

Experiencias en la enseñanza de la Informática Industrial en una carrera de Ingeniería Electrónica

Rodolfo R. Recanzone, José Ignacio Sosa, Cristina Bender, Nora Blet, José Luis Simón
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario
{mikerrr, jisosa, bender, nblet, jlsimon }@fceia.unr.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presenta el estado actual de modificaciones realizadas en el dictado de asignaturas de la carrera Ingeniería Electrónica, referidas a actividades prácticas directamente vinculadas a la automatización industrial. Esto permite paliar en parte las necesidades de formación en este tema. En particular, se describen las herramientas utilizadas para diseñar e implementar la Parte de Comando de un Sistema Automatizado de Producción (SAP), y la implementación de maquetas de simulación. Los resultados obtenidos hasta el momento son auspiciosos. Se ha logrado involucrar al alumno en actividades prácticas similares a las que realizará en su actividad profesional, y además, se han integrado actividades de las áreas Informática y Digital del Departamento de Sistemas e Informática.

Palabras clave: Formación experimental, Ingeniería Electrónica, Informática Industrial, Diseño de automatismos

Introducción

En el marco de la Reforma Curricular para la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), durante el año 2011 se realiza una encuesta a graduados en los años 2005 al 2010, con el objetivo de conocer la orientación de su actividad profesional. Este relevamiento evidenció que la totalidad de los graduados encuestados trabajan en actividades vinculadas con la profesión y que más del 50% de ellos lo hacen

en industrias o empresas de ingeniería de la zona que proveen servicios a las industrias. Asimismo, reveló que la automatización es una de las temáticas más demandadas. Casi un 30% de los graduados consultados están involucrados en este tipo de actividad laboral, superando en al menos un 15% a otros tipos de actividades declaradas (comunicaciones, diseño electrónico, informática y gestión) [1]. Sin embargo, al momento de realizar la encuesta, la demanda de conocimientos específicos referidos a la automatización industrial no era satisfecha por la oferta académica de la carrera, dado que:

- No se contaba con formación curricular en Automatismos Programables Industriales, tema fuertemente demandado por la industria.
- El conocimiento brindado a los alumnos de herramientas de modelización de sistemas era escaso o nulo. En general, los diseños de los automatismos digitales se efectuaban en gran medida con metodologías intuitivas.
- El escaso conocimiento de los alumnos de metodologías sistemáticas para contemplar desde el principio todos los posibles modos operativos de un automatismo. Para el diseño de sistemas complejos se empleaban generalmente alguna de las siguientes técnicas:
 - Se enriquecía el modelo básico agregando al modelo del automatismo de producción normal lo necesario para asegurar los demás modos de funcionamiento. Así, se generaba un modelo único, frecuentemente complejo, por lo que su utilidad se limitaba a sistemas sencillos.
 - Se utilizaban técnicas de

descomposición en tareas con coordinación horizontal donde el problema total se dividía en tareas particulares, de forma similar a una descomposición modular. Si bien esta técnica representa un gran avance con respecto a la anterior, la coordinación horizontal implica que ninguna tarea es predominante, pudiendo cada una iniciar cualquier otra. Esta técnica es útil cuando el número de tareas a realizar es reducido y los enlaces entre las mismas están limitados en cantidad.

Los resultados de la encuesta hicieron imperiosa la necesidad de implementar actividades curriculares tendientes a superar los problemas observados; esto es, cubrir la carencia de conocimientos e inculcar buenas prácticas de diseño.

Las acciones emprendidas para ello fueron fortalecer las asignaturas electivas e incentivar el desarrollo de proyectos de investigación vinculados con la informática industrial. Estas actividades se realizan en el Departamento de Sistemas e Informática (DSI) dependiente de la Escuela de Ingeniería Electrónica (EIE) de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. Las áreas fundamentales de trabajo del DSI son las de Diseño Digital e Informática Aplicada, a través de cuatro grupos de investigación y el dictado de quince materias entre obligatorias y electivas en las carreras de Ingeniería Electrónica, Eléctrica, Mecánica y Licenciatura en Ciencias de la Computación.

Respecto a las actividades de docencia, se planificaron e implementaron modificaciones en la asignatura electiva “Sistemas Digitales Industriales” de la carrera Ingeniería Electrónica, con el objetivo de ofrecer conocimientos demandados por el medio laboral y no provistos hasta el momento por otras actividades curriculares de la carrera, dado que, por ejemplo, en el campo de la automatización discreta la formación se limitaba en algunas asignaturas obligatorias al diseño básico de sistemas digitales a nivel de componentes (máquinas de estado) con una

reducida introducción a la modelización de sistemas complejos utilizando Redes de Petri, sin concretar aplicaciones industriales prácticas de automatización de máquinas y procesos en todos sus modos operativos, ni su implementación sobre PLC (Controladores Lógicos Programables). La asignatura electiva “Sistemas Digitales Industriales” procura llenar el vacío formativo mediante la inclusión de conocimiento práctico de PLCs, el aprendizaje de técnicas sólidas de modelización basadas en GRAFCET [2] complementadas con la aplicación de la Guía de Estudios de los Modos de Marcha y Parada (GEMMA) [3], enfatizando el uso de descomposición en tareas jerarquizadas con coordinación vertical. Completan estos conocimientos la integración en redes de comunicación industriales y con sistemas SCADA (por *Supervisory Control and Data Acquisition*), conceptos de seguridad, etc.

