

Diseño de rehabilitador de extremidades superiores ARMexs V2.0.

ARMexs V20 upper extremity rehabilitation design.

Álvaro Hernández Sol* (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

José Enrique Moreno Araujo (2), estudiante del TecNM/ITTG, 115270455@tuxtla.tecnm.mx.

William Asís Raúl Ojeda Rodríguez (3), estudiante del TecNM/ITTG, 115270459@tuxtla.tecnm.mx.

Luis Daniel López Cancino (4), estudiante del TecNM/ITTG, 115270437@tuxtla.tecnm.mx.

Luis Ángel Sánchez Pérez (5), estudiante del TecNM/ITTG, 115270477@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en octubre 30, 2020; aceptado en diciembre 03, 2020.

Resumen.

El presente artículo describe el diseño de un sistema electromecánico CNC y su implementación en el prototipo de rehabilitador de extremidades superiores ARMexs V2.0. Al aplicar este controlador en el prototipo se le dotará de ventajas técnicas que tienen efectos en la rehabilitación como regulación de parámetros de fuerza, velocidad, intensidad y tipo de subrutina, además de que el sistema proporcionara un movimiento constante de pocas vibraciones lo cual es benéfico para la extremidad. El controlador del rehabilitador utiliza como entradas la información que proporciona tres finales de carrera que permite al aparato autoreferenciarse en 3 dimensiones de la misma manera que lo hace una impresora de tres dimensiones, teniendo como salidas a los 4 motores a pasos que son los que generan los movimientos programados en las rutinas de rehabilitación.

Palabras clave: Sistema electromecánico, control numérico computarizado, regulación de parámetros, rehabilitador de extremidades superiores.

Abstract.

This article describes the design of an electromechanical system and its implementation in the upper rehabilitation machine ARMexs V2.0. Applying this controller the prototype will be improved in technical features that make rehabilitation better for the extremity, making possible to regulate strength, velocity, intensity and the type of routine. The system will provide a constant movement with low vibing impact which is a benefit for upper extremity. The controller uses as inputs three electric limit switches, one peer axis and allows the machine to self reference in three dimensions, just like the 3D printers do, having as outputs the four motors that generate the programmed movements in rehab subroutines.

Keywords: Electromechanical system, computer numerical control, feature regulation, upper rehabilitation machine.

1. Introducción.

La Discapacidad Motriz (DM) es una condición de vida que afecta el control y movimiento del cuerpo, generando alteraciones en el desplazamiento, equilibrio, manipulación y respiración de las personas que la padecen, limitando su desarrollo personal y social.

De acuerdo con datos de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social y del Instituto Mexicano del Seguro Social sobre accidentes y enfermedades de trabajo, Cada año ocurren más de 400 mil accidentes laborales, de los cuales alrededor de una tercera parte 149 mil, afectan a extremidades superiores, incluyendo la muñeca y la mano. Todas aquellas personas involucradas en un siniestro de este tipo requieren de un terapeuta, un dispositivo y un tratamiento motriz. (Chong Jesús, 2016).

Un 39.3% de la población que cuenta una discapacidad motriz vive en un entorno rural de los cuales solo el 27.8% es derechohabiente en una institución de salud. Dejando un 11.5% de la población rural sin sanidad garantizada (CONEVAL, 2017). Entre 2000 y 2010 la discapacidad motriz aumentó un 11.3% en zonas urbanas y un 17.5% en zonas rurales. La gráfica correspondiente a este incremento se encuentra en anexos (INEGI, 2014). Este rubro de la población requiere de rehabilitación en algún grado y por ende tiene que trasladarse hacia las ciudades donde existen aparatos terapéuticos, voluminosos y costosos, que les brinde tratamiento.

Existen 3 tipos fundamentales de motores a pasos: el motor de reluctancia variable, el motor de magnetización permanente, y el motor híbrido el cual combina elementos de ambos (Liptak, Bela G., 2005).

Los motores a pasos pueden ser usados en sistemas de control de circuito abierto: son generalmente adecuados para sistemas que operan a niveles bajos de aceleración con cargas estáticas, también pueden emplearse con controladores de circuito cerrado cuando se requiera alta aceleración para trasladar cargas variables (Douglas W. Jones. 1995).

En el caso de control de motores, se están desarrollando muchos algoritmos, específicamente para la regulación de velocidad (Choset, 2005).

