

# COMUNICACIONES INDUSTRIALES EN LAS TITULACIONES DE INGENIERÍA DE ICAI

S.ALEXANDRES FERNÁNDEZ, J.A.RODRÍGUEZ MONDÉJAR, J.D.MUÑOZ FRÍAS  
*Departamento de Electrónica y Automática. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)  
Universidad Pontificia Comillas de Madrid. España.*

*Este artículo describe la metodología llevada a cabo en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas en el diseño y puesta en marcha de un curso de Comunicaciones Industriales. El curso tiene como objetivo introducir al alumno en el mundo de las comunicaciones aplicadas a la industria tanto en los aspectos fundamentales, como en su aplicación al mundo industrial, y teniendo en cuenta los aspectos importantes de seguridad, determinismo y disponibilidad. El curso está dirigido a alumnos con poca o ninguna formación en comunicaciones y hace un uso intensivo del laboratorio.*

## 1. Introducción

Al igual que el mundo de las comunicaciones ha experimentado un gran avance, también lo ha hecho su aplicación al mundo industrial. Un componente importante de cualquier máquina o sistema industrial son las comunicaciones digitales. Forman parte de los sistemas de control de la energía, de las plantas automatizadas, del automóvil, de la aviónica, del ferrocarril, de la instrumentación, etc. Estas comunicaciones tienen un carácter diferenciado de las redes de ordenadores convencionales: fiabilidad, seguridad, tiempo real, medio físico, etc. Este carácter justifica el uso del término “Comunicaciones Industriales”, de amplia difusión en el mundo universitario e industrial. Como término alternativo también se utiliza “Redes Industriales”. Las expectativas indican una demanda sostenida de ingenieros con formación en comunicaciones industriales. Nuestro departamento universitario tiene actualmente varias líneas de trabajo importantes en las cuáles este tipo de comunicaciones hacen un uso extensivo y donde se colabora con empresas del sector ferroviario (SEPSA, ADIF), energético (GAMESA, ENDESA), automatización (TELVENT), etc. Por otro lado, la reducción de las carreras de seis años a cinco años ha hecho que en algunos planes de estudios que se imparten en nuestra escuela, haya casi desaparecido las enseñanzas de las materias relacionadas con las comunicaciones y, en concreto, con las comunicaciones industriales. Concientes de las necesidades de la industria [1], se ha introducido en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) un curso completo sobre Comunicaciones Industriales organizado bajo la estructura de un diploma: Diploma en Comunicaciones Industriales. Actualmente se está ofreciendo en su segundo año con unos resultados muy satisfactorios. El éxito del curso ha obligado a ampliar las sesiones de laboratorio y a limitar el número de plazas. Otras universidades españolas están haciendo cursos similares [2][3] para cubrir las necesidades industriales arriba descritas.

## 2. Objetivos y organización

El objetivo docente general del Diploma en Comunicaciones Industriales es el conocimiento y aprendizaje de las técnicas básicas sobre comunicaciones digitales en el entorno de los sistemas de automatización industrial y de la gestión de edificios. Este objetivo busca cubrir tanto el los fundamentos de comunicaciones como el conocimiento del funcionamiento de las redes industriales y sus protocolos, así como las distintas aplicaciones. Estos objetivos generales se han plasmado en unos objetivos concretos: conocimiento de los detalles del funcionamiento físico, lógico y de control de las comunicaciones industriales; estudio de los principales estándares internacionales en