Lo planificado para las actividades docentes tiene muchos puntos de encuentro con el proyecto de I+D “Arquitectura de Referencia para la Automatización Integral de Empresas Manufactureras, basada en los modelos CIM y SOA” que está desarrollando uno de los grupos de investigación del DSI. Uno de los objetivos de este proyecto es, justamente, integrar conocimientos provenientes de la informática con aquellos resultantes del estudio de los sistemas automáticos, consolidando la integración de los temas e incluyendo la participación de los alumnos en las actividades de I+D.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente forma: en el próximo apartado se presentan algunos conceptos básicos pertinentes; luego se describe la propuesta para la inclusión de prácticas de laboratorio en la asignatura creada para la carrera de Ingeniería Electrónica; finalmente, se presentan algunas reflexiones finales y líneas de trabajo futuras.

Algunos conceptos básicos

Manufactura Integrada por Computador

La manufactura integrada por computador (o CIM por *Computer Integrated Manufacturing*) intenta utilizar el poder de análisis, cálculo y

procesamiento de las computadoras al servicio de la producción de bienes de mercado, cubriendo varios aspectos de la industria que van desde el diseño, ingeniería y manufactura, hasta la logística, almacenamiento y distribución de los productos [4]. Su objetivo es incrementar la capacidad de manufacturar piezas, productos terminados o semielaborados usando el mismo grupo de máquinas. Para ello se requiere que las herramientas utilizadas sean flexibles y capaces de modificar su programación adaptándose a los nuevos requerimientos del mercado. Por tanto, un aspecto clave de la filosofía CIM es la integración de los diferentes elementos que componen el sistema de fabricación. Con este fin se estableció un modelo que representa el flujo de información en las empresas manufactureras denominado pirámide CIM o pirámide de automatización; la cual estructura la empresa en niveles, en función del tipo de datos y forma de procesar la información en cada uno de ellos. Este modelo se presenta en la Figura 1.

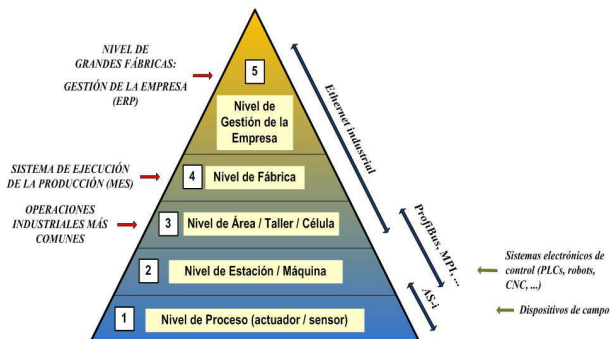


Figura 1: La pirámide productiva según el concepto CIM

Caracteriza a esta jerarquía el hecho que la información e instrucciones de los niveles superiores se transmiten a los inferiores, donde se complementan con datos específicos, se condensan, sintetizan y transmiten al nivel inmediatamente superior y así, hasta llegar al nivel de dirección de la empresa. Para solventar esta necesidad de integración transparente de los niveles jerárquicos, se desarrollaron sistemas de automatización concebidos bajo el concepto de integración total; es decir, con capacidades completas de

integración de los niveles CIM, tanto en sentido horizontal como vertical.

Desde el punto de vista de una arquitectura integrada, la red de comunicaciones es la que tiene el papel más importante, puesto que a modo de columna vertebral de la empresa permite la comunicación entre los distintos niveles. Así, el nivel de gestión puede tomar decisiones en base a los datos que arrojan los equipos o dispositivos del piso de planta.

Arquitecturas Orientadas a Servicios

Hoy día se reconoce que la adopción de arquitecturas orientadas a servicios (o SOA, por *Service Oriented Architectures*) en todos los niveles de la empresa manufacturera permite obtener una infraestructura de comunicación homogénea basada en un único paradigma. Esto implicaría que las funciones del sistema de automatización industrial serían representadas como servicios. Sin embargo, debido a que el software y hardware utilizados a nivel de piso de planta son significativamente diferentes de aquellos usados en las aplicaciones empresariales, y debido a que los ingenieros de automatización no están familiarizados con esta nueva filosofía, la adopción integral de esta orientación a servicios en la industria manufacturera constituye todo un desafío [4].

La tecnología de *Web Services* (WS) establece el vehículo de implementación preferido para las SOA. En 2004, Microsoft y algunas empresas de impresoras extienden la idea de WS a dispositivos embebidos de bajo nivel al proponer un subconjunto de estándares, conocidos como *Device Profile for Web Service* (DPWS).

