

January 2005

Automatización y mecatrónica en la educación

Jaime Humberto Carvajal Rojas

Universidad de La Salle, Bogotá, jcarvajal@lasalle.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>

Citación recomendada

Carvajal Rojas, J. H. (2005). Automatización y mecatrónica en la educación. *Revista de la Universidad de La Salle*, (39), 45-58.

This Artículo de Revista is brought to you for free and open access by the Revistas de divulgación at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in *Revista de la Universidad de La Salle* by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Automatización y mecatrónica en la educación

Jaime Humberto Carvajal Rojas*

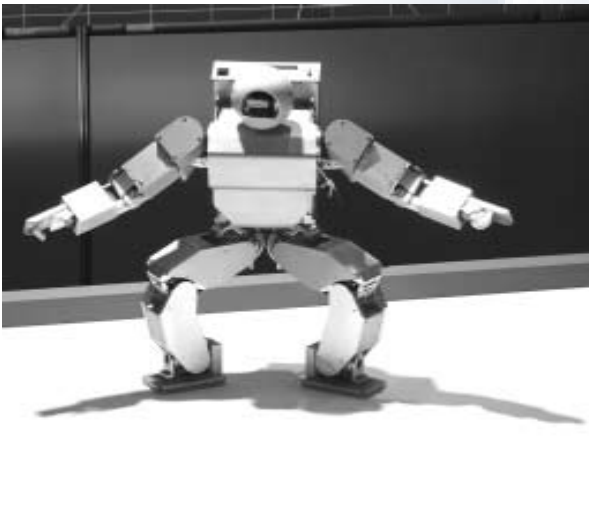


FIGURA 98

Este artículo describe el origen y desarrollo de la automatización electrónica y la mecatrónica en la industria y en la educación, destaca los fundamentos conceptuales que las identifican y resalta los tópicos que configuran los perfiles profesionales en diferentes universidades en el mundo. La automatización electrónica y la mecatrónica son conceptos afines y aplicados en la educación se identifican dos tendencias: (1) diseño mecatrónico y (2) automatización y control.

* Ph. D. en Ingeniería Mecánica con Especialización en Ingeniería Mecatrónica y Robótica Industrial de la Universidad Estatal de Campinas UNICAMP, SP, Brasil; Magister en Sistemas Automáticos de Producción de la UTP, Colombia; Ingeniero Mecánico de la UFPS, Cúcuta, Colombia. Decano Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, Universidad de La Salle. Correo electrónico: jcarvajal@lasalle.edu.co

INTRODUCCIÓN

En la edad media la división del trabajo propició el ambiente para la primera revolución industrial que desarrolló a la sociedad y en especial a los países que crearon máquinas para el aumento de la cantidad y calidad de los productos de consumo masivo. En la primera mitad del siglo XX, la introducción del transistor semiconductor inicia la segunda revolución industrial, hacia la miniaturización de los componentes electrónicos acoplados en circuitos integrados, para generar el computador digital como producto que cambió la mentalidad a la industria y a la sociedad. Estos dos sucesos son la base para el desarrollo de las modernas tecnologías de producción y automatización electrónica que cambiaron el panorama del mundo. Hoy en día, la *mecatrónica* y su expresión concreta de *automatización electrónica*, es un concepto integrador de los fundamentos científicos y tecnológicos que concita los productos específicos en esas dos revoluciones: la integración de las máquinas a los computadores digitales, para crear un nuevo ambiente en el tercer milenio.

MECATRÓNICA

La palabra *Mechatronic* fue compuesta por el veterano ingeniero japonés Yaskawa en 1969, como una combinación de «Mecha» de Mechanisms y «tronics» de electronics. La nueva palabra muy pronto ganó aceptación y empezó a usarse desde 1982 por la industria moderna. En sentido amplio mecatrónica es una jerga técnica que describe la filosofía en la tecnología de la ingeniería, en lugar de un simple término técnico.

Muchas definiciones se han propuesto para la mecatrónica pero su amplitud conceptual no ha permitido normalizar ninguna de ellas; las definiciones más comunes enfatizan en la sinergia. Según Shetty y Kilk (1997) la mecatrónica es

la integración de la ingeniería mecánica con la ingeniería eléctrica y electrónica basada en control inteligente computarizado para el diseño y manufactura de productos y procesos.

Históricamente, el desarrollo de la mecatrónica ha cubierto tres etapas. La primera corresponde a la introducción de la palabra en el medio industrial y su aceptación. Durante esta etapa las tecnologías que la integran se desarrollaron independientemente. La segunda se inicia a comienzos de los años 80 y se caracterizó por la integración sinérgica de sus diferentes tecnologías, como la integración de la óptica a la electrónica para conformar la opto electrónica y el diseño integrado de *hardware / software*. La tercera puede considerarse como la que inicia la era de la mecatrónica propiamente y se basa en el desarrollo de la inteligencia computacional y los sistemas de información. Una característica importante de esta etapa es la miniaturización de los componentes en forma de micro motores y micro sensores integrados en la micro mecatrónica.

Un robot es un ejemplo de tecnología mecatrónica (Figura 1). La mecánica contribuye en el diseño y selección de componentes para la estructura del robot, como: materiales, mecanismos, articulaciones, transmisiones, motores, análisis de la cinemática, análisis de la dinámica, análisis de cargas, momentos de inercia, confiabilidad y seguridad. La electricidad y electrónica contribuyen en el diseño y selección de componentes, como: sensores, transductores, circuitos, redes, servomecanismos, interfaces, amplificadores, convertidores de señales, acondicionadores de señales, sistemas de potencia y sistemas de visión. La ciencia computarizada y sistemas de información contribuyen con dispositivos de control, *software* para el modelamiento, simulación, supervisión, programación de trayectorias, optimización, y dibujo y diseño asistidos por computador CAD de la estructura del robot.

FIGURA 1. MECATRÓNICA DE ROBOTS.



AUTOMATIZACIÓN

Según Groover (2000) la automatización en los sistemas productivos, se define como una tecnología relacionada con la aplicación de sistemas mecánicos y electrónicos integrados con sistemas computarizados para operación y control de la producción.

