

# Diseño de Módulo MPS para su Acoplamiento en Celda de Manufactura Flexible

L. López-Puente<sup>1</sup>, A. Caldera-Vidaña<sup>2</sup>, J. Saucedo-Barajas<sup>3</sup>.

**<sup>1</sup>Resumen**—En el presente artículo se muestra el diseño de un módulo MPS (Sistema de Producción Modular) y su acoplamiento a una celda de manufactura flexible de laboratorio, aplicando conocimientos de robótica, sistemas mecánicos y visión artificial, para controlar la selección de piezas en un proceso simulado; además contiene los análisis de esfuerzo en puntos críticos del diseño, mostrando como resultados de esta etapa del proyecto los diseños CAD finales del MPS.

**Palabras claves**— Algoritmos, Celda de manufactura, Sistema de visión, Programación, Diseños CAD, MPS.

**Abstract**— *In this paper the design of an MPS module (Modular Production System) and its attachment to a laboratory manufacturing cell, applying knowledge of robotics, mechanical systems and artificial vision, is presented to control the selection of parts in a simulated process; It also contains the stress analysis at critical points of the design, showing the results of this stage of the project the final CAD designs of the MPS*

**Keywords**— Algorithms, Manufacturing Cell, Vision System, Programming, CAD designs, MPS.

## I. INTRODUCCIÓN

La celda de manufactura flexible (CMF) es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para el logro de un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto.

El aspecto flexible de una celda de manufactura indica que la celda no está restringida a sólo un tipo de parte o proceso, más bien puede acomodarse fácilmente a distintas

partes y productos. Las máquinas en una celda en su mayoría cuentan con un robot como parte central, el cual mueve las partes de máquina en máquina [1].

Las celdas de manufactura son una parte muy importante en las industrias, ya que este concepto puede aplicarse a una gran diversidad de procesos, por lo cual es muy importante que alumnos de ingeniería conozcan el funcionamiento y la aplicación de las mismas de una forma general, y para este propósito uno de los controladores más importantes que se están manejando en la actualidad para estos sistemas son los que utilizan algoritmos de visión, que son la comprensión de imágenes por medio de sus propiedades.

Existen dos tipos de propiedades que se pueden utilizar en los algoritmos de visión: las geométricas que son el tamaño, la forma y localización de los objetos y de los materiales que son su color, iluminación, textura y composición.

Las CMF con sistema de visión actuales son capaces de ver y percibir objetos e imágenes de la manera más semejante a como el ser humano lo realiza, esto se hace cada vez más necesario al utilizar sistemas complejos robóticos en donde la planificación y la guía del movimiento es cada vez más compleja debido a la gran variedad de aplicaciones en que se utilizan. Estos sistemas incluyen toda una serie de operaciones de alimentación, manipulación, verificación, realizados mediante componentes de diferentes tecnologías [2].

Esta disciplina científica ha evolucionado de manera impresionante durante los últimos años, permitiendo realizar una toma de decisiones para automatizar cualquier proceso, es por ello que se decidió implementar un MPS que permitiera al alumnado realizar pruebas reales con cámaras industriales.

La primera etapa para la concepción de este proyecto fue el uso de software CAD para la creación del diseño preliminar del MPS, tomando en cuenta diferentes

<sup>1</sup> Lázaro López Puente ([lpuente@utt.edu.mx](mailto:lpuente@utt.edu.mx))

Universidad Tecnológica de Torreón, Cuerpo Académico Eléctrica Electrónica, Carretera Torreón-Matamoros KM 10 Ejido el Águila, C.P. 27400, Municipio de Torreón, Coahuila, México.

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ing. Electrónica, Av. Tecnológico N° 1555, Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, C.P. 35150, Municipio de Lerdo, Durango, México.

<sup>2</sup> Alejandro Caldera Vidaña ([calderavida@gmail.com](mailto:calderavida@gmail.com))

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ing. Electromecánica, Av. Tecnológico N° 1555, Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, C.P. 35150, Municipio de Lerdo, Durango, México.

<sup>3</sup> Joaquín Saucedo Barajas ([jsaucedo@utt.edu.mx](mailto:jsaucedo@utt.edu.mx))

Universidad Tecnológica de Torreón, Cuerpo Académico Eléctrica Electrónica, Carretera Torreón-Matamoros KM 10 Ejido el Águila, C.P. 27400, Municipio de Torreón, Coahuila, México.

elementos mecánicos y electrónicos para su acoplamiento con una celda de manufactura flexible de laboratorio.

