

# Electrical Design for Control of Wheelchair Mechanism Economically Accessible in Honduras

Tagrid Siham Gabrie, Ingeniero en Mecatrónica, Orlando Aguiluz Guevara, Ingeniería Electricista<sup>1</sup>, Jose Luis Ordoñez Avila, Master en administración de proyectos<sup>2</sup>

Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, orlandoaguiluz@unitec.edu<sup>1</sup>, jlordonez@unitec.edu<sup>2</sup>

*Abstract– Professor Stephen William Hawking relied on an automated wheelchair from the late 1960s until his death, thanks to this device the world could count on one of the great physicists of recent times. Is it possible that other great minds do not have the resources to access these devices and improve their standard of living? In order to develop an economically accessible electronic system for all strata to automate wheelchairs, a quantitative approach, experimental design and a methodology for design of mechatronic devices in "V" were used. The results found were the development of a stable and economically viable electronic system compared to other devices for the same purpose in Honduras. It is concluded that the project is functional to optimize or modify wheelchairs, whether they are hospitals, acyl or associations with people with motor problems, offering a better use and greater efficiency of both the chair and the user. The power circuit based on MOSFETs, allows a lower energy consumption, which represents a longer duration in the charging of the batteries.*

*Keywords: Automation, microcontroller, wheelchair, low cost.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.239>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

# Diseño Eléctrico para Control de Mecanismo de Silla de Ruedas Económicamente Accesible en Honduras

Tagrid Siham Gabrie, Ingeniero en Mecatrónica, Orlando Aguiluz Guevara, Ingeniería Electricista<sup>1</sup>, Jose Luis Ordoñez Avila, Master en administración de proyectos<sup>2</sup>

Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, [orlandoaguiluz@unitec.edu](mailto:orlandoaguiluz@unitec.edu)<sup>1</sup>, [jlordonez@unitec.edu](mailto:jlordonez@unitec.edu)<sup>2</sup>

**Resumen—**El Profesor Stephen William Hawking confió en una silla de ruedas automatizada desde finales de la década de 1960 hasta su muerte, gracias a este dispositivo el mundo pudo contar con uno de los grandes físicos de los últimos tiempos. ¿Es posible que otras grandes mentes no tengan los recursos para acceder a estos dispositivos y mejorar su nivel de vida? Con el objetivo de desarrollar un sistema electrónico económicamente accesible para todos los estratos para la automatización de sillas de ruedas, se utilizó un enfoque cuantitativo, diseño experimental y una metodología para diseño de dispositivos mecánicos en "V". Los resultados encontrados fueron el desarrollo de un sistema electrónico estable y económicamente viable por debajo de otros dispositivos para el mismo fin en Honduras. Se concluye que el proyecto es funcional para optimizar o modificar las sillas de ruedas ya sean de hospitales, acilos o asociaciones con personas de problema motriz, ofreciendo un mejor uso y una mayor eficiencia tanto de la silla como para el usuario. El circuito de potencia a base MOSFETs, permite un menor consumo de energía, lo cual representa mayor duración en la carga de las baterías.

**Palabras claves—**Automatización, microcontrolador, silla de ruedas, bajo costo.

## I. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (2011) describe las discapacidades como la relación entre personas con deficiencias y los obstáculos que se encuentran por la negligencia que encuentran en su entorno que evitan su participación óptima y efectiva en la sociedad, y, además, en las mismas condiciones que las demás personas, es decir, igualdad de oportunidades. Actualmente en Honduras existen más de 1 millón de

personas con discapacidades según datos de la Secretaría de Desarrollo e Inclusión Social [1]. Collado (2013) menciona que la discapacidad es una condición humana que casi todas las personas tendrán en algún punto de su vida, ya sea una discapacidad temporal o permanente. Para la mayoría de las personas con discapacidad, la asistencia y apoyo de un tercero es necesario para que estas personas logren participar en la sociedad.

La mayoría de los grupos familiares tienen algún familiar con alguna discapacidad, y en muchos de los casos los familiares deciden tomar la responsabilidad de asistir a sus parientes o amigos con discapacidades. Esto sucede debido a los servicios de apoyo inexistentes que conlleva a los miembros de las familias a tomar responsabilidad; además, como consecuencia, conlleva a que ambos, la persona discapacitada y el pariente, no sean económicamente activos y no logren

integrarse en la sociedad. A nivel mundial, las personas con discapacidad no cuentan con los medios para satisfacer sus necesidades. Los servicios de apoyo aun no son una prioridad o en las políticas de discapacidad en muchos países, los resultados de esta negligencia se reflejan en la calidad de vida de estas personas [2].

Las personas con discapacidades motoras con falta de habilidad o fuerza en la parte superior del cuerpo y la habilidad de moverse por sí mismo, requieren de una silla de ruedas eléctrica. Por lo que, en esta tesis, tomando en consideración el porcentaje de personas que necesitan una silla de ruedas eléctrica pero no tiene la oportunidad de adquirirla debido al elevado precio que supera los 1,000 dólares, se propuso la automatización de silla de ruedas convencional a bajo costo. Se diseñará el sistema de control, sistema eléctrico y la parte mecánica además de realizar todo el proceso de adaptación con el fin de obtener el dispositivo completo y funcional.

