

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN SISTEMAS DE MANUFACTURA INTEGRADOS POR COMPUTADORA PARA DOCENTES, GRADUADOS y PROFESIONALES

Onaine, Adolfo E. *, Tabone, Luciana, González, Mariela Azul

Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata. Juan B. Justo 4302 (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina
aeonaine@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN.

Este trabajo tiene como objetivo el diseño de un programa de capacitación sobre sistemas de manufactura integrados por computadora para contribuir con el desarrollo y formación continua de alumnos, docentes y graduados de la ingeniería industrial y profesionales de otras áreas. Se compone de una serie de cursos cuyos contenidos se definen en base a los resultados obtenidos de los cursos anteriores. El primero es de carácter general e introductorio aumentando la profundidad con el avance del programa. La metodología de enseñanza elegida se basa en una serie de principios didácticos que fomentan la enseñanza universitaria innovadora tales como: participación activa del alumno; reflexión para alcanzar resultados con creatividad y productividad; conciencia del autoaprendizaje; y trabajo personalizado, grupal e interdisciplinario. Los cursos se desarrollan en el Laboratorio de Procesos Productivos que está equipado con una plataforma de modelado y simulación de procesos de manufactura que constituye una herramienta esencial para el entrenamiento con fines académicos y profesionales para el continuo desarrollo y mejora de competencias específicas de la carrera de Ingeniería Industrial. La elección de éste sistema se fundamenta en su practicidad, tamaño reducido, facilidad de manejo y la existencia de una amplia variedad de componentes que se encuentran interconectados a escala para realizar ensayos de manufactura en tiempo real. Los procesos pueden ser estudiados y analizados por los alumnos permitiendo el reconocimiento de sus sensores, dispositivos, el manejo de sistemas de adquisición de datos y el diseño de software de simulación, control y monitoreo. El programa contribuye en el desarrollo de la habilidad para gestionar efectivamente procesos de manufactura, analizarlos críticamente y proponer mejoras a la elaboración tanto para prácticas académicas como para de cursos de extensión y capacitación. En la zona de influencia de nuestra Universidad no existe una capacitación estructurada por parte de las empresas proveedoras de equipos y componentes.

Palabras claves: Modelado y Simulación. Manufactura Integrada por computador, Control y monitoreo de procesos industriales.

ABSTRACT

This work aims to design a training program on computer integrated manufacturing systems to contribute to the development and continuous training of students, teachers and graduates of industrial engineering and other professionals. It consists of a series of courses whose contents are defined based on the results of the previous courses. The firsts are general and introductory, whose depth is increased with the progress of the program. The teaching methodology chosen is based on a series of educational principles that foster innovative university teaching such as active student participation; reflection to achieve results with creativity and productivity; self-learning's awareness; and personal, group and interdisciplinary work. Courses are developed in the Laboratory of Production Processes which is equipped with a platform for modeling and simulation of manufacturing processes which is an essential tool for academic and professional training to continuous development and improvement of specific skills in Industrial engineering career. The choice of this system is based on its practicality, small size, ease of use and the existence of a wide variety of components that are interconnected to scale for testing real-time manufacturing. The processes can be studied and analyzed by the students for allowing recognition of their sensors, devices, management of data acquisition systems and software design simulation, control and monitoring. The training program helps to develop the ability to effectively manage manufacturing processes, critically analyze them and propose improvements to the development for academic practices, extension courses and training. In the area of influence of our University there is no structured courses dictated by the suppliers of equipment and components.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe una estrategia de formación continua de alumnos, graduados, docentes y profesionales en el ámbito de la Ingeniería Industrial.

A nivel académico, los alumnos de Ingeniería Industrial adquieren conocimientos sobre dispositivos, estudio del trabajo, procesos productivos y planificación y control de la producción con el objetivo de contribuir con la eficiente y segura elaboración de productos. Estos conocimientos deben ser relacionados, integrados y aplicados para cumplir con dicho objetivo y también para poder desarrollar habilidades que permitan su aplicación en contextos y situaciones diferentes. En este sentido el control, seguimiento y análisis del proceso de manufactura es una herramienta indispensable para llevarlo a cabo. A su vez la participación en estos cursos de los docentes de la carrera posibilita la utilización de la plataforma para la aplicación de los contenidos desarrollados en sus cátedras.

