

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS: DOCENCIA MULTIDISCIPLINAR

*J. CEREZO, E. VEGA, C. BETANCOR, S. LEON y A. VEGA
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática (DIEA)
Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada (IUMA)
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)*

La docencia en contenidos de Integración de Sistemas tiene implícita una complejidad derivada de la multitud de disciplinas en los que se fundamenta, además de la multiplicidad de equipos y sistemas que se estudian. La experiencia desarrollada en varios años de impartición de esta materia nos ha llevado a plantear una metodología basada fundamentalmente en las prácticas de laboratorio materializadas en un completo trabajo de fin de curso.

1. Introducción

El Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria está integrado actualmente por 45 profesores del área de conocimiento de Tecnología Electrónica y por 6 de Ingeniería de Sistemas y Automática, estando presente en un total de 13 titulaciones impartidas en cuatro centros: ETSI de Telecomunicación, ETSI Industriales, EUIT de Telecomunicación y EU Politécnica.

Dentro de este amplio abanico, en varias titulaciones nos encontramos con una asignatura de carácter optativo en la que se deben impartir contenidos relacionados con Integración de Sistemas Electrónicos. Esta asignatura adopta distintas denominaciones dependiendo de la titulación: ‘*Sistemas de Supervisión y Control Datos*’ en la titulación de Ingeniero en Electrónica, ‘*Integración de Equipos*’ en la titulación de Ingeniero de Telecomunicación y ‘*Diseño de Sistemas de Supervisión y Control de Procesos Industriales*’ en las titulaciones de Ingeniero Industrial especialidad Electrónica Industrial y Automática, Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial e Ingeniero Químico [1,2,3].

En todos los casos se imparte en el laboratorio específico que aparece en la figura 1, denominado “Laboratorio de Integración de Equipos”.



Figura 1. Laboratorio de Integración de Equipos

Estas asignaturas están obligadas por su contenido a tratar temas de *Integración de Sistemas: Programación, PLC, SCADA, Sistemas Electrónicos, Protocolos de Comunicaciones y Adquisición de Datos*. La diversidad de disciplinas agrupadas implica cierta complejidad a la hora de plantear los objetivos y la metodología docente a utilizar.

De la experiencia acumulada tras varios años de docencia, se propone como metodología docente la realización de una única práctica global integradora. Un trabajo que demuestre el dominio de todos los temas del programa planteándolo como proyecto completo con estructura perfectamente definida: aplicación SCADA, drivers de comunicaciones, sistema de control con PLC y módulos remotos de adquisición. De tal forma, que el alumno debe plantearla como un trabajo de integración que incluya diferentes diseños y desarrollos individuales, utilizando medios y equipos vigentes actualmente en el mercado, semejantes a los que se podrá encontrar durante el ejercicio de su actividad profesional.

Para poder aplicar esta metodología es preciso que el alumno disponga de un puesto de prácticas dotado de los recursos hardware y software específicos, que además deben adaptarse a las nuevas tendencias y a la evolución tecnológica de los sistemas que se pretende integrar.

En este sentido, el laboratorio ha ido invirtiendo, a lo largo de varios años, para disponer en la actualidad de seis puestos con el siguiente equipamiento (figura 2) compartido por todas las asignaturas mencionadas: equipos de instrumentación básica (osciloscopio, generador y fuente de alimentación); PC con tarjetas de adquisición PCL de Advantech; conjunto de dos autómatas programables Telemecanique y S200 de Siemens; y conjunto de módulos de adquisición remotos con entradas y salidas analógicas y digitales (NuDam ND-6530, ND-6520, ND-6017, ND-6024, ND-6050). En cuanto al software, dispone de: herramientas de desarrollo SCADA como es Intouch de la firma Wonderware, de compiladores para desarrollo de aplicaciones (Visual Basic, Visual .Net), MATLAB, drivers de comunicaciones y diversas herramientas de administración correspondientes de las tarjetas y dispositivos instalados.



Figura 2. Equipamiento de cada puesto del Laboratorio de Integración de Equipos

Además de las asignaturas englobadas en la hipotética '*Integración de Sistemas*', el laboratorio es utilizado por otras, en muchos casos de cursos inferiores, que profundizan en elementos concretos como son los microprocesadores, autómatas programables, etc. Aportan los conocimientos previos necesarios para poder tratar más adelante un curso de integración de equipos y se benefician del equipamiento logrado para el laboratorio.