Los motores paso a paso se pueden ver como motores eléctricos sin escobillas cuyo factor principal de control son los grados por paso, también se le puede denominar como resolución del motor, ya que define la cantidad de grados que rotará el eje para cada paso completo (Eduardo J. Carletti, 2007).

El gran progreso en el equipo electrónico hizo que se introdujera el control automático en una gran cantidad de áreas productivas, lo que revolucionó el entorno industrial en la era de la automatización, sustituyendo a las máquinas que iniciaron la mecanización en el siglo XVIII (Syh-Shiuh Yeh, 2019).

Al finalizar la segunda guerra mundial hubo un incremento en la demanda de productos cada vez más complejos, por lo que la máquina CNC fue inventada para reducir de manera efectiva la urgente necesidad de trabajadores cualificados para operar sistemas de manufactura convirtiéndose en una de las invenciones más prominentes para el desarrollo de tecnologías industriales de producción de manufacturas (Heinrich Arnold, 2001).

2. Métodos.

Elementos que componen el rehabilitador ARMexs V2.0.

Auto rehabilitación 3D es un robot paralelo diseñado para ejecutar un conjunto de movimientos que facilitan la flexión de una parte del miembro superior o el miembro completo de forma sincronizada con el fin de activar las funciones motrices.

Consiste de un sistema que cuenta con una plataforma móvil donde la extremidad es colocada para que esta se desplace en 3 ejes (X, Y, Z).

La plataforma de movimientos distribuye de manera uniforme la fuerza isométrica ejercida sobre la estructura.

El robot paralelo se integra de los siguientes componentes:

Motores a pasos: Permiten el movimiento de rotación y traslación sobre los ejes de la estructura.

Controlador de pasos de tipo numérico/programado: Compuesto por el microcontrolador, los controles de potencia de los motores a pasos (A4988) y los sensores de límite. En estos componentes se gestiona la comunicación remota entre los sensores de límite y se ejecutan los conjuntos de instrucciones que permiten el movimiento de los motores.

Estructura con movimiento omnidireccional con ejes X, Y, Z: Construido en aluminio, MDF y PLA aporta robustez y portabilidad al dispositivo de rehabilitación.

El equipo cuenta con una aplicación móvil que permite configurar y compartir la información de rutinas personalizadas a las necesidades de cada paciente.

El dispositivo es fácil de configurar por el especialista; seleccionando los parámetros de fuerza, velocidad y número de repeticiones necesarias.

En la figura 1 observamos un dibujo del prototipo donde se muestra en verde los motores a pasos, en azul el microcontrolador (ATMega 2560) y los controladores de los motores (A4988) en rojo.

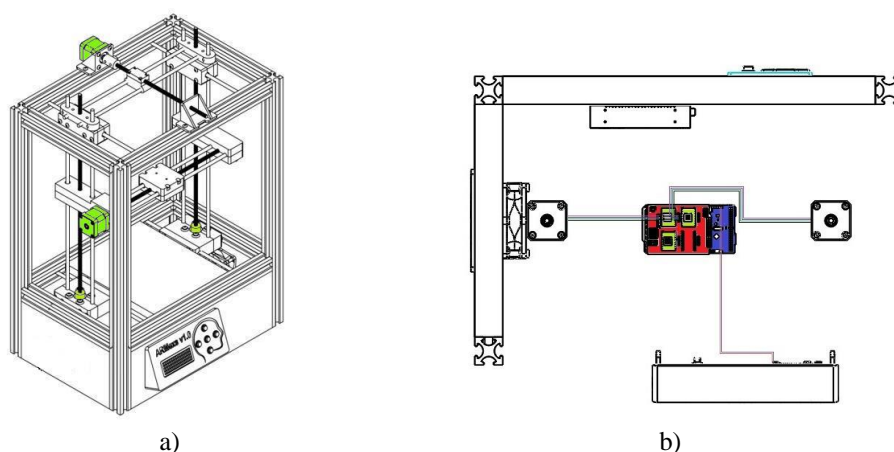


Figura 1. Vistas del ARMexs V2.0. a) isométrica b) inferior.

3. Desarrollo.

Primera etapa. En la figura 2 se muestra como se diseñó una de las veintidós piezas de soporte que conforman la subestructura plástica que se monta sobre las guías de acero inoxidable, en el software SolidWorks.