## II. ESTADO DEL ARTE

El Profesor Stephen William Hawking (fig.1) quien fue un físico teórico, astrofísico, cosmólogo y divulgador científico fue diagnosticado con esclerosis lateral amiotrófica cuando apenas tenía 21 años. Al pasar el tiempo la enfermedad fue aumentando lo que causaba que las neuronas motoras estuvieran más afectadas. Esto hizo que perdiera la capacidad de moverse y paso los siguientes años de su vida en una silla de ruedas. [3] Hawking confió en una serie de sillas de ruedas desde finales de la década de 1960 hasta su muerte; Las partes esenciales de las sillas se actualizaron a medida que sus necesidades progresaron (las más importante, los elementos electrónicos como el motor) y dos sillas generalmente se transportaban con él en cualquier momento dado, para permitirle el uso de un respaldo si fuera necesario. [4]



Figura 1- Stephen William Hawking

Gracias al avance de la tecnología en la silla de ruedas, el físico teórico Stephen Hawking tuvo la oportunidad de propagar la ciencia a las masas a un nivel que no se había

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.239>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

experimentado desde sus predecesores Albert Einstein o Sir Isaac Newton. A través de la educación, libros publicados, discursos públicos y apariciones internacionales en televisión, Hawking convirtió investigaciones complejas de vanguardia en información digerible que inspiró a niños y adultos a explorar el universo e intentar responder algunas de las preguntas más ambiciosas de nuestro tiempo. [5]

### III. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de sistemas mecatrónicos, existe un modelo de procedimiento más flexible. Se basa en tres elementos principales: el ciclo general de resolución de problemas en el micro nivel, el modelo en forma de V en el nivel macro y módulos de proceso predefinidos para repetir pasos de operación durante el diseño de mecatrónica sistemas [6].

#### A. Ciclo general de resoluciones de problemas en el micro nivel

Este ciclo de resolución de problemas en un nivel micro es originaria de la ingeniería de sistemas, sin embargo, actualmente se ha expandido a usar en otras disciplinas, por ejemplo, la gestión empresarial o la ingeniería de software. Por otro lado, desde el punto de vista psicológico se confirmó su eficiencia en la planificación y realización básica de solución de problemas [7].

#### B. Modelo V en el nivel macro

El modelo en forma de V esta establemente establecido en el dominio de la ingeniería de software y partiendo de ahí se ha adaptado a las necesidades de la mecatrónica. Gausemeier & Moehring (2002) describen el procedimiento genérico para el diseño de sistemas mecatrónicos que deben especificarse de acuerdo con la tarea de diseño individual:

- Requisitos: se empieza desde un diseño individual de tarea, en donde ha sido aclarada, definida y descrita con la ayuda de los requisitos. Las medidas de evaluación del producto posterior deberán ser representadas por los requisitos establecidos.
- Diseño del sistema: basado en las características físicas y lógicas esenciales del futuro producto se debe definir un dominio cruzado que tenga un concepto de solución. La función general de un sistema será dividida en subfunciones. A cada una de estas subfunciones se le asignara un principio de funcionamiento y/o elementos de solución las cuales se evalúa su cumplimiento de sus respectivas funciones dependiendo del contexto general del sistema.
- Diseño específico de dominio: el concepto de solución, el cual ha sido desarrollado en conjunto por aquellos involucrados en el dominio, trabajara en detalle separado en los dominios. Diseños elaborados y cálculos serán necesarios para garantizar el rendimiento funcional, en particular aquellos con funciones críticas.
- Integración del sistema: el resultado de los dominios específicos es integrados a un sistema general en orden de analizar las interrelaciones.

- Verificación / validación: el progreso del diseño debe ser evaluado constantemente por medio del concepto de solución y los requisitos especificados. Se debe asegurar que las características actuales del sistema deben concordar con las que se desean.

- Modelado y análisis de modelos: las fases descritas han sido rodeadas por la forma y análisis de las características del sistema con la ayuda de modelos y herramientas asistidas por computadoras para simulación.

- Producto: el producto es el resultado de un macrociclo que fluyó con éxito. No significa que el artículo manufacturado he terminado, realmente existente, pero la acumulación continua del producto futuro (madurez del producto). Los grados de madurez son, por ejemplo, modelo conceptual, modelo funcional, etc.

Normalmente es muy difícil que un producto mecatrónico complejo sea terminado dentro de un macrociclo, más bien es necesario varios ciclos. En el primer ciclo, en un caso hipotético, el sistema se especifica funcionalmente, los primeros principios de funcionamiento y/o los elementos de solución serán seleccionados y especificados de forma aproximada y, simultáneamente, se comprobará la coherencia en el contexto del sistema. Las primeras muestras de laboratorio son los resultados, los cuales se elaboran en detalle dentro de un segundo ciclo – especialización detalla de las estructuras, comportamientos y simulación de forma – para generar prototipos tempranos. [6]

#### C. Módulos de proceso para repetir pasos de diseño

Parte del módulo del proceso se compone del diseño del sistema, la estructura y el análisis del modelo, el diseño específico del dominio, la integración del sistema y el aseguramiento de las propiedades. El objetivo final es hacer que el proceso sea más estable y formar variantes de soluciones en el principio, ya que las ideas elaboradas para la solución generalmente no son lo suficientemente estables como para determinar el concepto final de dominio cruzado, en su lugar, deben tenerse en cuenta otras cuestiones como el peso y la vida útil. Los criterios técnicos y comerciales son base para la evaluación final de las variantes de la solución final [8].