Una tecnología que merece especial atención en el campo de la automatización es OLE para control de procesos (u OPC, por *Ole for Process Control*), que es actualmente la solución más utilizada para intercambio de datos a nivel de dispositivos y aplicaciones de más alto nivel, tales como los sistemas SCADA. La última versión de OPC, OPC-UA (UA por *Unified Architecture*), agrega WS y, por tanto, se prevé que facilitará la integración vertical de los datos de automatización con aquellos datos de procesos de negocios.

El uso combinado de DPWS y OPC-UA, debido a las similitudes en los componentes básicos de ambas especificaciones, proveería un marco muy rico para SOA a nivel de los dispositivos de piso de planta.

GRAFCET

Un GRAFCET (por *GR*Aphe *Fonctionnel de Com*mande *Étape/Transition*) es una representación gráfica que traduce, sin ambigüedades, la evolución del ciclo de un automatismo secuencial, permitiendo describir los comportamientos esperados del mismo [2]. Puede usarse para representar el automatismo en todas las fases de su concepción, desde la definición de la Especificación Técnica hasta su implementación (por ejemplo, con la programación de un PLC industrial, el uso de secuenciadores u otras tecnologías), pasando por el estudio de los modos de arranque y parada. El GRAFCET se basa en el uso de instrucciones precisas, el empleo de un vocabulario bien definido, el respeto de una sintaxis rigurosa, y el uso de reglas de evolución, evitando incoherencias en el funcionamiento. Entre otras cosas, permite adoptar un enfoque progresivo en la elaboración del automatismo.

A partir de su creación y publicación en 1977, esta herramienta de especificación alcanzó una amplia difusión y estudio en los establecimientos de enseñanza técnica, justificando su normalización en Francia en 1982. En 1993, la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) la incluyó en su Norma IEC 61131-3 [5], que, entre otras cosas, validó cinco lenguajes de programación de PLCs: uno de ellos es el SFC (por *Sequential Function Chart*), inspirado en GRAFCET. Este hecho, y la circunstancia que el SFC se adoptó tanto en el ámbito educativo como en el industrial a escala internacional, determinaron la elección de GRAFCET como herramienta de modelado para el desarrollo de las nuevas actividades curriculares de la asignatura.

A modo de ejemplo de una aplicación sencilla de GRAFCET, en la Figura 2 se presenta el esquema de una máquina de estampado; y en la Figura 3, el GRAFCET que representa el

ciclo de funcionamiento normal de dicha máquina.

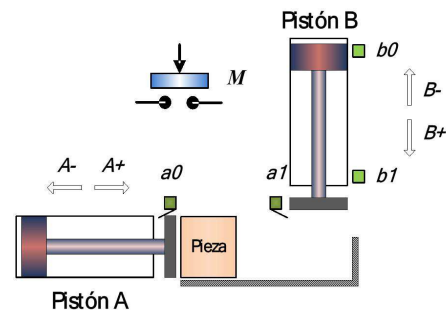


Figura 2: Esquema de máquina estampadora

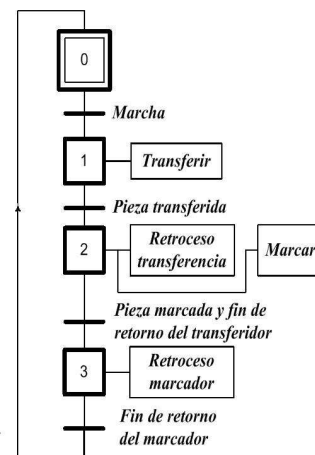


Figura 3: GRAFCET funcional de la operación normal de la máquina

GRAFCHART es un lenguaje de más alto nivel, basado en la sintaxis gráfica de GRAFCET/SFC, Redes de Petri y lenguajes de programación imperativos, creado en la Universidad de Lünd, Suecia, en 1991 [6]. Las últimas versiones de GRAFCHART soportan el desarrollo de aplicaciones DPWS y constituyen, por tanto, un marco único para el desarrollo y ejecución de aplicaciones basadas en SOA, de acuerdo con los requerimientos de las tareas de automatización; por lo cual, se pretende como actividad futura de I+D explorar su potencialidad.

GEMMA

En un proceso productivo una máquina no está siempre funcionando en modo automático: lo más común es que puedan surgir problemas que lleven, por ejemplo, a una parada inmediata de la máquina o proceso. En general, en la automatización de una máquina

