



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica y Automotriz



**Instrumentación y control para una silla de ruedas eléctrica con
comunicación verbal**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Automotriz

Presenta:

Sergio Enrique Hernández Mendoza

Asesor:

Dr. Juan José Saucedo Dorantes

San Juan del Río, Querétaro, Noviembre de 2022



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO**



**INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL PARA UNA SILLA DE RUEDAS
ELÉCTRICA CON COMUNICACIÓN VERBAL**

T E S I S

Como parte de los requisitos para obtener el título de
INGENIERO MECÁNICO Y AUTOMOTRIZ

Presenta

SERGIO ENRIQUE HERNÁNDEZ MENDOZA

Dirigido por:

DR. JUAN JOSÉ SAUCEDO DORANTES

SINODALES:

DR. JUAN JOSÉ SAUCEDO DORANTES (15647)
Presidente

DR. AURELIO DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ (3922)
Secretario

DR. CARLOS GUSTAVO MANRÍQUEZ PADILLA (15628)
Vocal

Carlos Gustavo Manríquez

DR. ISAÍAS CUEVA PÉREZ (17647)
Suplente

San Juan del Río, Qro., Noviembre 2022

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, Rosa Mendoza Ferrusca y José Pedro Hernández Ruiz, y hermanos, Jonathan Omar y Diana Karen, debido a su incondicional apoyo en todo sentido durante mi formación, por ser ejemplo e inspiración para mí, y por ser la causa de mis mayores logros.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería, Campus San Juan del Rio, de la Universidad Autónoma de Querétaro, por ser el espacio donde tuve oportunidad de llevar a cabo mi formación académica.

Al Dr. Ángel Pérez Cruz, Coordinador de la carrera, por el apoyo y seguimiento brindando. Al Dr. Juan José Saucedo Dorantes, como asesor de este trabajo, al Dr. Aurelio Domínguez Hernández, Dr. Carlos Gustavo Manríquez Padilla y Dr. Isaías Cueva Pérez, como sinodales de este trabajo.

A los compañeros, amigos y profesores que tuve a lo largo de toda la carrera.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos Particulares	4
1.3 Descripción del problema	5
1.4 Justificación	5
1.5 Planteamiento general.....	6
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1 Sistema de Control.....	7
2.2 Programación por código	7
2.3 Programación por bloques	8
2.4 Funciones en programación	8
2.5 Entorno de programación multiplataforma.....	9
2.6 Bluetooth.....	9
2.7 Motor eléctrico con escobillas	9
2.8 Baterías selladas de ácido-plomo.....	10
2.9 Perfiles de velocidad.....	11
3 INTEGRACIÓN DEL PROYECTO Y CONDICIONES DE DISEÑO	13
3.1 Estado inicial del proyecto.....	13
3.2 Componentes adicionales.....	16
3.3 Conexiones mecánicas y eléctricas	17
3.4 Programación del dispositivo.....	20
3.5 Casos de estudio.....	27

4	RESULTADOS.....	30
5	CONCLUSIONES	52
5.1	Prospectivas	53
6	REFERENCIAS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama general del seguimiento del Proyecto	6
Figura 2.1 Control de voltaje del inducido de un motor de DC en derivación (Chapman 2012)	10
Figura 2.2 Ejemplo de la construcción de una batería de ácido plomo (de Alba Padilla, 2017)	11
Figura 2.3 Curva-S del perfil de movimiento (Lewin C. 2007).....	12
Figura 3.1 Diagrama de bloques para el procedimiento realizado en la metodología	13
Figura 3.2 Imagen ilustrativa de la silla de ruedas propuesta para la realización del proyecto (EKO-MOBILITY, 2022).....	14
Figura 3.3 Vista de motores soportados por las bases que se acoplaran a la silla de ruedas (Izquierda). Vista de baterías soportadas por la base que se acoplará a la silla de ruedas (Derecha) (Castillo G. Sin publicar)	15
Figura 3.4 Plano del diseño de los ejes para los rines de la silla de ruedas (Castillo G. Sin publicar)	16
Figura 3.5 Diagrama de bloques de conexiones entre elementos	18
Figura 3.6 Diagrama de conexiones físicas entre elementos presentes en la silla de ruedas	19
Figura 3.7 Diagrama de procesos a seguir durante el funcionamiento de la silla de ruedas.....	20
Figura 3.8 Ejemplificación de botones requeridos para accionar comandos por medio de la aplicación	22
Figura 3.9 Diagrama de procesos para el inicio de la aplicación móvil	22
Figura 3.10 Diagrama de procesos para la interfaz de comandos en la aplicación móvil	23
Figura 3.11 Diagrama de procesos para el código escrito para la placa Arduino	25
Figura 3.12 Grafica del perfil de velocidad para pasar del reposo a la señal de referencia	28
Figura 3.13 Grafica del perfil de velocidad para pasar de la señal de referencia a la de reposo	28

Figura 3.14 Ejemplo de perfil de velocidad para el caso Aceleración-Velocidad constante-Desaceleración	29
Figura 4.1 Piezas con las cuales se realizará el arreglo mecánico entre los motores, el soporte con la estructura de la silla de ruedas, y las llantas en esta	30
Figura 4.2 Ejemplo de cómo se observa el cuñero en el eje de salida de uno de los motores utilizados	31
Figura 4.3 Ejemplo fotográfico de cómo se observa la adaptación de los motores a los rines de la silla de ruedas	31
Figura 4.4 Ejemplo fotográfico de las baterías colocadas sobre la base instalada en la silla de ruedas	32
Figura 4.5. Fotografía de ejemplo que muestra la conexión eléctrica entre motores y módulo de relevadores	33
Figura 4.6 Fotografía de componentes con conexiones eléctricas	33
Figura 4.7 Fotografía de la silla de ruedas con todos los componentes integrados	34
Figura 4.8. Capturas de pantalla de la interfaz de la aplicación, en el caso de la pantalla de inicio y pantalla de comandos	35
Figura 4.9. Bloques de programación para la pantalla 1	36
Figura 4.10 Ejemplo de lista de dispositivos Bluetooth para realizar conexión con el modulo	36
Figura 4.11 Bloques de programación ejecutados antes de acceder a la interfaz de comandos	37
Figura 4.12 Bloque de programación para cerrar la aplicación	37
Figura 4.13 Bloques de programación para ejecutar los comandos	38
Figura 4.14 Bloques de programación que se ejecutaran al momento de terminar alguno de los comandos	39

Figura 4.15 Bloques de programación utilizados para mandar detener la silla de ruedas	40
Figura 4.16 Bloques de programación para ejecutar la función de reconocimiento de voz	40
Figura 4.17 Bloques de programación ejecutados después de llevar a cabo el reconocimiento de la voz.....	41
Figura 4.18. Código programado para leer los datos recibidos por el módulo Bluetooth	42
Figura 4.19 Código escrito para interpretar los datos recibidos	43
Figura 4.20 Código escrito para ejecutar el comando especificado.....	44
Figura 4.21 Código escrito de la función para mover la silla de ruedas de forma recta	44
Figura 4.22 Código escrito de la función para mover la silla de ruedas para girar a la izquierda	44
Figura 4.23 Código escrito de la función para mover la silla de ruedas para girar a la derecha.....	45
Figura 4.24 Código escrito para detener el envío de señal de referencia a la alimentación de la silla de ruedas	45
Figura 4.25 Ejemplo de punto de referencia A y B para medición de velocidad	46
Figura 4.26 Ejemplo de punto de referencia B para medición de velocidad	46
Figura 4.27 Ejemplo de obtención de datos con acelerómetro del despegue de la silla de ruedas.	47
Figura 4.28 Rampa para sillas de ruedas utilizada para pruebas de funcionamiento.....	50
Figura 4.29 Ejemplo de prueba de recorrido de la silla de ruedas por una rampa con pendiente dentro de la norma.....	50
Figura 4.30 Fotografía ilustrativa de cómo es utilizada la silla de ruedas por medio de la aplicación móvil	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Lista de componentes utilizados en la reconversión de la silla de ruedas	17
Tabla 3.2 Palabras utilizadas para la ejecución de los comandos por voz.....	21
Tabla 3.3 Combinaciones posibles para el envío de datos hacia el módulo Bluetooth	24
Tabla 3.4 Combinaciones de palabras posibles para el envío de datos hacia el módulo Bluetooth	24
Tabla 3.5 Descripción de las acciones realizadas por las funciones para envío de señales hacia los motores.....	26
Tabla 3.6 Datos específicos de las condiciones con las que se utiliza la silla de ruedas	27
Tabla 3.7 Datos específicos de los parámetros que caracterizan a la silla de ruedas.....	27
Tabla 4.3 Ejemplo de resultados para el caso estudiado.....	49

1 INTRODUCCIÓN

El uso de sillas de ruedas es común dentro de la sociedad actual, pues según INEGI (2020), en México existen 2,939,986 personas con discapacidad, que tienen dificultad para llevar a cabo actividades consideradas básicas, tal como es caminar, subir y bajar escaleras, lo que provoca que la comercialización de estas sea significativa dentro del mercado de equipamiento asistencial para personas cuya capacidad física de movilidad se encuentra limitada. En consecuencia, la capacidad de poseer una silla de ruedas para una persona que presenta algún tipo de padecimiento que provoque la necesidad del uso de esta es importante, pues puede causar situaciones de desventaja en la autonomía e independencia de un individuo para realizar ciertas actividades, donde se destaca su importancia a lo largo del desarrollo tanto social como tecnológico al considerar que se tiene el primer registro de un dispositivo de esta clase patentado desde 1869 (Samuels, 1869).

Aunque el tipo de silla de ruedas que una persona puede requerir podría variar de acuerdo con su situación en particular y el grado de severidad del padecimiento que se tenga, un estudio desarrollado por Kovacs et al., (2018) con 750 participantes reportó que el 73 % de usuarios de sillas de ruedas ha sufrido de una lesión medular traumática. También es de gran importancia tener consideración de quienes pueden utilizar una silla de ruedas manual de manera independiente sin problemas y para aquellas personas a quienes les resulta imposible, destacando que, de acuerdo con el mismo estudio, el 66% de los participantes necesita de ayuda para sus actividades diarias.

Una situación para destacar que se ve influenciada por el uso de sillas de ruedas y las actividades que se pueden realizar al ser usuarios de estas mismas es el entorno y los espacios donde es posible trasladarse adecuadamente, y las ocasiones donde puede volverse un reto. En México la infraestructura para la movilidad de sillas de ruedas no es la mejor para todos los lugares, debido a que existe gran cantidad de instalaciones donde los accesos con rampas son inexistentes, como un ejemplo de esto según Toribio (2020) en México solo el 23.14 % de primarias y secundarias cuentan con la infraestructura adaptada para estudiantes con discapacidad, así como también se presentan rampas con grados de inclinación excesivos, o desniveles que complican considerablemente el libre paso.

Son casos donde a pesar de la presencia de espacios designados para la circulación de sillas de ruedas, estos carecen de planificación, e incumplen normas de accesibilidad, como las descritas por la NORMA Oficial Mexicana NOM-030-SSA3-2013 (Secretaría de salud, 2013) por lo que se vuelven difícilmente funcionales. Y a pesar de que existen espacios completamente regulados para estos propósitos, solo satisfacen a una pequeña parte de la población usuaria de sillas de ruedas, lo cual no es suficiente si se considera además el reto físico para el usuario que conlleva tener que mover tanto su propio peso, como el de la silla, utilizando únicamente la fuerza de sus brazos.

En este sentido, la ingeniería juega un papel relevante considerando que puede ser utilizada para brindar alternativas para la solución de los problemas que conlleva la necesidad de una silla de ruedas y cuyo funcionamiento tenga el propósito de facilitar su uso al reducir el esfuerzo físico por parte del usuario que la está utilizando. Teniendo presente que existen comercialmente sillas de ruedas de alta gama que podrían mejorar la experiencia del usuario, también se destaca su elevado precio, comprometiendo la capacidad económica para adquirir una silla de ruedas eléctrica comercial. Sin embargo, por medio de la aplicación de la ingeniería es posible utilizar las herramientas requeridas tales que se alcance un equilibrio entre la funcionalidad y el costo de la silla de ruedas. En este trabajo de tesis se expone una opción de reconversión de silla de ruedas por medio del desarrollo de la instrumentación requerida para lograr la reconversión, así como la capacidad para ser controlada por medio de comandos por voz y botones, en una aplicación de teléfono móvil.

1.1 Antecedentes

Es relevante considerar la desventaja en que viven personas cuya movilidad se ve limitada de tal manera que requieren de equipo de apoyo como una silla de ruedas, esto es debido a la falta de estudios previos a la construcción de infraestructura tanto pública como privada donde sean tomados en cuenta espacios accesibles para personas con discapacidad. Por lo que un dispositivo con la capacidad de superar este tipo de dificultades es de alto interés, debido a que su uso está condicionado a diversos factores que relacionan las actividades del usuario con el nivel de participación y la capacidad física para poder realizar dichas actividades.

Por otra parte, existen comercialmente diferentes opciones de sillas de ruedas eléctricas para cubrir distintas necesidades, sin embargo, su elevado precio, o de acuerdo con el lugar, o la

poca accesibilidad para adquirir la adecuada, lo cual podría implicar adicionalmente costos de importación o transporte de ser necesario. Debido a estos casos han sido propuestas soluciones de diseños donde se reduzca la dependencia de cuestiones comerciales o económicas, y se tenga como prioridad la funcionalidad de acuerdo con la necesidad. Un ejemplo de este tipo de proyectos es la silla de ruedas diseñada para infantes que padecen parálisis cerebral, de manera que se puedan tener en cuenta las necesidades que genera dicho padecimiento, atendiendo la correcta postura corporal, repercutiendo en actividades cotidianas (Valdés Bueno, 2014). Además, también se observa un proyecto en el mismo tema, donde se buscó el diseño de una silla de ruedas que beneficie a su usuario, es decir, por medio de un sistema mecatrónico de control modular, de bajo costo, que permite el movimiento de una silla de ruedas de forma semiautónoma, y reduciendo su peso al ser construida con tubería de PVC (Mora Patiño y Salazar Tabares, 2014).

Otro trabajo para considerar toma la importancia de eliminar las molestias musculares que se presentan en personas parapléjicas debido al común uso de una silla de ruedas normal para la realización de actividades cotidianas o de trabajo, donde el diseño en la silla de ruedas permite un mecanismo bipedestador, el cual brinda al usuario la capacidad para sostenerse sobre las dos extremidades inferiores para mejorar el estado de salud solo con el cambio de posición de sedente a bípeda, destacando adicionalmente que se habla de una silla de ruedas eléctrica (Tambaco, 2017).