Se mostrara el ensamble final del diseño que será la base para su construcción y posteriormente la elaboración de pruebas en laboratorio.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los objetivos de las empresas hoy en día es cumplir con la fabricación y entrega de productos, para lo cual las empresas requieren del personal capacitado para para la manipulación de máquinas y tecnología avanzada.

Esto implica una gran necesidad de técnicos ingenieros con la preparación necesaria para asumir la responsabilidad para manipular las celdas de manufactura flexibles que la industria demanda.

Por lo cual surge la necesidad de modificar o ampliar la celda de manufactura flexible de la Universidad Tecnológica de Torreón para facilitar el aprendizaje de los alumnos en el laboratorio de Mecatrónica para que con una capacitación adecuada en el mismo poder contribuir al desarrollo tecnológico que demanda el sector industrial; por lo tanto es factible, pensar en el diseño de un MPS, que sirva de apoyo para a los estudiantes de ingeniería Mecatrónica, dotando de un caso práctico que sirva de guía para la solución de problemas similares que se pudieran presentar en la industria.

La primera parte de este trabajo consistió en el estudio de una la Celda de Manufactura Flexible (CMF), esto con la finalidad de efectuar el acoplamiento de un Robot Mitsubishi de 5 grados de libertad (gdl) en conjunto con la construcción de un módulo MPS (Sistema de Producción Modular); el objetivo fundamental es ampliar su funcionalidad sistema, en base a las especificaciones arrojadas en dicho estudio, con esto se determinaran diferentes aspectos importantes para comenzar el diseño del MPS como lo son material, dimensiones y corte.

Una vez que se hizo esto, se optó por desarrollar un módulo MPS con bandas clasificadoras de piezas, en los cuales se pueden emplear diferentes tipos de sensores y controladores industriales en conjunto con cámaras industriales para programar algoritmos de visión, ya que esto servirá como parte fundamental para el desarrollo de las habilidades y conocimientos en los alumnos.

Este diseño le facilitará al alumno la experiencia práctica del desarrollo e implementación del proceso de fabricación.

## III. METODOLOGÍA DE DISEÑO

El diseño se realizó en Solidworks 2016, el cuál es un software de diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés) de la empresa Dassault Systemes. Se eligió este programa para realizar las simulaciones y hacer mucho más eficiente cualquier tipo de trabajo enfocado al diseño mecánico [3] [4] [5].

En la Figura 1 se muestra el plano del soporte del MPS, de acuerdo a las dimensiones estándar que se manejan en los otros módulos de celda.

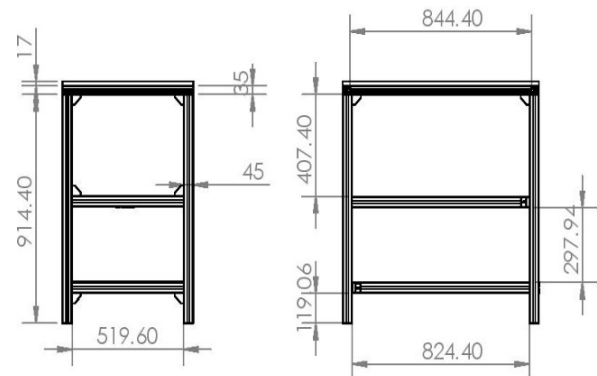


Figura 1. Plano del Soporte para módulo MPS

Posteriormente, se comienzan a modelar el soporte del MPS, este modelo es importante ya que en él se colocaran todos los elementos que conforman al mismo y que será la base para la modelación de otros componentes. El modelo 3D del pieza se muestra en Figura 2.

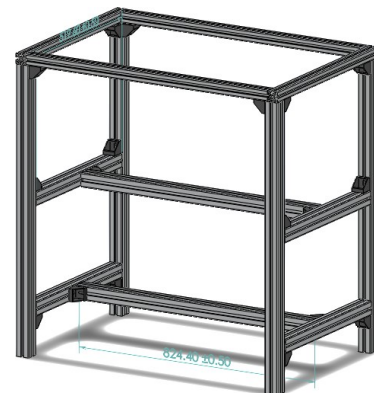


Figura 2. Soporte del módulo MPS

El siguiente paso es realizar el modelo denominado mecanismo de la cámara, el cual consiste en un mecanismo que corre sobre un eje donde se monta un sensor de visión para realizar las capturas de imagen en tres diferentes estaciones. Para este modelo se elaboraron distintos diseños de piezas que cumplen una labor primordial en él

funcionamiento. Los elementos principales del mecanismo de la cámara se muestran en la Figura 3.

