



MECATRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD AGRÍCOLA

Justificación de la especialidad en la Universidad Autónoma Chapingo, México

Mechatronics at the Agricultural University: Justification Specialty
in the Autonomous University of Chapingo, Mexico

EUGENIO ROMANTCHIK, GILBERTO LÓPEZ CANTEÑS, JOSÉ SOCA CABRERA
Universidad Autónoma Chapingo, México

KEY WORDS

*Agriculture
Higher education
Mechatronics*

ABSTRACT

Mechatronics is one of the main development strategies that have been spreading in industrialized countries, a strategy that companies worldwide must adopt in order to maintain high standards of competitiveness. The objective of this presentation is to analyze the development of the Mechatronic Engineering career in Mexico and in the world and to propose a new Emerging Engineering - Agricultural Mechatronics. The technical, economic and social feasibility of the creation of the degree in Agricultural Mechatronics Engineering at the Autonomous University of Chapingo is presented, in order to provide a solution for the training of professionals in this important and requested technological area for Mexico and the world, especially for Mexican agriculture.

PALABRAS CLAVE

*Agricultura
Educación superior
Mecatrónica*

RESUMEN

La mecatrónica, es una de las principales estrategias de desarrollo que se han venido difundiendo en los países industrializados, estrategia que deberán adoptar las empresas a nivel mundial para mantener altos estándares de competitividad. El objetivo de esta presentación es analizar el desarrollo de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en México y en el mundo y proponer una nueva Ingeniería emergente - Mecatrónica Agrícola. Se presenta la factibilidad técnica, económica y social de la creación de la licenciatura en Ingeniería Mecatrónica Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo, a fin de dar solución en formación de profesionales en esta área tecnológica tan importante y solicitada para México y el mundo, especialmente para la agricultura mexicana.

Introducción

La Universidad Autónoma Chapingo congruente con sus objetivos, crea en el año 1983, el Departamento de Maquinaria Agrícola, con un programa de licenciatura para formar Ingenieros Mecánicos Agrícolas y desarrollar investigaciones que permitan generar tecnologías apropiadas, a las condiciones del campo mexicano y, así, contribuir a la solución de los problemas, en materia de mecanización, de la agricultura nacional.

Entre los retos fundamentales que plantea el sector agropecuario, para su desarrollo, destacan (López *et al.*, 2017):

- La modernización de infraestructura y equipo que eleve su competitividad.
- La adopción de tecnologías sustentables ahorradoras de energía.
- La adopción de innovaciones tecnológicas.

La creciente demanda de profesionistas competentes como resultado de los cambios tecnológicos y organizacionales de México en la agricultura, la industria y las instituciones de investigación, ha creado la necesidad de preparar profesionistas que sepan adaptarse a los constantes avances y cambios en la tecnología. Es por lo anterior, que diversas carreras tienen perfiles profesionales muy semejantes. En ese sentido, es importante tener una visión amplia del desarrollo de las carreras de ingeniería afines en las distintas universidades nacionales.

La mecatrónica, considerada una de las “diez tecnologías emergentes que cambiarán el mundo”, es una de las principales estrategias de desarrollo que se han venido difundiendo en los países industrializados, estrategia que deberán adoptar las empresas a nivel mundial para mantener altos estándares de competitividad frente a las demandas actuales de productividad, calidad, seguridad y eficiencia en las empresas.

Durante 35 años en Chapingo se desarrollaron muchos sistemas relacionados con mecatrónica y automatización, diseñados, construidos, evaluados y hasta patentados. Se presentan los ejemplos de los equipos.

Los objetivos de este trabajo son:

- Analizar el desarrollo de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en México y en el mundo y proponer una nueva Ingeniería emergente - Mecatrónica Agrícola.
- Analizar la preparación de los ingenieros agrícolas, laboratorios existentes como base para nueva carrera.
- Justificar la necesidad y posibilidad de desarrollar en la Universidad Autónoma Chapingo la nueva carrera - la Ingeniería Mecatrónica Agrícola.

Metodología

La Mecatrónica es un enfoque multidisciplinario de la ingeniería, para una mejor comprensión y diseño de sistemas mecatrónicos, dadas las necesidades actuales de la ingeniería mecatrónica, robótica, electrónica, sistemas, eléctrica, industrial, computación e informática, Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica (Bolton, 2013).

La diferencia distintiva del presente proyecto es que la mecatrónica será aplicada en la agricultura, específicamente en las áreas del diseño y manufactura de la maquinaria e instalaciones agrícolas, la agroindustria, la energía y administración (gestión agrícola), como se muestra en el modelo.

Figura 1. Esquema del Modelo para Ingeniería Mecatrónica Agrícola de la UACH.



Fuente: Desarrollo propio, 2017.

Dentro de la metodología de desarrollo de una nueva especialidad son los siguientes temas:

- Análisis el desarrollo de la carrera de Ingeniería Mecánica en México y en el mundo.
- Estudio de mercado laboral del servidor potencial.
- Posibilidad de un departamento de desarrollar una nueva especialidad.
- Desarrollos relacionados con la nueva especialidad.