#### D. Microcontrolador

El propósito principal de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, ante esto, la correlación de la programación como una actividad básica en el diseño de circuitos, lo cual lo hace más sencillo, y sistemas que los incluyan es indispensable. El beneficio del uso de un programa en los microcontroladores es que permite la modularidad y flexibilidad, ya que en un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones, por lo tanto, solo se requiere cambiar el programa para ajustar nuevas necesidades y solo están limitadas por la imaginación de los usuarios. Los microcontroladores se encuentran en diversas áreas, por ejemplo, en la robótica y la automatización, en la industria de entretenimiento y las telecomunicaciones, en el

hogar, en los automóviles o la instrumentación, etc [9]. Algunos ejemplos del uso de estos dispositivos en para controles finos se aprecian en el [10] con una sintonización PID y otro ejemplo lo vemos en [11] para realizar una tele operación de un robot.

### E. Joystick Análogo

Es necesario entrar más a detalle en lo que es un joystick, este funciona como una herramienta que ayuda a dar dirección a lo que se desea, pero solo funciona para programas digitales. Su funcionamiento de dirección está basado en dos dimensiones de una palanca, estos movimientos son capturados por medio de dos potenciómetros, es decir, cada movimiento en cada dirección será regulado por un potenciómetro. Los movimientos varían la resistencia del potenciómetro y con estas variaciones en el voltaje detectadas por el sistema se transmiten para saber en qué dirección se desea mover el usuario [12]. Este tipo de joystick es accesible en precios por lo que es de gran ayuda para minimizar costos de producción.

### A. Puente H

Un puente H es un circuito simple que le permite controlar un motor de CC sentido horario o antihorario. Normalmente lo usa con un microcontrolador, como un Arduino, para controlar motores. Una explicación sencilla del puente H es que un motor de CC gira hacia adelante o hacia atrás, dependiendo de cómo conecte el positivo (+) y negativo (-). Si cierra los interruptores 1 y 4, tiene más conectado al lado izquierdo del motor y menos al otro lado. Y el motor comenzará a girar en una dirección. Si en cambio cierra los interruptores 2 y 3, tiene más conectado al lado derecho y menos al izquierdo. Y el motor gira en la dirección opuesta [13].

### B. MOSFET

Un transistor de efecto de campo de metal-óxido-semiconductor (MOSFET, MOS-FET o MOS FET) donde el voltaje determina la conductividad del dispositivo. Se utiliza para conmutar o amplificar señales. La capacidad de cambiar la conductividad con la cantidad de voltaje aplicado se puede usar para amplificar o cambiar señales electrónicas. Los MOSFET son ahora incluso más comunes que los BJT (transistores de unión bipolar) en circuitos digitales y analógicos. [14]

## II. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto y garantizar su eficiencia se decidió utilizar la metodología del modelo 'V' que funciona de guiamiento para el desarrollo de productos mecatrónicos. Este modelo se basa en dos ciclos de 6 etapas (fig. 2), lo que nos ayudara a lograr obtener un producto funcional al final del segundo ciclo.

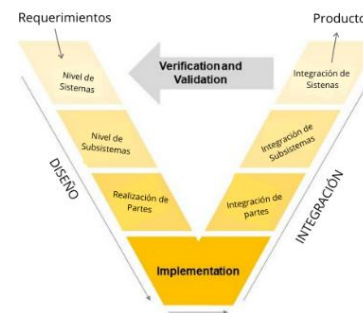


Figura 2 - Modelo 'V'

## III. DESARROLLO

Lo primero que se tuvo que hacer para empezar con las etapas fue definir los requerimientos del dispositivo. El requerimiento principal fue que los productos a utilizar fuesen accesibles para personas que no tenga la capacidad económica de adquirir una silla de ruedas eléctrica. Basado en la identificación de necesidades, se realizó un análisis para definir las funciones globales del sistema en general. Este análisis debe definir tres tipos diferentes de funciones: La función principal es que satisfaga las necesidades de usuario que utilizara el producto por esta razón se debe automatizar la silla de ruedas a bajo costos, para que sea más accesible económicamente para los usuarios. En la función de Restricción se tiene que verificar que el sistema de control funcione correctamente en la silla de ruedas y así poder garantizar la seguridad y confianza al usuario. La función complementaria del producto sería una silla de ruedas de bajo costo con una larga vida útil.

La solución final dependió en gran medida de este análisis: la mayoría de las diferencias entre dos productos que tienen las mismas funciones principales resultan de la restricción y las funciones complementarias.

### A. Etapa I: Nivel de los sistemas

Siguiendo la metodología el primer paso para desarrollar el producto mecatrónico es la definición de los sistemas en este proyecto se definieron 5 sistemas.

- Sistema de control se compone de diferentes sensores que envían señales de acuerdo con el movimiento realizado.
- Sistema de procesamiento funciona como interfaz entre el control de mando y el sistema de potencia.
- Sistema de potencia debido a que es necesario que la potencia mecánica sea igual a la potencia eléctrica.
- Sistema de energía y carga el cual determinara el rendimiento de la silla y la vida útil de las baterías.
- Sistema mecánico realiza el trabajo mecánico de acuerdo al principio de engranaje.

### B. Etapa II: Nivel de los subsistemas

Después de definir cada sistema se continua a determinar los subsistemas

#### Subsistemas de control:

1. Joystick será el encargado de mandar los códigos para determinar la dirección a la cual se desea dirigir el usuario.
2. Armazón que nos ayudara a darle protección al joystick como también comodidad al usuario.

#### Subsistemas de procesamiento:

1. Microcontrolador que sea capaz de procesar la información que estará emitiendo el control de mando y así ayudara a enviarle las señales de activación al sistema de potencia.
2. Programación es importante ya que es la que dictara como los motores tiene que operar al recibir las señales de dirección recibidas desde el joystick.