Mientras que siguiendo la premisa de la comparación con las sillas de ruedas eléctricas comerciales el proyecto realizado por Castanier et al. (2018), llevó a cabo un estudio del estado del arte actual que consistió en desarrollar un diseño de la estructura de una silla de ruedas eléctrica en base a un análisis de mecánica de materiales, donde un mecanismo le da la característica de ser plegable. Este desarrollo fue respaldado con un análisis técnico financiero que arroja como resultado que la silla de ruedas tiene un precio similar a las sillas de ruedas existentes en el mercado, además de considerar que la comparación entre el costo de fabricación de una silla de ruedas y el costo de fabricación por producción en serie de la misma es compleja. Sin embargo, aunque los anteriores proyectos atienden problemáticas que se relacionan a las mencionadas en este trabajo, se busca destacar el impacto tecnológico utilizado para hacer funcionar las sillas de ruedas, mejorando la experiencia del usuario al reducir el esfuerzo físico necesario para manipular la silla de ruedas. Se mencionan dos ejemplos, en los cuales el enfoque del proyecto es la implementación tecnológica para el control del comportamiento de una silla de ruedas eléctrica.

Un trabajo centrado en brindar una solución para personas que sufren de movilidad reducida, propone un prototipo de diadema biónica que mediante el movimiento de la cabeza del usuario capte la información por medio de un acelerómetro, enviando los datos a una placa de desarrollo Arduino, donde se permitirá mover los motores con la ayuda de un puente H, y aunque únicamente es probado usando un prototipo a escala, se menciona ser una buena alternativa de acuerdo a encuestas realizadas durante el desarrollo de este proyecto, contando con un 75 % de aceptación entre usuarios de un centro de rehabilitación y especialista en turno (Véliz, 2020). También, se presenta el proyecto realizado por Gonzabay (2019), donde se propuso un sistema por reconocimiento de voz para implementarse en una silla de ruedas eléctrica, de tal manera que por medio de comandos de voz captados con un módulo para reconocimiento de voz se utilice una placa de desarrollo Arduino en la que se define el comportamiento de la silla de ruedas según la información que reciba. En este caso solamente se llevan a cabo pruebas haciendo uso de un prototipo a escala. Conociendo los anteriores trabajos, se pretende llevar a cabo la implementación de las tecnologías elegidas en una silla de ruedas eléctrica, donde se pruebe su funcionalidad e importancia al ser aprovechadas en aplicaciones de este tipo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar la instrumentación de una silla de ruedas mediante la instalación de sensores y motores para controlar su modo de manejo mediante comandos por voz.

1.2.2 Objetivos Particulares

Definir los requerimientos de los componentes eléctricos y de control por medio del análisis de su desempeño y el consumo de energía durante su uso para determinar si cumplen con las necesidades establecidas.

Implementación de comunicación por voz con el uso de la plataforma de desarrollo “App Inventor 2”, para la manipulación del comportamiento de la silla de ruedas.

Instrumentar el sistema de control diseñado, para probar su funcionamiento y determinar si el diseño de la silla de ruedas cumple con los requerimientos establecidos.

1.3 Descripción del problema

Entre una persona que utiliza sillas de ruedas como su única manera de trasladarse y alguien que puede hacerlo caminando existe una diferencia que ha marcado una separación social entre estos dos grupos con respecto a la atención de sus necesidades, provocado el descuido y poco interés en habilitar espacios de acuerdo con normas vigentes de accesibilidad. Además, la instalación de accesos para el uso de sillas de ruedas ha sido dejada de lado, convirtiendo muchos espacios en lugares donde resulta muy difícil para un usuario desplazarse o simplemente no se puede transitar sobre una silla de ruedas.

Esto dificulta la movilidad e imposibilita las oportunidades no solamente de trasladarse de un lugar a otro, sino de formar parte de cualquier entorno social, o profesional. Si el usuario de silla de ruedas tuviese la capacidad física para superar zonas en el camino que le resultan complicadas, se modificaría una parte fundamental de su autonomía para trasladarse que mejoraría la independencia para realizar actividades. Sin embargo, debido a que el estado de salud de una persona se ve limitado, el problema se aborda al realizar la implementación de componentes eléctricos y electrónicos, que en conjunto tendrían la capacidad para asistir al usuario de la silla de ruedas en cuanto este lo necesite.

1.4 Justificación

La movilidad de toda persona es un aspecto de gran importancia para hablar de su calidad de vida, y los usuarios de sillas de ruedas no están exentos de gozar del libre tránsito por todo lugar sin verse obstaculizados por la falta de infraestructura o en todo caso la poca funcionalidad de los espacios ya designados, procurando darle autonomía y seguridad en su recorrido.

Sin embargo, existen ocasiones en las que adicionalmente pueden existir problemas debido a que la condición física del usuario se ha visto afectada y resulta difícil, sino es que imposible, poder manejar por sí mismo una silla de ruedas, por esta razón la asistencia brindada por una silla de ruedas eléctrica juega un papel realmente importante, debido a que podría significar que el usuario no requiera de un tercero para poder realizar sus actividades, brindándole independencia.

De la misma manera, la implementación de la tecnología sobre una silla de ruedas da espacio a cubrir distintas necesidades debido a los métodos con los cuales se puede llevar a cabo

el mando para manipular el desplazamiento de la silla de ruedas, ya sea por medio de control por voz, un control remoto, o por medio de palancas, por mencionar algunos ejemplos. Esto libera al usuario de realizar esfuerzos físicos mayores, y, además, la silla de ruedas puede ser configurada para moverse a una velocidad adecuada.

1.5 Planteamiento general

A continuación se muestra el planteamiento general del proyecto, el cual consiste en llevar a cabo las adaptaciones requeridas para convertir una silla de ruedas convencional en una cuyas características permitan el acoplamiento de un par de motores DC, así como el soporte de baterías y componentes electrónicos, los cuales serán configurados para mejorar su desempeño y volverla una silla de ruedas eléctrica, además de dotarla de la capacidad de transitar a través de desniveles e inclinaciones con grandes pendientes, basándose en procedimiento mostrado en la Figura 1.1.

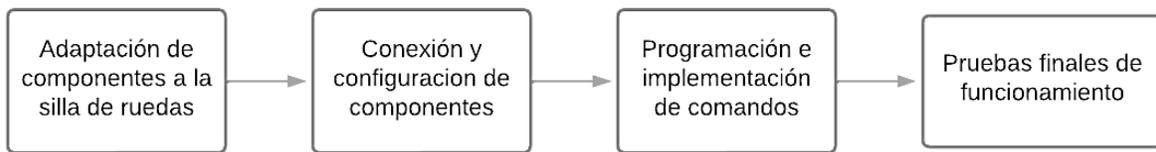


Figura 1.1 Diagrama general del seguimiento del Proyecto

Cada una de las etapas se desarrolla continuamente en tanto la anterior cumpla con sus objetivos, sea que, si se tiene correctamente adaptada la estructura de la silla de ruedas, con el acople de todos los elementos, se lleve a cabo la conexión de los componentes para llevar a cabo la programación y adecuación de condiciones en estos, con cual se procederá a realizar las pruebas de experimentación para validar su funcionamiento en conjunto.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Dentro del desarrollo del proyecto es básico describir el funcionamiento de los componentes principales en este, así como también el motivo por el cual fue necesario implementarlos de tal manera que al utilizarse en conjunto se obtenga el trabajo esperado, siendo útil y funcional. Debido a esto se presenta una breve y básica explicación acerca del principio de funcionamiento de la programación y control de estos elementos a utilizar, así como una descripción de forma particular de estos elementos, los cuales incluyen los motores, las baterías, los controladores y los microcontroladores reprogramables.

2.1 Sistema de Control

De acuerdo con lo descrito por Giraldo (2009), un sistema es un modelo de un dispositivo o de un conjunto de ellos existentes en el mundo real (sistema físico). En general, el estudio de sistemas físicos consta de cuatro partes: modelaje, descripción matemática, análisis y diseño. Para desarrollar el modelo de un sistema físico es necesario un profundo conocimiento de este y de los rangos de operación. Una vez obtenido el modelo, el paso siguiente es la descripción matemática la cual se obtiene utilizando leyes físicas. A partir de la anterior descripción se puede hacer el análisis cuantitativo que consiste en hallar las respuestas (señales de salida) debidas a la aplicación de ciertas señales de entrada; y el análisis cualitativo que consiste en analizar ciertas propiedades tales como estabilidad, controlabilidad y observabilidad. Si la respuesta del sistema no es satisfactoria, el sistema debe ser mejorado u optimizado ya sea ajustando ciertos parámetros o en otros casos introduciendo compensadores. Entonces, un sistema de control es aquel cuyo fin es obtener varias respuestas deseadas a partir de ciertas entradas.

2.2 Programación por código

Para un lenguaje de programación que se define como una notación o conjunto de símbolos y caracteres que se combinan entre si al seguir ciertas reglas de una sintaxis predefinida, con el propósito de permitir la transmisión de instrucciones a un ordenador. Estos símbolos y caracteres

son traducidos internamente a un conjunto de señales eléctricas representadas por medio del sistema binario (0 y 1), esta traducción es requerida porque el procesador solo puede interpretar ese lenguaje, llamado lenguaje máquina. (Basurto et al., 2010).

2.3 Programación por bloques

De acuerdo con la información existente en los programas de aprendizaje de Microsoft, públicos en su página web, referenciado del curso “Desarrollo del pensamiento computacional a través de la metodología de aprendizaje basado en juegos, integrado a Microsoft Teams”, la programación por bloques es una metodología que nos permite desarrollar la escritura de una secuencia lógica y ordenada de instrucciones mediante el uso y aplicación de comandos en forma de conexiones gráficas, fáciles de acoplar para encontrar una solución exitosa y efectiva a un problema determinado. Los bloques son figuras que representan eventos o funciones individuales que se conectan entre sí para crear la secuencia de instrucciones o programa.

2.4 Funciones en programación

Ritchie (1991), describe como en lenguaje de programación una función es el equivalente a una subrutina. Una función proporciona una forma conveniente de encapsular algunos cálculos, que se pueden emplear después sin preocuparse de su implantación. Con funciones diseñadas adecuadamente, es posible ignorar como se realiza un trabajo; es suficiente saber que se hace. Donde la definición de una función, considerando que se realiza con la sintaxis de lenguaje de programación C, tiene la forma siguiente:

```
Tipo-de-retorno nombre-de-función (declaración de parámetros, si los hay) {  
  
    Declaraciones  
  
    Proposiciones  
  
}
```

Las definiciones de funciones pueden aparecer en cualquier orden y en uno o varios archivos fuente, pero una función no puede separarse en archivos diferentes.

2.5 Entorno de programación multiplataforma

Es una plataforma en base a una placa electrónica de desarrollo basada en microcontroladores reprogramables. También, es importante destacar que los controladores son circuitos integrados en los que es posible grabar instrucciones, las cuales deben escribirse en un lenguaje de programación utilizando un entorno de desarrollo compatible. Un ejemplo que se puede mencionar es el IDE de Arduino, que es una aplicación multiplataforma que puede utilizarse para escribir y cargar programas en placas Arduino y aquellas compatibles (Peña, 2020).

2.6 Bluetooth

La tecnología inalámbrica del bluetooth descrita por Bisdikian (2001), habla de un diseño con solución de conectividad de corto rango para dispositivos electrónicos. Lo cual servirá principalmente para reemplazar la interconectividad de cables entre dispositivos personales, y proclama ser el método universal de bajo costo, amigable para el usuario.

2.7 Motor eléctrico con escobillas

El motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, por medio de las interacciones electromagnéticas. El motor eléctrico con o sin escobillas es utilizado en diversas aplicaciones industriales, comerciales o particulares (Jimbo, 2015).

Tal como menciona Chapman (2012), un motor de DC (del inglés Direct Current, corriente directa) de imán permanente es básicamente la misma máquina que un motor DC en derivación, únicamente considerando que el flujo es fijo, siguiendo el diagrama mostrado en la Figura 2.1.

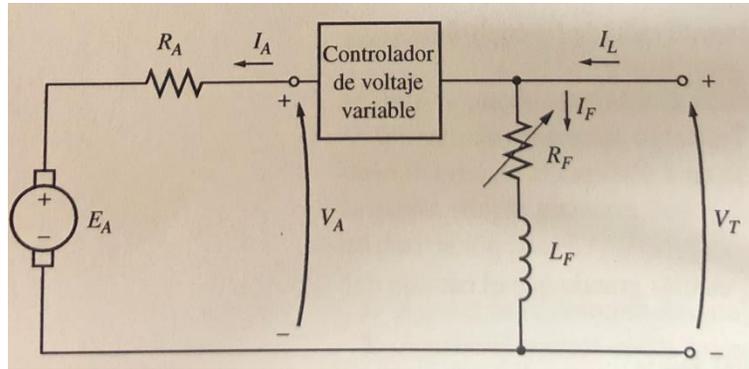


Figura 2.1 Control de voltaje del inducido de un motor de DC en derivación (Chapman 2012)

Por lo cual no es posible controlar la velocidad de un motor de esos por medio de la variación de la corriente o flujo de campo. Y los únicos métodos de control de velocidad disponibles son el control de voltaje y el control de resistencia, ambos del inducido. Por lo que, en el caso del cambio de voltaje en el inducido, si se incrementa el voltaje, entonces la corriente en el inducido debe aumentar y conforme aumenta la corriente el par inducido también aumenta lo que hace que el torque inducido sea mayor al torque de la carga y que aumente la velocidad del motor. Pero, conforme aumenta la velocidad del motor, el voltaje interno generado aumenta, provocando que la corriente en el inducido disminuya y esta disminución reduce el torque inducido tal que sea igual al torque de la carga a una velocidad de rotación más alta.

2.8 Baterías selladas de ácido-plomo

Una batería por sí misma puede caracterizarse por ser un dispositivo que almacena energía eléctrica tal que sea utilizada posteriormente, donde estas son clasificadas como baterías secundarias, debido a que se trata de baterías recargables o acumuladores. Actualmente son unas de las más utilizadas ya que pueden producir una corriente suficiente para mover diversos tipos de motores eléctricos a un bajo costo (de Alba Padilla, 2017). Los elementos que se encuentran dentro de estas se organizan formando un contenedor con un aislante intermedio, con lo que se evitan los cortocircuitos, este arreglo se observa en la Figura 2.2.

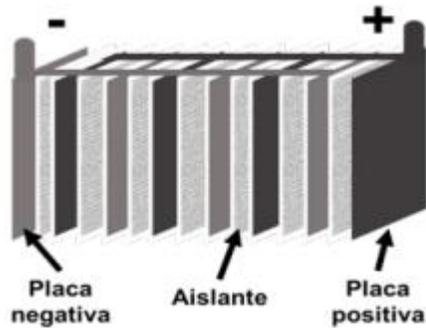


Figura 2.2 Ejemplo de la construcción de una batería de ácido plomo (de Alba Padilla, 2017)

Están construidas con una configuración donde el conductor iónico o electrolito utiliza una disolución de ácido sulfúrico, la placa negativa es de plomo, mientras que la placa positiva es también de plomo, únicamente que este está recubierto de dióxido de plomo.

