

## Diseño, construcción y automatización de una máquina de coordenadas de cuatro grados de libertad X, Y, Z, A, para materiales blandos.

H. J. Martínez-Sandoval<sup>1</sup>, L. A. González-Vargas<sup>2</sup>, H. Martínez-Hernández<sup>2</sup>.

**Resumen**—En este proyecto se diseña, construye y se automatiza una máquina de control numérico computarizada (CNC), de 4 grados de libertad cuyos ejes de trabajo son X (ancho), Y (largo), Z (profundidad) y A (rotativo), a partir de códigos G, interpretación de planos DXF en dos dimensiones o imágenes tridimensionales.

Se inicia con el desarrollo del diseño de la estructura mecánica en un software de desarrollo de ingeniería y diseño, para su posterior fabricación. Paso siguiente se procede con la selección de equipo eléctrico – electrónico que realizaran las funciones de control de la máquina. Enseguida a la estructura mecánica se le integran los componentes eléctricos – electrónicos para conformar un sistema mecatrónico, el cual está controlado en sus movimientos mediante el software Match 3 para realizar el mecanizado de materiales (madera, acrílico, nylamid, aluminio) este mecanizado se realiza mediante las instrucciones de código G. La máquina puede manufacturar materiales blandos con un error de maquinado de 0.2 mm utilizando la herramienta de corte mediante un husillo que varía su velocidad de rotación mediante un variador que es controlado por el código G referenciado al match 3, además de un avance de maquinado de 300 mm por minuto.

Esta máquina fue diseñada para trabajar con materiales blando, pero la ventaja que presenta es que es fácilmente adaptable para el maquinado de materiales duros mediante la adición de transmisiones mecánicas en los ejes lineales; este prototipo tiene un costo competitivo con las que actualmente existen mercado industrial, y en cuestión de funcionamiento es muy versátil y fácil de operar.

**Palabras claves** — Diseño, Mecatrónica, Manufactura, Control Numérico, Materiales Blandos, Grados de Libertad, CNC.

**Abstract**— In this project, a computerized numerical control (CNC) machine with 4 degrees of freedom is designed, built and automated, whose working axes are X (width), Y (length), Z (depth) and A (rotary), from G codes, interpretation of DXF planes in two dimensions or three-dimensional images.

It begins with the development of the design of the mechanical structure in an engineering and design development software, for its subsequent manufacturing. Next step we proceed with the selection of electrical - electronic equipment that will perform the control functions

of the machine. Next to the mechanical structure the electrical - electronic components are integrated to form a mechatronic system, which is controlled in its movements by the Match 3 software to perform the machining of materials (wood, acrylic, nylamid, aluminum) This machining is performed using the code G instructions. The machine can manufacture soft materials with a machining error of 0.2 mm using the cutting tool by means of a spindle that varies its rotation speed by means of a drive that is controlled by the G code referenced to match 3, In addition to a machining feed of 300 mm per minute.

This machine was designed to work with soft materials, but the advantage it presents is that it is easily adaptable for machining hard materials by adding mechanical transmissions on the linear axes; This machine has a competitive cost with those that currently exist in the industrial market, and in a matter of operation it is very versatile and easy to operate.

**Keywords** — Design, Mechatronics, Manufacturing, Numerical Control, Soft Materials, Degrees of Freedom, CNC.

### I. INTRODUCCIÓN

La primera máquina de coordenadas surgió a principios del siglo XIX, esta era una maquina básica usada para el mecanizado de piezas, la cual trabajaba en la realización de piezas mediante el arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa la cual tiene varios filos de corte denominada fresa.

Mediante este tipo de máquina de coordenadas se realizaban trabajos en los materiales como son madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, en superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado, entre otras.

En este tipo de máquinas el funcionamiento era mediante la interacción operador – maquina, donde el operador era el elemento principal indispensable en la realización de maquinado de piezas ya que él interactuaba con la maquina moviendo los ejes de coordenadas, eje x, eje y, eje z para la realización de piezas mecanizadas.