En la Tabla 1 se relacionan todas las asignaturas que utilizan el Laboratorio de Integración de Equipos.

Asignatura	Titulación	Horas de Laboratorio
Calculadoras	Ing. Industrial	8
Microprocesadores de Aplicación Industrial	Ing. Automática y Electrónica Industrial	30
Técnicas de Control	Ing. Telecomunicación	30
Sistemas Electrónicos de Control Continuo	Ing. Técnico de Telecomunicación	30
Sistemas Electrónicos de Control Discreto	Ing. Técnico de Telecomunicación	30
Autómatas programables	Ing. Electrónica	15
Sensores y actuadores	Ing. Técnico de Telecomunicación	15
Integración de Equipos	Ing. Telecomunicación	15
Integración de Equipos para comunicaciones	Ing. Telecomunicación	30
Sistemas Electrónicos	Ing. Telecomunicación	30
Sistemas de Supervisión y Control de Datos	Ing. Electrónico	15
Diseño de Sistemas de Supervisión y Control de Procesos Industriales	Ing. Industrial	30
Diseño de Sistemas de Supervisión y Control de Procesos Industriales	Ing. Automática y Electrónica Industrial	30
Diseño de Sistemas de Supervisión y Control de Procesos Industriales	Ing. Químico	30

Tabla 1. Asignaturas que utilizan el Laboratorio de Integración de Equipos

2. Integración de Sistemas

Los alumnos que reciben la docencia en estas asignaturas, tienen un perfil con unos conocimientos previos importantes y destacados en materias de distintas disciplinas: *programación estructurada, sistemas microprocesadores, transmisión digital y autómatas programables*.

Sin embargo, en la mayoría de los casos carecen de una visión global de conjunto y de las características que se requieren de cada uno de los componentes para componer el sistema de supervisión y control. O les falta el enfoque hacia las aplicaciones reales en las que, por ejemplo, a la hora de definir la frecuencia de registro de un sistema de adquisición de datos no se tiene en cuenta el rango de variabilidad de la magnitud medida

Después de varios años de docencia y de contacto con empresas del sector con las que, en algunos casos, se ha participado en la ejecución de proyectos, nos planteamos unos contenidos muy asociados con temas actuales: *sistemas SCADA, comunicaciones industriales, protocolos de comunicaciones y medios de comunicación*.

Dentro de los *Sistemas SCADA* se presentan las bases y características de los elementos que lo componen: estación principal, estaciones remotas y medios de comunicación; además, se estudia el desarrollo de *aplicaciones SCADA* con una herramienta específica. Se tiene en cuenta el entorno Windows, los *drivers* de comunicaciones y los métodos de comunicación entre procesos: *DDE* y *OPC* [4]. En este tema, se hace énfasis en la funcionalidad de los administradores de dispositivos como

Keeware [5]. En las *comunicaciones industriales* se comentan los *buses de campo*, las *redes de dispositivos*, las *redes de autómatas* y los *sistemas distribuidos*.

En cuanto a equipos electrónicos, se estudian diferentes alternativas con sistemas basados en microprocesador, arquitecturas del PC, tarjetas de adquisición de datos, módulos de adquisición de datos distribuidos, diferentes conversores de protocolo y radio-módems.

3. Metodología docente

La metodología que se sigue en la actualidad se basa en la exposición de los temas en clases magistrales y el desarrollo de los mismos en la realización de prácticas en el laboratorio. El planteamiento de las prácticas se enfocó inicialmente hacia prácticas individuales con contenidos excluyentes, es decir, pequeños objetivos independientes que eliminaban materia.

Sin embargo, la experiencia nos ha indicado el cambio hacia una práctica integradora, es decir, un único trabajo que demuestre el dominio de todos los temas, planteándolo como proyecto completo con estructura perfectamente definida: aplicación SCADA, drivers de comunicaciones, sistema de control con PLC y módulos remotos de adquisición. La figura 3 representa los módulos en los que se subdivide el proyecto de integración.

