas económicas con las que se puede realizar siete prácticas distintas y se ha creado un texto teórico de introducción a la materia.

El 13 y 14 de septiembre de 2004 se realizó la primera reunión del programa ALFA obtenido por el grupo de trabajo LEAL (*Latin-American and Europe Automation Learning*) con el nombre de *Interactive programs for distance learning of modules of industrial automation*. En ella se expuso el presente proyecto, que fue acogido con gran interés y se planteó la posibilidad de utilizarlo para una enseñanza formal. De esta manera se le ha dado un reconocimiento internacional en Austria, Portugal, España, Cuba, Brasil, Venezuela y Argentina. Al que se debe añadir la difusión adquirida en el Simposio REV (*Remote Engineering and Virtual Instrumentation*) realizado en Austria, a través del artículo publicado.

También se planteó en la reunión la posibilidad de adherirlo a los entornos normalizados que han surgido para la creación de cursos a distancia por Internet. En este sentido se va a continuar la línea establecida en el presente documento mediante un proyecto de final de carrera de un estudiante de ingeniería eléctrica de la Escuela de Urgell.

A nivel del proyecto de cooperación existente se prevé que en un futuro próximo se adhieran nuevos países para la creación de la Universidad del Caribe y existe una ayuda del CCD para desplazarse a Santo Domingo (República Dominicana) durante este curso para la implantación de estas plataformas.



Agradecimientos

Quisiera agradecer al equipo del CITCEA del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la ETSEIB su inestimable ayuda y paciencia, sin cuya colaboración no hubiera sido posible la realización de este Proyecto.



Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] SUMPER, A., [et al.]. *Experience in Remote Automation Laboratories with Virtual and Real Plants. REV*, 2004.
- [2] GARCÍA, L., SANZ, F., *Curso de Formación de Profesores en EaD*. Madrid. Ministerio de educación, cultura y deporte, 2003.
- [3] CASTRO, M., [et al.], *Examples of Distance Learning Projects in the European Community. IEEE Transactions on education*. Vol. 44, 2001, p. 406-410.
- [4] PATON, A., *What Industry Needs From Universities for Engineering Continuing Education. IEEE Transactions on education*. Vol. 45, 2002, p. 7-9.
- [5] HAMBURG, I., [et al.], *Individual And Collaborative Learning within Virtual Laboratories. International REV (Remote Engineering Virtual Instrumentation) Symposium, 2004*
- [6] PESTER, A., AUER, M.E., *A Master Study Program for "Remote Engineering". International REV (Remote Engineering Virtual Instrumentation) Symposium, 2004*
- [7] JARA, P., [et al.], *Tecnologías de la información y las Comunicaciones en el Desarrollo: Retos y Perspectivas*, Informes ESF 1, 2003
- [8] INTERNATIONAL COMMUNICATION UNION – ASOCIACIÓN DE USUARIOS DE INTERNET. *Distribución del número de usuario de Internet (Febrero 2002)* [<http://www.aui.es/estadi/iestadi.htm>, 27 de octubre de 2004]
- [9] KRUMOVA, A., LYUTOV, N., *Aspects of Quality and Evaluation of On-line Learning Platforms. International REV (Remote Engineering Virtual Instrumentation) Symposium, 2004*
- [10] RSLogix 500, Programming for the SLC 500 and MicroLogix Families, Getting Results Guide, Doc ID LG500-GR001A-EN-P [<http://www.ab.com/micrologix>, 27 de octubre de 2004]
- [11] ROCKWELL AUTOMATION. *1761-NET-ENI - Compatibility Matrix and Functionality*



Explanation, Dennis Wylie.

[http://support.rockwellautomation.com/softwareconnection/swc01_2/1761netenicompatability.asp, 23 de octubre de 2004]

- [12] CISCO SYSTEMS. *Internetworking Technology Handbook. Ethernet Technologies.* Chapter 7 [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ethernet.htm], 21 de octubre de 2004]
- [13] BERGAS, J., CITCEA, *Master en mecatrónica. Módulo de Comunicaciones. Ethernet/IP (Industrial Protocol)*, 2004
- [14] TUTORIAL VIRTUAL DE ANTONIO BARRAGÁN. DEPARTAMENTO DE ING. ELECTRÓNICA, SISTEMAS INFORMÁTICOS Y AUTOMÁTICA. UNIVERSIDAD DE HUELVA. *Ampliación de Automatización industrial: Introducción a las redes de comunicación industriales*, [<http://www.uhu.es/antonio.barragan>], 21 de octubre de 2004]
- [15] POWERBOX. Hyperion Series 100W Single Output AC/DC High performance [http://www.powerbox.se/products/pdf/hyperion_productsheet.pdf], 21 de octubre de 2004]
- [16] MINEBEA, Motor PM35L-024 [http://www.eminebea.com/content/html/en/motor_list/pm_motor/pdf/pm35l024.pdf], 14 de octubre de 2004]

Bibliografía complementaria

- [17] LEVA, A., *A Hands-On Experimental Laboratory for Undergraduate Courses in Automatic Control. IEEE Transactions on education.* Vol. 46, 2003, p. 263-272.
- [18] HASSAPIS, G., *An Interactive Electronic Book Approach for Teaching Computer Implementation of Industrial Control Systems. IEEE Transactions on education.* Vol. 46, 2003, p. 177-184.
- [19] KIONG, K., HENG, T., YEE, C., *Internet-Based Monitoring of Distributed Control Systems – An Undergraduate Experiment. IEEE Transactions on education.* Vol. 45, 2002, p. 128-134.
- [20] MARTINEZ-GARCIA, J.C., GARRIDO, R., *Mechatronics Hands-on training through the Development of an Internet-based Automatic Control Laboratory. IEEE International Conference on Control Applications*, 2001, p. 131-134.



- [21]** KO, C., [et al.], *Development of a Web-Based Laboratory for Control Experiments on a Coupled Tank Apparatus. IEEE Transactions on education*. Vol. 44, 2001, p. 76-86.
- [22]** CASINI, M., PRATTICHIZZO, D., VICINO, A., *The Automatic Control Telelab: A User-Friendly Interface for Distance Learning. IEEE Transactions on education*. Vol. 46, 2003, p. 252-257.