Estudio de mercado laboral del servidor potencial

El mercado laboral es uno de los indicadores fundamentales en el diseño y puesta en marcha de un proyecto educativo. Con la finalidad de conocer si es necesario incorporar la licenciatura Ingeniería Mecatrónica Agrícola y las principales áreas de oportunidad de trabajo para los egresados de la misma, se llevó a cabo una encuesta con 17 reactivos con preguntas abiertas y cerradas a empresarios fabricantes de maquinaria agrícola,

funcionarios gubernamentales, asesores técnicos y empresarios distribuidores de maquinaria agrícola, con un tamaño de muestra de actores. Los datos fueron tomados con participantes de diferentes estados del país: México, Puebla, Chiapas, Querétaro, Jalisco, Nuevo León, Guanajuato, Hidalgo, Oaxaca, Coahuila, Durango, Michoacán y Sonora.

Para precisar el perfil del profesional (de egreso) requerido por el futuro Ingeniero Mecatrónico Agrícola se solicitó valorar 9 propuestas de competencias profesionales, previamente elaboradas por la comisión para la elaboración de este plan de estudio a través de las siguientes preguntas que, de acuerdo con su experiencia, valore la importancia de cada una de las posibles **competencias profesionales** que debe desarrollar un Ingeniero en Mecatrónica Agrícola:

- a) Aplica los conocimientos de la electrónica, la automatización, la informática y los sistemas mecánicos para resolver problemas ingenieriles en la agricultura y la industria
- b) Desarrolla su práctica profesional con una visión crítica y prospectiva del proceso de evolución tecnológica, aplicando los principios y las técnicas fundamentales de la ingeniería mecatrónica, en búsqueda del bienestar de la sociedad, con actitud de mejora continua y actualización permanente.
- c) Diagnostica, evalúa, diseña y opera sistemas mecatrónicos en los diferentes procesos de la producción agrícola.
- d) Diseña e implementa sistemas de información y software de computación en la solución de problemas relacionados con la agricultura y la industria.
- e) Modela, simula e interpreta el comportamiento de diferentes sistemas mecatrónicos para solucionar problemas reales de la agricultura y la agroindustria.
- f) Desarrolla, aplica y transfiere ciencia y tecnología para la automatización avanzada de la agricultura y la industria.

Posibilidad de un departamento de desarrollar una nueva especialidad

Se analizó el conjunto de personal de DIMA (Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola) para posibilidad de participar en la nueva carrera de Mecatrónica Agrícola, así como la infraestructura de las instalaciones.

Desarrollos relacionados con la nueva especialidad

Como la experiencia de los profesores es importante para éxito de los nuevos proyectos finalmente se analizaron los desarrollos (equipos y

procesos) realizados por los profesores y alumnos de licenciatura y de posgrado de Ingeniería Mecánica Agrícola para mostrar el nivel de módulos desarrollados con aplicación de los elementos mecatrónicos, tales como electrónica, sensores, actuadores, controles y manejo de los datos.

Resultados

Se analizó la oferta educativa similar al Ingeniero Mecánico Agrícola que se imparte en otras instituciones de educación superior, públicas y privadas, con la intención de analizar la orientación de estos planes de estudio, así como sus características más esenciales. La novedad del campo de conocimiento se refleja en la necesidad de generar una oferta educativa innovadora que es pertinente y congruente con las necesidades socioeconómicas del país.

Las instituciones que ofrecen una opción educativa afín son: a nivel internacional: La Universidad de La Laguna, en Islas Canarias; Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), en Sao Paulo, Brasil; Universidades cubanas como la Universidad Agraria de la Habana (UNAH), Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), la Universidad Central de Las Villas (UCLV) y la Universidad de Bayamo (UNIB) con un mismo plan de estudio centralizado; Universidad Nacional de Colombia; Universidad Nacional de Nicaragua; Universidad de León, España; Universidad de Córdoba, España; Universidad Politécnica de Valencia, España, Universidad Politécnica de Catalunya, España; Universitat de Lleida, España; Universidad Politécnica de Madrid, España; a nivel nacional: la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), la Universidad de Guanajuato (UG) en Irapuato, Guanajuato; la Universidad Agrícola Autónoma Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Chihuahua; La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

En Estados Unidos existen más de 40 instituciones ofreciendo la licenciatura, maestría en ciencias y el doctorado en Ingeniería Agrícola y Biosistemas.

Un análisis de las carreras afines que se imparten en México muestra que los profesionales que cubren las necesidades de diseño mecánico, manufactura, análisis de sistemas térmicos y energéticos, automatización de procesos, robótica, mantenimiento, etc., son egresados de las licenciaturas de Ingeniería Mecánica y de Mecatrónica. Sin embargo, la licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola en su formación incluye además de los conocimientos, aptitudes y habilidades anteriores, aspectos fundamentales de la mecanización y automatización de la agricultura. A nivel nacional solo existen dos instituciones adicionales que ofrecen carreras similares a la del

DIMA, mismas que se encuentran ubicadas en los Estados de Guanajuato y Coahuila.