2.9 Perfiles de velocidad

La respuesta para varios sistemas de control en motores se enfoca en los perfiles de movimiento, pues características avanzadas del perfil, tal como la asimetría en la aceleración y desaceleración, los perfiles de curvas S de 7 segmentos, brindan de elementos a los ingenieros para desarrollar maquinas que funcionan más rápido y más eficientemente. Las curvas S de perfiles de movimiento de punto a punto significan que, desde el reposo, una carga es acelerada hasta una velocidad constante y después desacelerada de tal manera que la aceleración y velocidad final son cero en el momento que la carga llega al destino programado, esto se puede observar por medio de la Figura 2.3.

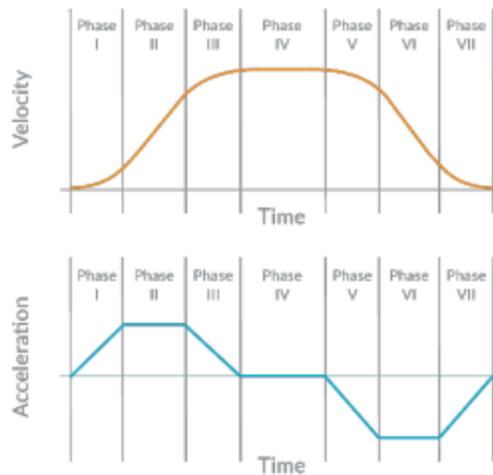


Figura 2.3 Curva-S del perfil de movimiento (Lewin C. 2007)

Consiste en 7 fases distintas del movimiento, donde la señal para la velocidad inicia del reposo a una que se incrementa suavemente, se mantiene, y después disminuye de la misma manera. El perfil resulta a partir de la aceleración, donde se basa en alcanzar su máximo valor de aceleración, para mantenerse constante y después debe iniciar a decrementar en tanto se acerca a la velocidad máxima. Continúa cuando la aceleración decrementa linealmente hasta alcanzar el valor de cero, y sigue el control de velocidad que es constante hasta que la desaceleración inicia, donde en este punto los perfiles desaceleran de una forma que es simétrica a las dos etapas anteriores, únicamente considerando que en este segundo caso las aceleraciones son negativas (Lewin C. 2007).

3 INTEGRACIÓN DEL PROYECTO Y CONDICIONES DE DISEÑO

El procedimiento para el desarrollo de este proyecto se describe por medio de etapas, donde la metodología mostrada en la Figura 3.1 muestra como es el avance entre cada uno de los pasos y el seguimiento que debe de tener conforme cada etapa.

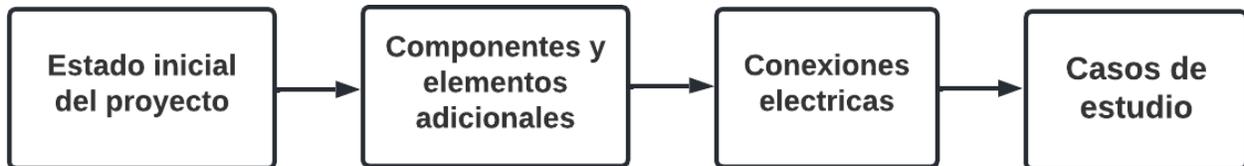


Figura 3.1 Diagrama de bloques para el procedimiento realizado en la metodología

El seguimiento de los bloques es tomado en base al flujo de las actividades realizadas, y considera todas las facilidades o dificultades que se presentaron durante su elaboración. El procedimiento es descrito de acuerdo con cada uno de los bloques presentados, y estos se presentan en las secciones siguientes.

3.1 Estado inicial del proyecto

Mientras que el proyecto busca alcanzar objetivos ya definidos, una cuestión bastante importante que se debe de tener presente es que la estructura de la silla de ruedas debe de cumplir con modificaciones mínimas, con las cuales sea posible llevar a cabo la adaptación de los componentes que serán montados sobre esta. Si se considera una silla de ruedas manual económica regular como la mostrada en la figura 3.2, esta no tendría la estructura requerida para sostener todos los componentes requeridos para la conversión de manual a eléctrica.



Figura 3.2 Imagen ilustrativa de la silla de ruedas propuesta para la realización del proyecto (EKO-MOBILITY, 2022)

Aunque en el presente trabajo no se habla a detalle acerca de los análisis en su estructura o la modificación de esta. Si se comenta la relevancia de este cambio y lo importante que es para que los componentes puedan funcionar en conjunto con todas las partes de la silla de ruedas.

Las modificaciones consisten principalmente en la adaptación de las bases y soportes que sostendrán a los motores y a las baterías con las que contará, así como el eje que une a los motores con las ruedas de la silla. Esto se logra con un par de placas de aluminio, las cuales, por medio de tornillos sostenidos en tres puntos, se fijan con el tubular de la silla en una posición tal que el eje de las llantas continúe el mismo lugar sin alterar la altura de la silla de ruedas. Esto se hace de esta manera ya que el eje atravesará todo este arreglo, y es también por ello que se cuenta con baleros dentro de cada placa utilizada. Por otra parte, la base donde se colocan las baterías y demás componentes electrónicos, que consiste en una rejilla en la parte inferior de la silla, con una lámina sobre esta, todo sujeto de forma fija para que los componentes descansen sobre esta; el acomodo final de estos elementos se puede observar en el modelado mostrado en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Vista de motores soportados por las bases que se acoplaran a la silla de ruedas (Izquierda). Vista de baterías soportadas por la base que se acoplará a la silla de ruedas (Derecha) (Castillo G. Sin publicar)

Así mismo los ejes son fabricados siguiendo el diseño mostrado en la Figura 3.4, tal que sus dimensiones tengan una longitud total de 132.75 mm, requerida desde el interior del motor, a lo largo de los soportes y hasta el rin de la rueda de la silla, con la que se une fijamente.

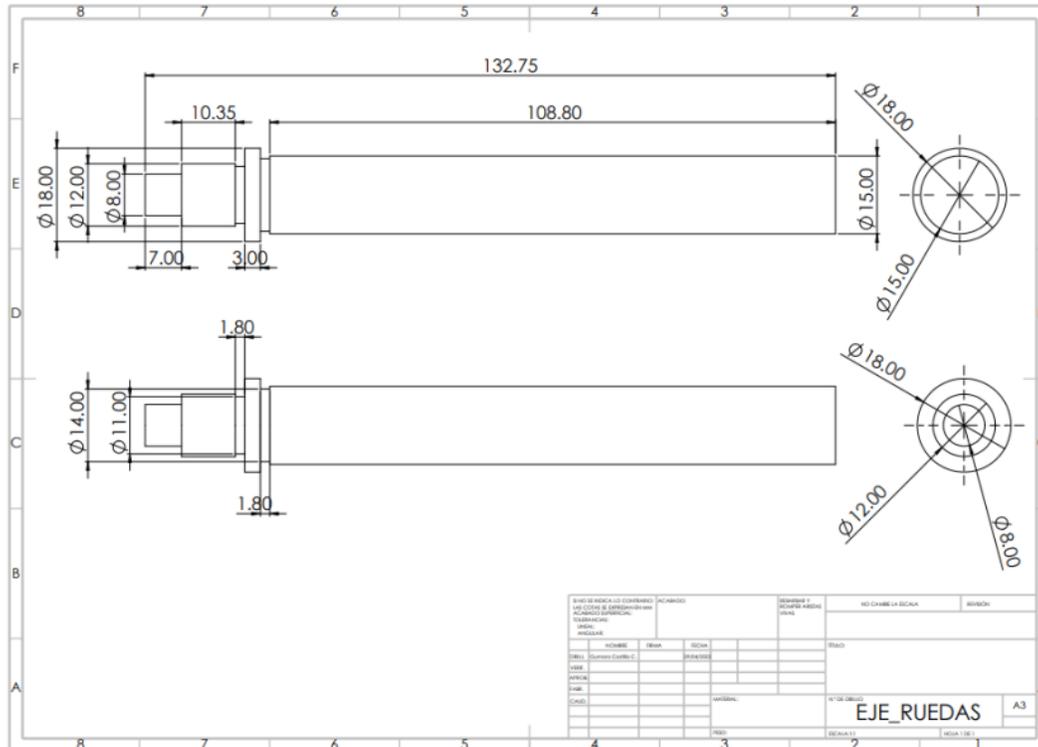


Figura 3.4 Plano del diseño de los ejes para los rines de la silla de ruedas (Castillo G. Sin publicar)

3.2 Componentes adicionales

Los componentes que sirven para la manipulación de la silla de ruedas, y su comportamiento a partir del accionamiento de los motores, consisten en un par de controladores para motores DC, los cuales son comercialmente usados para los motores ya seleccionados en particular, donde con la ayuda de la placa Arduino UNO, con la que se acondicionara la señal que se utilizará sobre estos controladores, y un módulo bluetooth HC-05 con el que se recibirá específicamente el comando que se desee ejecutar.

Los componentes que requiere la silla de ruedas se describen en la Tabla 3.1 mostrada a continuación:

Tabla 3.1 Lista de componentes utilizados en la reconversión de la silla de ruedas

Nombre del elemento	Características	Cantidad	Descripción
Motor DC cepillado	250 W - 24 V	2	Motor que propulsara a la silla, con caja reductora de relación 1:9.78
Batería recargable sellada de Acido-Plomo	12 V - 7 Ah	4	Baterías que suministraran de energía a los motores
Controlador	250 W - 24 V	2	Controladores para regular el voltaje de alimentación que recibirán los motores
Placa Arduino Uno	5 V DC - ATmega328P	1	Placa con microcontrolador donde se realiza la interpretación y adecuación de la señal de control
Modulo bluetooth	5 V DC - Alcance: 10m	1	Modulo con el que se establece la conexión bluetooth entre la placa Arduino Uno y el dispositivo móvil.
Modulo Relevadores	5 V DC - 10A/30VDC	1	Modulo con 4 relevadores que permiten modificar las conexiones de las terminales en los motores.

3.3 Conexiones mecánicas y eléctricas

Para tener una correcta disposición de los componentes, es necesario que se encuentren fijos en su lugar, por lo cual es necesario que cada pieza en el arreglo físico este sujeto debidamente; los actuadores, elementos de control, y elementos de alimentación deben sostenerse de las bases y soportes implementados, ya sea que se mantengan completamente estáticos, o que se relacionen con las partes móviles en la silla de ruedas. Un ejemplo de esto son los motores, donde los ejes de salida en estos serán los encargados de causar el movimiento en las llantas de la silla de ruedas, para esto los ejes están acoplados por medio de cuñas con los bujes dentro de los rines, de tal manera que cuando gire el motor, también girara la rueda de la silla de ruedas a la misma velocidad angular.

Después de tener fijos todos los elementos, es necesario conectar unos con otros, de tal manera que se comuniquen entre sí y puedan recibir o enviar las señales necesarias para funcionar. Las conexiones se pueden observar de manera general en el diagrama de bloques que se muestra en la Figura 3.5.

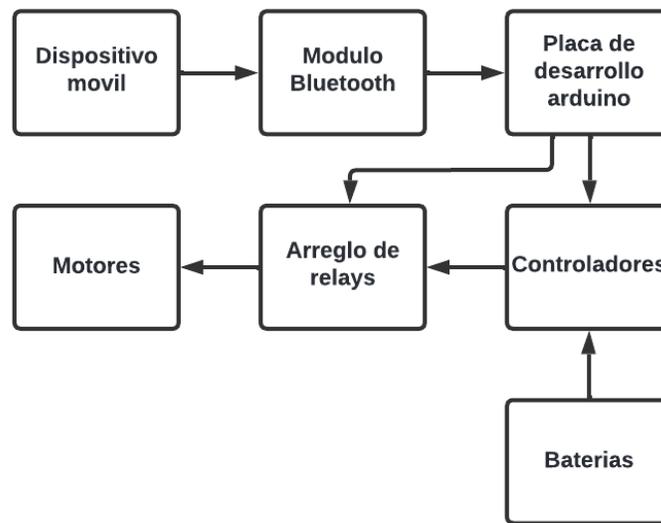


Figura 3.5 Diagrama de bloques de conexiones entre elementos

De todas las conexiones mencionadas en el diagrama de bloques anterior (Figura 3.4); se realiza una clasificación por 3 tipos de conexiones: Conexión bluetooth entre dispositivos, Conexiones por cable para envío de señales de control, y Conexiones por cable para alimentación de motores. Siguiendo el diagrama de bloques se tiene la conexión bluetooth entre el dispositivo móvil hacia el módulo bluetooth, después por medio de cable calibre 20, existe la conexión entre la placa Arduino UNO desde el módulo bluetooth, y hacia los controladores y el arreglo de relevadores (Observando el diagrama de bloques, la placa Arduino es el único elemento del cual se derivan dos conexiones de salida, esto sucede porque la placa dicta el comportamiento en ambos componentes, mientras que en el caso del arreglo de relevadores, el cual recibe dos conexiones de entrada, una es señal de control del Arduino, y la segunda es debido a que conducen la señal de alimentación desde los controladores hacia los motores). La conexión entre la placa Arduino UNO hacia el arreglo de relevadores tiene como propósito hacer un cambio en la conexión de los motores, pues al ser activados cambian la polaridad de la alimentación hacia estos, lo cual permitirá el desplazamiento en ambos sentidos, avance y reversa. Y por medio de cable calibre 12, se conecta a los controladores para recibir la energía de las baterías y distribuirla hacia el arreglo de relevadores, que a su vez el arreglo de relevadores alimenta a los motores. También se tiene un controlador para cada uno de los dos motores y que estos reciben sus señales de orden por conexiones independientes.