#### Subsistemas de potencia:

1. Puente H el cual le permite a un motor electrónico DC girar en ambas direcciones, avanzar y retroceder.
2. Motores los cuales serán los encargados de desplazar la silla de ruedas.

#### Subsistemas de energía y carga:

1. Baterías son importantes porque determinaran la autonomía del producto.
2. Cargadores el cual suministran la corriente eléctrica a las baterías recargables.
3. Regulador de voltaje estos estarán a cargo mantener un voltaje constante en las terminales.

#### Subsistemas Mecánicos:

1. Engranajes estos son importantes en el sistema mecánico debido a que se estará trabajando con el principio de engranaje, por lo que se obtendrán una cantidad alta de esfuerzo y tensión.
2. Cadena es la que ayudara a unir los engranajes, podemos tomar como el ejemplo del sistema de las bicicletas.

### C. Etapa III: Realización de Partes

Seguidamente se eligieron los componentes específicos a utilizar en la elaboración del prototipo.

#### Subsistemas de control

- Joystick: se elegido el joystick análogo, porque además de que es el más común no se necesita un control preciso de la velocidad solo de la dirección.
- Armazón: se diseñó el armazón en SolidWorks para luego poder realizar una impresión en 3D.

#### Subsistemas de Procesamiento

- Microcontrolador: Este será el que transmita los códigos generados por el joystick para enviar las señales de control conveniente para el puente H. El dispositivo que procesará la información dada será el ATMEGA328P-PU de la familia AVR es uno de los microcontroladores más comunes usados actualmente por su bajo costo.

**Tabla 1 - Características del ATMEGA328P-PU**

Nombre del parámetro	Valor
Memoria de Programa (KB)	32
Timers	2 de 8 bits y 1 de 16 bits
Convertidores ADC	5
Control PWM	Si
Comparadores	1
Oscilador Interno	8 (MZ) usamos el de 16(MZ) por que sube la frecuencia del PWM
Numero de Puertos	23

- Programación: se utilizará el IDE de Arduino para realizar la programación necesaria para que el proyecto funcione de la manera esperada.

#### Subsistema de Potencia

- Puente H: este puente H normalmente ya viene hecho en circuitos integrados, pero en este caso se construirá a partir de componentes electrónicos. El puente H que se realizará será a base de MOSFETs porque son más eficiente, ya que al estar totalmente encendidos y darle 15 voltios a la puerta del MOSFET, la resistencia entre la puerta y el drenado es de 5 miliohms lo cual implica una disipación de 0,98watt. Los BJT fueron descartados debido a que la disipación es de 9,8 watts un incremento del 1000% en disipación, así que si usaremos el BTJ estaría a 680 grados Celsius sin disipador de calor lo cual quemaría el circuito. Mientras que con el MOSFET solo serían 68 grados Celsius. Se descartó el IGBT porque serían los mismos resultados que el BJT y además que son más caros que el MOSFET. Los componentes que se usaron para realizar el puente H son los siguientes:

**Tabla 2 - Componentes para Puente H**

Componente	Cantidad
MOSFET IRF3205	4
MOSFET Driver IR2110S	2
Diodo de recuperación ultra rápida UF4007	2
Diodo rectificador 1N4007	4
Diodo Zener 15V	4
Led Rojo 5mm	1
Led Verde 5mm	1
Capacitor electrolítico 10uf/50V	4
Capacitor electrolítico 1000uF/50V	1
Capacitor Cerámico 100nF/50V	2
Resistencia 10 Ohm 0805	4
Resistencia 15 ohm 1/4W	4
Resistencia 2.2k ohm 1/4W	1
Conector PCB 2 pines	1
Conector PCB 4 pines	1

Borneras 0.3''	2
----------------	---

- Motores: Dos motores DC de 24 voltios los cuales son los mismo que se utiliza en las scooters. Estos serán los encargados de realizar el desplazamiento de la silla. Los motores disponen de las siguientes características:

**Tabla 3 - Características Motor DC**

Concepto	Especificaciones
Numero de Modelo	MY1025
Voltaje	24 V
RPM	2750 rpm
Corriente Nominal	14 A
Cable	aprox. 13.4 in.
Piñón	11

#### Subsistemas de Energía y Carga

- Baterías: Se utilizarán baterías de plomo selladas debido a que son las utilizadas en las sillas de ruedas eléctricas. Se necesitan dos baterías con especificaciones de 12 voltios con 17ah para cada motor, en total requiriendo 4 baterías para los motores, también se necesitará otra batería para el sistema de control con 12 V y 7 ah esto debido a que el consumo que se dará en el circuito es bajo.
- Cargadores: Se requiere de un cargador para las baterías utilizadas, que sea de 12 VCD a 3. A debido a que las baterías que necesitan son de 17 ah.
- Reguladores de Voltajes: Los reguladores de voltajes elegidos fueron el L7817 el cual está conectado al driver el cual funciona con 12 voltios y el L7805 conectado al microcontrolador que funciona con 5 voltios.

#### Subsistemas Mecánicos

- Engranajes: se decidió utilizar engranajes de hierro de 18 dientes debido a que son muy resistentes y a precio económico.
- Cadena: también se decidió utilizar una cadena de hierro de 114 eslabones los cuales presentan características muy resistentes y se pueden hallar a precios bajos, son utilizadas mayormente en las bicicletas.

#### D. Etapa IV: Integración de Partes

Siguiendo los pasos de la metodología se realizaron las pruebas de los componentes que se utilizaron en los subsistemas.