es necesario prever todos los estados posibles: funcionamiento manual o semiautomático, paradas de emergencia, puesta en marcha, etc. Además, el propio automatismo debe ser capaz de detectar defectos en la Parte Operativa y colaborar con el operario o técnico de mantenimiento para su puesta en marcha y reparación, entre otras cosas. Con frecuencia, al estudiar un sistema automatizado las necesidades de modos de marchas y paradas están mal o insuficientemente expresadas, por lo cual, se plantean soluciones a las necesidades esenciales una vez realizado el sistema y al precio de modificaciones y tanteos costosos. El diseñador necesita, por tanto, un enfoque guiado y sistemático para prever completamente los efectos y contemplarlos a partir del estudio tanto de la Parte Operativa como de la Parte de Comando del sistema a realizar. En consecuencia, el desarrollo de la producción automatizada pasa por la creación, promoción y práctica de métodos-herramienta que utilicen conceptos claramente definidos y que faciliten la concepción, realización y explotación de las máquinas automáticas. Experimentada en primer lugar a nivel de la descripción del funcionamiento, esta necesidad de métodos-herramientas dio nacimiento al GRAFCET, el cual permite una expresión precisa de algunos modos de marchas y de paradas, pero que, por sí solo, no permite el enfoque sistemático global necesario. Por estas razones, la agencia francesa ADEPA (*Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée*) desarrolló en 1993 la guía GEMMA (por *Guide d'Etudes des Modes de Marches et d'Arrêts*) ([3], [7]), que representa en forma organizada todos los modos o estados de Marchas y Paradas en que puede encontrarse un proceso de producción automatizado y orienta sobre los saltos o transiciones que pueden darse de un estado a otro, además de prever estos modos desde la concepción, integrándolos en la realización. Por esto, para los Modos de Marchas y de Paradas, puede considerarse que GEMMA es un método-herramienta que define un vocabulario preciso, proponiendo un enfoque guiado sistemático para el diseñador.

Complementándose con la representación GRAFCET, la GEMMA fue concebida para estar en consonancia con las normas de seguridad de la Unión Europea, incluyendo situaciones de emergencia en prevención de posibles daños humanos y/o materiales. En la Figura 4, a modo de ejemplo, se muestra la parte correspondiente a los procedimientos de Parada y de Puesta en Marcha de la cartilla que resume la Guía GEMMA (la cartilla completa puede consultarse en [8]).

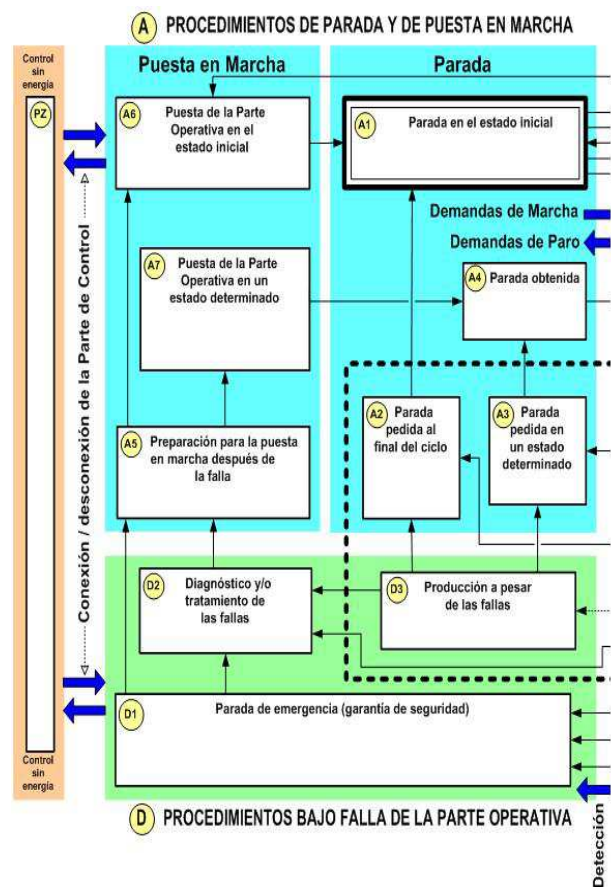


Figura 4: Extracto del Gráfico GEMMA propuesto por ADEPA

Cada uno de los rectángulos que representan un Modo de Marcha ó de Parada sobre la Guía Gráfica GEMMA, recibe la denominación de “rectángulo-estado”. Por ejemplo, el rectángulo-estado A6 corresponde a la puesta de la Parte Operativa en el estado inicial.

Sistemas Automatizados de Producción

La Figura 5 muestra la estructura general de un Sistema Automatizado de Producción (SAP).

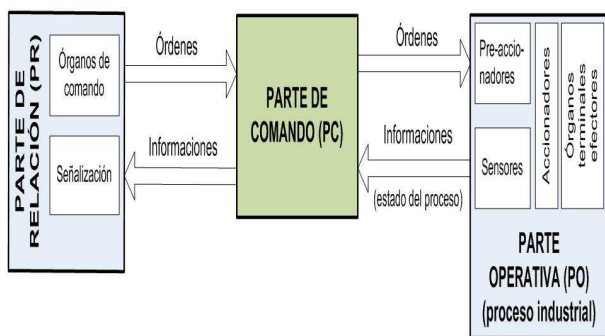


Figura 5: Esquema general de un Sistema Automatizado de Producción (SAP)

En esta estructura se tienen tres partes bien diferenciadas:

- La Parte de Relación (PR) incluye la consola de diálogo humano-máquina, equipada con los órganos de comando que permiten la selección de los modos de funcionamiento, el comando manual de las acciones habilitadas al operador, y señalizaciones diversas (tales como indicadores luminosos, bocinas, etc.).
- La Parte de Comando (PC) se encarga del tratamiento de la información emitida por los órganos de comando de la parte de Relación y los sensores de la parte Operativa. Las órdenes resultantes se transmiten a la Parte Operativa para controlar su evolución, y a los componentes de señalización de la PR para indicar al operador el estado y la situación del sistema.
- Finalmente, la Parte Operativa (PO) es la que actúa directamente sobre la materia prima a través de una máquina o proceso productivo propio del sistema industrial.