En este tipo de proceso hay un alto porcentaje de error ya que las características dimensionales en las piezas de fabricación dependen 100% de la medición del operador [1].

Por tal motivo, la explosiva expansión industrial desde comienzos del siglo XX y el empleo masivo de maquinaria impulsada por energía motriz demandó una

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.

hjmarsan@hotmail.com, luisglzvar@gmail.com, hmartinez@utt.edu.mx

búsqueda constante de procesos cada vez más eficientes. Hasta hace unos 60-65 años, la mano de obra requerida en las tareas industriales era densa (cerrada), lo cual no sólo exigía enormes dotaciones de obreros, sino que además afectaba la calidad, precisión y repetibilidad, encarecía los costos y disminuía la producción [6].

Hoy en día existen sistemas de coordenadas de manera automática basados en el principio de la primera máquina herramienta que fue la fresadora, por ello a nosotros nos interesó basar nuestro proyecto en la realización de una máquina de CNC de cuatro ejes que pudiera trabajar como una maquina fresadora y un torno a un bajo costo y con especificaciones y características acorde a nuestra necesidad.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Diseño Mecánico de la Máquina

El desarrollo del sistema mecánico de la máquina de coordenadas consta de 4 subsistemas, los cuales están divididos de las siguientes maneras:

- a) Sistema de 3 Ejes Coordinados Principales X, Y, Z.
- b) Sistema de Eje Rotativo A (funcionamiento estilo torno).
- c) Sistema de husillo (Herramienta de corte, marcado, desbaste).
- d) Sistema de sujeción de material

A continuación, se muestra en la Figura 1, un panorama amplio de cómo se desarrolló el diseño de la máquina.

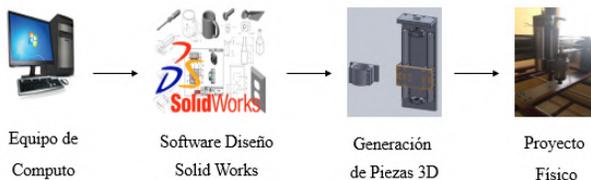


Figura 1. Esquema general del diseño mecánico

Para el desarrollo del diseño mecánico se utilizó el software Solid Works el cual es un software de excelente calidad y funcionamiento para desarrollar este tipo de trabajos.

Algunos de los elementos empleados para el desarrollo de fabricación del diseño mecánico fueron:

- a) Rodamientos Lineales

- b) Puntos de apoyo BF y BK
- c) Estructura en PTR de 2"
- d) Placas de Aluminio
- e) Tornillería mm en diferentes medidas
- f) Bases Niveladoras

En la Figura 2 se muestra el armado mecánico general de la maquina CNC.



Figura 2. Ensamble del diseño de la estructura mecánica de la maquina CNC

### B. Diseño eléctrico - electrónico de la CNC

El funcionamiento de la maquina CNC, está dividido por secciones tal como se enumera a continuación.

1. Sección eje X
2. Sección eje Y
3. Sección eje Z
4. Sección eje A
5. Sección tablero de control general

En la Figura 3 se muestra el esquema eléctrico – electrónico general de la maquina CNC.

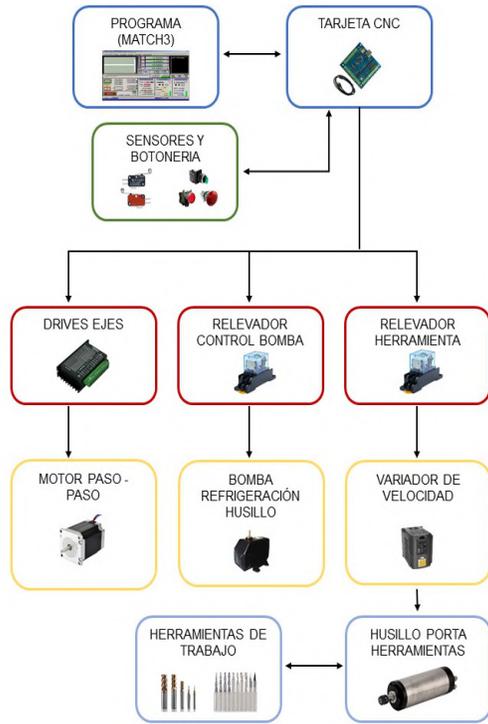


Figura 3. Esquema eléctrico – electrónico del CNC

Los grados de libertad del CNC se energizan mediante una tarjeta de control principal, la cual además de dar potencia, controla los ejes y la herramienta en coordinación con el drive de control.