Por otro lado, profesionales de otras ingenierías que desarrollan tareas en el área de producción de empresas se encuentran con la necesidad de optimizar los métodos de producción, mejorando el desempeño de sistema productivo y/o incorporando esta tecnología. Además, el continuo avance tecnológico requiere de la incorporación y administración de software de monitoreo, control, adquisición y análisis de datos. Ello involucra nuevas herramientas informáticas de simulación para la capacitación y entrenamiento necesarios para reproducir en laboratorio el mismo comportamiento del proceso industrial que se analiza.

A partir de la experiencia adquirida a través de la participación de los docentes de diversas asignaturas de la carrera en el curso de capacitación "Modelado y control de procesos industriales sobre plataforma CIM-C", se determina la pertinencia de implementar una secuencia de cursos que introduzcan a alumnos, graduados, docentes y profesionales, en las nuevas tecnologías para la mejora de los procesos productivos. Este primer curso fue dictado por un docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

Para el desarrollo de estas actividades se propone la realización de prácticas que promuevan el desarrollo de la habilidad para gestionar efectivamente procesos de producción, analizarlos críticamente y proponer mejoras a su desempeño.

1.1. Sistema de Manufactura Integrados por Computadora.

Las mejoras logradas en electrónica de adquisición y control, las nuevas tecnologías de fabricación, la incorporación de la computación y desarrollos de software, han contribuido de manera decisiva en los procesos industriales. La automatización de un proceso industrial permite que se logren rendimientos elevados cuando se lo compara con el comando y control manual. Este tipo de estructura se ha desarrollado con un fuerte impulso y resultados satisfactorios durante la última década del siglo XX. El nivel actual de tecnología y conocimientos alcanzados permite abordar esta temática empleando disciplinas modernas que integran el modelado, la simulación de procesos y el control en tiempo real empleando sistemas de hardware y software en constante actualización entre los que se destacan los sistemas de manufactura integrados por computadora (CIM) debido a que combinan sistemas aislados en verdaderos procesos controlados [1][2]. Se establecen etapas jerarquizadas para realizar un control más estable y seguro. La estructura de los CIM permite que todos los sectores de la producción de la empresa se integren con un sistema informático común interrelacionado de asistencia y automatización (Figura 1). Su correcta aplicación requiere conocimientos de procesos productivos, componentes eléctricos, neumáticos y mecánicos, programación, manejo de planillas de cálculo, diseño e implementación de interfaces gráficas para su modelado, monitoreo y control. El programa de formación planteado se orienta a brindar dichos conocimientos para el efectivo manejo de una producción automatizada y su factibilidad de implementación según las características producto/proceso de cada empresa. Un software de instrumentación virtual, el cual además almacena datos sobre la estadística de las variables del proceso, se aplica para modelar y controlar el proceso [3].

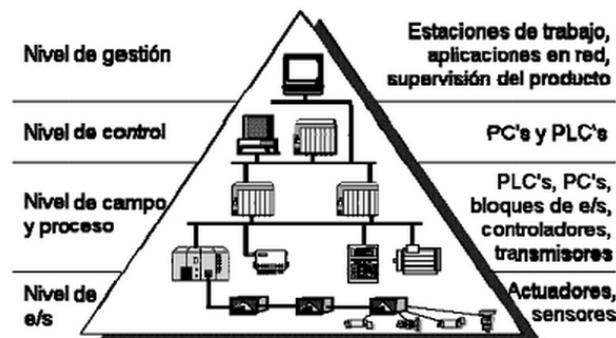


Figura 1 Modelo CIM de organización de una planta industrial.