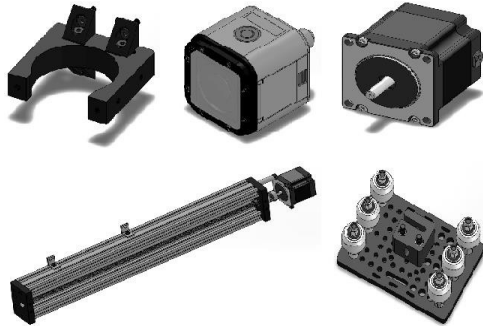


Figura 3. Elementos del mecanismo de la cámara

Una vez elaborada las piezas del mecanismo se procede a realizar el sub-ensamble principal, que será una parte esencial del proceso de clasificación, debido a que esta ejecutara la mayor parte del control en el proceso. En la Figura 4 la vista explosionada del sub-ensamble.

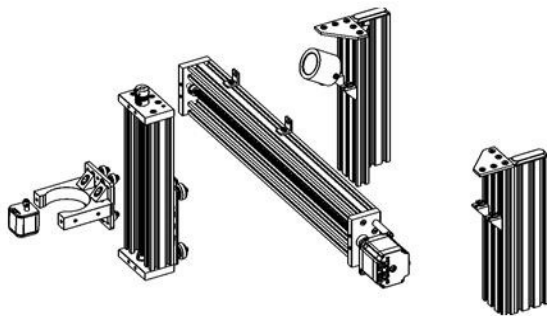


Figura 4. Vista explosionada del sub-ensamble

En la Figura 5 se muestra el sub-ensamble ya terminado, que servirá de transporte para la cámara industrial para la etapa de clasificación.

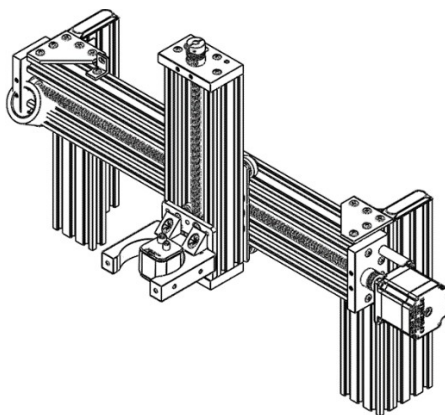


Figura 5. Vista del ensamble completo del mecanismo de la cámara

Básicamente en esta etapa del proceso consiste en la selección de piezas de acuerdo a características definidas por el usuario, previamente configuradas en las cámaras de visión, mediante un sistema empujador, lo cual definirá si la pieza es óptima o tiene que ser desechada.

La función de la siguiente etapa es la transportación, esta parte con sus distintas variantes se encuentra en todo proceso de fabricación, puesto que es una actividad indispensable en todo el proceso para el traslado de las piezas o componentes y poder continuar con la siguiente operación según la configuración de las celdas de manufactura. En la Figura 6 se muestra el diseño de las bandas transportadoras de esta etapa.

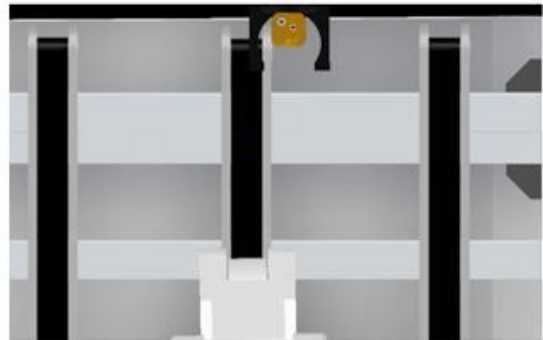


Figura 6. Bandas transportadoras vista superior

Las piezas seleccionadas deben de llegar al otro extremo para que un robot de 5 gdl efectúe el almacenamiento de las mismas. En la Figura 7 se muestra como las bandas envían las piezas hacia el robot.