Mejoras propuestas en la Actividad Curricular

En algunas asignaturas que el Departamento de Sistemas e Informática (DSI) dicta en las carreras de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y Mecánica se imparten conocimientos de PLC y modelización. Sin embargo, se observa que, en particular en la carrera de Ingeniería Electrónica, las actividades prácticas curriculares directamente vinculadas a la automatización industrial son escasas. Por esto, el DSI decide diseñar e implementar prácticas de laboratorio destinadas a cubrir

esta falencia. Para estas prácticas de laboratorio, se evidencia la necesidad de contar con elementos que permitan involucrar al alumno en actividades prácticas similares a las que realizará en su actividad profesional. Así, surge la necesidad de contar con dispositivos físicos combinados a pequeña escala para simular el funcionamiento de procesos industriales reales en la cantidad y de la calidad necesarias.

Considerando la vastedad de actividades requeridas para llevar adelante la concreción del objetivo propuesto, se organizó su desarrollo en etapas a cargo de dos grupos de trabajo interdependientes. El primer grupo aborda los tres niveles inferiores del modelo CIM, con una actividad fuertemente tecnológica concentrada en resolver los problemas de automatización utilizando herramientas de modelización adecuadas y sistemáticas (como lo son GRAFCET y GEMMA), soportadas en Autómatas Programables Industriales (PLC) interconectados por redes de comunicaciones. El segundo grupo se concentra en el cuarto nivel de la pirámide CIM, con una actividad fuertemente informática, abordando el problema del intercambio de información con los niveles inferiores, generando la actividad necesaria para lograr los objetivos requeridos por la producción flexible. En ambos grupos participan docentes, con la colaboración de alumnos avanzados de la carrera de Ingeniería Electrónica, algunos de los cuales están abordando proyectos finales de carrera relacionados con el uso de redes industriales y el desarrollo de *Web Services*. En este trabajo, en particular, se presentan los aportes de las actividades del primer grupo.

La necesidad de contar con un soporte físico para llevar a cabo estas actividades prácticas, como así también la necesidad de experimentar e investigar los conceptos CIM y SOA en el marco de los proyectos de I+D y su posterior aplicación en las cátedras, condujo a la búsqueda en el mercado de simuladores a escala que permitieran dentro de las limitaciones de un laboratorio satisfacer estos requerimientos. Debido a los elevados costos

de estos simuladores comerciales, su adquisición es prácticamente imposible. Por esto, se decidió diseñar y montar con recursos propios y de manera sostenida en el tiempo, maquetas educativas que simularan celdas de trabajo controladas por PLCs y la supervisión de la solución diseñada para el proceso industrial. Los criterios para llevar esto adelante, minimizando los costos, han sido entre otros la obtención de donaciones de dispositivos y la utilización de softwares gratuitos. Esto ha obligado a que sea imprescindible lograr la interconexión entre dispositivos y software de variadores proveedores. Estas dificultades se están solucionando como parte del proyecto de I+D mencionado, y la participación de alumnos y docentes del DSI en problemas puntuales.

Para que en las prácticas de laboratorio el alumno pueda verificar si en un diseño e implementación de un sistema automatizado de producción (SAP) la Parte Operativa funciona adecuadamente y cumple con los requisitos del sistema, se han diseñado y se están implementando maquetas de simulación, cuyo objetivo es proveer al alumno de soportes físicos mecánicamente acotados al ámbito de un laboratorio, para experimentar y aplicar los conceptos impartidos en problemas extrapolables a aquellos de mayor complejidad que encontrará en aplicaciones industriales en el ejercicio de su actividad profesional.

A continuación, se describe el diseño global y el estado actual de las maquetas de las celdas de trabajo. La Figura 6 muestra el caso particular de una de las maquetas en proceso de armado por el grupo de trabajo del DSI. Esta maqueta está destinada a la transferencia de piezas. En la figura puede apreciarse la Parte Operativa de la Maqueta de Transferencia, constituida por dos conjuntos, cada uno de ellos compuesto por una cinta transportadora con tres sensores de posición, movida por un motor cuya velocidad y sentido de giro son controlados por un variador de velocidad. El primer conjunto está compuesto por los elementos etiquetados como CINTA#1, MOTOR#1, VARIADOR DE VELOCIDAD Motor#1, y los sensores S1.1, S1.2 y S1.3. El

otro conjunto es el indicado con las etiquetas CINTA#2, MOTOR#2, VARIADOR DE VELOCIDAD Motor#2, S2.1, S2.2 y S2.3.