##### 1) Joystick

Para pruebas de joystick se realizaron junto a los puertos ADC, ya que los dos sistemas se complementan entre ellos. Se realizó una programación para realizar las pruebas de los puertos ADC del microcontrolador. Usando datos seriales se leyó los voltajes análogos en dos pines los cuales son el pin 23 y 24 que corresponden al Puerto C0 y puerto C1 y los resultados de estos fueron mediante datos seriales en formato UART hacia el analizador lógico. Los datos captados por analizador lógicos en la primera prueba es cuando el Joystick no está moviéndose y en la segunda prueba cuando movemos el joystick para una

dirección. Las pruebas se realizaron en el analizador lógico del osciloscopio. Y así se comprobó el funcionamiento del Joystick y del ADC.

##### 2) Armazón

Para realizar el diseño se tomó en cuenta la comodidad de la persona al tener que sujetar el control de mando todo el tiempo, por lo que también se decidió imprimir el armazón con filamento PLA el cual es muy liviano y módico. Por lo que se llegó al siguiente diseño (fig. 3):

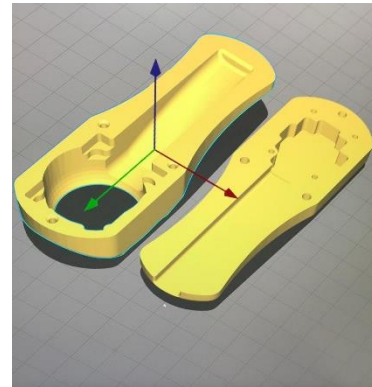


Figura 3 - Diseño Armazón

##### 3) Microcontrolador

Se elaboró una programación para realizar las pruebas y así determina que encienda el PWM (modulación por ancho de pulsos) en los pines 17 y 5 usando el timer 2, también se define la frecuencia del PWM. Se utilizó una frecuencia de 62.7 KHz para evitar el problema del ruido en el motor que sucede cuando la frecuencia es debajo de 20 KHz.

Se realizaron pruebas con el circuito usando los divisores de reloj, se inició con un divisor de reloj de 32 lo cual nos dio una frecuencia PWM 195 KHz al ver que la frecuencia era muy baja se usó un divisor de reloj de 8 lo cual nos dio una frecuencia de 7.81Khz lo cual aún era muy baja en lo que se determinó no usar divisor de reloj lo cual nos dio una frecuencia final de 62.7 KHz. Luego se apreció la onda de prueba en el PIN 17 se puede apreciar periodo de la onda, el ancho de la onda que son 16 Us

##### 4) Baterías

Se energizó el motor de la silla directamente a la batería para poder medir la duración de la batería. Los resultados arrojados fueron 12 horas continuas operando.

##### 5) Cargador

Solo se realizó una prueba a las baterías, la cual fue el tiempo en el cual se tardaba en cargar las baterías al 100 por ciento.

##### 6) Regulador de voltaje

Se conectaron las baterías a la placa de procesamiento donde se encuentra el regulador de voltaje para comprobar su funcionamiento.

##### 7) Programación

Se realizó el diagrama de flujo (fig. 4) la cual nos orientara para empezar a programar el proceso de automatización del prototipo.

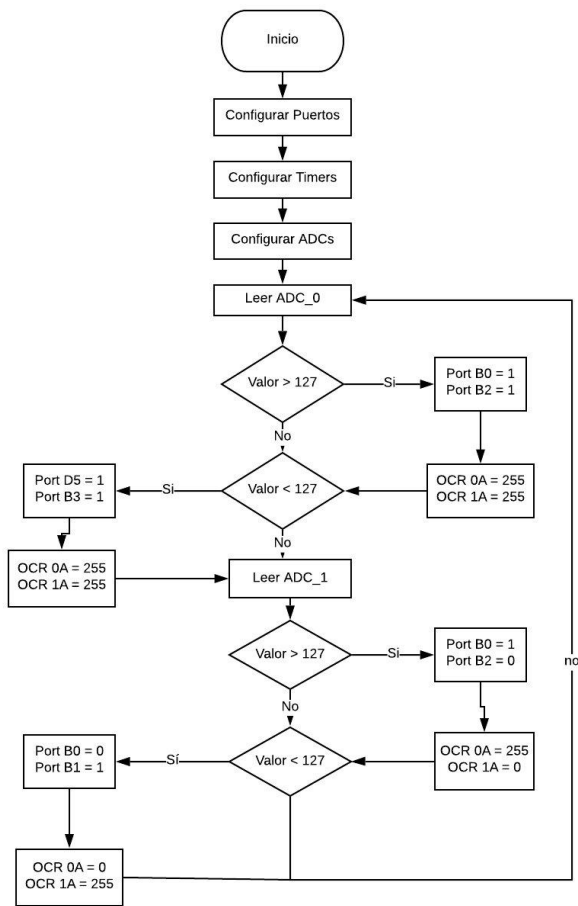


Figura 4 - Diagrama de Flujo

### 8) Engranajes

Las pruebas de tensiones de Von Mises (Fig. 5) que fueron obtenidas en todo el engranaje donde se daba una tensión máxima de  $2.070e+11$  N/m<sup>2</sup> y una mínima de  $2.396e+07$  N/m<sup>2</sup>. En el análisis de desplazamiento (Fig.6) se hallaron algunas deformaciones en el área de los dientes, encontrándose un máximo de  $1.530e+00$  mm con las pruebas que se realizaron. Se demostró el factor de seguridad en el engranaje de hierro, en donde estabiliza la pieza con el hierro. Con los resultados que se obtuvieron el engranaje no presenta deformaciones determinando así que es factible poder utilizar el engranaje para el sistema mecánico. Como la coloración que se mostró en las pruebas de la pieza obtenida se afirma que el factor de seguridad de la pieza de hierro con aleación, donde la estabilidad a la pieza con el hierro. Con los datos obtenidos, el engranaje no presenta mayores deformaciones, por lo tanto, se determinó que es factible utilizar el engranaje de hierro.