Los cuatro ejes están constituidos por un drive de control de motor a pasos, un motor a paso nema 23 de 425 onzas, también se cuenta en cada uno de los tres principales ejes con dos sensores uno de inicio y uno de final de carrera, a continuación, se muestra en la figura 4 la conformación de cada eje respectivo de la CNC.

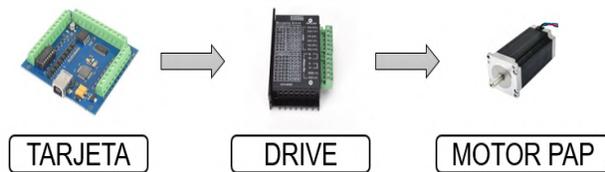


Figura 4. Subsistema general de los ejes X, Y, Z

Cabe resaltar que el uso del controlador de los motores

a pasos (Drive DMX5042BDC) es muy versátil ya que puede ser configurado para diferentes tamaños (NEMAS), de motores a pasos para así tener un CNC más robusto y capaz de realizar movimientos más rápidos de desplazamiento en el área de trabajo al mecanizar materiales para los diferentes proyectos que se desean realizar. A continuación, se muestra en la Figura 5 el controlador utilizado en el desarrollo de este proyecto.



Figura 5. Controlador DMX5042BDC

En seguida se muestran la Tabla I y la Tabla II, los parámetros de configuración general del Drive, y la selección del parámetro seleccionado para el proyecto.

TABLA I  
PARAMETROS DE AJUSTE DE CORRIENTE

PEAK CORRIENTE	RMS	SW 1	SW 2	SW 3
1.00	0.71	ON	ON	ON
1.46	1.04	OFF	ON	ON
1.92	1.36	ON	OFF	ON
2.37	1.69	OFF	OFF	ON
2.84	2.03	ON	ON	OFF
3.32	2.36	OFF	ON	OFF
3.76	2.69	ON	OFF	OFF
4.20	3.00	OFF	OFF	OFF

TABLA II  
PARAMETROS DE AJUSTE DE PULSOS / REVOLUCIONES

MicroStep	Pulse / REV	SW 5	SW 6	SW 7	SW 8
2	400	OFF	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	OFF	ON	ON
16	3200	ON	ON	OFF	ON
32	6400	OFF	ON	OFF	ON
64	12800	ON	OFF	OFF	ON
128	25600	OFF	OFF	OFF	ON
5	1000	ON	ON	ON	OFF
10	2000	OFF	ON	ON	OFF
20	4000	ON	OFF	ON	OFF
25	5000	OFF	OFF	ON	OFF
40	8000	ON	ON	OFF	OFF
50	10000	OFF	ON	OFF	OFF
100	20000	ON	OFF	OFF	OFF
125	25000	OFF	OFF	OFF	OFF

En esta sección también se desarrolló el tablero de control general de la máquina CNC, el cual realiza la interacción entre el software Mach3 (lector del código G) y los dispositivos de trabajo de la máquina que realizan el maquinado de materiales como son la Madera, Plásticos, y Aluminio.

A continuación, se muestra en la figura 6, el desarrollo del tablero principal eléctrico - electrónico de la CNC.



Figura 6. Tablero principal de control y potencia de la máquina CNC

*C. Integración del sistema mecánico – eléctrico electrónico del CNC.*

La integración del sistema mecánico – eléctrico electrónico de los ejes principales de la máquina CNC están conformados de la siguiente manera, así como lo muestra la siguiente figura 7.