En la agricultura, la agroindustria, las máquinas y dispositivos agropecuarios actuales es muy raro no encontrar una o varias aplicaciones de la mecatrónica (García *et al.*, 2012, 2014, Jianbo *et al.*, 2014, Li *et al.*, 2015, Pérez *et al.*, 2008, Romantchik *et al.*, 2014).

Estudio de mercado laboral del servidor potencial

Cuadro 1. Tipos de personas entrevistadas relacionadas con el sector de la Ingeniería Agrícola.

Indicador	Asesores técnicos	Funcionarios de gobierno	Fabricantes de maquinaria agrícola	Distribuidores de maquinaria agrícola	TOTAL
Cantidad	35	4	5	12	56
%	62.5	7.1	8.9	21.5	100

Fuente: Desarrollo propio, 2018.

El 93% de los encuestados consideraron que si era pertinente formar profesionales a nivel licenciatura en Ingeniería Mecatrónica Agrícola. El 91% consideraron que si existe demanda actual y a futuro de este profesional. En relación a la necesidad anual en el país, el 57% opinaron que estaba entre 50 y 100 profesionales a nivel nacional, el 25% opinaron que las necesidades eran más de 100 y el 18% opinaron que se necesitaban menos de 50 ingenieros a nivel nacional.

Al analizar la posibilidad de que este Ingeniero Mecatrónico Agrícola compita en el mercado laboral con los Ingenieros Agrícolas o Ingenieros Agrónomos que se forman en otras instituciones del país y con los propios Ingenieros Mecánicos Agrícolas formados en la UACH, el 79% manifestaron que podía existir competencia, mientras que el resto 21% no observan que deba existir competencia, por tener perfiles de egreso diferentes (muchas competencias son diferentes, incluyendo las asignaturas de las mallas curriculares respectivas).

La pregunta relacionada con la aceptación de estudiantes de esta ingeniería para realizar estancias preprofesionales y viajes de estudio en sus empresas, los resultados fueron: el 93% de los encuestados respondió de manera positiva, lo cual es una oportunidad para formar profesionistas en contacto con los problemas prácticos, contextualizados y significativos de su perfil de egreso; el resto 7% consideró que podían no ser aceptados en su empresa.

Las respuestas de preguntas sobre las posibles competencias profesionales que debe desarrollar un Ingeniero en Mecatrónica Agrícola y de acuerdo con su experiencia, los encuestados valoraron en una escala del 1 al 3 la importancia de cada una de las posibles **competencias profesionales** que debe desarrollar un Ingeniero en Mecatrónica Agrícola.

Los entrevistados consideraron que es pertinente implementar una licenciatura en

La integración de la ingeniería electrónica, la ingeniería eléctrica, la tecnología de computación y la ingeniería de control con la ingeniería mecánica, la programación y otras ramas conforman lo que se conoce como **mecatrónica**, que ahora forma parte esencial en el diseño, manufactura y mantenimiento

Mecatrónica Agrícola ya que no existe ninguna a nivel de país y que los fabricantes, debido a exigencias de grandes empresas como Case-New Holland (CNH), Massey Ferguson (MF) y John Deere (JD), incluyendo a McCormick, entre otras, están obligados por exigencias internacionales y de su propia empresa a introducir las más recientes tecnologías a sus tractores y maquinaria agrícola para cumplir con estándares internacionales y nacionales en cuanto a eficiencia energética y contaminación ambiental. México es productor de tractores y maquinaria que exporta a EE.UU., Europa y América Central y del Sur, principalmente, además del consumo interno de México.

Cuadro 2. Valoración de las competencias profesionales propuestas, por los encuestados.

COMPETENCIA PROFESIONAL	Donde: 1 - poco importante para su desempeño, 2 - medianamente importante y 3 - muy importante durante su desempeño		
	CALIFICACIÓN		
	1	2	3
a)	1	5	50
b)	2	16	38
c)	2	10	43
d)	6	23	25
e)	2	23	27
f)	4	11	41

Fuente: Desarrollo propio, 2017.

Posibilidad de un departamento de desarrollar una nueva especialidad

El análisis del Personal de DIMA nos dio lo siguiente: está formado por los profesores y técnicos de alta preparación y años de experiencia y tiene gran interés para participar en la nueva carrera de Mecatrónica Agrícola. De 42 profesores y técnicos que están en áreas ciencias básicas, de ingeniería y sociales y agrícola y humanidades son 37% con doctorado y 25% con maestría, así como todo el personal con diferentes cursos y diplomados de superación.

También desarrollamos un Posgrado de maestría y doctorado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA) que funciona desde 2001 y cuenta con 13 profesores de núcleo básico de diferentes departamentos (DIMA, Irrigación y Agroindustria). Todos son doctores titulados en diferentes universidades nacionales e internacionales México (UACH, UNAM, Colegio de Postgraduados), Holanda, Rusia, Japón, Escocia, USA, con diferentes estancias postdoctorales en Holanda, Australia. 73% de los profesores de posgrado son investigadores de SNI y 23% de ellos son de nivel 2.