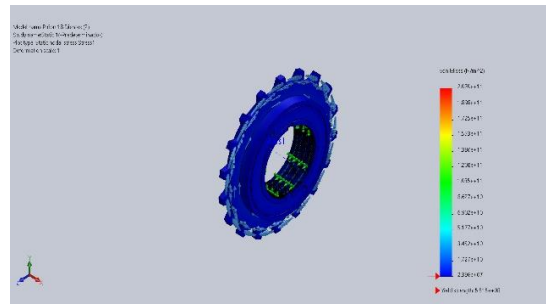


Figura 5 - Pruebas de tensión de Von Mises

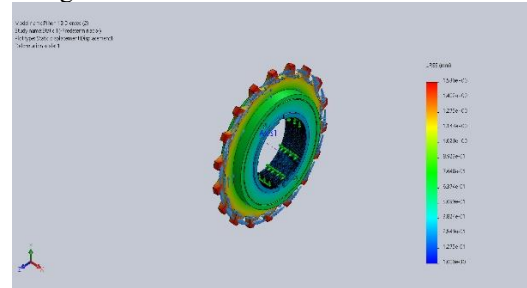


Figura 6 - Pruebas de desplazamiento

### 9) Cadena

Para la cadena se realizaron las mismas pruebas de los engranajes, las pruebas de tensiones de Von Mises como también el factor de seguridad de la cadena de fierros, todos los resultados fueron formidables para su utilización.

### 10) Motor

El motor se conectó a una caja de carga para comprobar su funcionamiento. Y medir cuando tanta carga consumía, dicho dato nos ayudaría a la elección de las baterías.

### 11) Puente H

Al tener que realizar dos puentes H uno para cada motor a utilizar, primero se realizó un diseño previo al desarrollo de la placa. Se llevó a cabo la simulación en Proteus (Fig. 7) con los componentes, como también con los motores para verificar que todo estuviera en orden.

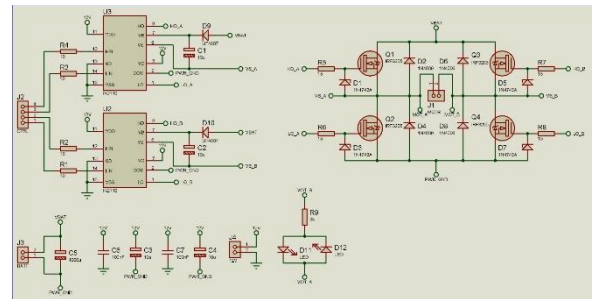


Figura 7 - Simulación en Proteus

Después de diseñar y simular el puente H en Proteus, se continuo a realizar la placa que se utilizó en el proyecto. Se tuvo que realizar la placa de inmediato sin antes hacer pruebas en el protoboard puesto que los MOSFETs eran de paquete SMD el cual es el tipo de componente sin las patitas que van a través de

la placa, sino que van montadas directamente en los trazos de la placa (Fig.8). Para desarrollar la placa se utilizaron los materiales mostrados en la Tabla 2.

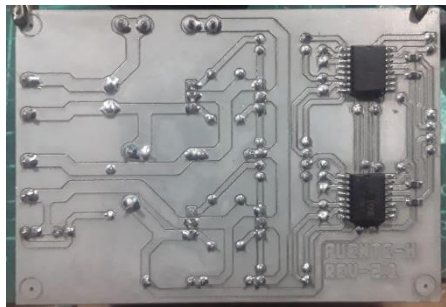


Figura 8 - Soldadura MOSFETs

#### F. Etapa V: Integración de los subsistemas

En la etapa cinco se integran las partes de los subsistemas para probar su comportamiento en conjunto.

##### 1) Subsistema de Control

Se colocó el joystick en el armazón, se verifico que encargara a la perfección. Se soldaron los cables que unirán el joystick a la placa de procesamiento, se utilizó un cable flexible de 4x22.

##### 2) Subsistema de Procesamiento

Al terminar la programación final se subió al microcontrolador, se utilizaron cinco leds para probar la lógica del programa. Ya que si se probada con los motores de una vez y se encontrase un problema podría ocasionaría un cortocircuito en la placa.

##### 3) Subsistemas Mecánico

Se incorporó el engranaje a la cama que se instalara a la silla de ruedas. Para las pruebas también se incorporó el engranaje que este situado en el motor y así realizar de manera eficiente las pruebas de sistema mecánico completo antes de incorporarlo en la silla de ruedas.

##### 4) Subsistemas energía y carga

Las pruebas que se realizaron en el subsistema de energía y carga fueron probar la durabilidad de la batería como también el tiempo que se tomara el cargador en cargar las baterías. La batería para cargarse al 100% tomo un tiempo de ocho horas estos resultados eran los esperados.

##### 5) Subsistemas de potencia

Se integró el motor con el puente H, para la realización de la prueba se controló con los cuatro pines en los cuales si el pin uno y el cuatro se conectan a cinco voltios el motor giraba en sentido horario y al conectarse los pines dos y tres giraba antihorario. Con estas pruebas se compró que el puente H y el motor funcionaban de la manera que se esperaba.