Fuente: Programación Gráfica para ingenieros [3]

1.2. Instrumentación virtual

En un proceso industrial constantemente se suministra información al controlador del sistema para que éste ejecute la tarea programada y se cumpla con la fabricación de un producto determinado. El elemento controlador recibe la información directamente o mediante un proceso de comunicación (red local, inalámbrica, comunicación serie o Ethernet, entre otros). La información del proceso se adquiere por sensores y por otros sistemas de medida, ejemplo a través de la balanza o de la cámara digital de nuestra plataforma. El software de instrumentación virtual está diseñado fundamentalmente para automatizar el control y monitoreo del proceso, mejorar la eficacia y rendimiento del mismo al permitir el análisis de su estadística, facilitar la configuración del hardware y simplificar el manejo del sistema al usuario mediante una interfase grafica amigable. Puede modificar los parámetros de los diversos dispositivos controlados, como ser el taladro y el brazo de robot basándose en los valores de las entradas del sistema, por ejemplo los sensores y la balanza. Simultáneamente, almacena los valores de las variables del proceso para su posterior análisis. El usuario define la funcionalidad de los elementos del sistema. Los instrumentos virtuales son definidos por el usuario en tiempo real mientras que la de los instrumentos tradicionales se fija al momento de la compra. Cada instrumento virtual consiste de dos partes– software y hardware (Figura 2). Un instrumento virtual tiene un precio accesible y muchas veces mucho menor que los instrumentos tradicionales similares para una tarea de medición dada.

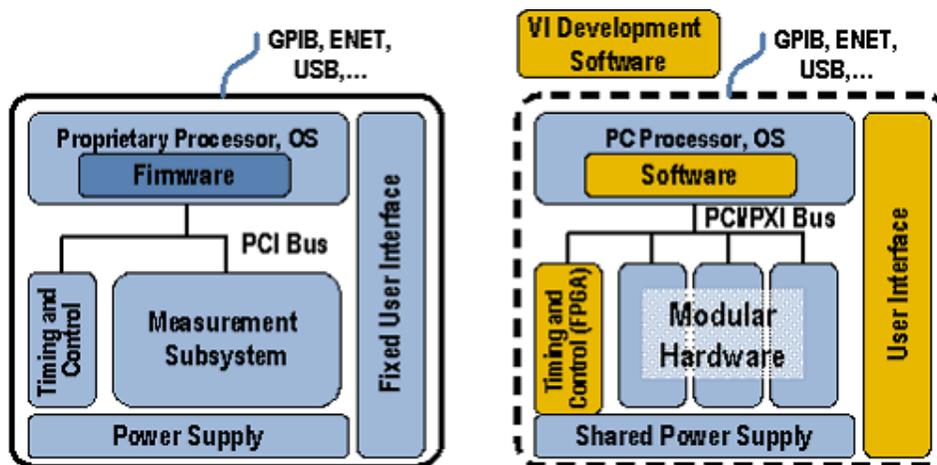


Figura 2 Instrumentos tradicionales (izquierda) e instrumentos virtuales basados en software (derecha).