Actualmente para seguir trabajando con la especialidad nueva Mecatrónica Agrícola en el DIMA los profesores están enfocando a los fundamentos básicos de la Ingeniería Mecánica, Agrícola y Automatización como áreas estratégicas, tecnológicas y científicas, así como sus impactos en diversos sectores de la sociedad agrícola. Proporcionan los conocimientos fundamentales para programar usando de lenguaje de programación. Exponen los principios físicos de los principales tipos de sensores y transductores, así como una descripción de sensores, transductores y actuadores eléctricos, también presentan una exposición de instrumentación electrónica, modelado dinámico. Desarrollan y analizan soluciones posibles para el diseño, desde el punto de vista de la Mecatrónica.

La infraestructura de DIMA es suficiente para desarrollar nueva especialidad, además de los laboratorios de prueba de materiales, de inyección Diésel, de electricidad y electrónica, de hidráulica, neumática y automatización, de energía laboratorio de electricidad automotriz, de cómputo, de mecánica, de metrología, de prueba de motores de combustión interna y mecatrónica tiene muchos diferentes tractores máquinas agrícola, cosechadores y aplicadores de fertilizantes y pesticidas con diferentes niveles de sistemas de automatización.

Los profesores en sus clases e instalaciones dan a conocer a los alumnos los elementos tecnológicos que permiten aplicar de forma práctica la Ingeniería Mecatrónica.

Los alumnos están aprendiendo a interpretar y diseñar dibujos de sistemas para sistemas de control secuencial, a predecir el comportamiento de los sistemas con control proporcional, integral, derivativo, proporcional integral, proporcional derivativo y PID.

Un alumno desarrollará sus habilidades y capacidades para: Desarrollar programas que involucran controladores, actuadores, temporizadores, contadores, etc. Idear modelos para los sistemas mecánicos, eléctricos, fluidos y térmicos.

Con la nueva especialidad además los alumnos aprenderán: Las posibilidades que brindan las tecnologías de los Sistemas Micro - Electro - Mecánicos para lograr soluciones tecnológicas de alta precisión. Las características operacionales de los sistemas de actuación eléctrica. Las analogías entre los sistemas mecánicos, eléctricos, térmicos y de fluidos. El uso de interfaces de comunicación comunes: RS-232, IEEE 488, buses I2C, CAN. Las técnicas para identificar fallas en sistemas basados en microprocesadores. La lógica del lenguaje ensamblador para escribir programas que contengan transferencias de datos, aritmética, lógica, jumps, branches, subrutinas, retrasos y tablas de consulta. Utilizar lenguaje C para la escritura de programas sencillos para microcontroladores.

Desarrollos relacionados con la nueva especialidad

Entre los equipos desarrollados en el DIMA e IAUIA de la UACH y contenidos de suficiente nivel de mecatrónica para diferentes funciones se destacan los siguientes:

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc., y va ligado a, prácticamente, todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.).

Hoy en día, existe un extenso número de diferentes mecanismos automatizados para la selección de diversos objetos, es decir, que un mecanismo de selección posee una aplicación específica de acuerdo a las bases que dieron justificación a su construcción.

En el laboratorio de automatización con fines didácticos se desarrollaron dos sistemas de control automático (Lagunes, 2002, López, 1999): Brazo robótico (Figura 2) y selección de material (Figura 3). Son primeros equipos con elementos de mecatrónica que son sensores, actuadores y control. Además, aplicaron los PLC (Controler Logico Programable) para programar las secuencias de los movimientos y otras funciones.

Otra máquina desarrollada en esta universidad es de selección de chile. Chile Jalapeño es una variedad que se cultiva ampliamente en México consumida casi toda la población. Tiene una demanda alta de procesamiento y clasificación adecuada que es necesaria antes de vender o conservar. Se construyó un sistema que clasifica los chiles por tres tamaños de ancho diferente (Hahn, 2002). El transportador utilizado fue un chupón de bebé para alinear cada chile durante la detección. El ancho de Chile fue determinado por medio de un escáner del fotodiodo, que detecta la radiación entrante enviada por un generador de línea láser.

Figura 2. Sistema automático de brazo robótico y esquema de conexión neumático.



Fuente: Elaboración propia, 1999.

Figura 3. Sistema automático de selección: esquema eléctrico y prototipo.



Fuente: Elaboración propia, 2005.

El nopal verdura es ampliamente cultivada en México y exportado debido a sus cualidades medicinales para el control del colesterol y la diabetes. Se implementó un sistema de visión de máquina para cortar el borde espinoso de la penca automáticamente. La almohadilla de nopal entra a una banda y la cámara está tomando una imagen en los momentos sincronizados. La imagen se procesa y se obtiene el contorno de la penca. Se presenta un algoritmo para la medición de las coordenadas de la hoja y los datos transmitidos a un controlador de micro que activa el mecanismo robótico. Los datos fueron comparados con los que copian en un papel para obtener precisiones diferentes dependiendo de la densidad de pixel utilizado durante la exploración (Hahn *et al.*, 2006).