que se basan las redes industriales actuales; capacitación del alumno para analizar, planificar y desarrollar aplicaciones basadas en redes industriales que incluye tanto la elección de equipos, diseño de la instalación y su programación. El diploma está formado por dos asignaturas fundamentales: Fundamentos de Comunicaciones Industriales con 4.5 créditos docentes (45 horas) y Comunicaciones Industriales Avanzadas con 4.5 créditos docentes (45 horas). A estas dos asignaturas fundamentales se han unido unas asignaturas previas sobre electrónica digital y microprocesadores que son cursadas por el alumno en función de su procedencia. Estas dos últimas asignaturas permiten modular el diploma según la formación de partida del alumno, de tal forma, que el alumno llega a cursar las dos asignaturas fundamentales del diploma con una formación semejante desde diferentes caminos (ingeniería industrial, ingeniería informática, ingeniería técnica informática e ingeniería técnica industrial). Las dos asignaturas sobre comunicaciones se organizan como 30 horas de teoría y 15 horas de laboratorio, tanto en el primer semestre como en un segundo semestre. Aunque las prácticas de laboratorio están pensadas para ser realizadas en el tiempo estipulado, se sigue una política de puertas abiertas: el alumno puede ir al laboratorio fuera del horario previsto para terminar la práctica o lo que suele ser más habitual, realizar partes opcionales.

#### 4. Contenidos teóricos

Como se ha comentado el diploma de comunicaciones industriales se cubre con dos asignaturas y que cada una de ellas cubre unos objetivos concretos. Tal como se ha comentado cada uno de los cursos tiene un total de 30 horas asignadas a un nivel teórico y 15 horas a un nivel práctico. Estos contenidos, reflejados en la Tabla 1 y 2, están organizados como se describe a continuación:

*Fundamentos de Comunicaciones Industriales.* El objetivo de este curso es aprender las técnicas básicas de comunicación entre equipos electrónicos, por ejemplo PLCs, robots, etc., que se utilizan a nivel industrial. Se pone el énfasis en la comunicación serie elemental, tanto en el nivel hardware como en el nivel software. Tal que al final del curso el alumno debe ser capaz de:

- Discutir e interpretar las ventajas y desventajas de los medios, topologías y protocolos básicos empleados en el medio industrial.
- Conocer los fundamentos básicos de las comunicaciones, diferenciando los principales niveles, tanto físico, de enlace y aplicación, así como el conocer los principales medios físicos empleados en las comunicaciones.
- Conocer los elementos básicos de una red de comunicaciones de tipo industrial, usando RS232 y RS 485 desde un punto de vista práctico basado en sesiones de laboratorio.

| Temas   | Hrs |
|---|-----|
| Introducción a las comunicaciones. Nivel físico. Concepto de red y niveles de interconexión.                  | 1.5 |
| Análisis de topologías de interconexión. El uso y concepto de protocolos usados en las comunicaciones         | 3   |
| Comunicaciones digitales y analógicas. Representación de la información.                                      | 1.5 |
| Mecanismos de codificación y multiplexación de la información.<br>Mecanismos de acceso al medio.              | 4.5 |
| Medios de transmisión. La interfaz eléctrica y el medio físico<br>Medios de transmisión guiados y no guiados. | 3   |
| Comunicaciones básicas. Comunicaciones paralelo y serie. Estándares y comunicaciones RS232.                   | 3   |
| Introducción a buses de campo empleados en la industria. Introducción a redes industriales usando RS485.      | 3   |
| Diseño de redes con RS485 y mecanismos de protección industriales.  | 3   |
| Comunicaciones industriales MODBUS.   | 3   |
| Análisis de otros buses empleados en la industria. TCN, CAN, ASI y FIELDBUS                                   | 3   |
| Examen  | 1.5 |

**Tabla 1.** Contenidos del curso Fundamentos de Comunicaciones Industriales.

*Comunicaciones Industriales Avanzadas*. El objetivo de este curso es presentar una visión global de las redes de comunicación en el mundo industrial, tanto del punto de vista teórico como práctico. Se analizarán los principales conceptos, como el modelo OSI, la interconexión y las redes de comunicaciones industriales basada en Ethernet. Tal que al final del curso el alumno debe ser capaz de:

- Conocer los principales medios de interconexión de redes.
- Conocer el funcionamiento de Ethernet IEEE802.3 y los principales estándares IEEE en comunicaciones.
- Conocer los fundamentos básicos de TCP/IP y las bases de la seguridad y protección.
- Conocer las aplicaciones de redes de interconexión en el mundo industrial desde un punto de vista práctico ensayado en específicamente en un laboratorio diseñado para ello.