Hoy en día, la automatización industrial es de base electrónica y es programable, reprogramable y flexible a diferencia de la automatización de antes del advenimiento de la electrónica (1947) que era fija porque se basaba en componentes y sistemas mecánicos (Figura 3).

En la automatización industrial la integración de los sistemas de manufactura en la fábrica con los sistemas computarizados para su programación y control, es su punto de partida. Un desarrollo de esta automatización industrial es la integración de los sistemas de apoyo computarizados como los sistemas CAD, CAM, CAE, FEA, CAPP, entre otras opciones; y otro desarrollo es la integración de los sistemas de operación y manejo de la información a nivel de la planta y a nivel de la empresa, como el planeamiento estratégico a través de *floor shop scheduling*, *job shop scheduling* y *FMS scheduling*. El término CIM indica el uso intensivo y extensivo de los sistemas computarizados en los sistemas

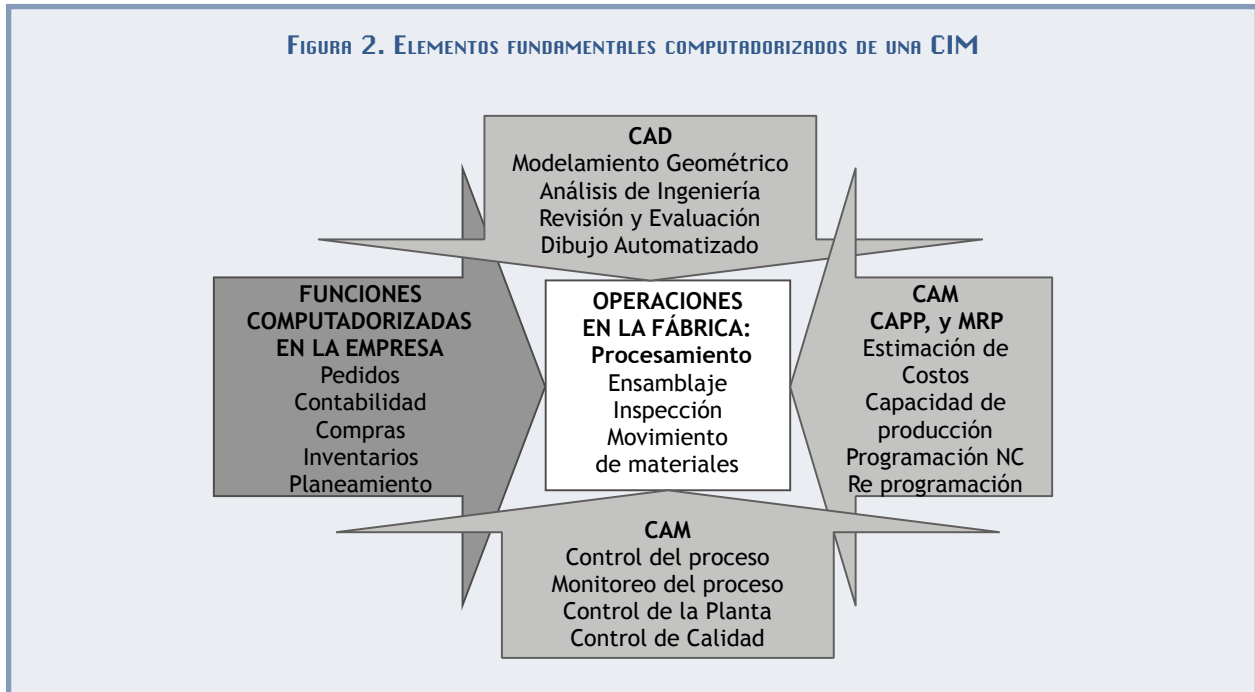
de producción, e incluye todas las funciones de ingeniería relacionadas con la fabricación, pero también incluye las funciones en los negocios de la empresa relativas a la producción. El ideal de los sistemas CIM es aplicar tecnologías computarizadas y de comunicación a todas las funciones operacionales en la fábrica y a todas las funciones de procesamiento de la información en la empresa, desde la demanda de pedidos, a través del diseño y la producción hasta cuando el producto se pone en el mercado.

Los sistemas de manufactura automatizados modernos operan en la fábrica sobre la materia prima en donde realizan operaciones, tales como procesamiento, ensamblaje, inspección o manejo de materiales. Y estas operaciones automatizadas son realizadas con un reducido nivel de participación humana comparada con el correspondiente proceso manual. En los sistemas altamente automatizados la participación humana es muy reducida. Ejemplos de sistemas de manufactura automatizados incluyen:

1. Máquina herramientas automatizadas como CNC.
2. Sistemas de montaje o ensamblaje automatizados.
3. Empleo de robots industriales para procesamiento, ensamblaje, o manejo de materiales.
4. Sistema de transporte y transferencia de materiales automáticos como cintas transportadoras y robots.
5. Sistemas de almacenamiento automatizado con robots industriales.