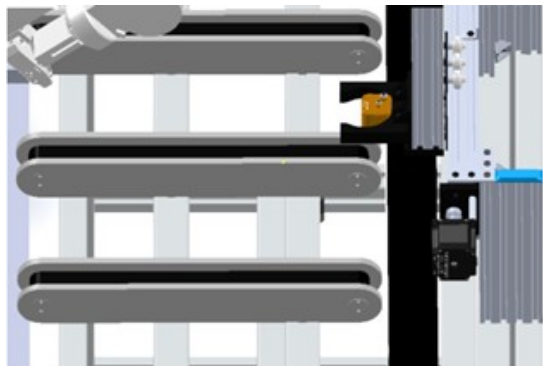


Figura 7. Bandas transportadoras vista lateral

La parte final del diseño consiste en el ensamble total de todos los componentes acoplados al robot de 5 gdl, En la Figura 8 se muestra el diseño del módulo MPS.

Esto nos permitirá elaborar simulaciones, pruebas de funcionamiento con sus respectivas adecuaciones pertinentes.

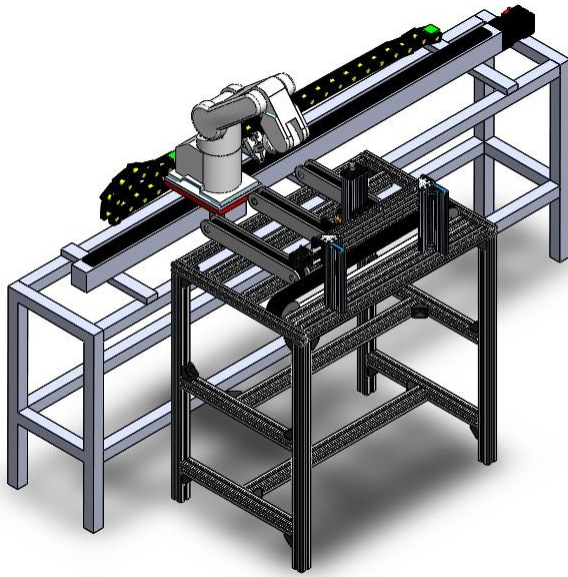


Figura 7. Diseño final de módulo MPS

En paralelo con este trabajo se tuvo que realizar el diseño de la estructura donde se montara el eje del robot para su desplazamiento a diferentes módulos MPS.

Para esta estructura se llevara a cabo un análisis simple de cargas internas resultantes de la sección transversal de dicho eje [6] [7], como se muestra en la Figura 8.

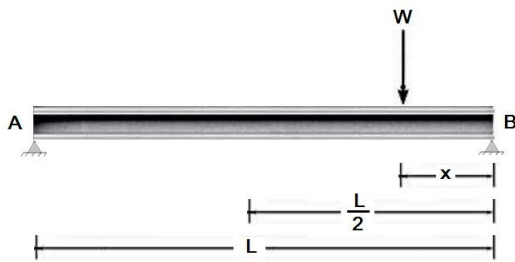


Figura 8. Bosquejo del eje del robot

Para esto se realiza un corte con el fin de analizar el comportamiento del riel con la carga del robot cuando  $(\frac{L}{2} > x > 0)$ , mostrado en la Figura 9.

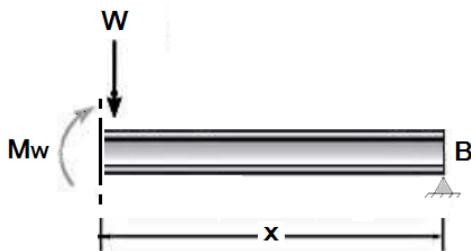


Figura 9. Corte transversal del eje del robot

Del cual aplicando las ecuaciones de equilibrio se tiene:

$$\sum M_B = 0$$

$$-W \cdot x + M_w = 0$$

$$M_w = W \cdot x$$

Del mismo modo se aplica el análisis para el riel donde ira montada la cámara industrial, como se muestra en la Figura 10.

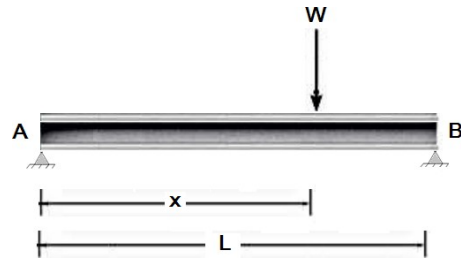


Figura 10. Bosquejo del riel de la cámara industrial

Realizando un corte para determinar su comportamiento cuando  $(L > x > 0)$ , esto se muestra en la Figura 11