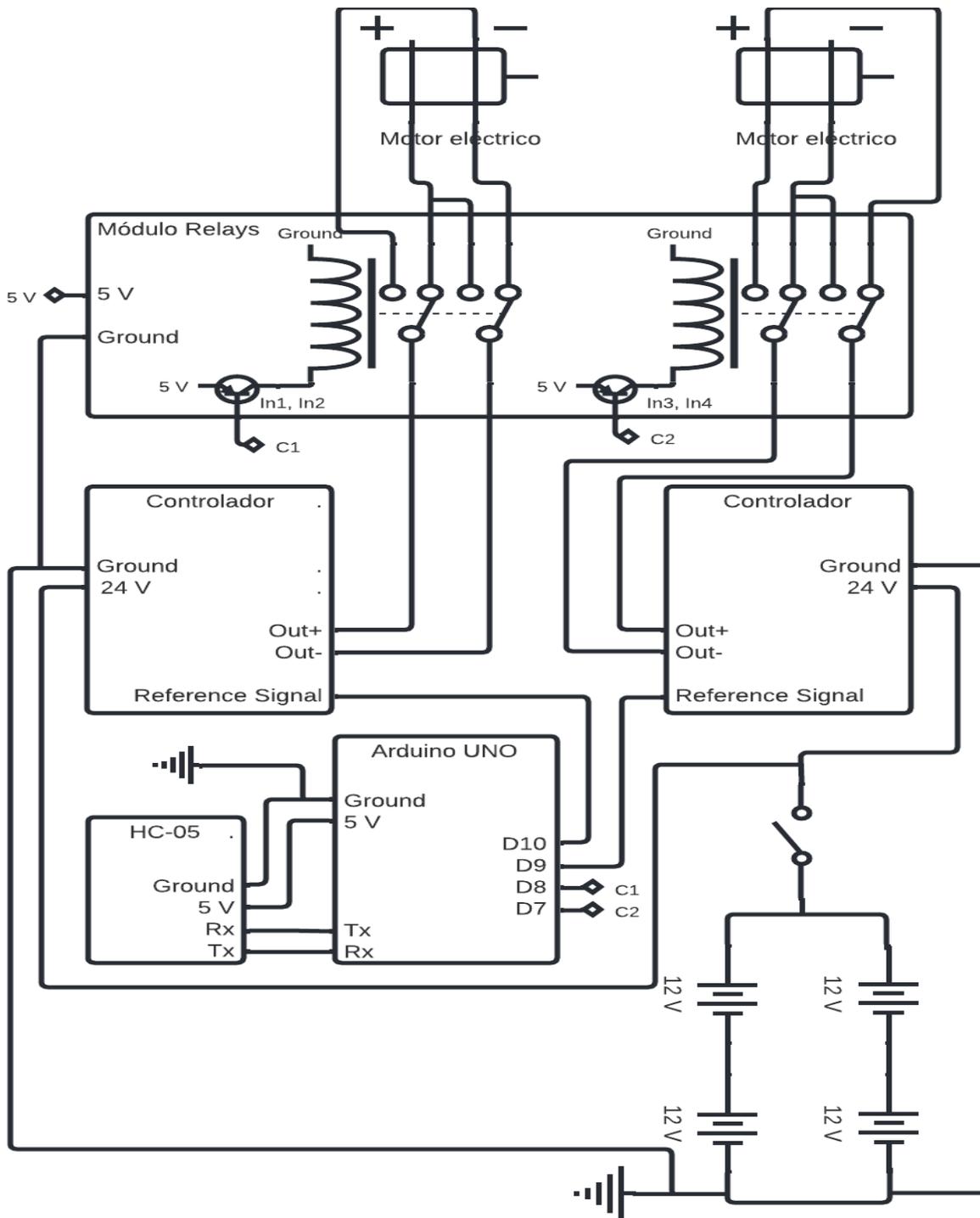


Figura 3.6 Diagrama de conexiones físicas entre elementos presentes en la silla de ruedas

Las conexiones por cable se muestran de una forma más específica en el diagrama de conexiones anterior (Figura 3.6).

3.4 Programación del dispositivo

La programación estará dividida en dos partes que se deben complementar entre sí, primeramente, con los comandos que recibe el dispositivo móvil por parte del usuario y que este tiene que enviar a la placa Arduino UNO donde se tiene la segunda etapa de la programación, que permite que se dirijan las señales de alimentación hacia los motores. El intercambio de información se realiza de acuerdo con la lógica presentada en el diagrama de procesos de la Figura 3.7.

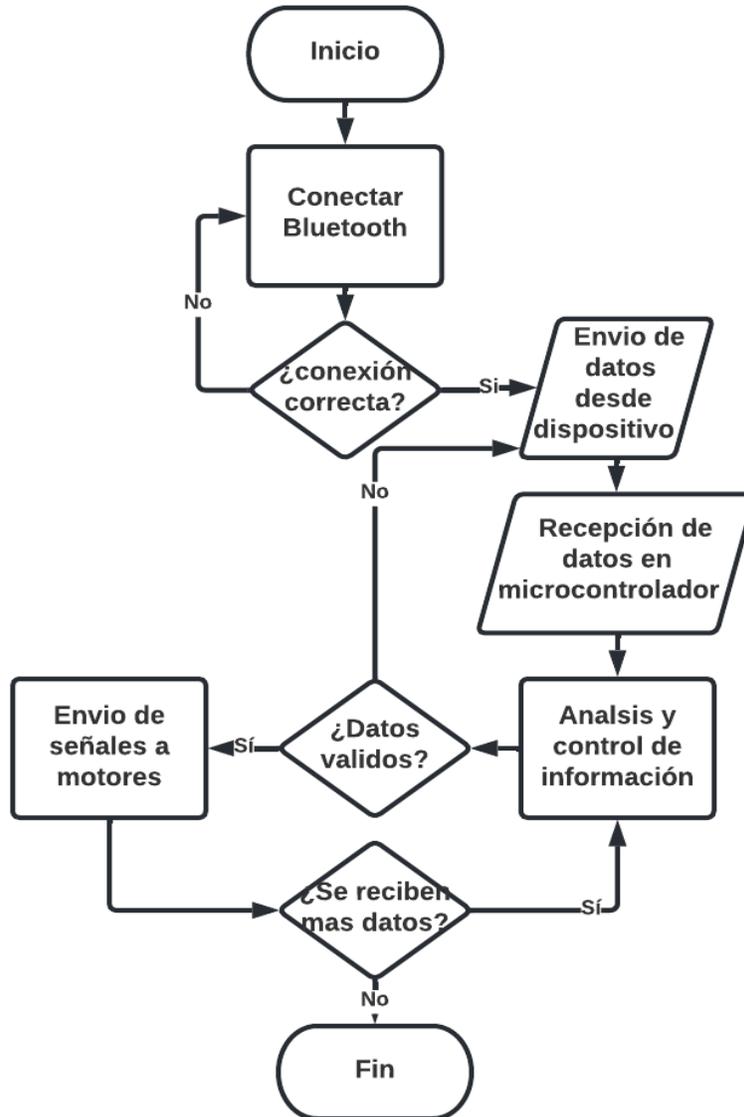


Figura 3.7 Diagrama de procesos a seguir durante el funcionamiento de la silla de ruedas

Para el dispositivo móvil se presenta el desarrollo de una aplicación en la plataforma “App inventor”, que fue seleccionada para desarrollar una interfaz intuitiva con la cual sea posible dirigir a la silla de ruedas en su desplazamiento. Para esto se plantea el uso de una de las herramientas

brindadas por la plataforma, con la que es posible reconocer las palabras que se dicen al hablar y utilizar esa información como caracteres de texto, nombrada SpeechRecognizer. Así como también se plantea el uso de botones con los cuales se pueden dar los mismos comandos.

Todas estas acciones se organizarán con la programación por bloques que ofrece la plataforma “App Inventor”, y el código escrito para la Arduino Uno. Lo que consistirá en enviar las acciones dadas por el usuario de tal manera que genere un resultado configurado por el programador, en este caso se trata de hacer funcionar a los motores eléctricos manera través de una configuración predeterminada. Esta aplicación es desarrollada para ser utilizada en dispositivos con sistema operativo Android, así como la ejecución de la aplicación se lleva por medio del servicio de App Engine de Google, y su funcionamiento consiste en lo descrito a continuación:

Por medio de una interfaz con botones a los cuales se les visualizara con iconos para mejorar la facilidad de su uso, con los que se capturan las acciones del usuario, es decir, detectar cuando uno de los botones es presionado y liberado, o detectar cuando sea agitado el dispositivo móvil. La lógica con la que la aplicación está construida se explica conforme se va ejemplificando la manera de ser usada, donde consiste en interfaces, la primera, de inicio en la cual se presentan las palabras clave utilizadas para los comandos por voz (Tabla 3.2), y donde se puede establecer la conexión bluetooth con el módulo en el que se enviaran los datos. Y la segunda, donde están los botones con los comandos usados para manipular el comportamiento de la silla (Figura 3.8).

Tabla 3.2 Palabras utilizadas para la ejecución de los comandos por voz

Palabra para ejecutar comando	Descripción
Avanza	Hace que la silla de ruedas se mueva en línea recta en dirección de avance
Reversa	Hace que la silla de ruedas se mueva en línea recta en dirección contraria al avance
Detente	Hace que la silla de ruedas deje de moverse al detener la alimentación de energía en los motores
Izquierda	Hace que la silla de ruedas se mueva con dirección de giro hacia la izquierda
Derecha	Hace que la silla de ruedas se mueva con dirección de giro hacia la derecha

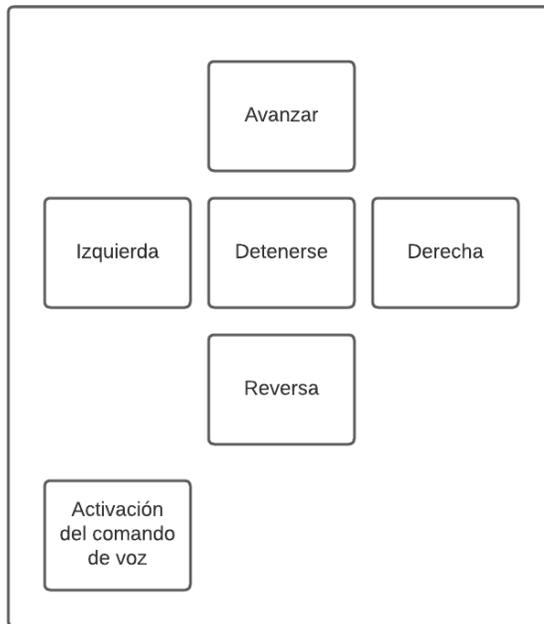


Figura 3.8 Ejemplificación de botones requeridos para accionar comandos por medio de la aplicación

Cuando se inicia la aplicación es posible realizar dos acciones, cerrar la aplicación o continuar a la segunda interfaz, presionando el botón correspondiente, estas operaciones se llevan a cabo de acuerdo con el diagrama mostrado en la Figura 3.9.

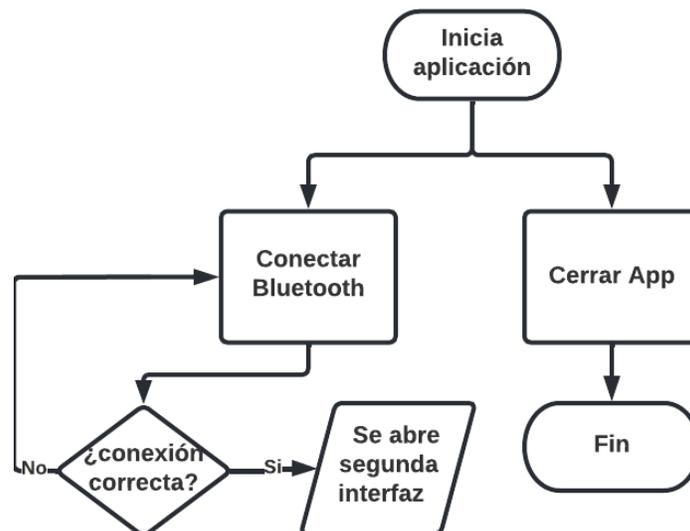


Figura 3.9 Diagrama de procesos para el inicio de la aplicación móvil

Al realizar esto la aplicación se dirigirá hacia la interfaz de comandos, y mientras haya sido correcta la conexión estos podrán ser utilizados. Teniendo como opciones el botón con el cual será posible salir de la aplicación, y donde se realiza la desconexión con el dispositivo y el cierre total

de la App; así como los botones para los comandos con los que se cuenta para él envío de datos hacia el módulo bluetooth, además para cuando se desea utilizar por medio de los comandos de voz, donde se tiene la ejecución de esta función ya sea presionando el botón designado para esto, o agitando el dispositivo móvil, con lo cual el acelerómetro integrado a este detecta el movimiento y habilita la ejecución de la función. Estos casos de muestran en el diagrama de procesos de la Figura 3.10.

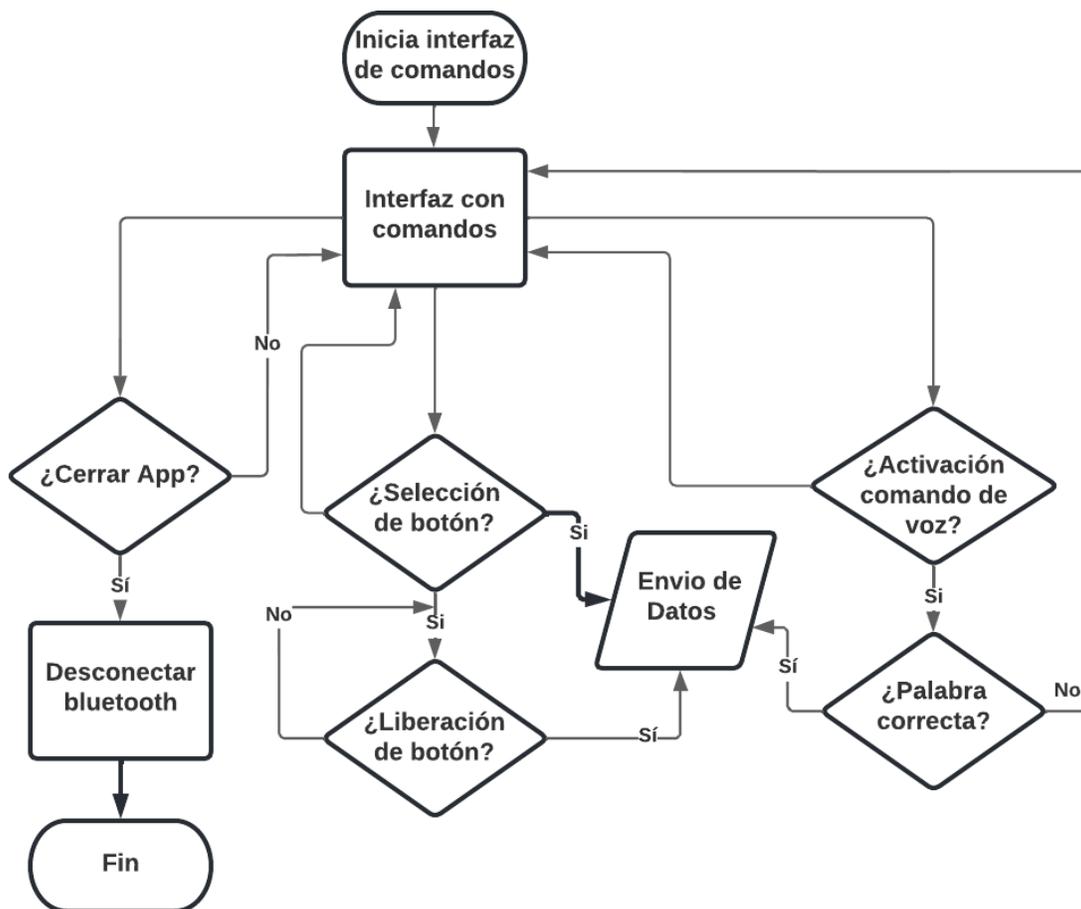


Figura 3.10 Diagrama de procesos para la interfaz de comandos en la aplicación móvil

Dado el funcionamiento de los botones con que se lleva a cabo alguno de los comandos cuando estos son seleccionados, se envían los datos. Mientras que al momento de liberar el botón que se tenía presionado hace que el siguiente dato enviado sea la combinación con la cual se provoca que la silla se detenga. Esta información se organiza según el comportamiento que se busca de la silla de ruedas, donde se tienen las dos siguientes situaciones: el desplazamiento en

avance o reversa, y el giro, ya sea para un recorrido en línea recta o en caso requerido con una trayectoria que siga un recorrido de curva al desplazarse.