6. Sistemas de inspección automatizada con robots y visión artificial para control de calidad.

7. Automatización con sistemas oleo neumáticos controlados con PLCs de procesos industriales y agroindustriales.

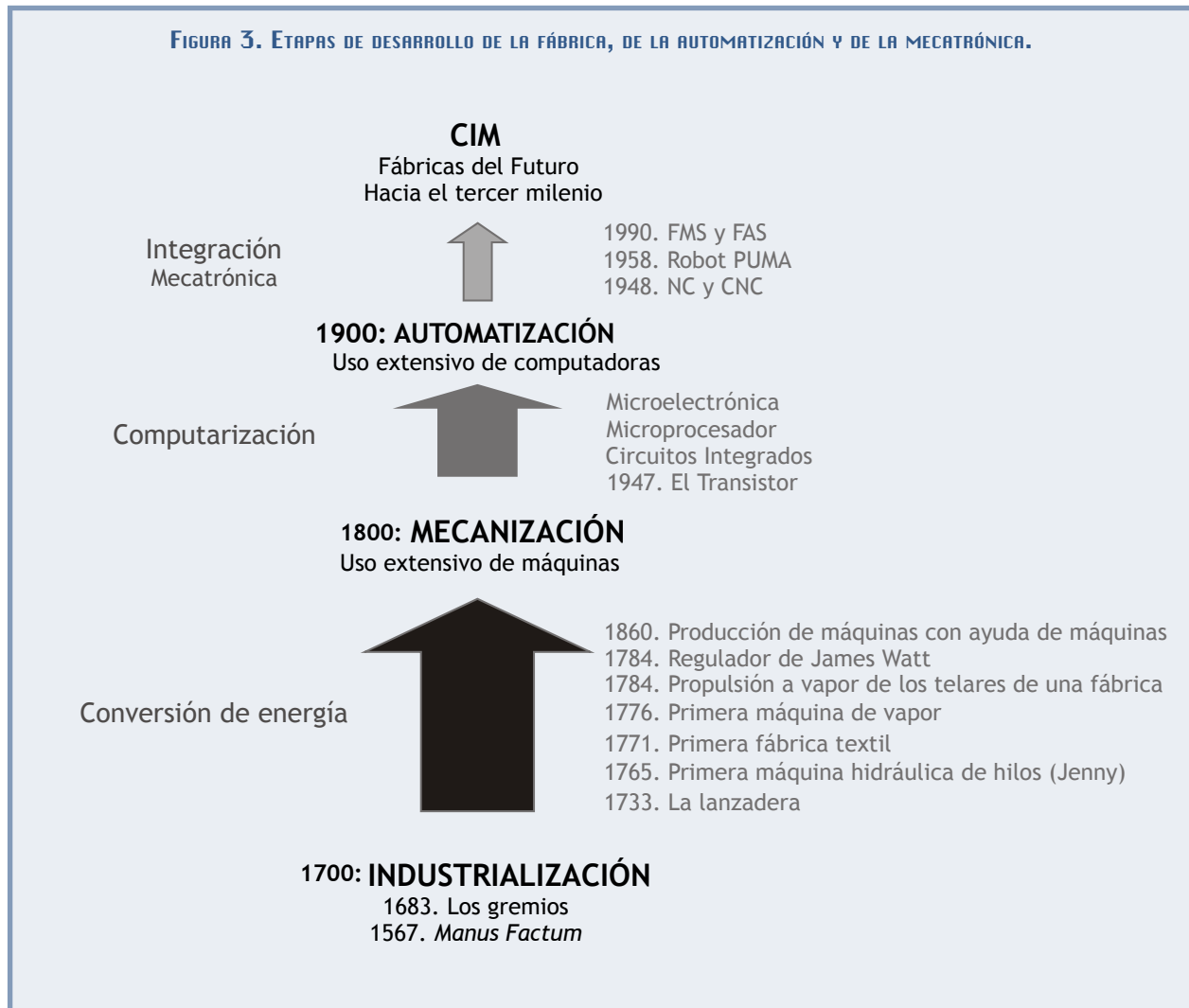


SINOPSIS HISTÓRICA DEL DESARROLLO DE LA FÁBRICA

La creación y desarrollo de la automatización y de la mecatrónica ha impulsado la modernización de los sistemas productivos. En la Figura 3, se presenta un esquema de desarrollo de la fábrica desde los gremios artesanales hasta el desarrollo de la mecatrónica actual. En la etapa de *industrialización* el trabajo manual disperso o trabajo artesanal, es agrupado en la fábrica y gradualmente substituido por el trabajo mecánico a través de dispositivos y mecanismos que configuran las máquinas. El uso de energía hidráulica para el movimiento de los mecanismos fue el primer paso hacia la mecanización; posteriormente se empleó la energía térmica. Hoy en día, la mecanización de las operaciones de manufactura significa el empleo de mecanismos movidos con energía hidráulica, neumática, térmica, eléctrica o una combinación de estas energías. La etapa de *mecanización* significa

el empleo intensivo y extensivo de estas formas de energía para el movimiento de los mecanismos. La etapa de *automatización* industrial programable, re programable y flexible, adviene con la creación de la electrónica digital y control digital de las operaciones de manufactura y mecanismos, es decir, con la mecatrónica. La integración de las máquinas de control numérico computarizado CNC con los robots industriales por medio de un computador digital para su programación y control, da origen a los sistemas flexibles de manufactura FMS y sistemas flexibles de montaje FAS, que son la expresión moderna de los sistemas de manufactura tradicionales. La manufactura integrada por computador CIM es la estrategia de desarrollo de estas tecnologías avanzadas de manufactura AMT, basadas en automatización electrónica. Todo este desarrollo en los sistemas productivos fue posible por la integración sinérgica de sistemas mecánicos, electrónicos y computarizados para la automatización industrial.