El sistema automático de control de nivel y dosificación de líquido (Figura 4) en agricultura tiene como objetivo principal auxiliar en la enseñanza y comprensión de los procesos de automatización y control, es decir, un equipo con fines didácticos (Velázquez, 2005).

Figura 4. Sistema automático de control de nivel y dosificación de líquido.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 5. Equipo tipo baúl con aplicación de calor mediante aire caliente.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

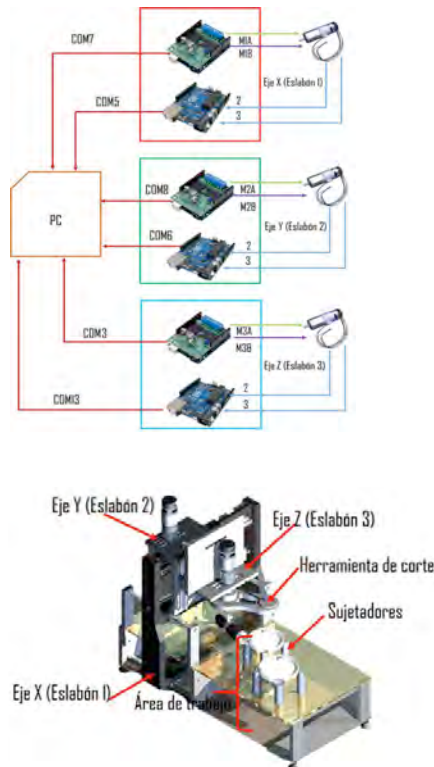
Se diseñó y ensambló un dispositivo de dosificación, y se desarrolló un programa para el control, también, se determinaron los parámetros de funcionamiento del sistema, además se probó y evaluó el sistema diseñado. En el sistema se conectaron sensores inductivos al Controlador Lógico Programable (PLC) para medir el nivel del líquido, los cuales funcionan como entradas al PLC y éste, a través del programa desarrollado controla las válvulas electroneumáticas, así como la bomba hidráulica que funcionan como salidas del PLC.

Equipos tipo baúl (Figura 5) con aplicación de calor mediante aire caliente y máquina térmica para desinfección en continuo de sustratos agrícolas con aire caliente por convección fueron desarrollados con medición y control de temperatura y flujo de vapor de agua (Aguilar *et al.*, 2008, 2009, 2010, 2015).

Diseño y construcción de un sistema automatizado para corte de tejido vegetal (Figura 6) basado en desarrollo de dos robots, sensores de

posición y motores eléctricos para mover los brazos y elemento cortador (Cebada, 2016). El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un robot cartesiano de tres grados de libertad, dedicado a la disección de hojas, cuya electrónica fue desarrollada usando tecnología Arduino. La interfaz gráfica de usuario fue desarrollada con el software GUIDE-MATLAB creando ventanas interactivas que permite al usuario manipular e interpretar con facilidad el comportamiento del robot (Cebada *et al.*, 2016).

Figura 6. Componentes del robot y diagrama de conexión para control de los motores del robot de corte.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Diseño de un sistema control de posición del disco de corte de mazorcas con de corte de una máquina para deshojar mazorcas de maíz se muestra en la figura 7 (Cruz *et al.*, 2010, Romantchik *et al.*, 2017, Bernabé, 2017 y Bernabé *et al.*, 2018). El objetivo de esta investigación fue desarrollar y evaluar un sistema de control automático del disco de corte de una máquina deshojadora de mazorcas con visión artificial para minimizar el error de corte generado por el usuario de la maquinaria y la alta variabilidad de tamaños de una variedad de mazorcas. La evaluación se realizó mediante pruebas a una distancia de referencia con cinco tipos de controladores PID ingresando el valor de la posición óptima de corte de la mazorca manualmente mediante una interfaz gráfica de usuario en MATLAB.

El sistema de control por su parte, tiene componentes que necesitan de convertidores

analógicos digital, un regulador de voltaje para el actuador y una interfaz física que sincronice estos elementos. Para llevar a cabo la tarea de conversión analógica del actuador a una señal digital se usó la tarjeta Arduino Mega (Negrete y Romantchik, 2016 y Negrete *et al.*, 2018). Esta tarjeta servirá además como una interfaz física entre la computadora y el actuador.

Para controlar el actuador lineal se requiere de un puente H para cambiar la dirección del giro del motor. Para este trabajo se utilizó el controlador de motores VNH5019 usando una fuente de alimentación externa de 20 V a 2 A.