Estos datos serán enviados al módulo bluetooth siguiendo el siguiente formato “x,y;”, donde “x” representa desplazamiento (sea 0: reposo, 1: avance, 2: reversa) y “y” representa el giro (sea 0: recto, 1: giro a la izquierda, 2: giro a la derecha). Las combinaciones para el comportamiento de la silla se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Combinaciones posibles para el envío de datos hacia el módulo Bluetooth

x,y	0	1	2
0	Detente	Rotación a la izquierda	Rotación a la derecha
1	Avance	Giro a la izquierda	Giro a la derecha
2	Reversa	Giro a la izquierda en reversa	Giro a la derecha en reversa

Una vez que se ejecutó la función de SpeechRecognizer, el usuario podrá hablar el comando y la aplicación capturara la palabra que se diga, de tal manera que esta es convertida en caracteres con los cuales se evaluara el resultado para determinar cuál de las ordenes se debe tomar en cuenta para el envío de los datos, mientras que, si no se detecta ninguno de los comandos, entonces no se ejecutara ninguna acción y se solicitara volver a intentarlo. Estos datos son igualmente enviados al módulo bluetooth siguiendo el mismo formato de “x,y;”, donde “x” también representa desplazamiento (sea 0: reposo, 1: avance, 2: reversa) y “y” representara el giro (sea 0: recto, 1: giro a la izquierda, 2: giro a la derecha). Las combinaciones de palabras a hablar para ejecutar el comportamiento de la silla se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Combinaciones de palabras posibles para el envío de datos hacia el módulo Bluetooth

x,y	0	1	2
0	Detente		
1	Avanza	Izquierda	Derecha
2	Reversa		

De este modo, la aplicación móvil envía los datos hacia el módulo bluetooth, donde la placa Arduino Uno lee estos datos y los procesa de acuerdo con el procedimiento descrito en el código, que consiste en la lectura de los datos enviados por la aplicación móvil, y en la interpretación de estos mismos, donde se organizan de tal manera que se genere la señal que se envía a los motores en la silla, según el comando elegido. Por medio de la comunicación serial entre el módulo bluetooth y la placa Arduino UNO se guardan los datos recibidos y se define el acondicionamiento de la señal dentro de funciones que describirán la acción por realizar. Este proceso se observa en el diagrama mostrado en la Figura 3.11, y se describe a continuación.

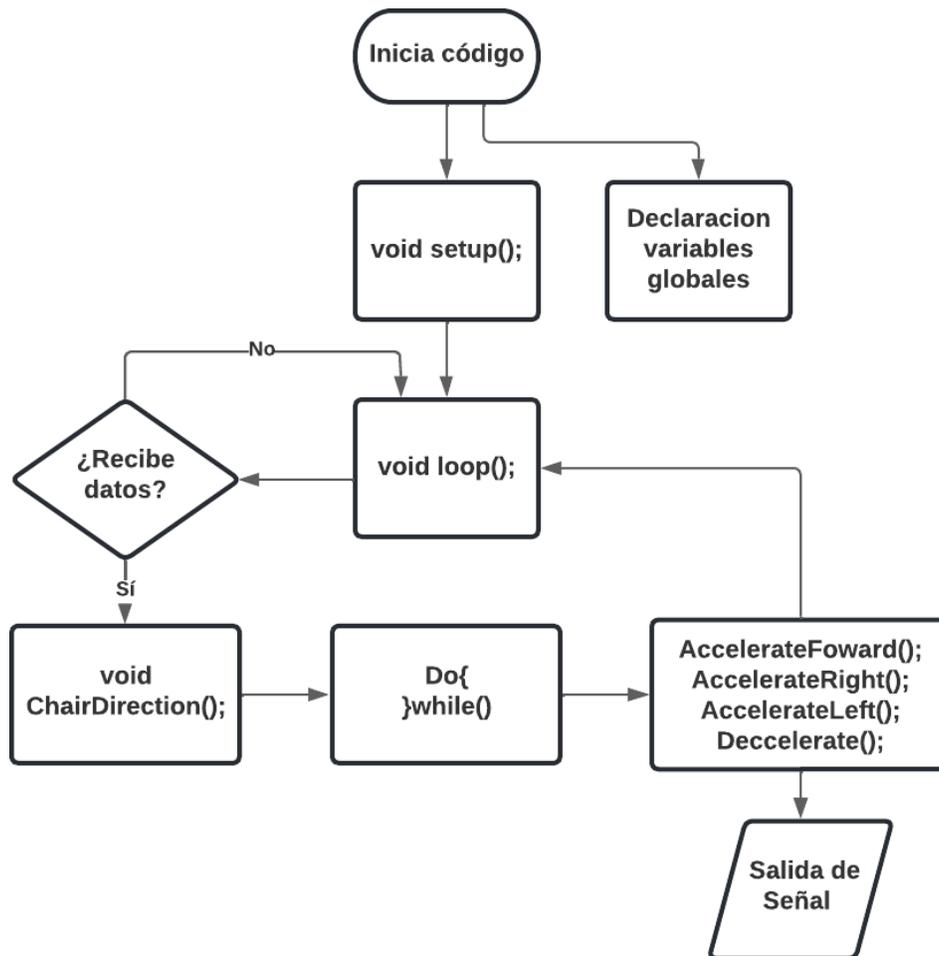


Figura 3.11 Diagrama de procesos para el código escrito para la placa Arduino

La ejecución del código se desarrolla de tal forma que inicialmente se definan las variables que utiliza el programa de manera global, así como los pines de la placa Arduino que se van a utilizar. Después ya se tiene la función cíclica que permite realizar el proceso continuamente, es decir, la función loop(), en esta se estará condicionando a recibir datos para poder realizar todo el

procesamiento, donde en caso de recibir la información, esta se captura, guarda y utiliza, con la ayuda de la función llamada `ChairDirection()`, donde se divide el proceso en dos pasos, el primero, estableciendo si la silla se moverá en dirección de avance o reversa, ya que debe enviar la señal que modifica el estado de los arreglos de relevadores con los cuales se controla este aspecto. Y el segundo paso, donde se asigna un valor a una variable con el que se determina si debe haber algún giro en el avance de la silla, o este debe ser recto. Con esto se procede al código dentro del ciclo `Do-While`, y haciendo uso de esta variable se selecciona entre 4 casos posibles, de acuerdo con el valor previamente asignado a la variable, para los cuales se tiene una función independiente con la cual se enviará la señal correspondiente hacia los motores.

Donde cada función se encarga de generar el perfil de movimiento según el caso; para girar hacia la derecha, girar a la izquierda, avanzar de forma recta o frenar la señal. Para todos los casos el tiempo entre el inicio de la señal (Valor de cero) y el estado estable (Valor en que se mantendrá constante la señal) es el mismo, lo que hace diferentes a las funciones es la distinción de cuando alimentan a ambos motores, o solamente a alguno en particular, y las condiciones con las que se envíe la señal hacia el módulo de relevadores, estas diferencias se especifican en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Descripción de las acciones realizadas por las funciones para envío de señales hacia los motores

Función	Comportamiento perfil de velocidad	Estado en módulo de relevadores	Descripción
<code>AccelerateForward()</code>	De valor cero a valor de referencia	Ambos activos para avance y ambos inactivos para reversa	Se utiliza para el movimiento en recta para ambas direcciones
<code>AccelerateRight()</code>	De valor cero a valor de referencia	Activo en motor derecho e inactivo en motor izquierdo	Se utiliza para realizar giros hacia la derecha
<code>AccelerateLeft()</code>	De valor cero a valor de referencia	Activo en motor izquierdo e inactivo en motor derecho	Se utiliza para realizar giros hacia la izquierda
<code>Decelerate()</code>	De valor de referencia a valor cero	Mantiene el estado anterior	Se utiliza para detener la alimentación de energía a los motores

La señal de salida final entonces es leída por los controladores que estarán directamente conectados a los motores. Y debido a que se mantiene el último valor enviado, cuando se haga un arranque al final de la ejecución de la señal se mantendrá el valor máximo enviado, mientras que para el caso del frenado se mantendrá el valor de señal con valor cero.

3.5 Casos de estudio

Para evaluar el comportamiento de la silla de ruedas se toman en consideración distintas características que resultan relevantes al momento de utilizar la silla, tal como son el peso del usuario que está sobre esta, el tipo de suelo donde se está moviendo, la inclinación en el perfil del camino por el que se desplaza y el valor PWM con el que se utiliza en la alimentación a los motores, así como también características que dependen de la silla misma, como su propio peso, el tipo de llantas que tiene y el nivel de carga en las baterías. Estos datos quedan organizados en las siguientes tablas (Tabla 3.6 y 3.7), donde se muestran valores con los cuales se realizan pruebas de funcionamiento.

Tabla 3.6 Datos específicos de las condiciones con las que se utiliza la silla de ruedas

Peso del usuario	73.5 kg
Tipo de suelo	Concreto, acabado liso
Inclinación	0°
PWM	70%

Tabla 3.7 Datos específicos de los parámetros que caracterizan a la silla de ruedas

Peso de la silla	36.5 kg
Tipo de llanta	Llanta rígida de hule macizo con rines de aluminio
Nivel de carga	100%

Adicionalmente se tienen las características de la señal generada con el código, con la cual se ejecuta el control para los motores por medio del perfil de velocidad con el que se modifica el ancho de pulso en la señal PWM que determina como debe ser la razón de cambio en cuanto al incremento gradual de la alimentación que recibirán los motores. Esta señal se genera para dos casos, partiendo del completo reposo, hasta el valor de referencia (PWM al 70 %) Tal como se muestra en la Figura 3.12, y para el caso contrario, que requiere pasar del valor de referencia al reposo, de la misma manera que se observa en la Figura 3.13.

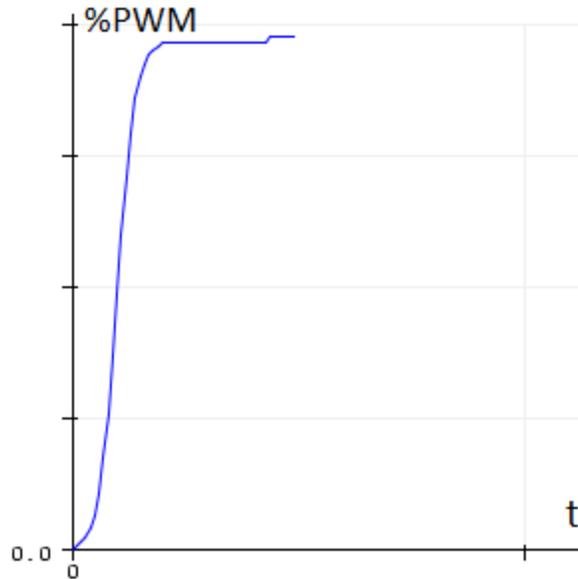


Figura 3.12 Grafica del perfil de velocidad para pasar del reposo a la señal de referencia

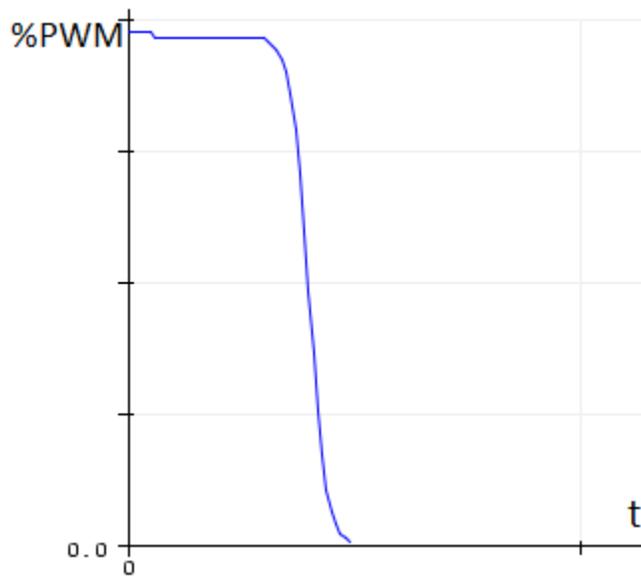


Figura 3.13 Grafica del perfil de velocidad para pasar de la señal de referencia a la de reposo

Una característica que representa la funcionalidad de la silla es que cuando se ejecuta una de las funciones, al terminar se conserva y mantiene al valor último, es decir, cuando se acciona el comando para avanzar, se iniciara el movimiento y así se mantendrá indefinidamente hasta que otro comando sea ejecutado, de tal forma que se sobreponga al anterior, por ejemplo, para detenerse, y una vez esto suceda conservar ese estado. Esto se puede visualizar de mejor manera en la Figura 3.14, donde se observa gráficamente la situación previamente descrita, de tal manera que para un tiempo cualquier entre t_1 y t_2 se mantenga el movimiento de la silla de ruedas.