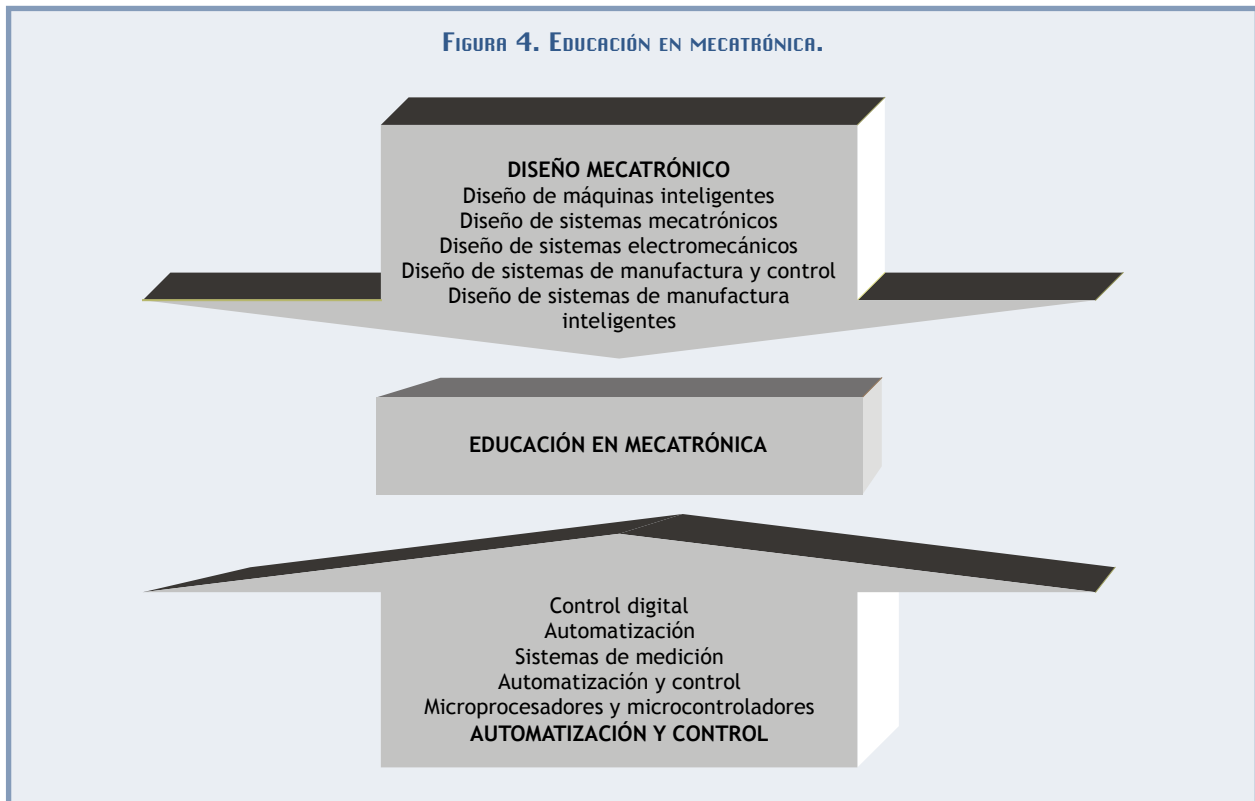
FIGURA 3. ETAPAS DE DESARROLLO DE LA FÁBRICA, DE LA AUTOMATIZACIÓN Y DE LA MECATRÓNICA.



EDUCACIÓN BASADA EN AUTOMATIZACIÓN Y MECATRÓNICA

La mecatrónica ha originado controversias en su aplicación y desarrollo como nueva área de ingeniería. En la industria su aplicación es una realidad en continuo crecimiento, pero en la educación ha tenido resistencias. En la industria, la automatización y la mecatrónica comenzó en la ingeniería de manufactura de robots industriales y su aplicación se ha extendido a los sistemas de

producción con termo fluidos. En la educación, la automatización y la mecatrónica significan integración de los fundamentos de ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica / electrónica e ingeniería de computación y sistemas de información, para configurar el perfil del profesional del tercer milenio. La mecatrónica solo fue posible después del advenimiento de la electrónica y la automatización electrónica necesitó del advenimiento de las dos anteriores.



Las universidades que desarrollan ingeniería mecatrónica y de automatización destacan los siguientes perfiles de profundización:

1. Microprocesadores y microcontroladores
2. Diseño de máquinas inteligentes
3. Diseño de sistemas de manufactura inteligentes
4. Diseño de sistemas electromecánicos
5. Diseño de sistemas mecatrónicos
6. Automatización
7. Automatización y control
8. Control digital
9. Sistemas de medición
10. Diseño de sistemas de manufactura y control
11. Diseño y automatización electrónica

La Figura 3, presenta un resumen de la tendencia de la ingeniería mecatrónica en la educación profesional, en donde pueden identificarse dos áreas complementarias: diseño mecatrónico de productos y sistemas, y automatización y control.

MICROPROCESADORES Y MICROCONTROLADORES

La mecatrónica aplica del concepto de Ingeniería Concurrente CE para el diseño y manufactura de sistemas electromecánicos. El diseño es interdisciplinario y los subsistemas eléctrico, electrónico, mecánico y computador son simultáneamente acoplados para funcionar como un sistema sencillo integrado. Esta filosofía se comenzó a aplicar fundamentalmente para el diseño de sistemas robotizados.

En el ambiente de filosofía del diseño mecatrónico se implantan los microprocesadores dentro de sistemas electromecánicos para dar al sistema mejoras sofisticadas semiautónomas. El diseño de tales sistemas produce cambios en la mentalidad del ingeniero porque lo induce a integrar varias disciplinas del conocimiento para lograr un propósito, pero también lo habilita para integrarse con ingenieros de diferentes áreas y conformar un equipo interdisciplinario que trabaja como una unidad.

El curso de microprocesadores ha sido empleado en el departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Georgia en Atlanta para introducir la filosofía mecatrónica a estudiantes de graduación y postgraduación a través de proyectos de diseño mecatrónico desarrollado en grupos. Estos grupos se organizan desde el principio del curso y trabajan a lo largo del mismo y al final presentan una conferencia para estudiantes y profesores de la facultad en donde muestran los resultados del proyecto.

Los temas de los proyectos son tomados de los tópicos que conforman el curso de microprocesadores y cada grupo se especializa en un área pequeña, pero a lo largo del curso se presentan informes de avance de cada proyecto para facilitar una sesión de preguntas y respuestas que sirve de base para intercambiar información entre los grupos. Lo importante es el intercambio de conocimientos y experiencias entre los grupos y así consolidar la especialización de cada grupo.

DISEÑO DE MÁQUINAS INTELIGENTES

Los computadores digitales juegan un papel importante en el diseño y fabricación de productos cada vez más sofisticados como los aviones modernos, el telescopio espacial Hubble o el empleo de *just - in - time* en los sistemas de manufactura. Estos productos requieren que mecanismos, sensores, motores, unidades de potencia, computadores y flujo de información sean integrados en las fases de diseño y fabricación y que el equipo de diseñadores comprendan no solamente de *software* e interfaces electrónicas sino también entiendan sobre engranajes y motores. Es necesario, entonces, que el equipo de diseñadores trascienda la frontera que separa la Ingeniería Mecánica de la Ingeniería Eléctrica.