Fuente: National Instruments Web Page: <http://www.ni.com>

A diferencia de un instrumento real de un laboratorio o planta de procesos un instrumento virtual está ligado al concepto de software estos comparten a gran escala la misma arquitectura en componentes, pero con filosofías radicalmente diferentes. Este software se ejecuta en una computadora personal (PC) que posee elementos de hardware concretos, tarjetas de adquisición de datos (analógicos y digitales), tarjetas de interfaz con los buses de instrumentación entre otros. La Interfaz Gráfica de Usuario (IGU) permite la interacción de la aplicación con el usuario mediante controles e indicadores para visualización e introducción de datos. El instrumento virtual permite manejar el hardware mediante una IGU que se asemejará al panel de mandos de los aparatos habituales (Osciloscopio, multímetro, entre otros). Mediante la representación en pantalla de los elementos gráficos de visualización y control que servirán de interfaz con los alumnos se observan los estados de las entradas seleccionadas en la pantalla que interactúan con las salidas directamente o mediante la ejecución de las rutinas programadas previamente. El programa de aplicación, también llamado instrumento virtual, consta, además de la IGU, de una Funcionalidad de la Aplicación la cual obtiene datos del hardware e incluye tratamiento de señal, control del flujo de programa, control de errores, entre otros. Puede implementarse en lenguajes basados en texto (Visual Basic, C++, LabWindows/CVI, etc.) o puede utilizar lenguaje gráfico como LabView [3]. En este tipo de programación las funciones son bloques que se interconectan entre sí, intercambiando la información y estableciendo valores de diversos parámetros del proceso. El acceso al hardware ya no se realiza mediante llamadas directas a sus registros, si no que los fabricantes proporcionan una capa intermedia que aísla al programador de los detalles del hardware. Esta capa intermedia facilita la comunicación entre el hardware y el entorno de programación debido a que el manejo de los controladores de cada hardware es realizado por parte del software. En consecuencia son mucho más flexibles, por ejemplo, cuando se desea cambiar las tareas de medición solamente se modifica el diagrama en bloques del sistema, siendo la configuración del controlador de los dispositivos transparente para el usuario. Estas características hacen al software de

instrumentación virtual un elemento esencial en la capacitación por su sencillo manejo y flexibilidad requiriendo mínimos conocimientos sobre el hardware involucrado en la manufactura. En consecuencia, para el desarrollo del programa de capacitación, se elige el lenguaje gráfico y el software LabView.

1.3. Controlador Lógico Programable

Un Controlador Lógico Programable (PLC) o autómata programable es un dispositivo electrónico programable que permite implementar funciones específicas analógicas y lógicas, secuencias, temporizaciones, conteos y operaciones aritméticas para controlar máquinas y procesos [4]. Posee entradas y salidas analógicas las cuales se conectan a los diversos dispositivos que se desean controlar. La programación del mismo se realiza a través de una PC. La plataforma utilizada en estos cursos posee el software TWIDO 2.2 para la programación del mismo. Es provisto por la empresa fabricante del CIM y su programación se lleva a cabo utilizando los métodos LADDER y GRAFCET [5]. Es posible adecuarlo a cualquier tipo de proceso de tipo industrial para desarrollar el programa apropiado de adquisición y control. Los PLC, por su diseño, operan sin problemas frente a ruidos eléctricos, magnéticos, vibraciones y no necesitan de un ambiente especialmente acondicionado para funcionar. Las ventajas del uso de autómatas programables son el manejo de entradas y salidas analógicas; la posibilidad de comunicación entre otros PLC mediante entradas y salidas remotas, computadoras y en red; la elevada velocidad de procesamiento de datos; la capacidad para trabajar con nuevos lenguajes de programación; el reducido espacio de ocupación; la posibilidad de controlar varias máquinas con el mismo autómata mediante la programación en la PC; y la economía de su mantenimiento.

1.4. Didáctica aplicada a la enseñanza formativa.

El ámbito en el cual se desarrollarán las actividades del programa es el Laboratorio de Procesos Productivos (LPP) ya que un laboratorio, desde un punto de vista didáctico, es un entorno equipado especialmente para realizar aprendizajes concretos que no se pueden realizar en el aula convencional. Facilita la síntesis entre teoría y práctica a través del desarrollo de procesos de observación y experimentación en los que se aplican fundamentos teóricos, mediante mediciones, comprobaciones, cálculos, y comparaciones, entre otros. [6]

El desarrollo de las actividades en el LPP promueve no sólo un aprendizaje activo e individual del alumno, en el que él sea el agente autónomo, sino también un aprendizaje directo y rápido basado en competencias específicas y el dominio de destrezas implicadas.

Además, en un laboratorio prevalece la actividad y el protagonismo del estudiante sobre las explicaciones docentes. En este sentido varios autores entienden que el aprendizaje compartido está estrechamente vinculado a la innovación. [6]

La clase expositiva por parte de los docentes es necesaria para realizar y explicar ante un grupo de alumnos una acción compleja, difícil o relevante a través de nuevos conocimientos y con un equipamiento caro o escaso, con el fin de que comprendan su funcionamiento y puedan programarlo y operarlo posteriormente de manera autónoma.