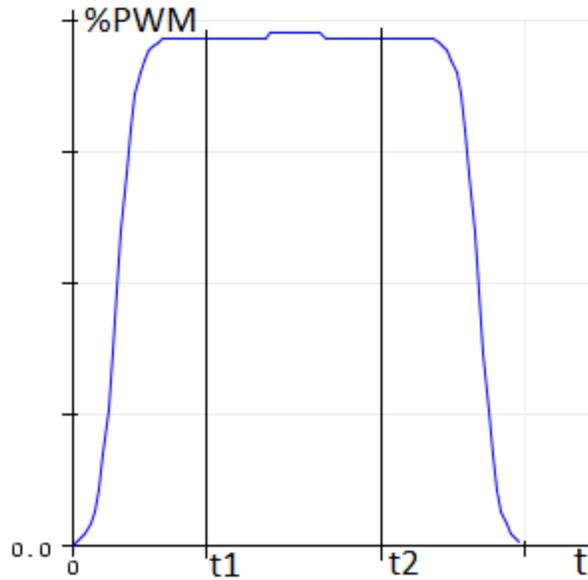


Figura 3.14 Ejemplo de perfil de velocidad para el caso Aceleración-Velocidad constante-Desaceleración

Por medio de experimentación se toman todos los parámetros señalados y se determinan los comportamientos reales de la silla de ruedas al ser utilizada, así como también se evalúa su comportamiento sometiendo la silla a una prueba en una rampa cuyas características coincidan con las requeridas dentro de normas vigentes que regulen la construcción de rampas para sillas de ruedas, en este caso la NORMA Oficial Mexicana NOM-030-SSA3-2013.

4 RESULTADOS

Para la parte de elementos y condiciones físicas necesarias para desarrollar el proyecto, se tiene tanto las modificaciones en la estructura de la silla de ruedas, como los componentes que se le añadieron. En este caso, para el aspecto mecánico se hace uso de placas de aluminio barrenadas a la medida para ser sujetadas a la estructura tubular de la silla de ruedas, adicionalmente de sostener fijamente a los motores. En el caso de la modificación en los motores se sustituyen los ejes originales por los manufacturados según el diseño establecido en la sección 3.1. Estos componentes se muestran en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Piezas con las cuales se realizará el arreglo mecánico entre los motores, el soporte con la estructura de la silla de ruedas, y las llantas en esta

En el caso de la sujeción entre el eje sostenido entre las placas base, que deben mover a las llantas en la silla de ruedas, se tiene la sujeción con los rines por medio de cuñas, entre el eje y los bujes de los rines. El cuñero fabricado sobre el eje se muestra como ejemplo en la Figura 4.2.

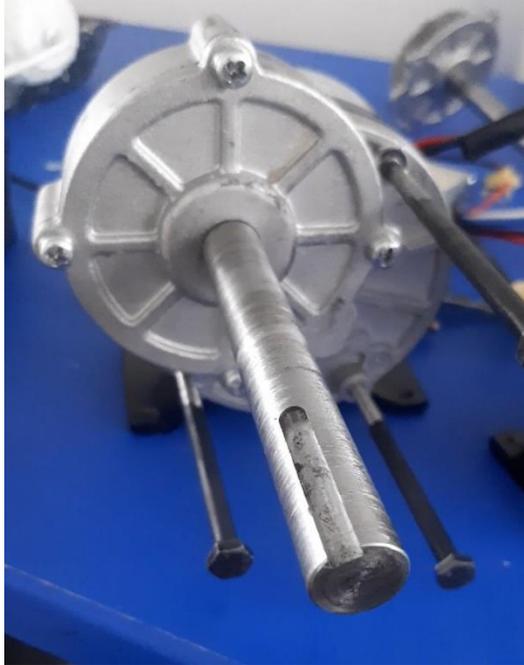


Figura 4.2 Ejemplo de cómo se observa el cuñero en el eje de salida de uno de los motores utilizados

La conjunción de estos elementos sobre la estructura de la silla de ruedas da como resultado un giro tal que tanto motores como llantas mismas tienen la capacidad de girar como uno mismo, y la adaptación en la silla de ruedas se vuelve completamente funcional, esto se observa en la fotografía de la Figura 4.3.



Figura 4.3 Ejemplo fotográfico de cómo se observa la adaptación de los motores a los rines de la silla de ruedas

En el caso del soporte para las baterías, se utiliza una lámina de aluminio sobre la cual se colocarán y fijarán, esta se encuentra por debajo del asiento de la silla, donde no interfiere con el movimiento de la silla, así como tampoco causa incomodidad para el usuario que se encuentre sobre la silla de ruedas, esta base se muestra en la Figura 4.4 y es utilizada adicionalmente para colocar los elementos electrónicos usados en el proyecto.



Figura 4.4 Ejemplo fotográfico de las baterías colocadas sobre la base instalada en la silla de ruedas

Teniendo estos componentes sobre la silla de ruedas, es entonces posible llevar a cabo la conexión eléctrica en conjunto de estos, en la Figura 4.5, se observa a modo de ejemplo como es el arreglo de conexiones entre los motores y el módulo de relevadores, del cual se tiene la conexión directa hacia los controladores que proporcionarían la potencia establecida para hacer funcionar a los motores.



Figura 4.5. Fotografía de ejemplo que muestra la conexión eléctrica entre motores y módulo de relevadores

Así mismo, en la Figura 4.6 se observan los componentes electrónicos y de alimentación utilizados (4 baterías, 2 controladores, módulo de relevadores, modulo bluetooth y placa Arduino Uno), donde se encuentran conectados todos los elementos de acuerdo con lo establecido en los diagramas de la Sección 3.3 de este texto.

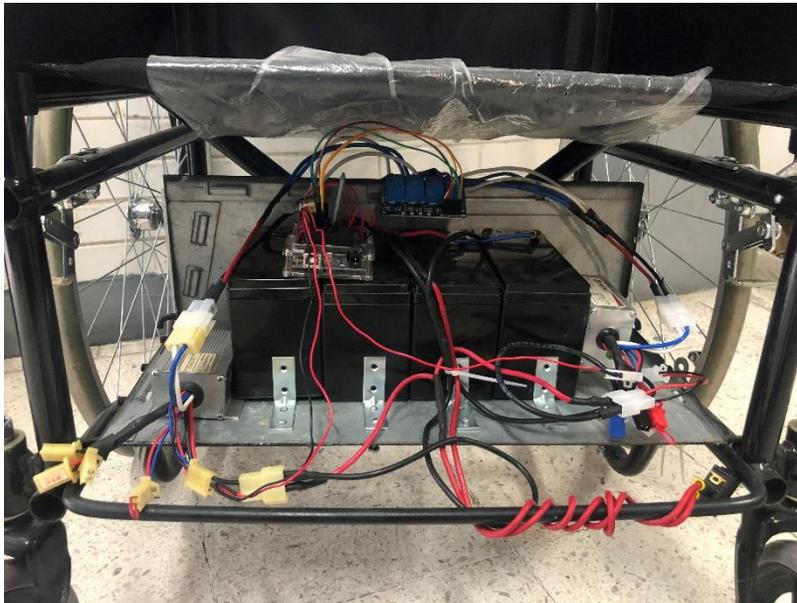


Figura 4.6 Fotografía de componentes con conexiones eléctricas

Es con estos arreglos que tiene la silla de ruedas, como se establece que cuenta con la integración de todos los componentes utilizados en su desarrollo, visualizándola tal como se presenta en la Figura 4.7. Y con lo que se realizan las pruebas experimentales que determinen su comportamiento, así como la realización de experimentos para probar que lo implementado funcione de la forma en que se planteó inicialmente.



Figura 4.7 Fotografía de la silla de ruedas con todos los componentes integrados

Sea entonces, para el funcionamiento de la aplicación se lleva a cabo el armado de la interfaz con el uso de botones a los cuales se les visualiza con iconos para mejorar la facilidad de su utilización. Por medio de los bloques programables se capturan las acciones del usuario, es decir, detectar cuando uno de los botones es presionado y liberado, o en su defecto, activar la herramienta de SpeechRecognizer, por medio de un botón o al agitar el dispositivo móvil y hacer uso del acelerómetro integrado en este, que detecta por medio del movimiento que este comando fue activado.

Esta aplicación es desarrollada para ser utilizada en dispositivos con sistema operativo Android, así como la ejecución de la aplicación se lleva por medio del servicio de App Engine de Google. Y la lógica con la que se construyó la aplicación se explicará conforme se va

ejemplificando la manera de ser usada, donde consiste en dos pantallas, la primera, de inicio en la cual se presentan las palabras claves utilizadas para los comandos por voz, y donde se puede continuar a establecer la conexión por medio de bluetooth al módulo en el que se enviarán los datos. Y la segunda, donde están todos los botones con los comandos que se usaran para manipular el comportamiento de la silla (Figura 4.8).



Figura 4.8. Capturas de pantalla de la interfaz de la aplicación, en el caso de la pantalla de inicio y pantalla de comandos

Es importante mencionar que para poder conectar el dispositivo desde la aplicación es necesario haber vinculado la dirección del módulo bluetooth con el dispositivo móvil previamente, de esta manera estará presente en la lista de posibles dispositivos a conectar; esta acción solo se debe llevar a cabo en una única ocasión. El nombre del módulo es HC-05 y la contraseña para la vinculación “1234”.

Cuando se inicia la aplicación es posible realizar dos acciones, cerrar la aplicación o continuar a la segunda interfaz, presionando el botón correspondiente, estas operaciones están descritas por la programación de los bloques mostrados en la Figura 4.9

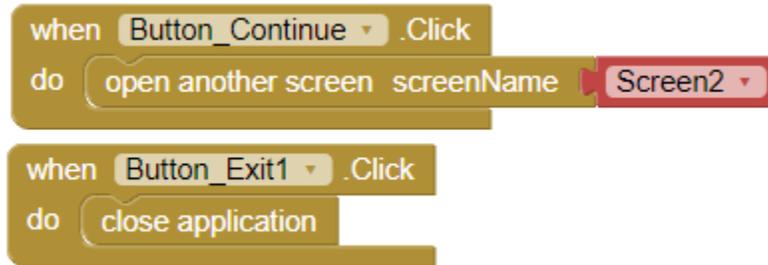


Figura 4.9. Bloques de programación para la pantalla 1

Al realizar esto la aplicación se dirige hacia la interfaz de comandos, sin embargo, al momento de inicializar la pantalla se muestra la lista de dispositivos bluetooth a los cuales es posible conectarse; en esta lista se selecciona el módulo bluetooth utilizado (Figura 4.10), lo cual establece la conexión y permite el envío de datos.

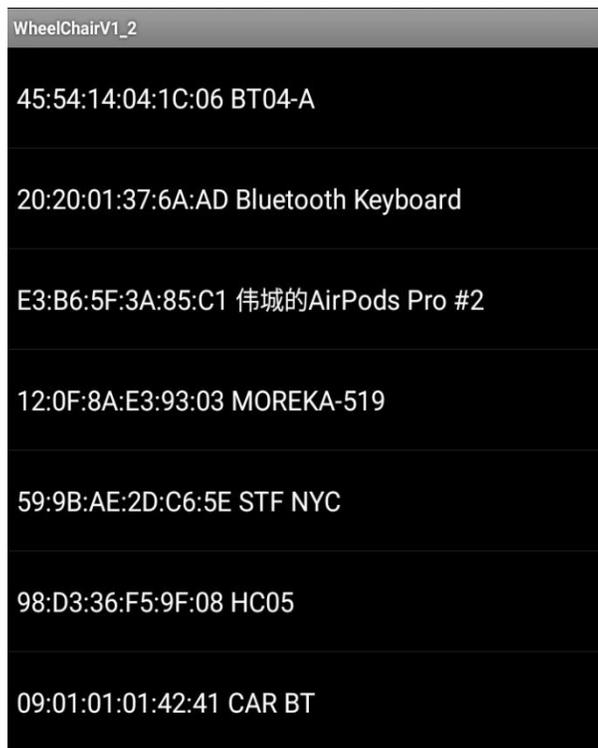


Figura 4.10 Ejemplo de lista de dispositivos Bluetooth para realizar conexión con el modulo

Esto sucede debido a que se configura la inicialización de la pantalla para que en el momento en el cual ocurra el evento, se obtengan los dispositivos bluetooth, y estos se muestren, para que se realice la conexión una vez es seleccionado el nombre del dispositivo (Figura 4.11).

```
when Screen2 .Initialize
do
  set SpeechRecognizer1 . Language to " es-MX "
  if BluetoothClient1 . Available
  then
    set ListPicker_Bluetooth . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames
  call ListPicker_Bluetooth . Open

when ListPicker_Bluetooth .AfterPicking
do
  if call BluetoothClient1 . Connect
  address ListPicker_Bluetooth . Selection
  then
    set ListPicker_Bluetooth . Selection to BluetoothClient1 . AddressesAndNames

when ListPicker_Bluetooth .BeforePicking
do
  if BluetoothClient1 . Available
  then
    set ListPicker_Bluetooth . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames
```

Figura 4.11 Bloques de programación ejecutados antes de acceder a la interfaz de comandos

Adicionalmente del botón para abrir la lista de dispositivos bluetooth, en este se ejecuta nuevamente el proceso mostrado en la Figura 4.11, y también el botón con el cual será posible salir de la aplicación, donde se realiza la desconexión con el dispositivo y el cierre total de la app, de acuerdo a la descripción mostrada en el bloque de la Figura 4.12.

```
when Button_Exit .Click
do
  call BluetoothClient1 . Disconnect
  close application
```

Figura 4.12 Bloque de programación para cerrar la aplicación

Los botones adicionales con los que se cuenta son ya los utilizados para el envío de datos hacia el módulo bluetooth. Esta información se organiza según el comportamiento que se busca de la silla de ruedas, donde se tienen las dos siguientes situaciones: el desplazamiento en avance o reversa, y el giro ya sea recto o en curva. El funcionamiento de los botones se lleva a cabo cuando alguno de estos es presionado, es decir, al presionarse el botón ocurre el evento “TouchDown”,

con el cual se ejecuta la función que enviara los datos, este arreglo de bloques se puede observar en la Figura 4.13.



Figura 4.13 Bloques de programación para ejecutar los comandos

Mientras que al momento de liberar el botón que se tenía presionado, sucede el evento "TouchUp", lo cual hace que el siguiente dato enviado sea la combinación con la cual se provoca que la silla se detenga, los bloques requeridos para esto se observan en la Figura 4.14.



Figura 4.14 Bloques de programación que se ejecutaran al momento de terminar alguno de los comandos

Para el caso de los botones con los que se frena el movimiento de la silla de ruedas se utilizan distintos eventos con un mismo propósito, enviar los datos con los que se detendrá. Se tienen dos botones, y los eventos utilizados son “Click”, “LongClick”, “TouchDown”. Estos se muestran en los bloques de la Figura 4.15.