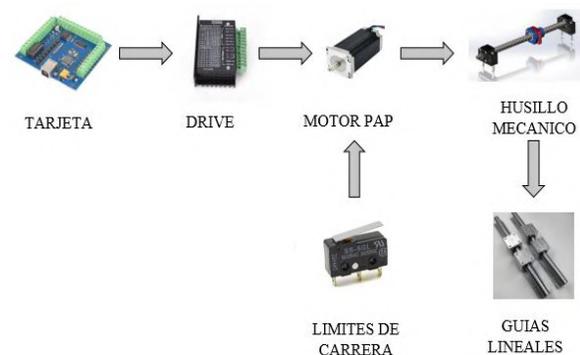


Figura 7. Diagrama M – E - E de los ejes X, Y, Z

La integración de los sistemas de la máquina; mecánico, eléctrico-electrónico de manera física se pueden visualizar en la figura 8



Figura 8. Prototipo de la maquina CNC

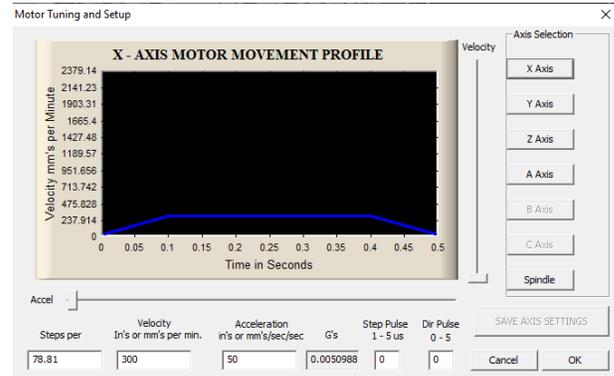


Figura 10. Curva de aceleración, desaceleración y torque del eje X

### III. RESULTADOS

#### A. Maquinado Material Poliestireno Extruido

Este es un material aislante térmico, con una estructura celular molecular cerrada y de fácil maquinado, con este material nos dimos a la tarea de poner a punto la maquina en cuestión de dimensiones velocidades de trabajo en los ejes, así como frecuencia de trabajo de la herramienta de corte tal como se muestra a continuación en la figura 9 y figura 10, el proceso de maquinado de este material.



Figura 9. Material aislante

#### B. Maquinado Material MDF

Es un tipo de madera o tablero que está fabricado a partir de fibras de maderas (contiene un aproximado en un 85%) y un 20% en resinas sintéticas comprimidas, lo cual aporta una mayor densidad de la que presentan, maderas como aglomerados tradicionales o la madera contrachapada, a continuación, se muestran en la figura 11, algunos maquinados realizados.

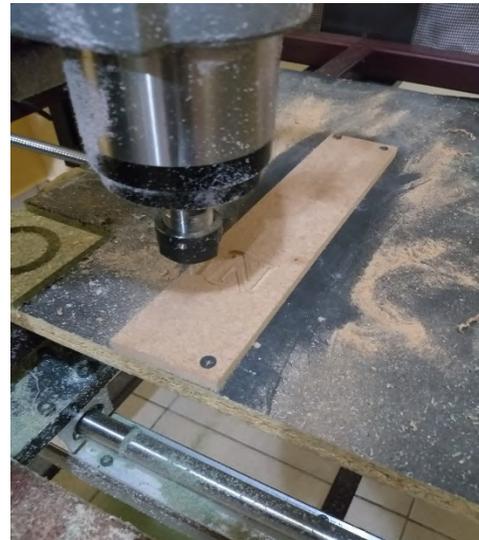


Figura 11. Maquinado en material MDF

#### C. Maquinado Material Aluminio

Para poder mecanizar el material de aluminio se requieren herramientas que cumplan con algunas de las siguientes características especiales, es deseable que al momento del corte en este material las herramientas permitan la evacuación eficiente del material (viruta de

corte), para evitar atoramientos que pueden arruinar la pieza y la herramienta de corte, asimismo, los ángulos de desprendimiento deben ser mayores a los utilizados para mecanizar aceros, además de un buen suministro de refrigerante al momento de maquinar este material ya que se calienta bastante cuando se está trabajando en su mecanizado, a continuación se muestran en la figura 12, el mecanizados en material aluminio.