Dadas las características de la temática del programa se concluye en un producto intangible y, en consecuencia, el rol del docente es hacer reflexionar sobre dicho resultado. Por lo cual, la evaluación debe ser cualitativa y formativa, basada en la competencia demostrada y en la seguridad emotivo-cognoscitiva de quien lo realiza, teniendo en cuenta que tales aprendizajes mejoran y se afianzan con la práctica.

2. METODOLOGÍA

Los cursos se basan en un sistema de manufactura integrado por computadora (CIM), equipo didáctico de uso académico diseñado con un nuevo enfoque de la producción basado en sistemas altamente automatizados. Consiste en una plataforma de manufactura a pequeña escala que simula un proceso lineal de fabricación (operaciones, transporte, demora y almacenamiento) de diferentes productos representados por piezas cilíndricas de iguales dimensiones compuestas por aluminio, acero o teflón, perforadas con diferentes tamaños de orificios. Este sistema responde a una filosofía de producción que se basa en el control efectivo del flujo de materiales a través de una red de estaciones de trabajo compatibles con diferentes grados de automatización. Está integrado por máquinas eléctricas y neumáticas (motores, actuadores, sensores, compresores, entre otros). Posee sensores inductivos, capacitivos y fotoeléctricos, una cinta transportadora, un brazo cartesiano que lleva elementos a la mesa rotativa de seis estaciones, un taladro, una cámara con sensor CCD, una balanza y un motor con actuadores lineales que ubican las piezas en la unidad de almacenamiento (Figura 3). Esta plataforma constituye el equipamiento central del LPP y en ella se desarrollan procesos controlados mediante un sistema de manejo de materiales automatizado operado por PC [7]. Permite la construcción de diversos modelos de procesos industriales con diferentes posibilidades para desarrollar actividades con diferentes escenarios (tiempos de procesamiento, tiempos muertos y rendimientos variables y similares a un modelo real industrial).

La plataforma es controlada por un PLC donde el proceso de manufactura es determinado y controlado con el PLC mediante el software TWIDO Suite V2.2. El monitoreo de los valores de las variables de producción se realiza mediante un software de Instrumentación Virtual (LabView) que se encuentra en la PC. Este software almacena los valores del proceso productivo en marcha en una planilla de cálculo (Microsoft Excel) para un posterior análisis sobre rendimientos, colisiones, promedio de fallas, estimaciones y predicciones del comportamiento del sistema productivo, entre otras posibilidades. Se realizarán ensayos en tiempo real operados por computadora con conexión en red local.



Figura 3 Sistema de Manufactura Integrado por computador

Como se menciona anteriormente, la plataforma de modelado y simulación de procesos de manufactura constituye una herramienta esencial para el entrenamiento con fines académicos y profesionales para el continuo desarrollo y mejora de competencias específicas de la carrera de Ingeniería Industrial. Su elección responde a su practicidad, tamaño reducido, facilidad de manejo y la existencia de una amplia variedad de componentes que se encuentran interconectados a escala para realizar ensayos de manufactura en tiempo real. Los procesos pueden ser estudiados y analizados por los alumnos permitiendo el reconocimiento de sus sensores, dispositivos, el manejo de sistemas de adquisición de datos y el diseño de software de simulación, control y monitoreo.

Los resultados obtenidos acerca de las variables de producción aportan información sobre el comportamiento del sistema y otros aspectos relacionados al proceso industrial para poder compararlos y establecer mejoras. Mediante esta propuesta es posible obtener resultados en el modelo a escala que pueden ser utilizados para comparar y estimar comportamientos similares al modelo real o proceso industrial del cual se estudia su comportamiento [8][9].