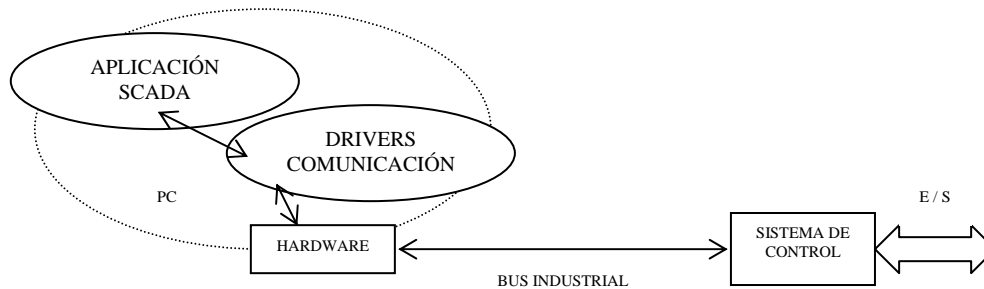


Figura 3. Módulos del Proyecto

Dependiendo de la titulación en la cual se desarrollen los contenidos (Ing. Industriales, Ing. de Telecomunicación, Ing. en Electrónica, Ing. En Automática y Electrónica Industrial o Ing. Químicos) se ponderan las cargas equivalentes de trabajo en cada parte del proyecto para que estén en consonancia con los objetivos globales de cada titulación.

En la Tabla 2 se relacionan las asignaturas que se podrían encuadrar dentro de la hipotética *'Integración de Sistemas'* con detalle de la titulación a la que pertenecen, del número de créditos asignados y observaciones acerca de la orientación de la asignatura.

Para todos los casos, se le pide al alumno el desarrollo de una aplicación SCADA a partir de unas especificaciones iniciales. Esto implica un desglose en diferentes actividades que incluyen:

- Descripción de la misión principal del SCADA.
- Definir la Estructura de la aplicación (ventana de presentación, ventana principal, ventana de informes, ventana de alarmas/eventos, ventana de históricos de evolución de parámetros singulares y ventana de estado de comunicaciones).
- Diseñar el contenido detallado y navegación entre las ventanas y subventanas (elementos visuales y acciones permitidas en función de privilegios de usuarios).
- Generación de informes, base de datos con listado de variables internas y externas (significado, unidades, relaciones).
- Establecer el enlace con drivers de comunicación.

- Programar el detalle de Scripts de control en tiempo de ejecución.

Por otro lado, el enlace con los elementos de control – ya sea red de PLC y/o red de módulos de adquisición remota – se realiza mediante los drivers de comunicaciones de Windows que establecen comunicación vía DDE u OPC.

Asignatura	Titulación	Créditos			Observaciones
		Teoría	Prácticas	Total	
Integración de Equipos	Ing. Telecomunicación	3	1,5	4,5	Se potencia el desarrollo del medio de comunicac.
Sist. de Superv. y Control de Datos	Ing. Electrónico	3	1,5	4,5	Se potencia el desarrollo del medio de comunicac.
Diseño de Sist.de Superv.y Control de Procesos Ind.	Ing. Industrial	4,5	3	7,5	Mayor exigencia, comunicaciones y PLCs
Diseño de Sist.de Superv.y Control de Procesos Ind.	Ing. Automática y Electrónica Industrial	3	3	6	Se potencia el conocimiento de PLCs
Diseño de Sist.de Superv.y Control de Procesos Ind.	Ing. Químico	3	3	6	Se potencia el conocimiento de PLCs

Tabla 2. Asignaturas de ‘Integración de Sistemas’

A los estudiantes que disponen de más horas para esta asignatura – titulación de Ingeniería Industrial – y a los que los objetivos globales de la titulación tienen una mayor orientación hacia las comunicaciones – titulaciones de Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Telecomunicaciones – se les exige el desarrollo del driver DDE con los módulos NUDAM en Visual Basic. Esto implica el estudio del protocolo de comunicaciones vía serie asíncrono junto con la implantación con convertidores RS-232/RS-485. Todos deben realizar las siguientes actividades:

- Establecer la relación de Entradas y salidas (significado físico y magnitudes).
- Relación de módulos de adquisición remota necesarios.
- Mapeado de E/S en módulos remotos.
- Frecuencia de muestreo de datos.
- Configuración e interconexión de la red de módulos remotos.
- Generación y atención de tramas de comunicaciones serie (desarrollo del driver de comunicaciones, sólo los alumnos de ing. Electrónica).
- Configuración del driver de comunicaciones.

Por último, se implementa el elemento de control del sistema con el autómatas programable. El alumno debe programar el PLC para que atienda a las entradas y salidas del proceso bajo control –en este punto hay que hacer notar que los requerimientos son mayores para los alumnos de la titulación de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial – insistiendo en las siguientes tareas:

- Establecer la relación de Entradas y salidas (significado físico y magnitudes).
- Detalle del diagrama de estados que implementa el PLC con condiciones de cambio y acciones para cada estado.
- Programación del autómatas.
- Mapeado de las E/S en el driver de comunicaciones. Configuración del driver.