Figura 12. Maquinado en material Aluminio

Mediante la obtención de todos los resultados en el maquinado de varios materiales pudimos diagnosticar que la maquina da excelentes resultados a la hora de maquinar ya que su diagnóstico general nos arroja un error de maquinado del 0.2% algo que es despreciable para el trabajo que desarrollara la maquina en cuestión de mecanizado ya que está dentro de los parámetros de rango de error permitido que nos planteamos al inicio del proyecto que fue entre un 2 a 1 % entre mediadas finales maquinada y en relación a las programas, además de que existen factores tales como el material, la herramienta, el diseño mecánico de la propia máquina, la sujeción del material, la vibración generada por la máquina, entre otros que perjudican en desarrollo del mecanizado para lograr la precisión y exactitud buscada a la hora de mecanizar materiales, pero dado que la maquina está por debajo de lo que nos trazamos al principio de elaborar el proyecto podemos asegurar que la maquina cumple con los parámetros para un excelente funcionamiento.

Por tal motivo no queda más que seguir realizando trabajos en la máquina, seguir mejorando en el proceso del mecanizado de estos materiales y buscar seguir bajando al rango de error que tenemos que aun y cuando esta excelente, me gustaría mejorarlo aún un poco más bajándolo a un 0.025% que es lo que las máquinas de uso

industrial manejan de exactitud como estándar en su mecanizado de trabajo.

Otros resultados encontrados en esta máquina es que la velocidad de la herramienta realmente es la que programamos, así como los avances de corte y movimiento de los ejes X, Y, Z y A son muy precisos lo cual ayuda a que cuando maquinamos sea excelente el mecanizado.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Con la realización de esta máquina logramos obtener una tecnología de una maquina versátil y funcional la cual está adaptada a las necesidades del trabajo para lo cual fue fabricada. Además de que con la manufactura de esta máquina pudimos implementar los conocimientos adquiridos durante el periodo de la maestría relacionado con las materias de matemáticas, mecánica, mecatrónica, electrónica, computación, así mismo nos adentramos en el mundo de las maquinas CNC para el mecanizado de materiales.

Durante el proceso de la fabricación también fuimos mejorando la parte mecánica esto debido a que las primeras pruebas mecánicas teníamos detalles que no eran del todo eficientes, como interferencias, dimensionamientos pequeños del área de maquinado, y sujeciones mecánicas que nos transmitían vibraciones cuando estábamos maquinando el material, por ello hubo varios ajustes para lograr un mejor resultado en la elaboración de esta máquina CNC.

Para la elaboración de este proyecto fue necesario realizar el diseño virtual del CNC en un software de diseño mecánico, para lo cual decidimos trabajar con el Solid Works, ya que es un programa muy amigable en el diseño de maquinaria industrial y con el cual anteriormente habíamos trabajado en la elaboración de otros tipos de máquina, además de que es un software muy eficiente en la obtención resultados a la hora de hacer simulaciones de movimiento.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para desarrollar y divulgar el presente trabajo.

VI. APÉNDICES

A continuación, se muestra en la figura 13 un ejemplo de trabajo de mecanizado de pieza en el software de simulación de uso libre de código G en **NC Conector**, antes de pasarlo al software Mach3 como código G, realizando este paso podemos darnos cuenta si al momento de fabricarlo tenemos errores con esto detectamos fallas y realizamos las correcciones debidas antes de fabricarlo en físico y real.