El Diseño de Máquinas Inteligentes es un curso impartido por el Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Massachusetts

MIT para integrar diferentes disciplinas de la ingeniería en una sola área de mecatrónica. El prerrequisito del curso es programación de computadores más fundamentos de diseño mecánico. En las primeras semanas del curso se organizan grupos de trabajo de dos o tres estudiantes que comienzan a seleccionar un producto, dispositivo o sistema que diseñarán y construirán durante el desarrollo del curso. El proyecto incluye un procesador como componente esencial. Las clases magistrales son la parte minoritaria del curso porque el trabajo principal se desarrolla en el laboratorio. El laboratorio dispone de todas las herramientas esenciales para realizar el proyecto.

Algunos de los proyectos desarrollados son: (1) vehículo guiado autónomamente AGV con rayos infrarrojos y sensores ópticos, (2) vehículo autónomo con sensores ópticos y motor DC para mantener en equilibrio un péndulo invertido, (3) sistema automático para identificación de llamadas telefónicas usando código de barras y enviar la comunicación a una base de datos centralizada, (4) sistema de calibración inteligente para esculpir rostros humanos para el museo Madame Tussaud de Londres, (5) sistema dispensador de bebidas frías, (6) un marcador automático para diseño de figuras en madera, (7) bicicleta mecatrónica que mide el torque y la velocidad de pedaleo del usuario.

DISEÑO DE SISTEMAS DE MANUFACTURA INTELIGENTES

Los factores primarios para la generación de valor agregado que dominan hoy en día el mercado global son la innovación, automatización, sofisticación y gerencia estratégica, y todos ellos dependen de sistemas de *software* inteligentes. Los japoneses han liderado por más de veinte años los productos y sistemas robotizados y mecatrónicos, pero no el *software*. En 1989 un grupo de investigadores

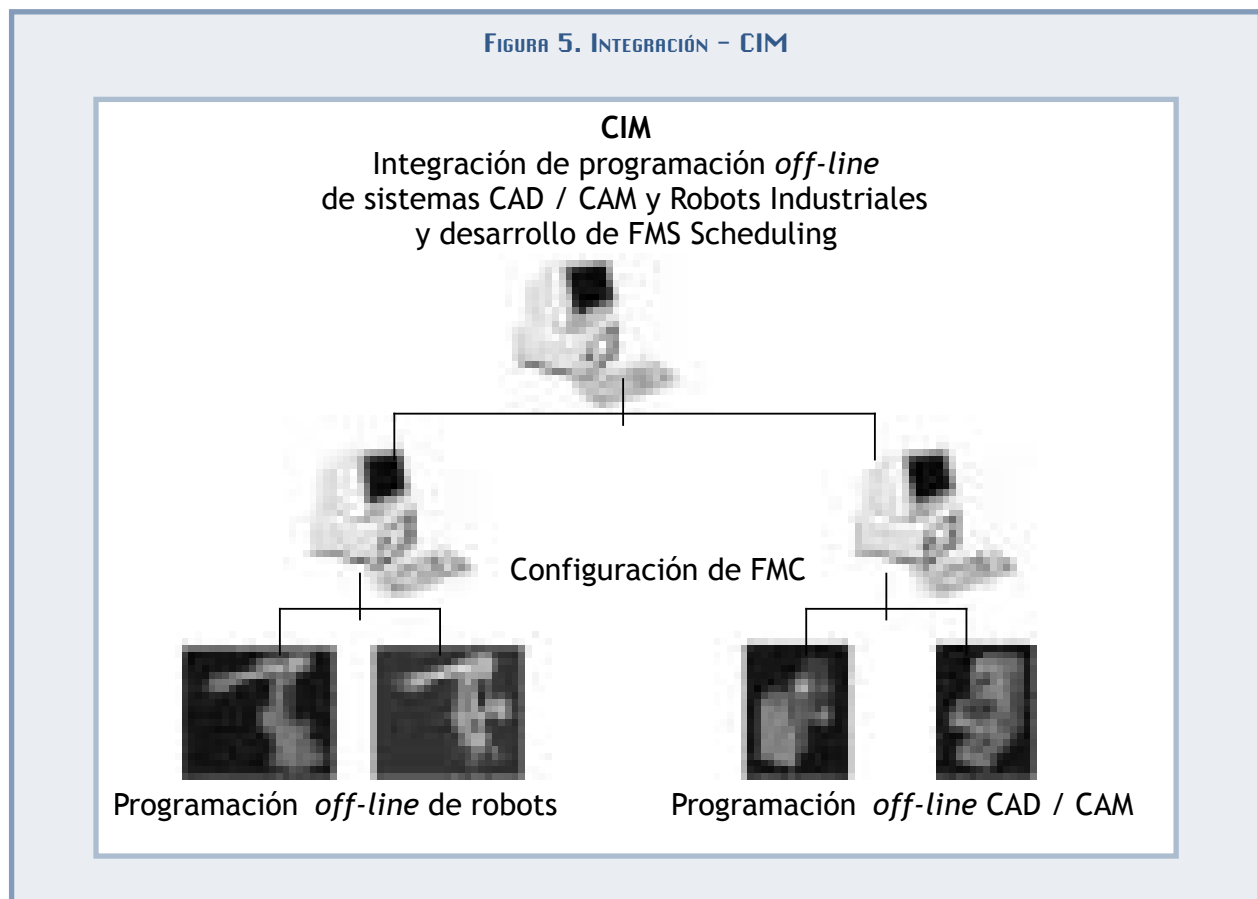
de Tokio que visitaba varias industrias y agencias federales de los Estados Unidos, en reconocimiento de esta situación, propuso unir a los investigadores de las dos naciones en una nueva área integrada interdisciplinaria en el campo de la manufactura llamada sistemas de manufactura inteligente IMS. Esta iniciativa tiende a mejorar la CIM.