Se desarrolló y construyó un sistema de dosificación automática de fructosa con sensor desarrollado de medición de grados Brix a partir de los principios de conductividad eléctrica; para mezclas de fructosa y pulpa de mango dentro del proceso de elaboración de mermeladas (Melchor, 2010). La energía es obtenida de un sistema bifásico y transmitida al sistema y al mismo tiempo la bomba de pulpa, al sistema de control del dosificador de fructosa y al sensor de conductividad. Para transportar la pulpa se usa un motor de corriente alterna trifásico acoplado a una bomba de engranes, el cual es alimentado por un variador de velocidad.

En el microcontrolador está programado el algoritmo de control el cual se repite continuamente. Su función es recibir la señal del ADC y convertirla en grados Brix, enviar una señal PWM al puente H para mover el motor de CD, lo que provoca un cambio de concentración en la mezcla.

Un trabajo interesante fue desarrollar un robot trepador de palmeras (Figura 8) para la detección de cocos (Ramírez, 2012). El propósito de este trabajo fue diseñar, construir y probar un sistema robótico capaz de trepar palmeras para detectar cocos mediante un sistema de visión artificial. Para la construcción del robot se diseñó una estructura que pudiera adaptarse fácilmente a la forma física del tallo de la palmera (inclinación, altura y grosor). Esta estructura consta de un mecanismo de biela - manivela el cual permite al robot ascender por la palmera soportando su propia masa que es aproximadamente 7 kg incluyendo la estructura, motores, baterías y cámara.

Figura 7. Deshojadora de mazorca para tamal (primer y segundo prototipos).





Fuente: Elaboración propia, 2016.

El sistema de visión artificial se compone de una cámara IP que se encarga de adquirir las imágenes del punto en que se encuentra el robot. Se utiliza un procesamiento basado en un algoritmo de detección de círculos se identifica la presencia de cocos en la palmera usando la plataforma visual. Los cocos pudieron ser identificados adecuadamente cuando no había interferencia por parte de las palapas.

Figura 8. Sistema mecánico del robot. Diferentes diseños.



Fuente: Ramírez, 2012.

Se diseñó también un control automático de alimentación, dosificación y oxigenación para un sistema de acuicultura de recirculación de carpa (Wael, 2010). Los principales objetivos del presente estudio fue diseñar y evaluar cada componente de un sistema de recirculación acuícola mexicana en condiciones locales, se evaluó obteniendo factores de operaciones óptimo de nivel del agua en los peces del tanque de 90 cm y 2.54 cm de diámetro de base del tanque. Cuatro aireadores adecuados localmente diseñados para RAS fueron evaluados para elegir la eficiencia máxima aireación.

Fue diseñado un alimentador automático para proporcionar cantidades predeterminadas de alimentos y se estudió la optimización de consumo de energía. Una instrumentación inteligente sistema de monitoreo y control de tres peceras con sonda de oxígeno.

Para la mejorar los resultados de producción de las verduras en invernaderos fueron desarrollados estrategias de control óptimo para producción de jitomate en invernadero y técnicas de inteligencia artificial en modelado y control del ambiente en invernaderos.

Se evaluó el sistema de guiado automático EZ-Steer® (Figura 9) y barra de luces en campo y se observaron diferencias significativas. Los resultados obtenidos en las trayectorias realizadas con el tractor Massey Ferguson 592T muestran que el uso del sistema de guiado EZ-Steer® en trayectoria lineal y con un sistema de corrección diferencial (Yam *et al.*, 2014, 2016 y 2018, Mayans *et al.*, 2009). Para esto se usaron diferentes equipos mecánicos: Pantalla Marca Trimble® a color de 11 cm con barra de luces, Antena de bajo perfil y precisión de 15-20 cm, soporta corrección con los sistemas: EGNOS (Europa), WAAS (Estados Unidos) y MSAS (Japón), receptor AGGPs 252 Trimble® que permite obtener señal de corrección Omnistar XP®, Controlador compensador T2, Motor eléctrico es un elemento que controla el movimiento del tractor.

Para trabajar con redes neuronales artificiales y series de tiempo en el pronóstico de la evapotranspiración de referencia se utilizó miles de datos climatológicos de muchas estaciones: temperaturas máximas y mínimas en °C, radiación global en MJ m⁻² día⁻¹, humedad relativa en % y velocidad del viento en m s⁻¹; obtenidos de la base datos de la red agroclimática automatizada (Cervantes, 2010). La mayor parte del trabajo de estimación de variables climatológicas se hace con la red más común que es la multicapa *feedforward* con el algoritmo *backpropagation* que es una red estática, falta más investigación en aplicar redes dinámicas para estimar y/o predecir variables agroclimáticas. En la estimación de la presión real de vapor de agua el modelo convencional fue superado por los modelos de RNA; el modelo de RNA *radial basis function* con las variables de entrada temperatura máxima y mínima, humedad relativa máxima y mínima fue el que mejor aproximó a los datos observados de dicha variable.

Figura 9. Pruebas del sistema de guiado automático con volante eléctrico.



Fuente: Yam, 2014.