| Temas   | Hrs |
|---|-----|
| Revisión de los conceptos y fundamentos de comunicaciones industriales. RS485 y MODBUS.       | 3   |
| Conceptos de redes de interconexión. Niveles OSI y modelos de interconexión.                  | 1.5 |
| Comunicaciones y redes. Conceptos de LAN, WAN, WPAN, y arquitecturas.                         | 1.5 |
| Análisis de topologías, buses, anillo, estrellas y árbol. Concepto MAC y LLC.                 | 1.5 |
| Arquitecturas con routers, bridges, switches y hubs.  | 3   |
| Introducción a redes inalámbricas. Conceptos de sistemas celulares, WiFi, Bluetooth y Zigbee. | 3   |
| Redes de área local. Revisión de estándares más empleados. IEEE802.3, 802.5, 802.11           | 4.5 |
| Introducción y descripción de capa de red y capa de transporte. IP y TCP.                     | 4.5 |
| Conceptos de control y seguridad. Algoritmos de cifrado y autenticación. DES, HASH, RSA.      | 3   |
| Aplicaciones industriales: SCADA.   | 3   |
| Examen  | 1.5 |

**Tabla 2.** Contenidos del curso Comunicaciones Industriales Avanzadas.

## 5. Contenidos prácticos y laboratorio

El laboratorio ha sido desarrollado siguiendo tres objetivos:

- El alumno debe sentir desde el primer momento que controla todos los niveles de la cadena de comunicaciones, desde el físico al de aplicación
- Debe ser un laboratorio que no utilice sofisticados medios para que el alumno puede trabajarlos en casa o aplicarlo a sus “inventos”.
- Debe haber un equilibrio entre la programación y las realidades físicas (cables, instrumentos, convertidores, osciloscopio, distintos programas, etc).

Las prácticas de *Fundamentos de Comunicaciones Industriales* se centran en la RS232 y en la RS485 en un nivel muy básico. Las prácticas de *Comunicaciones Industriales Avanzadas* desarrolla la RS485 a través del protocolo MODBUS y asienta los principios para el uso de redes tipo ethernet.

Las dos siguientes tablas recogen las prácticas realizadas, los objetivos principales de cada práctica y los objetivos concretos para cada objetivo principal.

| Práctica                                   | Objetivos   | Hrs |
|--|---|-----|
| 1. Herramientas básicas para usar la RS232 | <p>Uso de herramientas básicas para poner en marcha y depurar un sistema de comunicaciones basado en RS232:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo básico de la herramienta HyperTerminal.</li> <li>• Manejo básico de la herramienta comDebug de Windmill.</li> <li>• Conocer los parámetros básicos para configurar las comunicaciones basadas en RS232.</li> <li>• Solucionar problemas típicos en las comunicaciones RS232: error en el cable, error en los parámetros de configuración, salida ASCII defectuosa por pantalla, etc.</li> </ul> | 3   |