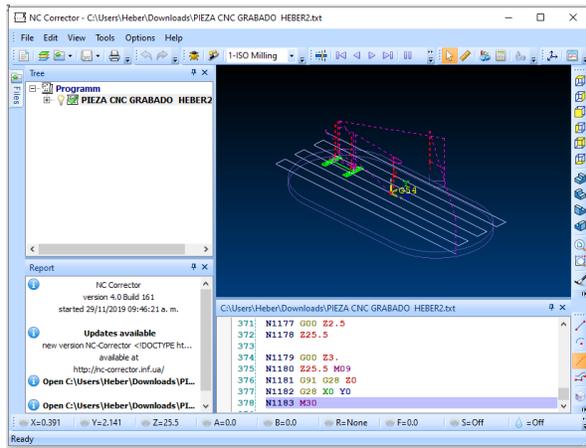


Figura 13. Simulación pieza en NC Conector

Otro trabajo de mecanizado realizado dentro de este proyecto fue el siguiente, el cual se muestra en la siguiente figura 14.

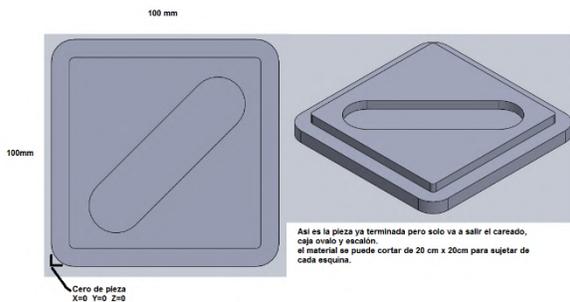


Figura 14. Pieza molde fabricado en CNC

También se muestra parte del código usado para generar la anterior pieza maquinada en el CNC.

```
O0001
N1 G21
N2 (6MM CRB 2FL 19 LOC)
N3 G91 G28 X0 Y0 Z0
```

```
N4 T01 M06
N5 S4786 M03

N6 ( Desbaste3 )
N7 G90 G54 G00 X-44.238 Y-44.237
N8 G43 Z2.5 H01 M08
N9 G01 Z-3. F109.416
N10 G17 X-43.099 F437.665
N11 G02 X-44.238 Y-43.099 I3.099 J4.237
N12 G01 Y-44.237
N13 X-46.638 Y-46.637
N14 X46.637
N15 Y-43.099
N16 X44.237
N17 G02 X43.099 Y-44.238 I-4.237 J3.099
N18 G01 X44.237
N19 Y-43.099
N20 X46.637
N21 Y46.638
N22 X43.099
N23 Y44.238
N24 G02 X44.238 Y43.099 I-3.099 J-4.237
N25 G01 Y44.238
N26 X43.099
N27 Y46.638
N28 X-46.637
N29 Y43.099
N30 X-44.237
N31 G02 X-43.099 Y44.238 I4.237 J-3.099
N32 G01 X-44.237
N33 Y43.099
N34 X-46.637
N35 Y-46.637
N36 X-49.038 Y-49.037
N37 X49.037
N38 Y49.037
N39 X-49.037
N40 Y-49.037
N41 X-51.438 Y-51.437
N42 X51.437
N43 Y51.437
N44 X-51.437
N45 Y-51.437
N46 X51.437
N47 Y51.437
N48 X-51.437
N49 Y-51.437
N50 G00 Z2.5
N51 X45.25 Y40.
N52 G01 Z-3. F109.416
N53 Y-40. F437.665
N54 G02 X40. Y-45.25 I-5.25 J0
N55 G01 X-40.
```