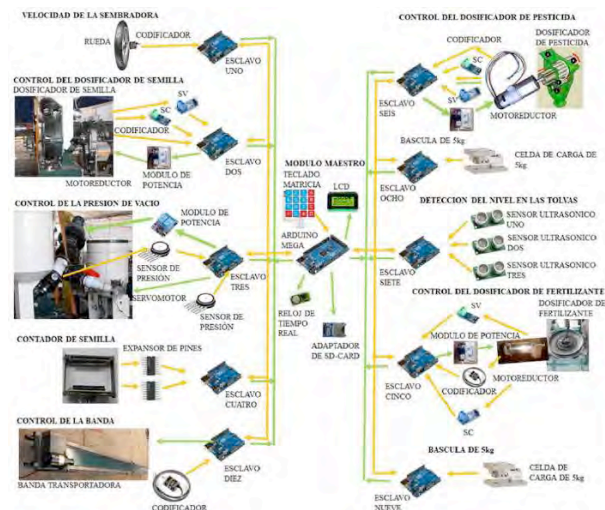
Desarrollo de un sistema mecatrónico para el control de los dosificadores de semilla, fertilizante y pesticida de una sembradora – fertilizadora (Figura 10) es un trabajo excelente y novedoso en avance de desarrollo de un sistema mecatrónico (Torres, 2017).

El diseño electrónico del SM basado en microcontroladores, utilizando un maestro y múltiples esclavos en comunicación bidireccional I2C, permite realizar el control de los dosificadores y sistema neumático de una sembradora-fertilizadora en tiempo real, además de permitir la medición de variables que permiten verificar el desempeño de la máquina durante la aplicación de insumos, medir el nivel de insumos en las tolvas y conteo de semillas descargadas.

El SM además del control de funciones o la medición de variables en una sembradora-fertilizadora para el trabajo en campo, permite incluir microcontroladores en configuración esclavo, los cuales permiten controlar equipos (como una banda transportadora) o instrumentos (para la medición de la masa en la descarga de los insumos) para la realización de pruebas de laboratorio y campo que permitan caracterizar el funcionamiento de algunos mecanismos de una sembradora-fertilizadora.

La implementación del control PID utilizando la técnica PWM, permitió alcanzar la dosis de aplicación de insumos (semilla, fertilizante y pesticida) de referencia y la velocidad de desplazamiento deseada de la banda, a través del control de la velocidad angular de motores de CD. Logrando alcanzar el estado estacionario de las variables de control para los dosificadores de semilla, fertilizante y de la banda en un intervalo de tiempo de 1 a 2 segundos.

Figura 10. Arquitectura del módulo de control de los dosificadores de la sembradora - fertilizadora.



Fuente: Torres, 2017.

El sistema de visión artificial es un componente importante de mecatrónica y por eso en el DIMA e IAUIA desarrollaron múltiples trabajos con aplicación de visión artificial: para detectar la enfermedad en las hojas de rosa (Velázquez *et al.*, 2011), detectar los cocos en las palmeras (Ramírez, 2012, Hahn, 2002 y Hahn *et al.*, 2006), la posición de la mazorca (Bernabé, 2017 y Bernabé *et al.*, 2018, Romantchik *et al.*, 2017), la posición de una hoja para corte con robot cortador (Cebada, 2016).

Conclusiones

Las encuestas e investigación nos mostraron que la nueva especialidad de Ingeniería Mecatrónica Agrícola es indispensable para agricultura mexicana y los egresados son solicitados en varias empresas e instituciones.

El personal del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la UACH está preparado e infraestructura es suficiente para iniciar la nueva especialidad de Ingeniería Mecatrónica Agrícola.

Durante varios años los profesores y alumnos de DIMA y Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral de Agua desarrollaron diferentes equipos agrícolas con elementos de automatización y mecatrónica que sirvieron de la base para desarrollar los laboratorios de la nueva especialidad.

El conjunto de los criterios presentados se justifica formación y actuación de una nueva especialidad de Ingeniería Mecánica Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo.