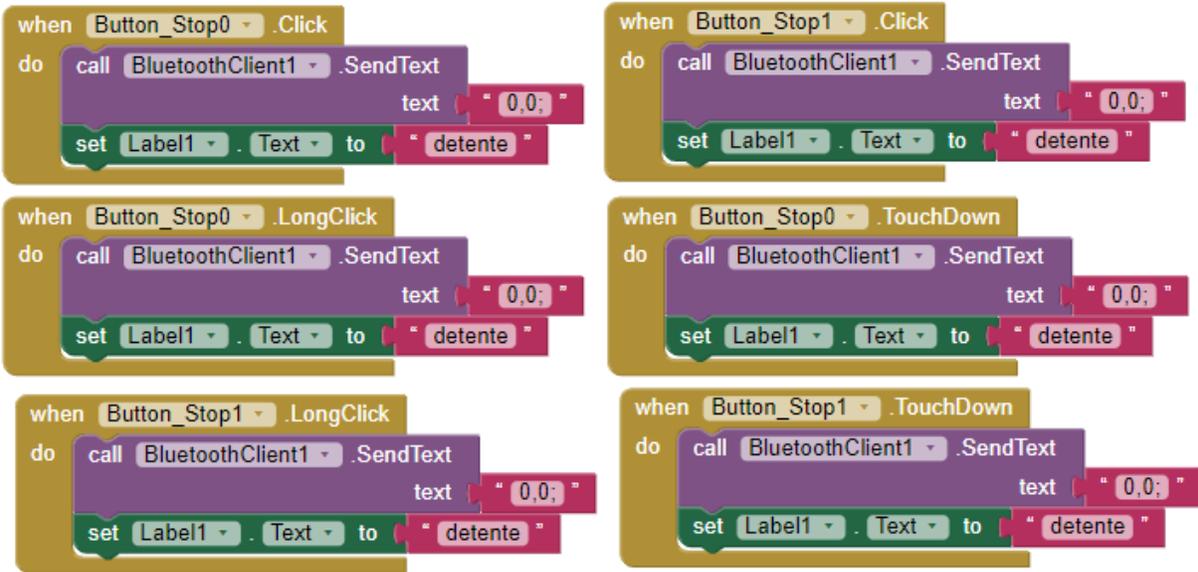


Figura 4.15 Bloques de programación utilizados para mandar detener la silla de ruedas

Cuando se pretende utilizar la aplicación por medio de los comandos de voz, se puede realizar por medio de dos métodos: presionando el botón designado para esta función, o agitando el dispositivo móvil, con lo cual el acelerómetro integrado a este detectara el movimiento y ejecutara la función, los bloques con los que describe esto son los mostrados en la Figura 4.16.

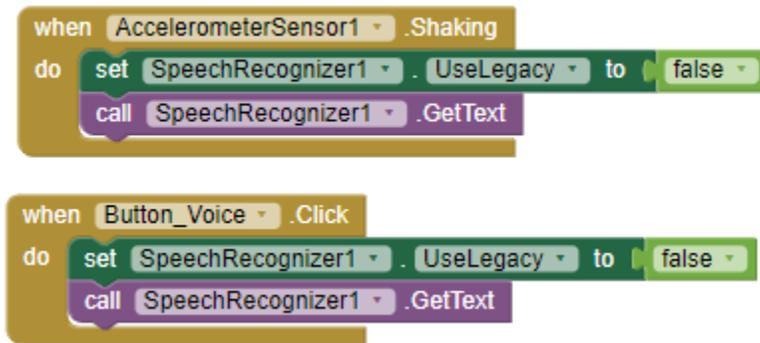


Figura 4.16 Bloques de programación para ejecutar la función de reconocimiento de voz

Una vez que se ejecuta la función de SpeechRecognizer, el usuario puede hablar el comando y la aplicación captura la palabra que se diga, de tal manera que esta sea convertida en caracteres con los cuales se evalúa el resultado para determinar cuál de las ordenes se debe tomar en cuenta para el envío de los datos, los bloques con los que se desarrolla este proceso se muestran en la Figura 4.16, mientras que si no se detecta ninguno de los comandos, entonces no se ejecuta ninguna acción y se solicita volver a intentarlo.

```

when SpeechRecognizer1 .AfterGettingText
  result partial
do
  if SpeechRecognizer1 . Result = "avanza"
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
      text "1,0;"
    set Label1 . Text to "avanza"
  else if SpeechRecognizer1 . Result = "reversa"
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
      text "2,0;"
    set Label1 . Text to "reversa"
  else if SpeechRecognizer1 . Result = "detente"
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
      text "0,0;"
    set Label1 . Text to "detente"
  else if SpeechRecognizer1 . Result = "izquierda"
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
      text "1,1;"
    set Label1 . Text to "izquierda"
  else if SpeechRecognizer1 . Result = "derecha"
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
      text "1,2;"
    set Label1 . Text to "derecha"
  else
    set Label1 . Text to "Intenta nuevamente"

```

Figura 4.17 Bloques de programación ejecutados después de llevar a cabo el reconocimiento de la voz

Es de esta manera que la aplicación móvil envía los datos hacia el módulo bluetooth, donde la placa Arduino Uno lee estos datos y los procesa de acuerdo con el siguiente procedimiento:

El código escrito en Arduino consiste en la lectura de los datos enviados por la aplicación móvil, y en la interpretación de estos mismos, donde se organizan de tal manera que se genere la señal que se enviara a los motores en la silla, según el comando elegido.

Por medio de la comunicación serial entre el módulo bluetooth y la placa Arduino UNO se guardan los datos recibidos y se comienza a definir dentro de una función como será la acción por realizar (Figura 4.18).

```
if(Serial.available()>0){
  ch=Serial.read();
  buff[j++]=ch;
  if(ch==';'){
    sscanf(buff,"%d,%d",&V1,&V2);
    j=0;
    ChairDirection();
  }
}
```

Figura 4.18. Código programado para leer los datos recibidos por el módulo Bluetooth

Esta función llamada ChairDirection divide el proceso en dos pasos, el primero, estableciendo si la silla se debe mover en dirección de avance o reversa, ya que envía la señal que modifica el estado de los arreglos de relevadores con los cuales se controla este aspecto. Y el segundo paso, donde se asigna un valor a una variable con el que se determina si debe haber algún giro en el avance de la silla, o este debe ser recto (Figura 4.19).

```

void ChairDirection(){
  if (V1 == 1){
    if (V2 == 0) // Avance
      flg=1;
    else if (V2 == 1) // Izquierda
      flg=2;
    else if (V2 == 2) // Derecha
      flg=3;
    S1=1;
    S2=1;
  }
  else if (V1 == 2){
    if (V2 == 0) // Reversa
      flg=1;
    else if (V2 == 1) // Derecha Reversa
      flg=3;
    else if (V2 == 2) // Izquierda Reversa
      flg=2;
    S1=0;
    S2=0;
  }
  else if (V1 == 0){
    if (V2 == 0) // Detente
      flg=4;
    else if (V2 == 1){ // Rotacion Izquierda
      flg=1;
      S1=1;
      S2=0;
    }
    else if (V2 == 2){ // Rotacion Derecha
      flg=1;
      S1=0;
      S2=1;
    }
  }
  }
  digitalWrite(8,S1);
  digitalWrite(7,S2);
  delay(5);
}

```

Figura 4.19 Código escrito para interpretar los datos recibidos

Haciendo uso de esta variable se selecciona entre 4 casos posibles, de acuerdo con el valor previamente asignado a la variable, para los cuales se tiene una función independiente con la cual se envía la señal correspondiente hacia los motores, tal que se tiene el código señalado en la Figura 4.20.

```

do{
  switch(flag){
    case 1: AccelerateForward(); break;
    case 2: AccelerateRight(); break;
    case 3: AccelerateLeft(); break;
    case 4: Decelerate(); break;
    default: flag=0;
  }
}while(flag!=0);

```

Figura 4.20 Código escrito para ejecutar el comando especificado

Donde cada función se encarga de generar el perfil de movimiento según el caso; para girar hacia la derecha, girar a la izquierda, avanzar de forma recta o frenar la señal. Para todos los casos el tiempo entre el inicio de la señal (Valor de cero) y el estado estable (Valor en que se mantendrá constante la señal) es el mismo, lo que hace diferentes a las funciones es la distinción de cuando alimentan a ambos motores, o solamente a alguno en particular. Estas diferencias se pueden observar en el código mostrado en las Figuras 4.21, 4.22, 4.23, 4.24.

```

void AccelerateForward(){
  for (i = 0; i < nf ; i++){
    f[i] = mn + temp * i;
    y1 = 1/(1 + exp(-a1*(f[i]-c1))); /* S-curve acceleration */
    y = (abs(y1))*sp;
    analogWrite(10,y);
    analogWrite(9,y);
  }
  flag=0;
}

```

Figura 4.21 Código escrito de la función para mover la silla de ruedas de forma recta

```

void AccelerateLeft(){
  analogWrite(10,0);
  for (i = 0; i < nf ; i++){
    f[i] = mn + temp * i;
    y1 = 1/(1 + exp(-a1*(f[i]-c1))); /* S-curve acceleration */
    y = (abs(y1))*sp;
    analogWrite(9,y);
  }
  flag=0;
}

```

Figura 4.22 Código escrito de la función para mover la silla de ruedas para girar a la izquierda

```

void AccelerateRight(){
  analogWrite(9,0);
  for (i = 0; i < nf ; i++){
    f[i] = mn + temp * i;
    y1 = 1/(1 + exp(-a1*(f[i]-c1))); /* S-curve acceleration */
    y = (abs(y1))*sp;
    analogWrite(10,y);
  }
  flg=0;
}

```

Figura 4.23 Código escrito de la función para mover la silla de ruedas para girar a la derecha

```

void Decelerate(){
  for (i = nf; i < n ; i++){
    f[i] = mn + temp * i;
    y1 = 1/(1 + exp(-a1*(f[i]-c1))); /* S-curve acceleration */
    y2 = 1/(1 + exp(-a2*(f[i]-c2))); /* S-curve deceleration */
    y = (abs(y1- y2))*sp;
    analogWrite(10,y);
    analogWrite(9,y);
  }
  flg=0;
}

```

Figura 4.24 Código escrito para detener el envío de señal de referencia a la alimentación de la silla de ruedas

La señal final entonces, es leída por los controladores que estarán directamente conectados a los motores. Y debido a que se mantiene el ultimo valor enviado, cuando se haga un arranque al final de la ejecución de la señal se mantiene el valor máximo enviado, mientras que para el caso del frenado se mantiene el valor de señal con valor cero.

Comenzando con los casos de estudio y siguiendo los parámetros expuestos en este, se llevaron a cabo una serie de pruebas para determinar por medio de experimentación las características del comportamiento de la silla de ruedas, donde de acuerdo con repetidos experimentos, se muestran los resultados explicados a continuación.

Dada la velocidad constante a la que se mueve la silla de ruedas se mide el tiempo que le toma llegar de un punto en específico a otro, para los cuales se conoce la distancia entre ellos, ejemplo de esto son las Figuras 4.25 y 4.26, donde se establecen los puntos A y B de los cuales se sabe existe una distancia 2.8 m.



Figura 4.25 Ejemplo de punto de referencia A y B para medición de velocidad

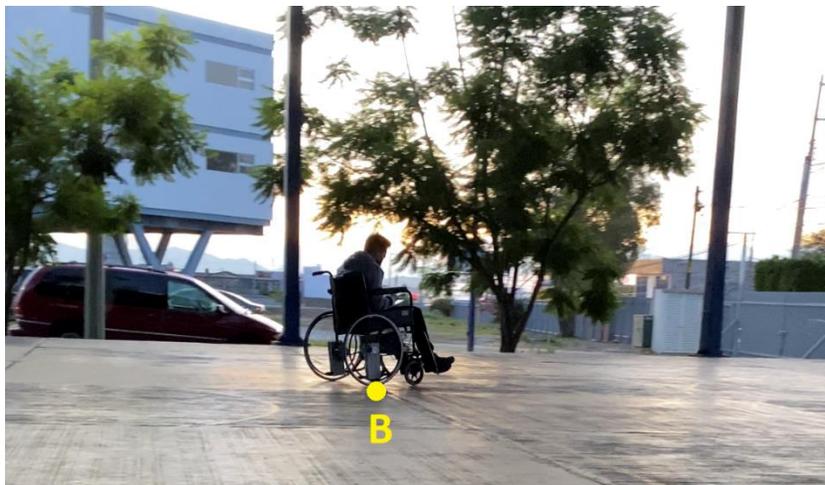


Figura 4.26 Ejemplo de punto de referencia B para medición de velocidad

Se mide que le toma un tiempo de 1.67 segundos a la silla para recorrer desde el punto A hasta el punto B. Entonces, con estos datos se calcula la velocidad promedio de la silla, tal que $t = 1.67 \text{ seg}$ y $d = 2.8 \text{ m}$

Por medio de la formula:

$$v = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Se obtiene que: $v = 1.6766 \frac{m}{s}$

Lo cual coincide con el aproximado de 6 km/h que se buscó, en base a que es la velocidad comúnmente utilizada en sillas de ruedas comerciales.

Adicionalmente, se conoce que el diámetro de las llantas utilizadas en la silla de ruedas es de 22.5”, y se toma la consideración de que es completamente rígida y no se deforma, por lo cual se calcula el radio sin modificaciones, y para la simplificación del modelo sin resistencia a la rodadura. $r = 0.28575 \text{ m}$

Con lo que se calcula la velocidad angular en estas cuando se lleva a cabo el desplazamiento, usando la ecuación

$$V = \omega * r \quad (2)$$

Se tiene $\omega = 5.83377 \text{ rad/s}$ Continuando con el análisis, se mide la aceleración que se presenta cuando se pasa del estado de reposo al movimiento a velocidad constante, donde con un acelerómetro se obtiene esta información (Figura 4.27).

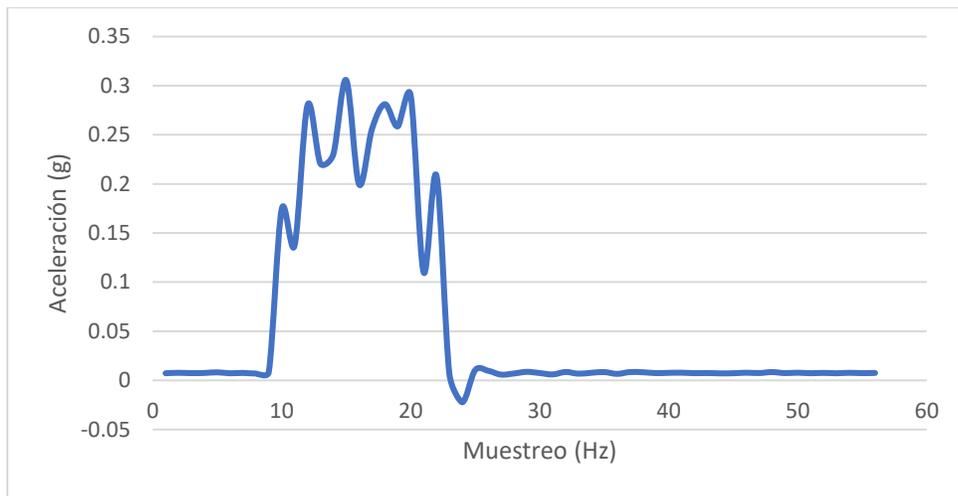


Figura 4.27 Ejemplo de obtención de datos con acelerómetro del despegue de la silla de ruedas.