En la misma figura se observa, en la parte superior de la maqueta, la Parte de Comando constituida por un PLC SIMATIC S7-200 (indicado con la etiqueta CPU S7-215) con capacidad de comunicación mediante protocolo PROFIBUS DP, acompañado por módulos de expansión de entradas y salidas digitales (EM221, EM222 y EM223).

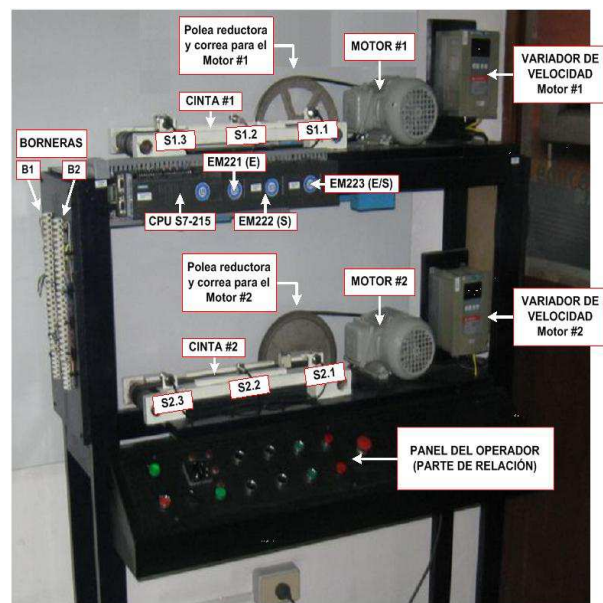


Figura 6: Parte Operativa de la Maqueta de Transferencia

El PLC recibe la información emitida por los órganos de comando de la Parte de Relación (esto es, las llaves, pulsadores, etc.) y los sensores de la Parte Operativa; procesa esta información y genera las órdenes que se envían a los pre-accionadores de la Parte Operativa (según se indicó en el esquema del SAP, en Figura 5). El PLC provee además las salidas para los componentes de señalización (por ejemplo, lámparas, bocinas, etc.) de la Parte de Relación que indican al operador el estado del sistema.

La Figura 7 muestra en detalle la Parte de Relación. Allí pueden observarse diferentes pulsadores, llaves selectoras y lámparas que permiten el control manual y la señalización para un operador, si bien todo o parte de estos controles y señalizaciones pueden también efectuarse sobre una PC ejecutando una

aplicación de Interfaz Humano-Máquina (HMI). Las llaves permiten seleccionar modos de trabajo (por ejemplo: automático, manual, ciclo-a-ciclo, etc.) comandados manualmente mediante los pulsadores correspondientes (arranque, parada, parada de emergencia, reconocimiento de alarmas, pruebas, etc.). Las señalizaciones proporcionan una advertencia lumínica y sonora sobre alarmas en el sistema, indicar el modo de operación actual, etc.

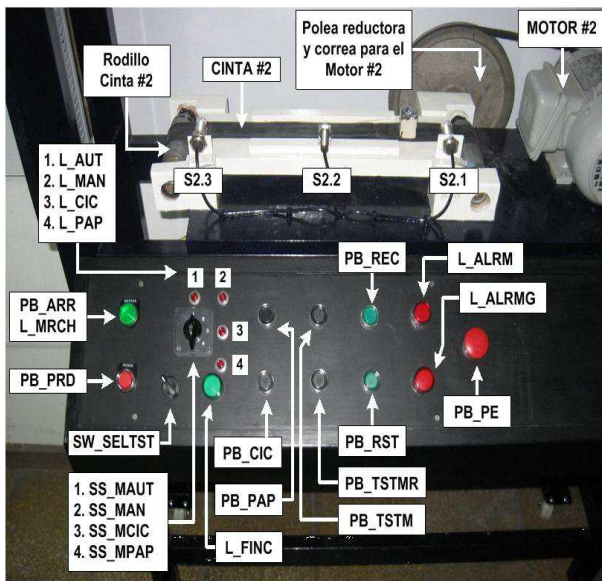


Figura 7: Parte de Relación de la Maqueta de Transferencia

Actualmente, se plantean y se encuentran en desarrollo algunas expansiones a esta propuesta. En la maqueta mostrada en este documento está previsto el agregado de un elevador que permitirá transportar objetos entre las dos cintas (CINTA#1 y CINTA#2, mostradas en la Figura 6), posibilitando la realización de diversos ciclos de trabajo. Asimismo, el panel de operación se completará instalando una pantalla táctil LCD con su controlador, oficiando de HMI de bajo costo, lo que permitirá una mejor visualización de la información proporcionada por el PLC, así como la exhibición de datos procesados de significación para el operador (por ejemplo, históricos de fallas, diagnósticos, etc.).