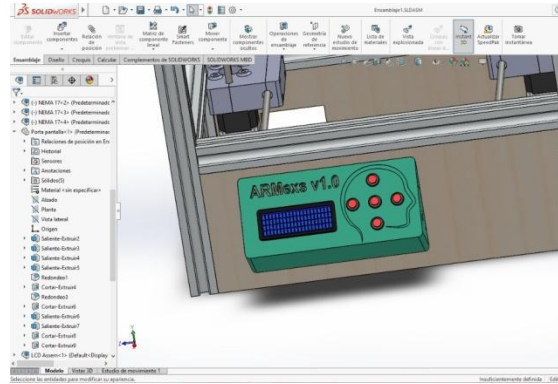


Figura 2. Diseño de las piezas en SolidWorks.

Una vez terminados las 22 piezas se procedió a verificar los diseños en dimensiones y en su posición en el ensamble, para minimizar los errores y preparar a cada una de las partes para la impresión en 3D. En la figura 3 se visualiza un grupo de seis piezas que componen la subestructura plástica.

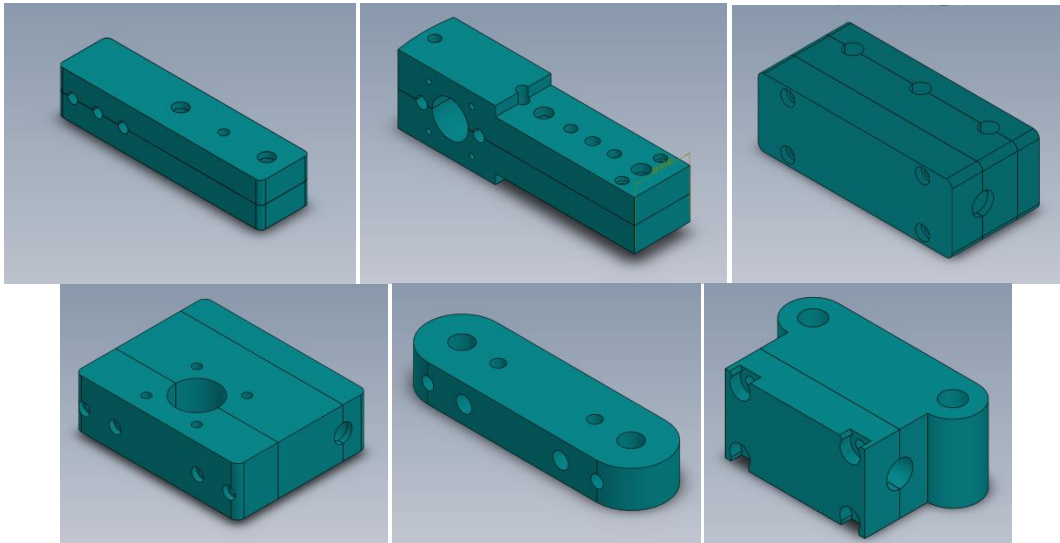


Figura 3. Piezas terminadas.

Segunda etapa. Montado de la estructura externa, la subestructura plástica compuesta por las más de 22 piezas impresas en 3D y los motores a pasos.

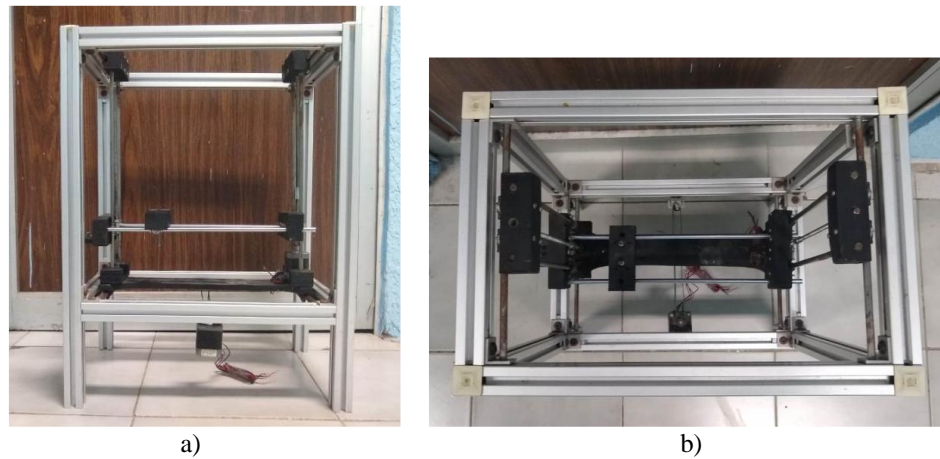


Figura 3. Vista de la estructura. a) Frontal. b) Superior.