Los IMS pueden ser considerados como la integración de la mecatrónica inteligente y la CIM y combina disciplinas tales como ingeniería industrial, ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica y ciencia computadorizada. La inteligencia artificial AI y las tecnologías basadas en sistemas expertos ES combinadas con sensores inteligentes, motores y circuitos digitales, permiten

este avance en precisión y control de sistemas de manufactura en tiempo real.

Una investigación sobre mecatrónica inteligente y manufactura inteligente se desarrolló en la Universidad Estatal de Louisiana para el diseño e implementación de un modelo de control para una celda de manufactura. Con programación orientada a objetos y técnicas de diseño de sistemas de control se ajustó el *offset* entre el modelo virtual de control de la celda y el modelo real de control de la celda. Con programación en C++ orientado a objetos se implementó la unidad autónoma bajo el sistema de control operativo. El sistema operativo fue Microsoft, Windows y Windows para trabajo en grupo.

FIGURA 5. INTEGRACIÓN - CIM



DISEÑO DE SISTEMAS ELECTROMECÁNICOS

En Rusia, la Universidad Estatal Electrotécnica de San Petersburgo, ha integrado la educación en mecatrónica con disciplinas de varios departamentos de ingeniería y abarca los siguientes contenidos: álgebra lineal, control lineal, robótica, electrónica, principios de electrotecnia, control óptimo, control adaptativo, programación de computadores y simulación de sistemas electromecánicos. Estas disciplinas son desarrolladas en torno a proyectos de diseño de sistemas electromecánicos, realizados por grupos de estudiantes bajo la tutoría del profesor y apoyándose en recursos disponibles en los laboratorios.

DISEÑO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS

Hoy en día, los sistemas mecatrónicos abarcan desde la maquinaria en la industria pesada, pasando por sistemas de propulsión de vehículos, por dispositivos de control de movimiento de precisión en sistemas mecánicos hasta productos de consumo popular. El Departamento de Ingeniería Mecánica y el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Estatal de Ohio han creado un currículo interdepartamental con las tres disciplinas siguientes: (1) introducción a la mecatrónica, (2) dispositivos de movimiento electromecánico y (3) modelamiento y control de máquinas eléctricas industriales. Estas disciplinas culminan con el desarrollo de un proyecto mecatrónico empleando el equipamiento disponible en los laboratorios. El alma de estos cursos se encuentra centralizada en los siguientes tópicos: circuitos, electrónica, diseño lógico, microprocesadores, sistemas dinámicos y vibraciones, sistemas dinámicos y electromecánica y sistemas de medición. Como temas especializados se tienen: introducción a la mecatrónica, dinámica y simulación de sistemas electromecánicos, control de sistemas electromecánicos y proyecto de diseño

mecatrónico. Además, como tópicos electivos se tienen: dinámica de maquinaria y vibraciones, control digital, sistemas de potencia fluida, diseño mecánico de manipuladores y robots, programación de robots. Algunos de los proyectos realizados en el marco de estos cursos son: (1) diseño, análisis y prueba de un vehículo eléctrico para carreras; (2) diseño de una válvula electromecánica con microcontrolador para sistemas de manejo de potencia en vehículos de propulsión; y (3) diseño de un sistema de inyección para motores pequeños operados con microcontrolador.

DISEÑO DE SISTEMAS DE MANUFACTURA Y CONTROL

Los proyectos integradores caracterizan al programa de ingeniería mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB, Colombia y su propósito es la orientación del estudiante para desarrollar investigación formativa en ciencia y tecnología. Los proyectos integradores se desarrollan en cuatro etapas: (1) proyecto integrador de ciencias básicas, (2) proyecto integrador de Ingeniería, (3) práctica empresarial y (4) trabajo de grado.

En los **proyectos integradores de ciencias básicas**, los estudiantes aplican los conceptos fundamentales de ciencias básicas y de ingeniería para la solución de problemas prácticos que les permiten integrar las asignaturas cursadas en cada uno de los tres primeros semestres. Estos proyectos integradores están orientados por un equipo docente que les hace seguimiento y los evalúa.

Los **proyectos integradores de ingeniería**, le permiten al estudiante desarrollar un proyecto de investigación en tecnología mecatrónica e integran las asignaturas de los cuatro semestres intermedios del programa. Este proyecto incorpora trabajo experimental, modelamiento matemático, o ambos

y es realizado en equipo de dos o tres estudiantes con los recursos de los laboratorios del programa y con supervisión de un profesor investigador.

La **práctica empresarial** es una experiencia extra curricular que el estudiante realiza durante un semestre en la industria regional, nacional o internacional para que entre en contacto con la fábrica, pueda conocer directamente el estado de las tecnologías y formule soluciones que modernicen los sistemas productivos. En algunos casos, de esta práctica empresarial el estudiante formula su propuesta de trabajo de grado.

El **trabajo de grado** es otro proyecto integrador realizado en equipo por los estudiantes mediante el cual se soluciona un problema en la fábrica. Generalmente, estos problemas están relacionados con el diseño mecatrónico de nuevos sistemas de manufactura y de producción. El proyecto es supervisado por un profesor investigador del programa y puede ser desarrollado durante un periodo de dos semestres consecutivos, a partir de finalizado el octavo semestre.

Las áreas de desempeño del ingeniero mecatrónico de la UNAB son: diseño asistido por computador CAD, manufactura asistida por computador CAM, sistemas flexibles de manufactura FMS, sensórica, automatización y control industrial, sistemas de adquisición de datos, automatización oleo neumática, microcontroladores y robótica.