Por otro lado, se encuentran en etapa de diseño otras celdas de trabajo, por ejemplo, una destinada a la dosificación del llenado de tanques desde un depósito. En general, los

criterios de diseño de todas estas celdas prevén una integración de las mismas en un supuesto proceso productivo, constituyendo celdas de trabajo trabajando cooperativamente, y reportando, a través de redes de comunicaciones, a niveles superiores de supervisión y gestión, en donde se tomarán los recaudos necesarios para planificar la producción, enviando de vuelta hacia los niveles inferiores las consignas necesarias para alcanzar los objetivos propuestos.

Desarrollo de un automatismo

En la asignatura se solicita al alumno la presentación de un trabajo globalizador respetando la secuencia típica del estudio de un automatismo esquematizada en la Figura 8 y detallada seguidamente.

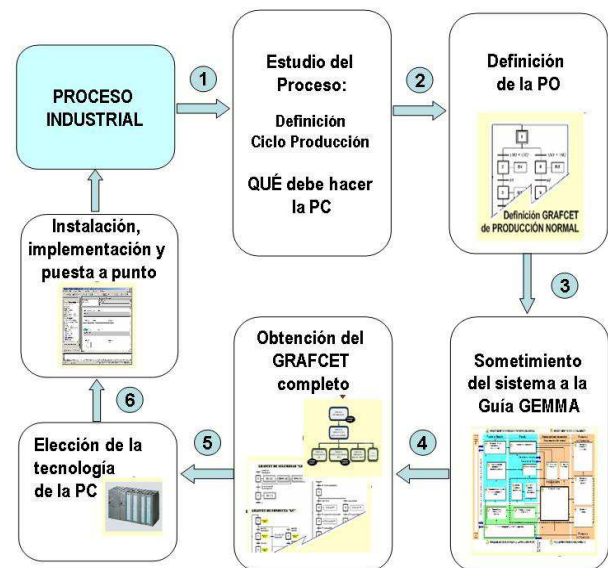


Figura 8: Secuencia típica del estudio de un automatismo

Los pasos que deberá seguir son:

- 1) realizar el estudio del proceso industrial y, en paralelo, la definición del ciclo de producción. El proceso a automatizar puede ser un problema propuesto por la Cátedra ó uno propuesto por los alumnos, si la Cátedra lo evalúa como apropiado para alcanzar los objetivos perseguidos.
- 2) definir la Parte Operativa y los dispositivos que actuarán como captadores y, en paralelo, el GRAFCET de Producción Normal (GPN).
- 3) implementar la Guía gráfica GEMMA

para la selección de los Modos de Marchas y Paradas, poniendo en evidencia los enlaces entre estos modos.

- 4) definir, con ayuda de la Guía GEMMA, las condiciones de evolución entre los estados de Marchas y Paradas y, en paralelo, las funciones de la consola de comando y establecimiento del GRAFCET completo, aplicando el concepto de descomposición en tareas jerarquizadas con coordinación vertical, que se explica a continuación.

La Figura 9 muestra una descomposición en tareas coordinadas típica de una Parte de Comando, jerarquizada verticalmente.

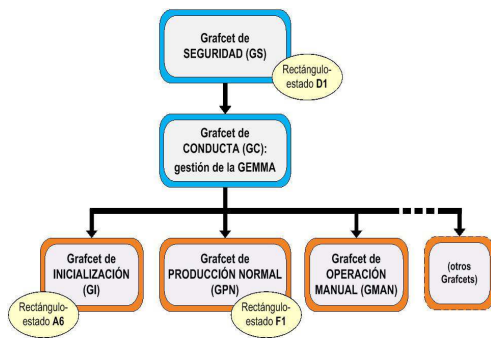


Figura 9: Descomposición típica de una Parte de Comando jerarquizada

Las tareas están representadas por sus respectivos GRAFCETS:

- El GRAFCET de Seguridad (GS) permite administrar las paradas en casos de falla (paradas de emergencia). Normalmente el GS se corresponde con el rectángulo-estado D1 de la guía GEMMA (ver Figura 4).
- El GRAFCET de Conducta (GC) integra los modos de marcha y paradas normales. Las etapas del GC se corresponden con un rectángulo de las familias F ó A de la Guía GEMMA (ver guía completa en [8]).
- El GRAFCET de Inicialización (GI) administra los re-arranques después de fallos, y corresponde al recorrido por los rectángulos A5 y A6 de la Guía GEMMA (ver guía completa en [8]).
- GRAFCETS de Tarea: a cada rectángulo-estado se le puede hacer corresponder una tarea bajo la forma de

un GRAFCET. Un caso particular es el GRAFCET de Producción Normal (GPN). Un GRAFCET de Tarea es un sub-programa invocado por el GRAFCET de Conducta.

- 5) elegir una tecnología de comando. En nuestras asignaturas está orientada fuertemente a la solución utilizando PLCs.
- 6) concebir el esquema ó programa de comando en la tecnología elegida. Esto es, realizar la programación del PLC, y realizar las pruebas y la puesta a punto utilizando las maquetas.

La actividad práctica es monitoreada por los docentes y se realiza en el Laboratorio de Sistemas Digitales, ubicado en el DSI.