Tercera etapa. Programación del dispositivo y pruebas con brazo y peso dinámico.

Esta etapa comprende el desarrollo de las subrutinas de programación que permiten al aparato tener una flexibilidad en los cuatro parámetros fundamentales del movimiento de rehabilitación, la velocidad, la fuerza, la intensidad y el tipo de movimiento, en línea recta o circular que se ejecutará.

Tal como se muestra en la figura 4 probamos algunas de las rutinas con el peso de un brazo adulto de aproximadamente unos 24 kilogramos. Teniendo una movilidad completa sin forzado de los motores.

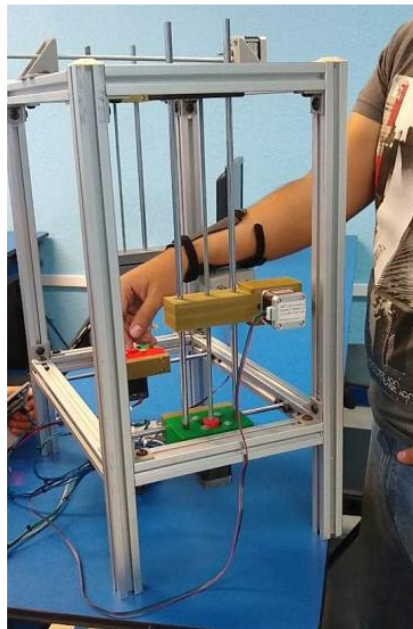


Figura 4. Prueba con peso de brazo adulto.

Cuarta etapa. Incorporación del panel de control (HMI) del dispositivo y forrado.

Se diseñó los elementos plásticos de la interfaz humano-máquina tal como se visualiza en la figura 5 y se agregaron los elementos electrónicos al sistema de control del aparato para que los usuarios tengan a su disposición una pantalla, menús, botones de navegación, selección y paro de emergencia.

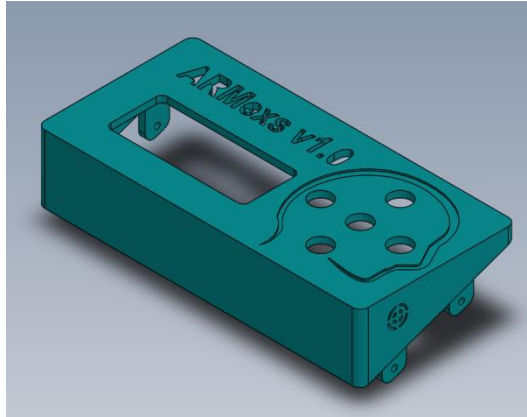


Figura 5. Soporte de pantalla y botones de navegación.

En esta etapa también se agregan al dispositivo paros de emergencia fijos y móviles tal como se muestra en la figura 6 para garantizar la seguridad del paciente ante cualquier imprevisto que pueda suscitarse.



Figura 6. Paro de emergencia e interfaz humano-máquina.

Una vez listo, el rehabilitador requería de la incorporación de los elementos estéticos compuestos principalmente de MDF con superficie plastificada para dar acabados de aparato médico. Tal como se puede visualizar en la figura 7.



Figura 7. Dispositivo de rehabilitación ARMexs V2.0 terminado.

Quinta etapa. Pruebas y evaluaciones.

El equipo ARMexs realizó visitas a diferentes centros médicos especializados en tratamiento de discapacidades motrices tales como el **Hospital del estado Dr. Gilberto Gómez Maza, el Centro de Rehabilitación e Integración Infantil Teletón y la Clínica de discapacidades DIF Chiapas**, como parte de las evaluaciones al aparato por parte de especialistas en rehabilitación.



Figura 8. Doctora especialista en rehabilitación del Teletón probando el dispositivo.