En resumen, el programa se diseña para que el alumno se capaz de:

- Reconocer dispositivos eléctricos, electrónicos, neumáticos y mecánicos y comprender su integración dentro de un proceso productivo.
- Estudiar diferentes métodos de manufactura y compararlos.
- Reconocer ventajas y desventajas de cada método de fabricación.
- Tomar conocimiento de las nuevas tecnologías de adquisición, simulación, control y monitoreo.
- Utilizar Software de Instrumentación Virtual para adquirir y analizar datos de las variables del mismo.
- Desarrollar plantillas macro de Microsoft Excel para recolectar los datos de las variables del sistema (timers, contadores, entre otros) y analizarlos utilizando los métodos de análisis de procesos de manufactura.
- Participar en el diseño de un sistema de monitoreo mediante el software LabView.
- Tomar conocimiento de la programación de PLC mediante LADDER y GRAFCET para controlar y modificar el proceso.
- Analizar los datos y establecer estrategias de mejora aplicando de los conocimientos expuestos acerca de las nuevas tecnologías y software.
- Documentar las alternativas presentadas.

La metodología de enseñanza elegida se fundamenta en una serie de principios didácticos que fomentan la enseñanza universitaria innovadora tales como: participación activa del alumno;

reflexión para alcanzar resultados con creatividad y productividad; conciencia de autoaprendizaje; y trabajo personalizado, grupal e interdisciplinario. [6]

Se propone analizar diferentes escenarios con situaciones similares a las que normalmente existen en un proceso industrial. Para ello, se simulan procesos simultáneos y secuenciales.

3. RESULTADOS

El programa diseñado está compuesto por una secuencia de cursos, cuyos contenidos se definen en base a los resultados del anterior. Se plantean los primeros de carácter general e introductorio, incrementando el grado de profundidad con el avance del programa.

La metodología empleada permitió desarrollar planteos diversos sobre casos posibles considerando resultados y predicciones sin la necesidad de tener que recurrir al uso real del proceso industrial. Los cursos presentados analizan diferentes situaciones simuladas de un proceso de manufactura industrial a escala para su posterior análisis. Estos se basan en una introducción teórica y en la realización de prácticas fomentando la aplicación de la Plataforma CIM-C para la automatización y optimización de procesos con la plataforma. Ambas estrategias contribuyen con el estudio y análisis de sistemas automáticos, análisis y control de procesos industriales, seguridad y mantenimiento, automatización, neumática, mecatrónica, electrónica, eléctrica, diseño de laboratorios virtuales en LabView y control y análisis de procesos. Además, los valores de las variables del proceso de producción obtenidas durante las prácticas son el primer paso para realizar un análisis estadístico y así poder luego establecer conclusiones sobre rendimientos, número de fallas, tiempos muertos y colisiones contribuyendo con la habilidad para analizar procesos productivos críticamente y establecer mejoras para su elaboración. La plataforma contribuye en el desarrollo de la habilidad para gestionar efectivamente procesos de manufactura, analizarlos críticamente y proponer mejorar a la elaboración tanto para prácticas académicas como para de cursos de extensión y capacitación. Al finalizar cada curso el alumno cuenta con una biblioteca de aplicaciones y ejemplos de automatización para ser utilizada en las actividades profesionales en la disciplina Automatización de Procesos Industriales.

El primer curso que da origen al Programa se desarrolla a fines del año 2012, a cargo del Ing. Roberto Haarth, Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo denominado "Modelado y Control de Procesos Industriales sobre Plataforma CIM-C". Su dictado se plantea exclusivamente para docentes y graduados de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Los principales temas abordados son: fundamentos sobre Modelado y Simulación de Procesos Industriales; Automatización de procesos; Niveles, jerarquías e interrelaciones; Comunicación y transferencia de información, Introducción a los sistemas CIM, Modelo integrado de Control y Supervisión; Dispositivos de Adquisición y Control; Programación de Automatas programable o PLC; Estructura GRAFCET y Aplicaciones en tiempo real. La metodología de evaluación es a través de un Trabajo Práctico grupal para verificar el funcionamiento de un automatismo propuesto basado en una aplicación práctica integradora con la Plataforma CIM. Asisten graduados de Ingeniería Industrial y docentes de las cátedras de Gestión de la calidad, Organización y Dirección Industrial I y II, Introducción a la electrónica, Automatismos Industriales manifestando su interés por vincular la temática de sus asignaturas con CIM.

