



Título de la propuesta

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO
ELÉCTRICO BASADO EN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CON
ALMACENAMIENTO DE CARGA Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA RESPECTO A OTROS TIPOS DE ENERGÍA CONVENCIONALES
UTILIZADAS EN AUTOMÓVILES**

Proponentes

**IVAN CAMILO VEGA HERNÁNDEZ
KAREN GISED SUTHERLAND SARMIENTO**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
BARRANCABERMEJA**

FECHA DE PRESENTACIÓN: 19-05-2020

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Título de la propuesta

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO
ELÉCTRICO BASADO EN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CON
ALMACENAMIENTO DE CARGA Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA RESPECTO A OTROS TIPOS DE ENERGÍA CONVENCIONALES
UTILIZADAS EN AUTOMÓVILES**

Proponentes

**IVAN CAMILO VEGA HERNÁNDEZ
KAREN GISED SUTHERLAND SARMIENTO**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
TECNÓLOGO EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO**

Director

FREDY ALBERTO ROJAS ESPINOZA

Codirector

LUIS OMAR SARMIENTO ÁLVAREZ

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
BARRANCABERMEJA**

FECHA DE PRESENTACIÓN: 19-05-2020

Nota de Aceptación

APROBADO



Firma del jurado



Firma del Jurado

Barrancabermeja, 19 de mayo de 2020

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestros hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros docentes de la institución Unidades Tecnológicas de Santander Sede Barrancabermeja por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Ingeniero Fredy Alberto Rojas Espinoza tutor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, y a los habitantes de la comunidad de Barrancabermeja por su valioso aporte para nuestra investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	14
1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO	15
1.1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES.....	18
1.4.1. Investigaciones Internacionales.....	18
1.4.2. Investigaciones Nacionales	20
1.4.3. Investigaciones Locales.....	22
2. MARCOS REFERENCIALES.....	24
2.1. MARCO TEORICO	24
2.1.1. Energía solar y su aplicación en vehículos	24
2.1.2. Características de diseño que constituyen a un vehículo eléctrico solar ..	26
2.1.3. El efecto fotovoltaico.....	29
2.2. MARCO HISTORICO.....	31
2.2.1. Historia de los vehículos eléctricos.....	31
2.2.2. Historia de la celda fotovoltaica	33
2.3. MARCO LEGAL	34
2.3.1. Regulación energética	34

2.3.2. Leyes de Incentivación Económica y Tributaria	36
2.4. MARCO CONCEPTUAL	37
2.4.1. Energías renovables	37
2.4.2. Energía solar.....	37
2.4.3. Energía solar fotovoltaica	39
2.4.4. Paneles solares	40
2.4.5. Paneles solares fotovoltaicos.....	41
2.4.6. Celdas fotovoltaicas.....	42
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	43
3.1. DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR-FOTOVOLTAICO CON ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	43
3.1.1. Característica de celdas fotovoltaicas y funcionamiento.....	43
3.1.2. Metodologías de selección, tipos de arreglos de celdas fotovoltaicas y eficiencia energética	44
3.1.3. Topología de conexión y de alimentación del motor eléctrico del vehículo..	48
3.2. INGENIERÍA DE COMPONENTES Y MODELO DEL PROTOTIPO DE VEHICULO.....	55
3.2.1. Elementos de diseño y los materiales requeridos para elaborar el prototipo	55
3.2.2. Modelado del vehículo eléctrico mediante la herramienta de software SolidWorks.....	59
3.3. PROTOTIPO DE VEHÍCULO ELECTRICO	66
3.3.1. Diseño del prototipo de vehículo a escala.....	67
3.4. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROTOTIPO.....	74
3.4.1. Antecedentes de vehículos solares fotovoltaicos.....	74

4.	RESULTADOS.....	79
4.1.	MODELADO DEL SISTEMA MEDIANTE LA HERRAMIENTA DE SOFTWARE SOLIDWOKS E INGENIERÍA DE DETALLE	79
4.2.	PUESTA EN MARCHA Y PRUEBA DEL VEHICULO	80
5.	CONCLUSIONES	87
6.	RECOMENDACIONES	89
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
8.	ANEXOS	94