El alumno concentra su esfuerzo en la realización del proyecto-trabajo en donde hace uso de múltiples recursos simultáneamente, lo que implica una dedicación importante pero como contrapartida, tiene mayor motivación por superar la meta marcada.

En la evaluación de los trabajos se tiene en cuenta los siguientes puntos:

- Implementación de la misión global del sistema de supervisión desarrollado a partir de las especificaciones.
- Comprobación de la correcta funcionalidad de cada uno de los módulos.
- Defensa de la estrategia elegida en el detalle de las implementaciones.
- Documentación entregada del detalle del proyecto.
- Autoevaluación y evaluación cruzada entre grupos de alumnos.

4. Ejemplo de Trabajo de Curso

Un ejemplo de los trabajos de curso que realizan los alumnos en estas asignaturas es el diseño de un sistema de supervisión y control de un túnel. Los temas los proponen los alumnos buscando aplicaciones reales y “clientes” potenciales para sus diseños.

Las señales que el alumno propuso controlar fueron:

Entradas analógicas:

- Concentración de CO₂ en el túnel.
- Nivel de iluminación en el interior.

Entradas digitales:

- Estado encendido/apagado de tres tramos de luces.
- Detectores de incendio.
- Estado del sistema de extinción de incendios.
- Apertura salidas emergencia.
- Marcha/paro ventiladores.

Salida analógica:

- Control de velocidad de los ventiladores.

Salidas digitales:

- Encendido/apagado de tres tramos de luces.
- Activación extinción incendio.
- Letreros de marcha/paro en cada carril.

Desde la pantalla de presentación, se accede a la de control de usuarios, el alumno definió dos, un administrador y un operador. El primero con capacidad para simular señales y poder realizar depuraciones en la aplicación.

A partir de ahí se accede a la pantalla principal o de presentación del estado de todas las entradas. El operador podrá decidir que el sistema trabaje en modo manual o automático. En modo automático, las salidas analógicas y digitales se activarán en función del estado de las entradas dependiendo de las consignas que haya configurado el operador. En modo manual el operador podrá forzar la activación de cualquier salida (siempre con ventana de confirmación y en algunos casos con enclavamientos que impidan por ejemplo, encender las luces en caso de incendio).

Se generaron alarmas y eventos asociados a las entradas analógicas y a alguna digital, con posibilidad de configurar durante la ejecución los umbrales así como de realizar reconocimientos.

Estas alarmas y eventos quedaban registradas cronológicamente en un listado con distintos colores dependiendo de la prioridad y con indicación del operador que estaba registrado en el sistema.

En otra pantalla se representaban las gráficas de históricos de evolución de los parámetros del sistema y se daba al usuario la posibilidad de generar informes detallados de las variables deseadas en los intervalos y con la frecuencia requerida y con estadísticos básicos de media, máximo y mínimo durante el período seleccionado.

En este caso, al tratarse de un alumno de ingeniería electrónica, el alumno desarrolló el driver de comunicaciones que habilitaba el enlace DDE entre la aplicación SCADA y los módulos NuDam de adquisición.

Otros ejemplos de trabajos presentados durante este curso fueron los sistemas de supervisión y control de un invernadero, una planta desaladora de agua de mar o un parking.

5. Conclusiones

Se ha presentado un planteamiento de docencia en asignaturas de contenido de Integración de Sistemas enfocado a diferentes titulaciones de ingeniería.

El planteamiento que se realiza es eminentemente práctico y se encuentra concentrado en un trabajo integrador propuesto como proyecto. Como resultado se logra que los alumnos asimilen con mayor firmeza los conceptos. La experiencia nos demuestra que la motivación del alumno es superior para alcanzar la meta marcada, al definir proyecto tipo real con equipamiento real, frente a prácticas con grandes componentes de simulación.

Evidentemente, el esfuerzo a realizar por parte del alumno es mayor. Por esto, el número medio de alumnos presentados disminuye, sin embargo, la nota media de los presentados es notablemente superior. Todo esto se ha podido afrontar gracias a la adquisición de recursos de desarrollo, tanto hardware como software, por parte del laboratorio.

Referencias

- [1] www.diea.ulpgc.es
- [2] www.etsit.ulpgc.es
- [3] www.etsii.ulpgc.es
- [4] www.opc.com/opccom
- [5] www.kepware.com