Conclusiones

Debido a la falta de actividades curriculares vinculadas a la temática de la automatización en la carrera de Ingeniería Electrónica, se decide diseñar e implementar prácticas destinadas a cubrir esta falencia en el dictado de la asignatura electiva “Sistemas Digitales Industriales”. Para ello, se están diseñando y construyendo maquetas de trabajo que, junto con la utilización de herramientas de modelado (GRAFCET) y guías de diseño (guía GEMMA), permiten obtener resultados alentadores en la formación de los futuros profesionales. Actualmente, en la maqueta mostrada en este documento está previsto el agregado de un elevador para transportar objetos entre las cintas, y la instalación en el panel de operación de una pantalla táctil LCD que oficie de interfaz HMI de bajo costo. Además, se encuentran en etapa de diseño otras celdas de trabajo, siempre con la consigna de utilizar criterios de diseño que prevean una integración de las celdas en una pirámide productiva CIM. La adopción de *Web Services* (WS) como columna vertebral de comunicación en la empresa, debe tener en cuenta los sistemas preexistentes sin necesidad de cambiarlos, usando *gateways* o *proxys* (una PC industrial, dispositivos embebidos, etc.) que “envuelvan o adapten” el acceso a los mismos y realicen la integración real [4]. Cuanto más bajo es el nivel en el cual un

dispositivo es “envuelto”, mayor flexibilidad se obtiene al participar en la composición de WS. El nivel más bajo posible en un escenario típico de una PyME manufacturera sería el del PLC (suponiendo que no posea adaptador de red), el cual podría añadir a su Parte de Control en tiempo real y cíclica, una segunda que ofrezca el *stack* WS. Sin embargo, la integración a tan bajo nivel es muy costosa e implicaría rediseñar o introducir cambios significativos en el PLC. En la práctica, es preferible añadir WS en un *gateway* implementado en algún equipo conectado al PLC, ya sea un microcontrolador que realice alguna función de control a más alto nivel o, la PC industrial que contiene el SCADA del PLC. En una primera etapa, a nivel investigación, se focalizará en probar, la adaptabilidad de herramientas disponibles para la construcción de software, que permita a un microcontrolador exponer el acceso a entradas y salidas de campo vía WS, tomando como referencia el estándar DPWS. En una etapa posterior se investigará la capacidad de extender DPWS, de forma tal de soportar las especificaciones OPC-UA.

La evaluación de encuestas de calidad de dictado realizadas por la Escuela de Ingeniería Electrónica en cada asignatura, han favorecido la propuesta de estas prácticas de laboratorio. Con un promedio de 20 alumnos por semestre en la asignatura electiva “Sistemas Digitales Industriales”, la encuesta revela una aceptación netamente favorable por parte de los mismos. Asimismo, la construcción de maquetas educativas permite a los alumnos verificar empíricamente (aunque acotados al contexto de un laboratorio) los métodos y criterios de diseño aprendidos. Los conocimientos impartidos en esta asignatura, directa o indirectamente, facilitaron a varios alumnos la obtención de empleos en la industria al poco tiempo de su graduación.

Otro resultado relevante ha sido la integración de las áreas Informática y Digital del DSI para el desarrollo de estas actividades así como la inclusión de alumnos avanzados de la carrera de Ingeniería Electrónica en actividades de I+D, y el apoyo brindado por el DSI a la

realización de trabajos finales de la carrera.

Bibliografía

- [1] Informe de Autoevaluación. Ingeniería Electrónica. Acreditación de Carreras de Ingeniería. Convocatoria 2011. pp 179-182. Disponible en : usuarios.fceia.unr.edu.ar/~basica/Autoevaluacion_IngElectronica_FCEIA_UNR_2011.pdf
- [2] Thelliez, S. et Toulotte, J. M.. GRAFCET et logique industrielle programmée. Ed. Eyrolles, Francia, 1982.
- [3] GEMMA: Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts. Agence nationale pour le Développement de la Productique Appliquée à l'industrie (ADEPA), 1992.
- [4] Blet, N. and Simón, J.L.. SOA in industrial automation for SMEs. En IJIE, Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. Ed. Universidade Federal de Santa Catarina, v. 3, n. 2, pp 190-208, 2011.
- [5] Norma IEC 61131-3. Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Disponible en www.iec.ch/
- [6] Theorin, A., Ollinger, L. and Johnsson, C. Service-oriented Process Control with Grafchart and the Devices Profile for Web Services. In Theodor Borangiu, Andre Thomas, Damien Trentesaux (Eds.) (Eds.): Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing and Robotics, Springer, January 2013.
- [7] Ponsa Asensio, P. y Vilanova Arbós, R. Automatización de procesos mediante la Guía GEMMA. Ed. Univ. Politécnica de Cataluña, 2005.
- [8] Recanzone, R. La Guía GEMMA. Apunte de la Cátedra de Sistemas Digitales Industriales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Univ. Nacional de Rosario, 2010. Disponible en www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/sist_Log/X0073/2012%20X0073SDI_2012/La%20Guia%20GEMMA.doc