AUTOMATIZACIÓN

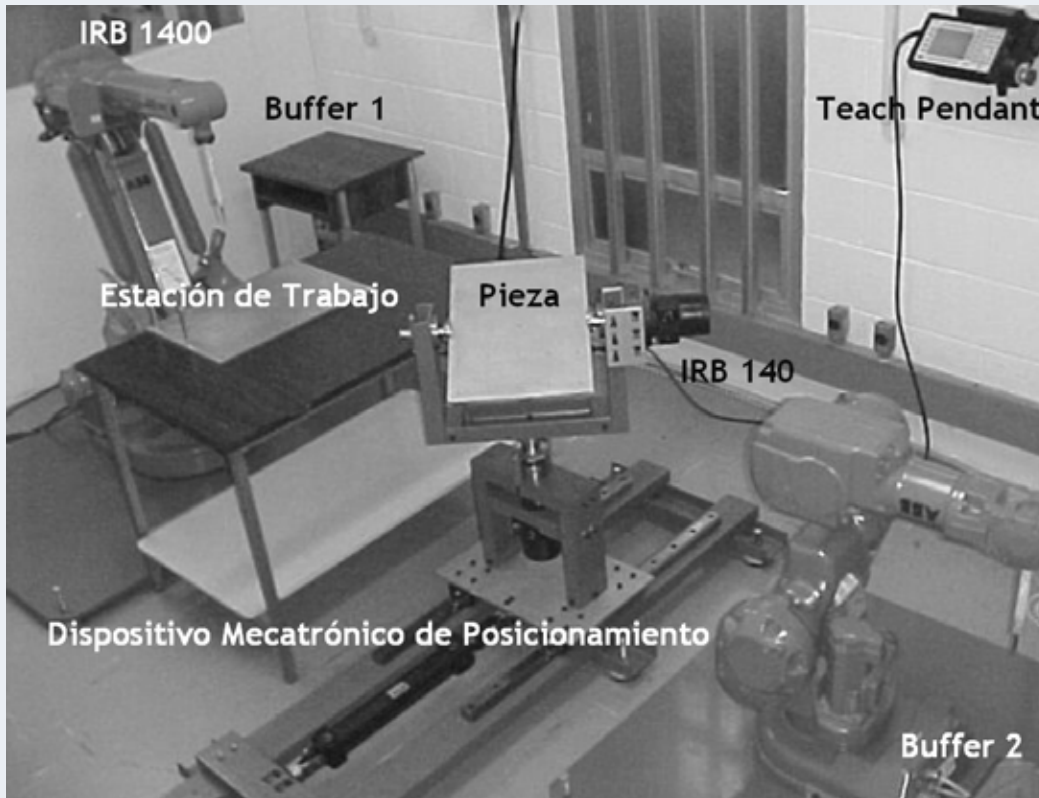
En las universidades alemanas el término «mecatrónica» es poco usado en el campo de la ciencia e investigación, a diferencia de los demás países industrializados de Europa. Pero en los «Sistemas de Automatización» se emplean el mismo contenido técnico y de procedimiento que con el término mecatrónica lo emplean en el resto del mundo. Los sistemas modulares de

producción MPS se han diseñado en Alemania para la educación en mecatrónica, porque integran los fundamentos de las tecnologías y ciencias de la ingeniería mecánica e ingeniería electrónica. La modularidad de los MPS está estructurada para permitir total flexibilidad en el nivel de entrenamiento de complejidad, procesamiento de los módulos, estaciones para instalaciones y procesos. Los usuarios pueden desarrollar desde un simple circuito de flujo de información hasta supervisión y control total de planta. También, con estos módulos puede implementarse CIM si se incorpora el *software* de gestión en la empresa. La integración computadorizada de los diferentes módulos permite el entrenamiento en mecatrónica o automatización industrial porque el MPS puede modelar a escala una fábrica, simular y programar en tiempo real las diferentes funciones como: manejo de materiales, almacenamiento, transporte, maquinado, ensamblaje, control y calidad.

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

Los sistemas productivos actuales deben condicionarse para ser competitivos dentro de un mercado con crecientes exigencias en diversificación, selección y adquisición de bienes de consumo. Considerando esta necesidad, la Universidad Estatal de Campinas UNICAMP, en el Estado de San Pablo, Brasil, desarrolla un programa de Ingeniería de Control y Automatización. Este ingeniero de control y automatización o ingeniero mecatrónico de la UNICAMP, es capacitado para desempeñarse como interfase del sistema productivo y el sistema gerencial de las empresas. Su formación multidisciplinar en las áreas de mecánica, electrónica, instrumentación industrial, informática, control y gestión de la producción, le permitirá elaborar estudios y proyectos, participar en la dirección y fiscalización de actividades relacionadas con el control de procesos y la automatización de sistemas industriales.

FIGURA 6. FMC DE LA UNICAMP, SP, BRASIL



CONTROL DIGITAL

Algunas universidades han desarrollado la educación en mecatrónica involucrando sus contenidos en dos paradigmas: paradigma de alto nivel y / o paradigma de bajo nivel. En el paradigma de alto nivel se concentra la educación de la mecatrónica en los computadores personales como estaciones de trabajo en donde se emplean lenguajes de programación de alto nivel como C, C++, FORTRAN, BASIC y PASCAL. En el paradigma de bajo nivel se concentra la educación de la mecatrónica en el empleo de microcontroladores populares comercialmente como Motorola e Intel y haciendo hincapié en la programación en lenguaje de máquina o lenguaje ensamblador.

Entre las universidades que enseñan mecatrónica usando el paradigma de bajo nivel para la instrucción se encuentran Universidad Waikato de Nueva Zelanda, Universidad Concordia en Canadá, en USA la Universidad de Standford, la Universidad del Sur de Carolina, el Instituto Tecnológico Rose - Hulman, y en Instituto Tecnológico de Georgia. El curso se orienta hacia el diseño de sistemas mecatrónicos tomando como base la teoría y práctica de microprocesadores, además, se incluyen tópicos sobre circuitos digitales, aritmética digital, lenguaje ensamblador y de máquina, temporizadores, dispositivos de entrada / salida, interfases electrónicas; todos los tópicos desarrollados en torno a un proyecto mecatrónico.

Las universidades que enseñan mecatrónica usando el paradigma de alto nivel incluyen a la Universidad Estatal de Colorado, el Instituto Politécnico Rensselaer, la Universidad Estatal de Iowa y la Universidad Estatal de Ohio. Estos programas emplean las estaciones de trabajo con computadores personales y lenguajes de programación de alto nivel y a menudo se desarrollan sistemas matemáticos para el modelamiento y simulación de sistemas físicos.