Para la interpretación de los datos sobre la aceleración de la silla de ruedas, se debe considerar que son registrados con una frecuencia de muestreo de 20 Hz, y la magnitud de esta señal está dada en g (o su equivalente 9.81 m/s^2), y ocurre durante aproximadamente 0.65 segundos, por lo que, en base a las gráficas analizadas, se determina que la aceleración promedio que tiene la silla de ruedas para moverse tiene un valor de $a = 0.22703546 \text{ g}$ Es decir: $a = 2.22721788 \text{ m/s}^2$

Este valor es de importancia debido a que es utilizado para calcular la fuerza con la que se mueve la silla de ruedas, siguiendo la segunda ley de Newton, donde

$$F = m * a \quad (3)$$

Entonces, sabiendo que la masa que se mueve es de 110 kg (36.5 kg de la silla y 73.5 kg del usuario), la fuerza calculada es la siguiente $F = 244.993967 \text{ N}$

Así mismo nos permite calcular el torque requerido para mover la silla de ruedas, donde se utiliza la ecuación:

$$\tau = F * r \quad (4)$$

Siendo que ya conocemos los valores necesarios (fuerza y radio en la llanta), se obtiene $\tau = 70.0070259 \text{ N} * m$

Finalmente, se lleva a cabo el cálculo de la potencia utilizando la expresión

$$P = \tau * \omega \quad (5)$$

Teniendo como resultado que la potencia tiene un valor de $P = 408.40488 \text{ W}$. Este valor calculado nos permite saber la potencia que necesitarán brindar los motores eléctricos para poder mover la silla de ruedas durante su uso, tal que de los dos motores existentes se aportara 204.20288 W por cada uno, así como también saber la corriente que consumirán de las baterías, permitiéndonos tener un estimado del tiempo que podrá ser utilizada antes de tener que volver a cargar las baterías. La corriente presente en el circuito se evalúa considerando la expresión $I = P/V$, para el valor de potencia que es requerido, y el voltaje con que se alimentan a los motores (24 V), sea entonces $I = 17 \text{ A}$

La corriente que circulara por los motores cuando sean accionados, y sabiendo que el arreglo de baterías con el que cuenta la silla de ruedas es de 14 Ah a 24 V, se puede decir que se tiene una autonomía en las baterías de aproximadamente 49 minutos para su uso.

Teniendo presente lo descrito anteriormente, se resaltan los siguientes datos en la Tabla 4.3 como información de interés para el proyecto, en base a los resultados.

Tabla 4.1 Ejemplo de resultados para el caso estudiado

Especificaciones técnicas de la silla de ruedas	
Velocidad de desplazamiento	1.67 m/s
Autonomía	49 minutos

*Los datos mostrados en la Tabla 4.3 dependen de los parámetros considerados, tal como peso del usuario o un camino sin pendiente, si se quiere conservar esa velocidad.

Mientras se necesite cambiar alguno de los parámetros establecidos, los resultados variarían según qué tan significativo sea el cambio, por ejemplo, de forma teórica, y siguiendo las ecuaciones presentadas en esta sección, se determina como peso máximo de usuario 98 kg, en tanto se pretenda mantener la velocidad especificada de 1.67 m/s, lo cual tiene como consecuencia una reducción en la autonomía a un estimado de 40 minutos, además de mencionar que los motores estarían trabajando en su valor máximo de potencia (250 W cada uno).

Continuando con el caso estudiado, y, para destacar la funcionalidad de la silla de ruedas, se presenta un ejemplo en el que esta es conducida por un área específica para sillas de ruedas (Figura 4.28), donde existen pendientes de 5 %, este porcentaje es estimado con las dimensiones horizontales y verticales en la pendiente, es decir, la inclinación resulta de la relación en porcentaje entre la distancia horizontal a lo largo de la pendiente y la altura vertical desde la base de la pendiente hasta el punto más alto de esta, teniendo en cuenta que por norma las pendientes de las rampas para sillas de ruedas se deben construir con una pendiente de 6 % (Secretaría de salud, 2013).



Figura 4.28 Rampa para sillas de ruedas utilizada para pruebas de funcionamiento

Las pruebas realizadas en este espacio tuvieron como objetivo contrastar el comportamiento de la silla de ruedas en comparación a cuando se movía por superficies sin ningún tipo de inclinación, esta diferencia resalta especialmente al considerar que, en el caso de la pendiente, los motores requerían de un mayor esfuerzo para moverse, la solución para esto es entonces, incrementar la potencia requerida por estos. La visualización de la prueba mencionada se observa en la Figura 4.29.



Figura 4.29 Ejemplo de prueba de recorrido de la silla de ruedas por una rampa con pendiente dentro de la norma

El modo de uso, por parte del usuario también juega un papel de relevancia, pues tal como se describió existen dos formas de controlar la silla de ruedas, por medio de los botones en la interfaz de la aplicación, o por medio de los comandos de voz, para ambos casos se lleva a cabo según lo establecido, donde la interacción del usuario con la aplicación móvil brinda la versatilidad necesaria para facilitar su uso, y adaptarse a la simpleza de la manipulación de los comandos, esto se puede observar en la Figura 4.30.



Figura 4.30 Fotografía ilustrativa de cómo es utilizada la silla de ruedas por medio de la aplicación móvil

En este contexto, la implementación de los comandos por voz resulto un aporte significativo y útil, que, como parte de su funcionalidad, se volvió una opción acertada, al dar paso a una alternativa de uso para un usuario en específico.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se desarrolló la instrumentación y control de una silla de ruedas eléctrica con comunicación verbal, después de realizar la integración de los componentes se tiene prueba que son los adecuados para la aplicación que se les da, debido a que tienen la capacidad para realizar la tarea solicitada, así como en el caso de la manipulación de la señal de control, donde esta es funcional y cumple con el objetivo para el cual fue desarrollada. Sin embargo, también se observaron aspectos del proyecto donde se destacan áreas de oportunidad en el sistema implementado, que si bien no obstaculizan ni complican el funcionamiento, si dan espacio para buscar su optimización, tanto para la programación propuesta, como para los mismos métodos de procesamiento que se utilizan.

Aunque también, de acuerdo con la sencillez en el sistema realizado, se resalta la facilidad con la que puede llegar a replicarse en todos sus componentes, y funcionalidad, así como en la apertura existente para adecuar más elementos y modificar el modo de uso según la necesidad que el usuario pueda requerir, adaptando el proyecto a sus necesidades.

Se destaca también lo fácil que es utilizar la silla de ruedas para el usuario, donde la interfaz realizada en la aplicación móvil permite de forma intuitiva utilizar los comandos disponibles. Otro punto para resaltar es que, debido a la conversión realizada, utilizando como base una silla de ruedas común, está ya tiene las dimensiones adecuadas y reguladas para una silla de ruedas, pues las modificaciones requeridas no modifican su geometría y dimensiones, por lo cual incluso su aspecto no cambia, solo se agregan los componentes. La única ventaja que se pierde es la capacidad para volver más compacta la silla de ruedas, pues ya no es posible transportarla de forma plegada, además de que su peso se ve incrementado debido a los componentes adicionales.

Un aspecto relevante que se menciona también, es que, a pesar de que los motores están directamente conectados a las llantas, esto no compromete significativamente la capacidad para utilizar la silla de ruedas sin tener que energizar los motores, ya que si bien si tienen una resistencia para el libre movimiento de la llanta, esta no es suficiente como para complicar u obstaculizar el movimiento, y el usuario puede moverse impulsándose a sí mismo con sus brazos como se hace normalmente en una silla de ruedas común. La oposición que se tiene del motor es apenas

diferenciable con respecto a una misma llanta que no tenga motores acoplados a estas. Por lo cual no se compromete su uso cuando se decide utilizar la silla de ruedas como una manual, en lugar de eléctrica.

5.1 Prospectivas

En general, todo el proyecto se desempeña tal como se espera, sin embargo, la implementación de esta evidencia aspectos para los cuales es posible optimizar su aportación o cambiar su principio de funcionamiento, buscando mejorar la calidad del trabajo, por lo cual se mencionan aspectos en los que podría valer la pena trabajar:

Las llantas, si bien se conservan las llantas originales con las que se adquirió la silla de ruedas, después de las adaptaciones y cambios que se realizan en esta, se considera que pueden volverse deficientes, debido a que se incrementó el peso que deben soportar, y al considerar que son rines de aluminio, una sobre carga podría inducir a un fallo en estos al momento de ser utilizada, o con la cantidad ciclos de uso a la que se someta. Así como considerar que las llantas son de hule macizo, lisas, con lo que se preferiría modificarse a un tipo de llanta diferente que permita un mayor agarre sobre diferentes superficies.

También se hace mención de las llantas libres que tiene la silla de ruedas, estas no dan propulsión al movimiento de la silla de ruedas como el caso de las llantas ya mencionadas, sin embargo también son de hule macizo, y a pesar de tener un diámetro mucho menor, participan en el comportamiento de la silla de ruedas de una manera más significativa a la que se pudo esperar, pues pueden cambiar de dirección libremente, y aunque los giros y rotaciones se llevan a cabo por medio de las llantas propulsoras, estas llantas adicionales se convierten en una resistencia al movimiento cuando no están alineadas con la dirección de desplazamiento, lo cual provoca un mayor esfuerzo en los motores. Por ello se buscaría una manera de evitar esta limitación, tal vez restringiendo la libertad de su cambio de dirección.

Las baterías, para mejorar la autonomía de la silla de ruedas se propone la utilización de baterías basadas en otro tipo de tecnología, donde se incremente su capacidad para alimentar al sistema, e incluso esperando reducir el peso que aportan a todo el sistema. Además, implementar un indicador de nivel de carga, para que el usuario pueda visualizar el momento en que sea

necesario volver a cargar las baterías, y no suceda que se queda sin energía cuando sea necesaria. Adicionalmente, adaptar algún arnés o arreglo en las conexiones, para que el momento de realizar la carga de las baterías, estas se conecten directamente, y no sea necesario desconectar el circuito ya armado o aislar las baterías para poder cargarlas.

Los componentes electrónicos, proteger los componentes para evitar que se dañen o se desconecten así mismos con las vibraciones inducidas con el movimiento de la silla de ruedas, o incluso para un caso en que pueda mojarse y dañarse a causa de esto, también incorporando un fusible para proteger los componentes electrónicos de un posible pico de corriente generado por los motores.

El microprocesador, si se busca un procesamiento de la información con una respuesta más rápida, se puede cambiar la tarjeta Arduino UNO utilizada, por otra plataforma que permita el manejo de la información en un menor tiempo.

El control, este se lleva a cabo sin ningún tipo de retroalimentación por parte de los motores, lo cual complica la precisión del control, dejándolo completamente a la habilidad del usuario y las decisiones que este tome al momento de ejecutar los comandos establecidos, por lo cual es deseable buscar que el sistema mismo sea el encargado de censar el comportamiento en los motores y realizar los ajustes necesarios para tener un desempeño más preciso, rápido y automático al momento de controlar el comportamiento de la silla de ruedas.

Los comandos por voz, una posible desventaja que se puede tener es que debido a que el reconocimiento de las palabras se hace con ayuda del servidor de Google, es necesaria la conexión a internet para utilizar esta función, por lo tanto, no depender de la accesibilidad a internet para utilizarlo sería una mejor opción.

6 REFERENCIAS

Basurto, M. A. P., & Espín, J. M. C. (2010). *Introducción a la programación en C* (Vol. 42). Univ. Politèc. de Catalunya.

Bisdikian, C. (2001). An overview of the Bluetooth wireless technology. *IEEE Communications Magazine*, 39(12), 86–94. doi:10.1109/35.968817

Castanier Muñoz, D. M., & Mendía Idrovo, E. V. (2018). *Diseño, construcción e implementación de una silla de ruedas eléctrica plegable para una persona con problemas de movilidad* (Bachelor's thesis).

Castillo Cruz G. (Sin publicar), *Análisis estructural y adaptación mecánica para una silla de ruedas eléctrica*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro.

Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas*. Mc Graw Hill. Quinta edición.

de Alba Padilla, C. A. (2017). *Estudio y fabricación de una batería ácido plomo*. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.

EKO-MOBILITY (2020), *Silla de ruedas 18" fija*.
<https://eko-mobility.com.mx/producto/silla-de-ruedas-18-fija/>

Giraldo Buitrago, D., & Giraldo Suárez, E. (2009). *Teoría de control análogo*.

Gonzabay Jiménez, E. F. (2019). *Diseño de un sistema VR en una silla de ruedas para personas con limitaciones en sus piernas* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería en Teleinformática.).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática INEGI (2020), *Censo de población y vivienda 2020*.

Jimbo Tacuri, J. E. (2015). *Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas Brushless con 1000 Watts de potencia* (Bachelor's thesis).

Kernighan, B. W., & Ritchie, D. M. (1991). El lenguaje de programación C. Editorial Pearson Educación.

Kovacs, F., Seco, J., Royuela, A. et al. Prevalence and factors associated with a higher risk of neck and back pain among permanent wheelchair users: a cross-sectional study. *Spinal Cord* 56, 392–405 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41393-017-0029-z>

Laura Toribio (2020). Sufren discapacidad y falta de infraestructura escolar Excelsior. [Sufren discapacidad y falta de infraestructura escolar \(excelsior.com.mx\)](https://www.excelsior.com.mx)

Lewin, C. (2007). Mathematics of motion control profiles. URL: <https://www.pmdcorp.com/resources/type/articles/get/mathematics-of-motion-controlprofiles-article> (7.11. 2019.).

Microsoft. (Sin fecha de publicación). Introducción a la programación por bloques: Code Builder y Microsoft MakeCode - Global Inclusive Education.

Mora Patiño, J. E., & Salazar Tabares, D. F. (2014). Diseño e implementación de sistema de propulsión y control para silla de ruedas.

Peña, C. (2020). Arduino IDE: Domina la programación y controla la placa. RedUsers.

Samuels, I. (1869). Velocipede. Patent No. 87205. EE. UU.

Secretaria de salud. (2013). NORMA Oficial Mexicana NOM-030-SSA3-2013, https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5313974&fecha=12/09/2013#gsc.tab=0

Tambaco Suarez, O. G. (2017). Construcción de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación (Bachelor's thesis).

Valdés Bueno, L. M. (2014). Diseño de una silla escolar para niños con parálisis cerebral (Doctoral dissertation).

Véliz Alarcón, O. R. (2020). Prototipo de diadema biónica para personas parapléjicas en una silla de ruedas escala (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería en Teleinformática.).