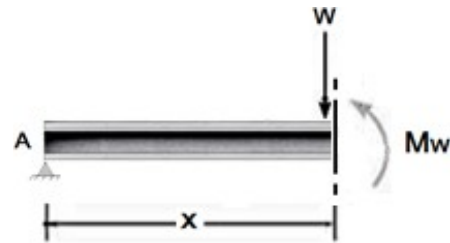


Figura 10. Bosquejo del riel de la cámara industrial

Al aplicar ecuaciones de equilibrio de momentos en el punto "A" se tiene que:

$$\sum M_A = 0$$

$$W \cdot x - B \cdot L = 0$$

$$W \cdot x = B \cdot L$$

En ambos casos también deben de tomarse en cuenta las condiciones de equilibrio en las fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0$$

$$A - W + B = 0$$

$$A + B = W$$



Esto nos permitirá conocer la fuerza generada en el punto donde sea colocada la cámara o robot para determinar las características del material que debe ser utilizado.

IV. PROPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO

El sistema de control propuesto para lograr el funcionamiento del módulo MPS se muestra en el diagrama a bloques de la Figura 12.

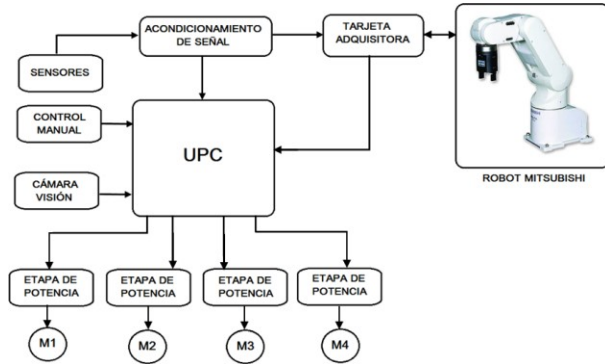


Figura 12. Diagrama de bloques del control electrónico

UPC. Unidad Principal de Control, este componente será el encargado de recibir y transmitir información con los otros elementos del sistema, el cual tendrá el programa principal para el funcionamiento de la etapa de clasificación y transporte de las piezas. Para este propósito sea seleccionado un PLC con comunicación de protocolo Ethernet, debido a su fácil programación y configuración, además de que tiene la flexibilidad para realizar cambios en el sistema si se requieren en el futuro [8].

Robot Mitsubishi. Este elemento es el encargado de realizar la etapa de almacenamiento de las piezas previamente clasificadas, el cual tendrá programada las trayectorias necesarias para almacenar tres diferentes tipos de piezas.

Tarjeta Adquisitoria. Debido a que el Robot Mitsubishi cuenta con 8 entradas y 8 salidas digitales, estas deben de direccionarse por medio de una tarjeta adquisitoria para poder realizar la comunicación con los demás elementos del sistema.

Sensores. Estos elementos son la parte que nos proporcionara la información requerida del sistema, la cual deberá de procesarse en la UPC y Robot Mitsubishi para posteriormente realizar las acciones de control.

Acondicionamiento de Señal. Esta recibe las señales de los sensores para después convertirlas en los rangos estándar para poder enviarlas al UPC y Robot Mitsubishi.

Control Manual. Esta permitirá controlar el encendido, el paro de emergencia y el restablecimiento del módulo MPS.

Motores. Son los actuadores que realizar la acción de control enviada por la UPC para la clasificación y transportación de piezas por medio de las bandas, los cuales tienen una etapa de potencia; estas tarjetas son las que se encargan de proporcionar la potencia necesaria para mover los motores y realizar la acción de control.

V. SENSORES DE VISIÓN

Para que el módulo MPS pueda realizar las acciones de clasificación y transporte, es necesario utilizar sensores de visión que puedan reconocer características importantes de los objetos en cuestión, se pretende utilizar los siguientes sensores de visión.

El VISOR SENSOR V10 con su detección altamente exacta de la posición y de la orientación, el VISOR es uno del mejor de su clase. Con su alta energía del procesador, su campo visual ampliado (VGA ancho) y su iluminación muy brillante del LED, domina casi todas las tareas actuales que requieran image-processing. La cámara realiza la comparación, la detección del contorno, la detección del brillo, la detección gris del umbral y la detección del contraste.

El seguimiento de la posición permite la detección confiable de tales características aunque que no están exactamente y en varias ocasiones en enseñar-en la posición. Todas las evaluaciones ocurren concerniente a la posición y la orientación actuales de la parte. Este sensor se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Visor sensor V10

Cámara O2D220. El sensor registra, con el método de luz transmitida o de luz incidente, el contorno de una pieza y la compara con los contornos de uno o varios modelos en una imagen de referencia. En función del grado de concordancia se puede emitir como resultado si se ha encontrado un modelo o qué modelo se ha detectado. Este sensor se puede observar en la Figura 14.