El segundo curso previsto para el segundo semestre de 2014, se denomina "Introducción al modelado y control de procesos de manufactura integrados por computadora" y está destinado a alumnos, graduados, docentes y profesionales de la Ingeniería Industrial. Los contenidos son Automatización de Procesos; Tipos de sistemas de control y adquisición de datos, Descripción de la plataforma y estructura del CIM; Señales de adquisición y comando; Sensores y actuadores; Software de Adquisición y Control; Automata programable o PLC; Programación de PLC (LADDER). Software PLC TWIDO; Aplicaciones de control y monitoreo en LabView; Planillas de cálculo y adquisición de datos en Excel. Mediante el desarrollo temático del curso se desarrollan prácticas para comprender la metodología de implementación de aplicaciones presentadas con la Plataforma CIM. La metodología de evaluación es mediante un trabajo práctico grupal escrito. El mismo consiste en el desarrollo de una propuesta de mejora de las aplicaciones presentadas en el curso y la verificación de su correcto funcionamiento.

4. CONCLUSIONES

El programa de formación continua diseñado para alumnos, graduados, docentes y profesionales de la Ingeniería Industrial está orientado a desarrollar de la habilidad para gestionar efectivamente procesos de manufactura y posibilita la actualización en nuevas tecnologías y software involucrados en el estudio de la manufactura. La importancia de este programa reside en la carencia de una capacitación estructurada por parte de las empresas proveedoras de equipos y componentes en la zona de influencia de nuestra Universidad y en la política de formación continua del graduado por parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Para garantizar la continuidad del programa de formación se proponen los cursos de formación que estarán sujetos a la evaluación de los mismos por parte de los asistentes y que se enumeran a continuación:

1. SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO DE PROCESOS DE MANUFACTURA MEDIANTE PLC CON TWINCAT 2.2.
2. PROGRAMACIÓN DE PLC MEDIANTE COMPILADORES LADDER Y GRAFCET.
3. APLICACIÓN DE SOFTWARE DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL EN EL MONITOREO Y CONTROL DE PROCESOS DE MANUFACTURA EN TIEMPO REAL.
4. DISEÑO Y DESARROLLO DE MACROS-EXCEL PARA EL ANÁLISIS DE VARIABLES DE PRODUCCIÓN.

4. REFERENCIAS

- [1] Rosel, José; Arnego, Ma. (2006), *Fabricación integrada por ordenador (CIM)*, Editorial Marcombo.
- [2] Rehg, James. (2002). *Introduction to robotics in CIM systems*. 5ta edición. Editorial Prentice Hall.
- [3] Martínez, José; Buendía, Manuel. (2010), *Programación Gráfica para ingenieros*, Editorial Marcombo.
- [4] Batten, George. (1994). *Programmable controllers: hardware, software, and applications*. 3ra edición. Editorial McGraw-Hill.
- [5] Álvarez Pulido, Manuel. (2004). *Controladores Lógicos*. Editorial Marcombo.
- [6] Herrán, A. de la (2011). *Técnicas didácticas para una enseñanza más formativa*. En N. Álvarez Aguilar y R. Cardoso Pérez (Coords.), *Estrategias y metodologías para la formación del estudiante en la actualidad*. Camagüey (Cuba): Universidad de Camagüey (ISBN: 978-959-16-1404-9).
- [7] Haarth, Roberto; Onaine, Adolfo Eduardo; González, Mariela; Tabone, Luciana. (2012). *"Plataforma de modelado y simulación para entrenamiento en procesos productivos aplicados a la industria"*. 3er Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Mar del Plata, Argentina.
- [8] Schroeder, Roger. (2005). *Administración de operaciones*. 1ra edición. Editorial McGraw Hill – Interamericana.
- [9] Krajewski, Lee; Ritzman, Larry; Malhora, Manoj. (2000). *Administración de operaciones. Procesos y cadenas de valor*. 5º edición Editorial. Pearson Educación.