4. Resultados.

ARMexs V2.0 tuvo evaluaciones médicas satisfactorias por especialistas del CRIT Teletón de Tuxtla Gutiérrez, DIF Chiapas y Hospital General Dr. Gilberto Gómez Maza. Quienes probaron el aparato y proporcionaron retroalimentaciones sobre su sus alcances. Tal como se muestra en la figura 9.

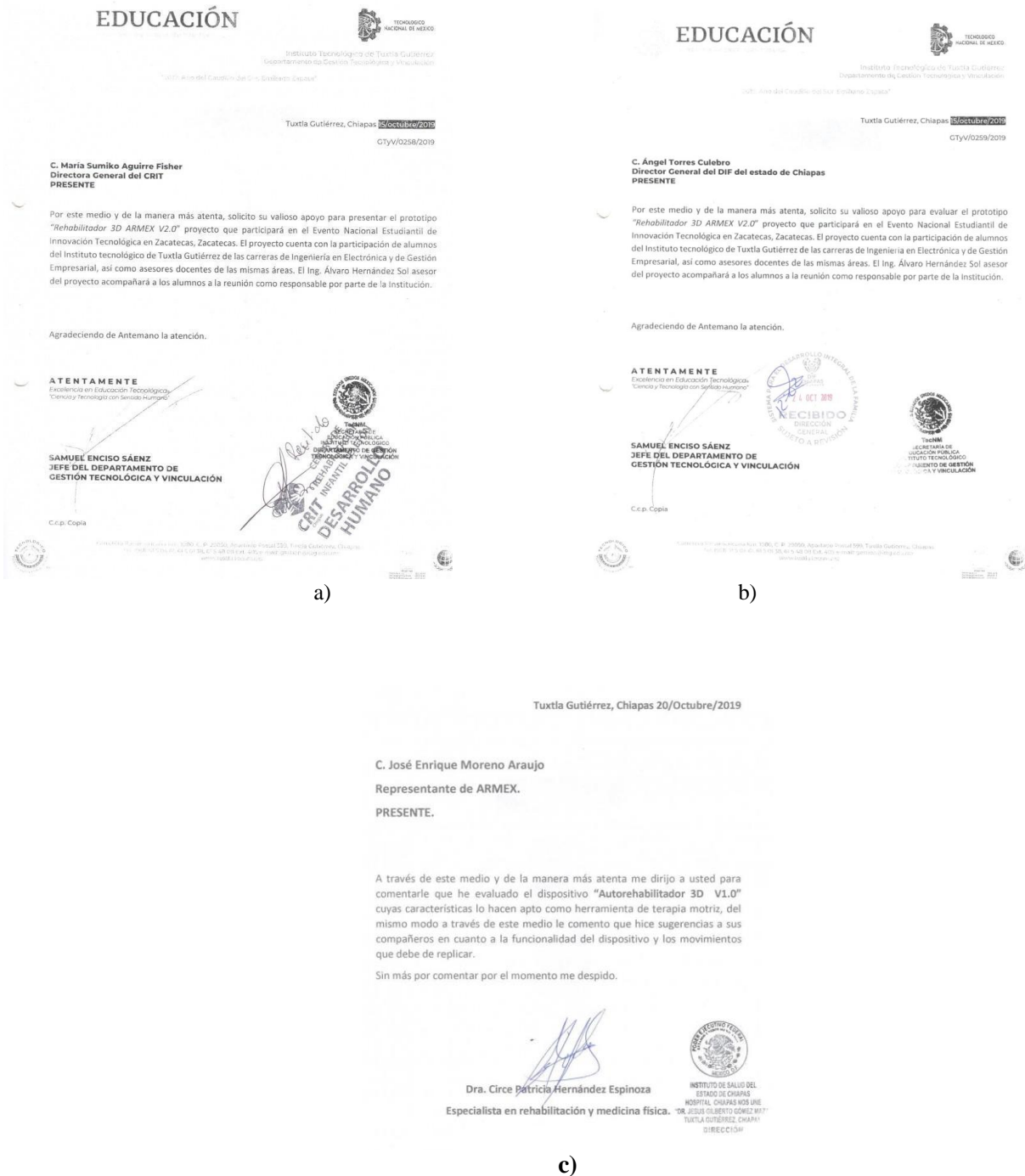


Figura 9. Evaluaciones médicas. a) CRIT Chiapas. b) DIF Estatal. c) Especialista en rehabilitación.

Conclusiones.