#### E. Etapa VI: Prototipo de laboratorio

Se desarrollaron tres placas (Fig.9) dos de puente H y a que el producto estará usando dos motores y una placa que incluye el sistema de potencia como también el sistema de procesamiento.

El puente H el cual es a base de MOSFETs ya que son los más eficientes al estar totalmente encendido, cuenta con un fusible para evitar una sobre carga en caso de que se conecten las dos terminales del motor, dos leds para saber la dirección que va el motor, diodos Zener que protege la puerta del MOSFET, en el caso de que el voltaje de la puerta sobre pase los 15 voltios, diodos rectificadores para proteger en contra de voltajes generado por el motor, también ayuda a que el motor se pare más rápido y por ultimo un driver MOSFET el cual sirve para encender y apagar el MOSFET rápidamente, ya que la puerta de un MOSFET trabaja como un capacitor y necesita las corrientes para ser cargado y descargado rápidamente.

La placa de control cuenta puertas ANDs que ayudan a la lógica del Arduino, así no usamos 8 pins si no que 6. Un cristal que provee la velocidad del microcontrolador, un puerto de programador, transistores los cuales cambian la lógica de 5 voltios a 12. Y dos reguladores de voltajes uno de 12 voltios para que funcione le driver y uno de 5 voltios para que funcione el microcontrolador.

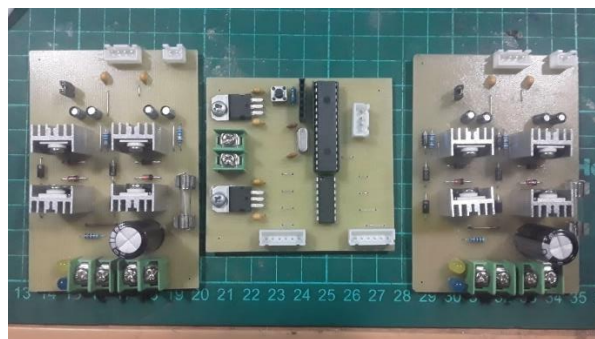


Figura 9 - Placas de Puente H (esquinas) y de control (centro).

El sistema mecánico se prueba por separado mediante una simulación en SolidWorks con los motores debido a que solo se desarrolla un prototipo de laboratorio no se integra todavía a la silla de ruedas.

#### IV. RESULTADOS DE COSTOS DE COMPONENTES

A continuación, se muestra una lista completa de todos los componentes necesarios para realizar el proyecto, incluyendo los principales y los periféricos. (Fig.10)

Se puede apreciar que este producto es factible ya que su implementación se hizo a bajo costo podemos tomar como referencia los productos ya presentes en el mercado para automatizar la silla de ruedas tradicional. Existen motores para silla de ruedas eléctrica, 24 pulgadas, 24 V, 180 W, 16 Ah, batería de iones de litio que tiene un precio en el mercado de 1,099.15 dólares un producto muy similar al proyecto que se está desarrollando el cual comparándolo con el costo de nuestro diseño es visible una gran diferencia de precio.



Componentes	Cantidad	Precio unida	Total
<b>Sistema de control</b>			
Joystick analogico	1	\$ 2.60	\$ 2.60
Potenciómetro	2	\$ 0.60	\$ 1.20
Boton	1	\$ 0.16	\$ 0.16
Capacitores Cerámicos	2	\$ 0.20	\$ 0.40
Resistencia	1	\$ 0.60	\$ 0.60
oscilador de cristal	1	\$ 0.40	\$ 0.40
<b>Sistema de procesamiento</b>			
ATMEGA328P-PU	1	\$ 4.20	\$ 4.20
<b>Sistema de Potencia</b>			
MOSFET IRF3205	8	\$ 0.60	\$ 4.80
MOSFET Driver IR2110S	4	\$ 6.40	\$ 25.60
Diodo de recuperación ultra rápida UF4007	4	\$ 0.40	\$ 1.60
Diodo rectificador 1N4007	8	\$ 0.48	\$ 3.84
Diodo Zener 15V	8	\$ 0.20	\$ 1.60
Led Rojo 5mm	2	\$ 0.20	\$ 0.40
Led Verde 5mm	2	\$ 0.20	\$ 0.40
Capacitor electrolítico	8	\$ 0.40	\$ 3.20
Capacitor electrolítico	2	\$ 1.20	\$ 2.40
Capacitor Cerámico	4	\$ 0.20	\$ 0.80
Resistencia 10 Ohm 2W	8	\$ 0.60	\$ 4.80
Resistencia 15 ohm 1/4W	8	\$ 0.60	\$ 4.80
Resistencia 2.2k ohm 1/4W	2	\$ 0.60	\$ 1.20
Conector PCB 2 pines	2	\$ 1.20	\$ 2.40
Conector PCB 4 pines	2	\$ 1.40	\$ 2.80
Bornas 0.3"	4	\$ 0.40	\$ 1.60
Motores	2	\$ 38.02	\$ 76.04
<b>Sistema de Energía y Carga</b>			
Baterías	4	\$ 15.00	\$ 60.00
Cargadores	4	\$ 8.87	\$ 35.48
Regulador de Voltaje	2	\$ 0.80	\$ 1.60
<b>Sistema de transmisión</b>			
Engranaje	2	\$ 1.40	\$ 2.80
Cadena	2	\$ 2.04	\$ 4.08
Carma de engranaje	2	\$ 1.60	\$ 3.20
<b>Otros</b>			
Placa de cobre	2	\$ 7.20	\$ 14.40
Soldadura de estaño	1	\$ 1.41	\$ 1.41
Cables	1	\$ 5.15	\$ 5.15
<b>TOTAL</b>			\$ 275.96

Figura 10 - Costo total de la Automatización.