Las universidades que enseñan mecatrónica usando un paradigma mixto, de bajo nivel y alto nivel, incluyen a la Universidad de Tulsa, la Universidad de Delaware, la Universidad Purdue en USA y en Europa se incluyen a la Universidad Tecnológica de Loughborough, la Universidad de Dundee, la Universidad de De Montfort, la Universidad Cranfield, y la Universidad de Lancaster en el Reino Unido, la Universidad Técnica de Dinamarca, la Universidad de Twente en Holanda, el Instituto Tecnológico de Suiza, la Universidad Católica en Bélgica, y la Universidad Johannes Kepler de Linz en Austria. Todas ellas incorporan el aprendizaje de lenguajes de programación de computadores de alto nivel y lenguaje de programación en lenguaje de máquina o lenguaje ensamblador de microcontroladores. Además, cubren tópicos sobre convertidores A / D y D / A, dispositivos I / O, PLC e interfases, control digital de mecanismos en mesas X - Y, control digital de robots, e integración de sensores y actuadores.

SISTEMAS DE MEDICIÓN

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Estatal de Colorado imparte un curso de graduación titulado Mecatrónica y Sistemas de Medición. Este curso combina teoría de medición, instrumentación, electrónica analógica - digital, sensores - actuadores, control computadorizado, e interfases. Y el desarrollo del mismo se realiza por medio de proyectos en laboratorio de la

universidad. Este curso incorpora la influencia que la ingeniería electrónica ejerce sobre la ingeniería mecánica y se desarrolla con clases magistrales, pero el componente principal son los proyectos desarrollados en laboratorio. Se resalta, que el estudiante programe computadores en un lenguaje conocido como FORTRAN, C o BASIC para facilitar el desarrollo de las actividades del curso. Algunos de los proyectos desarrollados son: (1) Scanner con laser digital para superficies en tres dimensiones, (2) robot cilíndrico que emplea un sensor óptico en extremo libre como dispositivo de seguimiento de la trayectoria de posicionamiento de objetos, (3) brazo robot flexible de alta velocidad con sistema de entrega, y (4) sistema electrónico de mapeo del perímetro de un salón acústico.

DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN ELECTRÓNICA

La automatización electrónica actualmente es programable, reprogramable y flexible y sería imposible sin la creación de la electrónica. La Universidad de La Salle, en Bogotá, Colombia; ofrece desde 1992, un programa de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, que se caracteriza por el diseño y desarrollo de la automatización industrial y la automatización agroindustrial. La automatización industrial se apoya en la enseñanza de tecnologías como microcontroladores, PLCs, CNC, CAD / CAM, Robótica, FMS y CIM, en tanto que la enseñanza en automatización agroindustrial se apoya en sistemas de automatización oleoneumáticos, PLCs, sensorica e instrumentación. El desarrollo de los proyectos para optar el diploma de ingenieros, integra al menos dos disciplinas de la mecatrónica a partir del diseño en ingeniería, pasando por un seminario de automatización de productos y procesos hasta el desarrollo de prototipos. También, desarrolla la bioingeniería como una nueva línea de investigación. La Figura 7 muestra parte de los laboratorios de sistemas integrados de manufactura.

FIGURA 7. LABORATORIO DE CNC, CAD / CAM Y CIM DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE.



CONCLUSIÓN

La automatización electrónica y la mecatrónica son áreas afines que se basan en la creación y desarrollo de la electrónica y su integración a sistemas mecánicos

para su programación y control con sistemas computadorizados. Son sistemas automáticos de producción SAP controlados, programados y asistidos por redes de computadores.

BIBLIOGRAFÍA

- Alciatore, D. y M. «Histand. Mechatronics at the Colorado State University». *Mechatronics* 5 7 (1995): 799-810.
- Durfee, W. «Designing Smart Machines: Teaching Mechatronics to Mechanical Engineering through a project - Based, creative design course». *Mechatronics* 5. 7 (1995): 775-787.
- Carvajal, J. *Robótica: Aproximación al diseño mecatrónico*. Barranquilla: Universidad del Atlántico, 2000.
- Carvajal, J. *Modelamiento, simulación y programación off line de robots y dispositivos mecatrónicos integrados en células flexibles de manufactura FMC*. Tesis de doctorado. Brasil: UNICAMP, SP, 2004.
- Janocha. H. «Mechatronics from the point of view of German Universities». *Mechatronics* 3. 5 (1993): 543 - 558.
- Keys, L., et al. «Intelligent Manufacturing Systems (Smart Mechatronics & CIM) at Louisiana State university». *Mechatronics* 5. 7 (1995):743-752.
- Koga, M. y M., Sampei. «An integrated software environment for design and real - time control of mechatronic systems». *Proceeding of the International Conference on Advanced Mechatronics*. Okayama, Japan, 1998.
- Groover, M. *Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*. Prentice Hall. 2000.
- Maekawa, K. «Control System Design Automation for Mechanical Systems-machine tool module and control parameters calculation module». *Proceeding of the International Conference on Advanced Mechatronics*. Okayama, Japan, 1998.
- Rizzoni G. y A., Keyhani. «Design of Mechatronic Systems: An integrated inter-departmental Curriculum». *Mechatronics* 5 7. (1995): 845-853.
- Shetty, D. y R., Kilk. *Mechatronics System Design*. Boston: PWS Publishing Company, 1997.
- Timmerman, M. «A Hybrid approach for mechatronics instruction at the University of Tulsa». *Mechatronics* 5. 7(1995): 833-843.
- Ume, Ch.y M., Timmerman. «Integrated hardware and software designs in mechatronics laboratory courses». *Mechatronics* 4. 5 (1994): 239-549.
- Van Amerogen, J. *Mechatronic Design*. *Mechatronics* 2000, The 7th. Mechatronic Forum International Conference, Atlanta, USA, Aug. (Plenary paper).
- Vodozov, V. M. «The Educational Resources of Mechatronics». *Mechatronics* 5. 1 (1995): 15 - 24.