|   |   |     |
|---|---|-----|
| 2. Estudio del nivel físico en la RS232 y en la RS485 | <p>Estudio físico de la RS232 y de la RS485 y su relación cuando conviven en un mismo sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar el osciloscopio para estudiar la señal en una línea RS232 y en una línea RS485.</li> <li>• Determinar los niveles de funcionamiento de la RS232.</li> <li>• Determinar los niveles de funcionamiento de la RS485.</li> <li>• Determinar a partir de los oscilogramas los parámetros de la transmisión que se está utilizando: velocidad, bit de comienzo, dato, paridad, bit de stop.</li> <li>• Determinar los retardos debidos al convertidor RS232-RS485</li> <li>• Gestionar una comunicación maestro-varios esclavos a través de la RS485.</li> </ul>   | 3   |
| 3. Programación básica de la RS232                    | <p>Programación de las comunicaciones en un entorno de desarrollo basado en C. El entorno es equivalente para otros lenguajes como visualbasic, .net, java, etc:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar un API sencilla para comunicaciones.</li> <li>• Realizar programas sencillos en C para gobernar la RS232.</li> <li>• Entender y dar soluciones al carácter asíncrono de las comunicaciones en la recepción de datos</li> </ul>   | 3   |
| 4. Manejo de un osciloscopio vía RS232                | <p>Utilización de un equipo a través de una red de comunicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciar que en toda comunicación hay como mínimo tres niveles: nivel físico (RS232 con un determinado cable); nivel de protocolo (punto a punto entre un maestro, el ordenador, y un único esclavo, el osciloscopio, basado en la transmisión de cadenas ASCII; nivel de aplicación (comandos y datos que se intercambian ordenador y osciloscopio).</li> <li>• Aplicar una guía estructurada para desarrollar programas de comunicaciones que permitan controlar un instrumento vía RS232: comprobar los cables de comunicaciones con herramientas estándar (práctica 1); comprobar el funcionamiento del instrumento mediante el cable preparado y un programa estándar; crear un programa simple para a través de una API estándar controlar el instrumento; y crear el programa definitivo de control del instrumento.</li> </ul> | 4,5 |

**Tabla 3.** Prácticas del curso Fundamentos de Comunicaciones Industriales

| Práctica      | Objetivos  | Hrs |
|---------------|--|-----|
| 1. Bus MODBUS | <p>Utilización y programación de una red MODBUS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciar los tres niveles fundamentales de la red MODBUS: nivel físico (RS485); nivel de protocolo (trama básica del protocolo MODBUS y organización maestro/esclavo); y nivel de aplicación (funciones y datos disponibles en el equipo).</li> <li>• Trabajar la red modbus en modo programación y en modo mantenimiento: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Programación: montar la red con un maestro y varios esclavos. Probar con windmill. Programar el maestro para crear un sistema complejo dirigido por el maestro (un PC o un PLC).</li> <li>2. Mantenimiento: utilizar una herramienta como windmill como espía para capturar la información que circula entre maestro y esclavos con el fin de detectar anomalías.</li> </ol> </li> </ul> | 6   |
| 2. SCADA      | <p>Configuración de un pequeño SCADA para controlar una red de comunicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir la red de comunicaciones.</li> <li>• Definir los variables o tags del SCADA</li> <li>• Configurar los sinópticos.</li> </ul>   | 3   |
| 3. Ethernet   | <p>Programación en alto nivel de una red ethernet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción al uso del LabView.</li> <li>• Trabajar los protocolos TCP/IP y UDP.</li> <li>• Aplicación al control de un PLC de SIEMENS.</li> </ul>  | 4,5 |

**Tabla 4.** Prácticas del curso Comunicaciones Industriales Avanzadas.

Para la programación de las comunicaciones se han utilizado tres herramientas:

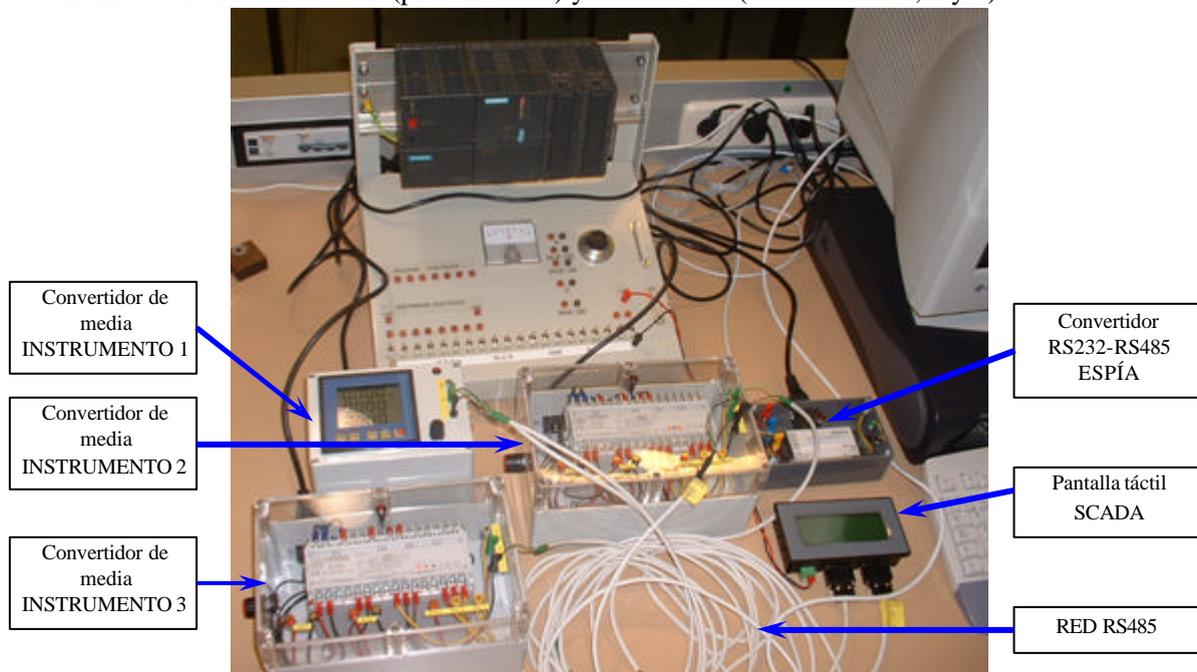
- C y C++ bajo MinGW para una programación de muy bajo nivel, donde el alumno puede observar y tener control total de la comunicación a nivel de trama.
- Configurador para SCADA NTXS de OMRON. El objetivo es mostrar al alumno un ejemplo de herramienta de programación, o mejor dicho, de configuración de comunicaciones, que le permita desarrollar rápidamente un programa de control para controlar una red de equipos y mostrar fácilmente sus resultados en una pantalla.
- LabVIEW como herramienta intermedia entre la flexibilidad de C y la velocidad de desarrollo del configurador de SCADA.

En las siguientes figuras (Fig. 1 y 2) se muestran parte de los equipos utilizados en el laboratorio:



**Figura 1.** Convertidor RS232-RS485 (casa SISTENA)    **Figura 2.** Multiconvertidor de medida (Casa SACI)

La siguiente figura (Fig.3) es un ejemplo de conexionado correspondiente a la práctica 2.SCADA de *Comunicaciones Industriales Avanzadas*. A través de una red RS485 se ha conectado una pantalla táctil que actúa como SCADA de 3 instrumentos de medida (multiconvertidores de medida). En la pantalla se visualizan medidas de los convertidores y se envían órdenes para apertura y cierre de relés. Desde el ordenador, a través del convertidor RS232-RS485 se espía la comunicación entre el maestro (pantalla táctil) y los esclavos (instrumentos 1, 2 y 3).



**Figura 3.** Ejemplo de práctica de Comunicaciones Industriales Avanzadas

#### **4. Los resultados y conclusiones**

La introducción de este diploma en comunicaciones industriales se ha saldado con un resultado exitoso, tanto por el número de alumnos, como por los alumnos que continúan estas disciplinas a través de proyectos fin de carrera o como ya recién titulados .

#### **Referencias**

- [1] T. Ozkul. *Teaching Fieldbus Standards to Computer Engineering Students*. IEEE Transactions on Education, Vol. 48. No. 1. 11-15. (2005)
- [2] M.A.Domínguez et.al. *Diseño de Sistemas de Comunicaciones Industriales para su Uso en la Enseñanza*. Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica. TAEE2004. Valencia, España 1-13 (2004).
- [3] J. Muñoz-Marí et.al. *Laboratorio de Sistemas Industriales Distribuidos: Un recorrido práctico por las tecnologías de comunicación industrial*. Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica TAEE2004. Valencia, España 1-11 (2004).