Referencias

- Aguilar, C. N. (2015). *Análisis de sistemas de convección en el tratamiento térmico de suelos o sustratos agrícolas para su desinfección en continuo* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, - España.
- Aguilar, C. N., Romantchik, K. E., López, G. C., Borja, V. M. (2008). *Desinfección de Sustratos, Suelos y Equipos*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Aguilar, C. N., Romantchik K. E., López G. C. (2010). Diseño, construcción y evaluación de un equipo tipo baúl para desinfección de sustratos agrícolas con calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 17-26.
- Aguilar, C.N., Romantchik K. E., López G. C. (2009). Diseño y construcción de equipo remolque para Desinfección estática con calor de sustratos agrícolas. *Revista Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1(2), 128-136.
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. México: ALFAOMEGA GPO ED.
- Bernabé L. E., (2017). *Diseño y construcción de un sistema de corte de hojas de mazorca de maíz*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Bernabé L. E., Romantchik, K. E., Cebada, J. G., Velázquez N. and Cruz, M. P. (2018). Design of a Position Control for a Cutting System of a Maize-Husking Machine. *IEEE Latin America Transactions*, 16(4), 1022-1029.
- Cebada J. G., Hahn, F. F., Ruiz, A., Romantchik E. and Michua, A. (2016). Design of a Position Control Based on Cuckoo Search Tuning for a Cutter Leaves Robot. *IEEE Latin America Transactions*, 14(5), 2085-2092.
- Cebada, R. J. G. (2016). *Diseño y construcción de un sistema de corte de hojas para la propagación in vitro* (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Cervantes, O. R. (2010). *Redes neuronales artificiales y la predicción de variables climáticas relacionadas con la agricultura* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Cruz, M. P., Romantchik, K. E. y Hahn, F. Diseño, construcción y evaluación de la máquina para deshojar la mazorca para envoltura de tamal. (2010). *Revista Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(2), 69-74.
- García A. P., Cappelli, N. L. and Umezu, C. K. (2012). Auger-type granular fertilizer distributor: mathematical model and dynamic simulation. *Engenharia Agrícola*, 32(1), 151-163.
- García A., P., Cappelli, N. L. and Umezu, C. K. (2014). Electrically driven fertilizer applicator controlled by fuzzy logic. *Engenharia Agrícola*, 34(1), 510-522.
- Hahn F., Avila, A., Romanchik, E. (2006). Algorithm for countour detection of vegetable cactus pear prior cutting. *Acta Horticulturae*, 728(42), 297-302.
- Hahn, F. (2002). Automatic chilli jalapeño sorted by width. *Biosystems Engineering*, 83(4), 433-440.
- Jianbo, Z., X. Junfang, Z. Yong, and Z. Shun. (2014). Design and experimental study of the control system for precision seed-metering device. *Int J Agric & Biol Eng*, 7(3), 13-18.
- Lagunes, E. H. (2002). *Diseño y construcción de un sistema de control automático de un manipulador electroneumático* (Tesis profesional). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Li, Y., H. Xiantao, C. Tao, Z. Dongxing, S. Song, Z. Rui, and W. Mantao. (2015). Development of mechatronic driving system for seed meters equipped on conventional precision corn planter. *Int J Agric & Biol Eng*, 8(4), 1-9.
- López, G. C., Romantchik, K. E. et al. (2017). *Ingeniería Mecatrónica Agrícola ingeniería emergente en siglo XXI*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- López, T. J. y Pérez, S. H. (1999). *Diseño y construcción de un manipulador electroneumático* (Tesis profesional). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Mayans C., P., Soca C. J. R., López C. G., y Romantchik K. E. (2009). Prueba de dosificación de la sembradora de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista de ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 16-21.
- Melchor, G. J. (2010). *Dosificación automática de fructosa* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Negrete J.C., Romantchik E.K., Lopez G.D.J.C., Zúñiga C.I.A., and Lopez G.H. (2018). Arduino board in the automation of agriculture in Mexico, a review. *International Journal of Horticulture*, 8(6), 52-68. (doi: 10.5376/ijh.2018.08.0006).
- Negrete, J.C., Romantchik, E.K. (2016). *Mecatrónica: The Future of the agricultural Mechanization in Mexico*. Alemania: Lamber Academic Publishing.
- Pérez, S. L., Romantchik, K. E., Almengor, R. S. (2008). *La Ingeniería Agrícola – Motor del desarrollo de la Agricultura Mexicana*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Ramírez, R. R. (2012). *Robot trepador de palmeras para la detección de cocos* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Romantchik, K. E., Bernabé, E. L., Cruz, M. P., Cebada, G. J., Velázquez, L. N., (2017). Equipo y método para cortar el pedúnculo de mazorcas y deshojarlas. Patente MX 345727. México.
- Romantchik, K. E., López, C. G., Fitz, R. E. (2014). *Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina*. México: Universidad Autónoma Chapingo.

- Torres, S. J. (2017). *Desarrollo de un sistema mecatrónico para el control de los dosificadores de semilla, fertilizante y pesticida de una sembradora – fertilizadora* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Velázquez, L. N. (2005). *Sistema de control de dosificación con PLC midiendo los niveles de un líquido* (Tesis profesional). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Velázquez, N., Sasaki Y., Nakano K., Mejía J., Romantchik, E. (2011). Detección de cenicilla en rosa usando procesamiento de imágenes por computadora. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(2), 151-160.
- Wael, E. M. (2011). *Design of automatic food dosing and oxygenation for a carp recirculating aquaculture system (RAS)* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Yam, T. J. (2016). *Trayectoria de un tractor con guiado automático*. (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Yam, T. J., Romantchik, K. E., Morelos, M. A., Pérez, S. A. y López, C. G. (2014). Trajectory of a tractor with automatic guidance. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 6(2), 43-50. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2014.05.004>.
- Yam, T. J., Romantchik, K. E., Morelos, M. A. y López, C. G. (2018). Efecto del sistema de guiado semi-automático en la trayectoria de un tractor agrícola. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(3), 12-17.