Figura 14. Sensor de visión O2D220

Superior de Lerdo, por proporcionar los recursos y apoyos necesarios para realización de este proyecto.

## VI. CONCLUSIÓN

Se presenta el diseño de un módulo MPS para la selección y transportación de piezas en base a la necesidad de actualizar los sistemas presentes en el laboratorio de la universidad.

Además se describe la metodología de diseño y los componentes principales que estarán involucrados en la construcción del MPS.

Los elementos más importantes en el desarrollo de este proyecto son los sensores de visión, los cuales brindaran la información necesaria para el proceso de clasificación y selección de piezas; se proponen dos tipos de sensores a utilizar.

En este proyecto se integraron conocimientos de ingeniería mecánica, electrónica y computación, aplicando los criterios establecidos para el diseño de un sistema mecatrónico, así como la integración de un prototipo funcional, con el propósito de automatizar de manera flexible un proceso de producción. El desarrollar esta clase de prototipo permite el reforzamiento de conocimientos en diferentes tipos de asignaturas, esto para el mejor desarrollo como profesionistas de los alumnos.

Como trabajos futuros se tendría la implementación y puesta en marcha del MPS ya que, como todo sistema mecatrónico, varía de la simulación a la puesta en marcha por diversos factores, entre ellos se encuentra la verificación de tolerancias de fabricación, el correcto funcionamiento de los elementos mecánicos, entre otros.

## VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al PRODEP, a la Universidad Tecnológica de Torreón y al Instituto Tecnológico

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Sosa, J. H. (2013). "*Visión Artificial*", 1ra ed., Madrid: Ed. RA-MA.
- [2] Pajares, G. (2007). "*Visión por Computador*", 2nd ed., Madrid: Ed. RA-MA.
- [3] Gomez S. (2008). "*El Gran Libro de SolidWorks*", 2nd ed., México D.F., Ed. Alfaomega
- [4] Tran P. (2014). "*SolidWorks 2014 Part I-Basic Tools*", 1ra ed., Kansas, SDC Publications
- [5] Tran P. (2014). "*SolidWorks 2014 Part II-Basic Tools*", 1ra ed., Kansas, SDC Publications
- [6] Hibbeler, R. C. (2011). "*Mecánica de Materiales*", 8va ed., México D.F., Pearson Educación
- [7] Beer F.P.; Johnston E.R.; Dewolf J.T.; Mazurek D.F. (2010). "*Mecánica de Materiales*", 5ta ed., México D.F., McGraw-Hill
- [8] Alvarado N.; Vaquera E.; Román D.A.; "Propuesta de Diseño de Seguidor Solar de Dos y Tres Ejes", *CID, 2016*

Eléctrica – Electrónica, la universidad se encuentra ubicada en la ciudad de Torreón, Coah. México.

## IX. BIOGRAFÍA



**M.C. Lázaro López Puente.** Nació en la Ciudad de San Pedro de las Colonias, Coah. México el 13 de enero de 1985. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el año de 2006. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón Coah. México en el año de 2009, en la especialidad de

Control. Actualmente labora en la Universidad Tecnológica Torreón, desempeñando el puesto de Profesor de Tiempo Completo, en el Departamento de Mecatrónica, perteneciendo al Cuerpo Académico de Eléctrica – Electrónica, la universidad se encuentra ubicada en la ciudad de Torreón, Coah. México. Actualmente también labora para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñando el puesto de Docente, en la División de Electrónica, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Durango, México.



**Ing. Alejandro Caldera Vidaña.** Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de agosto de 1986. Egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. A. de C. en el año de 2010. Actualmente está en su etapa final de estudios en Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. A. de C., ubicado en la ciudad de Torreón Coah.

México. Actualmente para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñando el puesto de Docente, en la División de Electromecánica, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Durango, México.



**M.C. Joaquín Saucedo Barajas.** Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 22 de agosto de 1984. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el año de 2006. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón Coah. México en el año de 2009, en la especialidad de

Control. Actualmente labora en la Universidad Tecnológica Torreón, desempeñando el puesto de Profesor de Tiempo Completo, en el Departamento de Mecatrónica, perteneciendo al Cuerpo Académico de