### CONCLUSIÓN

Se estableció que la silla de ruedas abarcara los dispositivos electrónicos, mecánicos y de control. Esto se logró durante el proceso del diseño. Las dimensiones de la estructura fueron determinadas específicamente para lugar una distribución adecuada en la silla sin perder las características compactas y transportables de los dispositivos. Se realizaron las simulaciones y pruebas para cada una de las etapas en lo electrónico, mecánico y de control para verificar el funcionamiento del prototipo final.

El estudio en El sistema de control para manejo y extensión de la silla Automatizada permita Al usuario que pueda controlar de manera fácil la silla de ruedas ya que las señales serán transmitidas por el joystick hacia El sistema de control, acoplado correctamente que los movimientos hecho por Los motores no Sean bruscos.

Se desarrollo y diseño diferentes sistemas para poder automatizar una silla de ruedas apropiada para el usuario. Cada parte de la estructura y material elegido fue con el fin de poder realizar la automatización de la silla con materiales a bajos costos, ofreciendo un buen manejo en sistema de control, buen funcionamiento en lo mecánico y eléctrico, permitiendo así una

silla completa para el usuario cumpliendo con los objetivos que fueron planteados.

Se concluye que el proyecto es funcional para optimizar o modificar las sillas de ruedas ya sean de hospitales, acilos o asociaciones con personas de problema motriz, ofreciendo un mejor uso y una mayor eficiencia tanto de la silla como para el usuario. El circuito de potencia a base MOSFETs, permite un menor consumo de energía, lo cual representa mayor duración en la carga de las baterías.

Podemos llegar a la conclusión que el proyecto realizado tiene un precio significativamente menor y realizando las mismas funciones de los productos antes mencionados, también podemos hacer la comparación con las sillas eléctrica convencionales. En Honduras el precio de la silla eléctrica más económica está entre 40,000 a 45,000 lempiras lo cual no es accesibles para los usuarios de clase media-baja por lo que un precio que es seis veces menor les daría la posibilidad de contar con la silla de ruedas eléctricas que necesitan.

### REFERENCIAS

- [1] *En Honduras existen 1 millón de personas con discapacidad – Fides Digital.* (s.f.). Recuperado 24 de enero de 2020, de <https://fidesdiariodigital.com/2018/12/03/en-honduras-existen-1-millon-de-personas-con-discapacidad/>
- [2] Collado, H. (2013). Situación Mundial de la Discapacidad. 17.
- [3] Hale, J. (2018, octubre 26). *Purchase Stephen Hawking's Motorized Wheelchair & Contemplate Like A Genius.* HiConsumption. <https://hiconsumption.com/stephen-hawking-motorized-wheelchair/>
- [4] *A motorised wheelchair, Stephen Hawking. C.1988 | Christie's.* (s.f.). Recuperado 26 de febrero de 2020, de <https://onlineonly.christies.com/s/shoulders-giants-newton-darwin-einstein-hawking/motorised-wheelchair-52/62112>
- [5] *Stephen Hawking's Motorized Wheelchair Could be Yours if the Price is Right – TechEBlog.* (s.f.). Recuperado 28 de febrero de 2020, de <https://www.techeblog.com/stephen-hawkings-motorized-wheelchair-could-be-yours-if-the-price-is-right/>
- [6] Gausemeier, Dr., & Moehringer, S. (2002). VDI 2206—A New Guideline for The Design of Mechatronic Systems. *IFAC Publications*, 785-790.
- [7] Kranach, M. V. (1986). The Groupe as Selfactive System: Outline of the Theorie of Groupe Action. (16.a ed.). European Journal of Social Psychology.
- [8] Vasic, V. S., & Lazarevic, M. P. (2008). Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design. *FME Transactions*, 36(3), 103-108.
- [9] Talavera, M. V. C. (2018). *PICmicro® MCU Estudio—¿qué es un microcontrolador?* Electronica Estudio. Recuperado 1 de febrero de 2020, de <https://www.electronicaestudio.com/que-es-un-microcontrolador/>
- [10] M. J. L. Bueso, A. M. C. Bardales and J. O. Ávila, "Study Case: PID Control for Teleoperated Vehicles," 2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE), Osaka, Japan, 2020, pp. 119-123, doi: 10.1109/ICCRE49379.2020.9096454.
- [11] J. L. Ávila, H. Jiménez, T. Márquez, C. Muñoz, D. Nolasco, D. Miselem, M. Perdomo, M. Carrasco «Teleoperated voice picking robots prototype as a logistic solution in Honduras», IEEE, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCRE49379.2020.9096483>
- [12] HETPRO. (2016). Joystick analógico programado con Arduino. Herramientas Tecnológicas Profesionales. Recuperado de: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/joystick-analogico-programado-con-arduino/>
- [13] Nydal Dahl, O. (2018, diciembre 5). What is an H-Bridge? Build Electronic Circuits. <https://www.build-electronic-circuits.com/h-bridge/>
- [14] Saurabh. (2019, abril 4). What is a MOSFET? | Basics, Working Principle & Applications. *Electronics For You.* <https://www.electronicsforu.com/resources/learn-electronics/mosfet-basics-working-applications>