## VII. REFERENCIAS

- [1] Groover, M. P. (2012). *Introducción a los Procesos de Manufactura*. México: Mc Graw Hill.
- [2] Rivas, D. (2013). Diseño y Construcción de una Impresora 3D Auto-replicable Controlada Inalámbricamente para el Prototipado de Piezas Plásticas, mediante Software Libre. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*.
- [3] Hermosa, D. (2014). Diseño y Construcción de una protipadora CNC que realiza el ruteo de pistas y el taladrado de circuitos impresos utilizando procesamiento de imágenes en LabVIEW. *Universidad de las Fuerzas Armadas*, 8.
- [4] Acuña, F. (2009). Diseño y Construcción de un Prototipo de Centro de Mecanizado Vertical CNC de 5 Ejes para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga. *ESPE, Extensión Latacunga*, 10
- [5] Schvab, L. (2011). *Máquinas y Herramientas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República de Argentina: Instituto Nacional de Educación Tecnológica
- [6] Norton, R. L. (2013). *Diseño de Maquinaria*. México: Mc Graw Hill
- [7] MCNC. (2014). Historia y Evolución del CNC. *Industria y Empresas*, 4
- [8] Limited, L. T. (2012). *User's Manual DM860*. Obtenido de User's Manual DM860: [www.leadshine.com](http://www.leadshine.com)
- [9] Rodríguez, R. P. (2005). El Diseño Modular en el contexto del Desarrollo de Máquinas Herramientas Reconfigurables. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 8
- [10] Trillo, V. M. (2013). *ABC de la Mecatrónica*. María Guadalupe López Osorio.

## VIII. BIOGRAFÍA



**M. I. M. Heber Joctan Martínez Sandoval.** Nació el 11 de diciembre de 1982 en la ciudad de Torreón Coahuila, recibió el título de Ingeniero Electrónico en Control, egresado del Tecnológico de la Laguna en el año 2008, estudio la maestría en Ingeniería Mecatrónica del año 2017 al 2019 en el Instituto Tecnológico de Lerdo, obteniendo el grado de maestro en Ingeniería Mecatrónica el día 20 de enero del 2020. Trabajó en la empresa Laguna Gages & Tooling S.A de C.V como jefe del departamento de Automatización y Control

durante el periodo comprendido de enero 2009 al julio 2018, así como en la Universidad Tecnológica de Torreón del año 2010 al 2017 como profesor de asignatura. Actualmente labora como docente en la institución Tecmilenio Torreón como profesor de asignatura a nivel preparatoria área Físico – Matemático y en la institución Universidad Autónoma de la Laguna como profesor de asignatura en las carreras de Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería en Sistemas Automotrices como docente de materias del área técnica en electrónica, mecánica, mecatrónica, diseño y mecatrónica, actualmente también desarrolla proyectos de automatización e investigación en la industria automotriz, alimenticia, ganadera y textil de la región laguna y sitios aledaños. Áreas de interés: Control, Instrumentación, Mecatrónica, Mecánica, Electricidad, Diseño, Robótica, Manufactura, Calidad, Energías renovables, Calidad de la Energía, Proyectos Industriales y Docencia.



**M. C. Luis Amado González Vargas.** Nació en la ciudad de Lerdo, Dgo., el 25 de agosto de 1968. Recibió el título de Ingeniero en electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo Dgo. 2007. Recibió el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en 2010. Él ha participado en proyectos de investigación relacionados con estudios de la calidad de la energía en

distintas empresas, sus áreas de interés incluyen sistemas de potencia en régimen no senoidal y sistemas de control distribuido. Actualmente es profesor Investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.



**M. Ed. Héctor Martínez Hernández.** Nació en Torreón Coahuila, México el 19 de marzo de 1959. Realizó sus estudios de Licenciatura en Normal Superior de la Laguna obteniendo su título en 1983 realizó la especialidad Automatización de Procesos Industriales en el Instituto Tecnológico de Saltillo Coahuila, así como la Maestría en Educación en Universidad Autónoma del Noreste en la ciudad de Torreón Coahuila obteniendo el grado en 2007. Actualmente labora para la Universidad Tecnológica de Torreón desempeñándose en el

Departamento de Ingeniería Metal Mecánica en áreas de diseño y control numérico. Trabajo en la industria por un periodo de 24 años en áreas de producción e ingeniería de procesos.

Tiene amplia experiencia docente en Universidades como Instituto Tecnológico de Lerdo, Universidad Autónoma de la Laguna, Universidad del Valle de México, Universidad Iberoamericana, Instituto Conalep y Colegio Humana.