Las ventajas del rehabilitador ARMexs el cual se encuentra basado en tecnología CNC son muchas, destacando la portabilidad, precisión, bajo consumo energético y bajo coste.

Los resultados obtenidos al emplear tecnologías de control numérico en el apartado de la rehabilitación son prometedores y en este proyecto son sin duda satisfactorios ya que se logró construir y evaluar al aparato de rehabilitación con especialistas en el campo. El controlador implementado cumple con el objetivo de mantener operando la máquina de forma estable con un brazo adulto sobre él, lo que lo vuelve un dispositivo médico con potencial de llegar al mercado de ser aprobado su uso.

Agradecimientos.

Los autores agradecemos al Tecnológico Nacional de México, el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón de Tuxtla Gutiérrez y al Hospital general del estado de Chiapas Dr. Jesús Gilberto Gómez Maza por el apoyo logístico para la verificación y evaluación del rehabilitador de extremidades superiores ARMexs V2.0.

Créditos.

Los resultados presentados en este artículo fueron obtenidos gracias al apoyo del Tecnológico Nacional de México al financiar el proyecto “Sistema de rehabilitación de extremidades superiores basado en control numérico” con número 8308.20-P, sin este apoyo no hubiera sido posible esta publicación.

Referencias bibliográficas.

- Chong Jesús Enrique. (2016).** *El dispositivo que rehabilita a víctimas de accidentes laborales.* Septiembre del 2019, de Tec Review, Sitio Web: <https://tecreview.tec.mx/mexicanos-crean-dispositivo-de-rehabilitacion-para-victimas-laborales>
- Choset, H. (2005).** *Principles of robot motion, theory, algorithms, and implementations.* USA: The MIT press.
- CONEVAL. (2017).** *Ingreso, Pobreza y Salario Mínimo.* 13 de Septiembre del 2019, de CONEVAL Sitio web: <https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Documents/INGRESO-POBREZA-SALARIOS.pdf>
- Douglas W. Jones. (1995).** *Control of Stepping Motors.* 21 de Noviembre de 2020. THE UNIVERSITY OF IOWA Department of Computer Science. Sitio web: <http://homepage.divms.uiowa.edu/~jones/step/>
- Eduardo J. Carletti. (2007).** *Motores paso a paso. Características.* 21 de Noviembre del 2020. Robots Argentina. Sitio Web: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm
- INEGI, (2014).** *Discapacidad en México datos al 2014,* 13 de Septiembre del 2019, Sitio Web INEGI: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825090203>
- Heinrich Arnold (2001).** *The recent history of the machine tool industry and the effects of technological change* (University of Munich, Institute for Innovation Research and Technology Management November 2001)
- Liptak, Bela G. (2005).** *Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization.* CRC Press. p. 2464. ISBN 978-0-8493-1081-2.

Syh-Shiuh Yeh & Zheng-Hong Tsai & Pau-Lo Hsu (2019). *Applications of integrated motion controllers for precise CNC machines.* ©Springer-Verlag London Limited 2019

Información de los autores.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Profesor investigador desde 1997. Certificado en SolidWorks Associate y Autodesk inventor. Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “Robótica” y es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos. Así como en sistemas traductores de lenguaje.



José Enrique Moreno Araujo, Ingeniero en Electrónica, egresado del Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez. Ha participado en diferentes eventos de innovación tecnológica, voluntariado social. Es cocreador del prototipo ARMexs, colaborador en proceso de patente y derechos de autor. Su principal interés es el uso e interpretación de datos.



William Asís Raúl Ojeda Rodríguez, alumno recién egresado de la carrera de ingeniería Electrónica, en el Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez. A participado en diferentes eventos de innovación y desarrollo tecnológico como cocreador del prototipo ARMexs. Programador y diseñador gráfico. Colaborador en proyectos de automatización de procesos.



Luis Daniel López Cancino, alumno recién egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica, en el Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez. Especialista en el área de diseño mecánico en SolidWorks, además de impartir cursos en el tema, programador amateur. Colaborador en proceso de patente y derechos de autor.



Luis Ángel Sánchez Pérez, alumno recién egresado de la carrera de ingeniería Electrónica, en el Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez. A participado en diferentes eventos de innovación y desarrollo tecnológico cómo cocreador del prototipo ARMexs. Programador y diseñador de sistemas mecatrónicos. Colaborador en proyectos de automatización de procesos.