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Vehículo eléctrico de Thomas Alva Edison.....	32
Figura 2. Paneles solares fotovoltaicos	40
Figura 3. Efecto de absorción	44
Figura 4. Celda de silicio mono cristalino.....	45
Figura 5. Celda poli cristalina.....	47
Figura 6. Motor Imán Permanente con Núcleo de Hierro.....	49
Figura 7. Motor de devanado Superficial	50
Figura 8. Motor de Bobina Móvil	51
Figura 9. Esquema de Control por Cuadrantes para Motor DC	52
Figura 10. Señal de Control por PWM para un Motor DC.....	53
Figura 11. Esquema en bloques de un Motor DC de imán permanente	54
Figura 12. Esquema puente H	56
Figura 13. Circuito eléctrico del prototipo.....	57
Figura 14. Ensamble de rueda loca	60
Figura 15. Ensamble Moto Reductor – Rueda.....	61
Figura 16. Separadores del vehículo	62
Figura 17. Soporte para Arduino.....	63
Figura 18. Soporte para L298N.....	64
Figura 19. Soporte para paneles solares	65
Figura 20. Ensamblado del vehículo.....	65
Figura 21. Base del vehículo y del panel solar.....	67
Figura 22. Componentes electrónicos Arduino y Bluetooth	69
Figura 23. Montaje de componentes electrónicos y estructurales	70

Figura 24. Panel solar Power Bank.....	72
Figura 25. Corriente-tensión	76
Figura 26. Corriente- voltaje- potencia.....	77
Figura 27. Pruebas de funcionalidad del APK en el celular	81
Figura 28. APK realizada en MIT APP NVENTOR	82
Figura 29. Verificación de las conexiones de los motores	84
Figura 30. Verificación de conexión del panel de alimentación.....	84
Figura 31. Verificación de la carga del panel	85

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características celda Mono cristalino.....	46
Tabla 2. Características celda Poli cristalino.....	48

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Programación Arduino.....	94
Anexo B. Programación celular.....	98

RESUMEN EJECUTIVO

Teniendo en cuenta que las energías alternativas se encuentran actualmente en auge, es imprescindible que desde la academia se empiece a tomar en cuenta el tema, para ser tratados de forma adecuada en la búsqueda de soluciones a las problemáticas modernas que se presentan en la actualidad, tal como la contaminación ambiental y el alto grado de uso de recursos no renovables como el petróleo, además claro está, de la explosión demográfica, que trae consigo el requerimiento de más y más automóviles cada día.

La importancia de la presente investigación, se centra en buscar la alternativa ideal para la creación de un prototipo de vehículo a escala, que sea alimentado enteramente por energía solar, haciendo uso de celdas fotovoltaicas, con el fin de determinar qué tan eficiente puede resultar el tipo de tecnologías aplicada en vehículos estándar. Adicionalmente, se busca determinar el impacto económico y técnico que genera, pues es importante conocer los costos y facilidad de aplicación, en relación con los modelos convencionales que usan gasolina para el desplazamiento.

Para el cumplimiento de los objetivos, se ha trazado una metodología descriptiva, por medio de la cual, se busca conocer e identificar los aspectos más relevantes del tipo de tecnología y la forma de aplicarla al modelo que se desea llevar a cabo, teniendo en cuenta los parámetros de eficiencia energética, disponibilidad técnica de los recursos y costos de implementación, con lo cual, se podrá dar una idea clara del potencial del tipo de aplicaciones a nivel general.

Palabras clave: Celda Solar, Energía Solar, Electricidad, Fotovoltaica, Vehículo.

INTRODUCCION

El presente proyecto de diseño e implementación de un prototipo de vehículo eléctrico basado en un sistema solar fotovoltaico, se desarrolló con la finalidad de dar a conocer una propuesta diferente sobre la obtención de energías alternativas no perjudiciales para el medio ambiente en el ámbito automotriz y en el medio ecológico, ya que no utiliza combustibles fósiles como energía para la movilidad del prototipo si no energía renovable como lo es la energía solar.

En la propuesta del proyecto se consideró importante y de gran utilidad el uso de energía solar mediante paneles fotovoltaicos, ya que en la actualidad este tipo de energía se está convirtiendo en una gran alternativa para diferentes usos, es una energía no contaminante para el medio ambiente y se la encuentra a disposición todo el día mientras los rayos del sol se encuentren permanentes. Este tipo de vehículos puede ser beneficioso para la humanidad debido a que no genera polución en el medio ambiente por el mismo hecho de utilizar energía renovable y ayudar a disminuir el daño constante al planeta por la contaminación.

Aunque eventualmente, si se entiende un automóvil solar como aquel vehículo que es impulsado únicamente por celdas fotovoltaicas, la viabilidad de los mismos aún se encuentra en entredicho, ya que con la tecnología actual no son nada prácticos, son excesivamente caros, complicados, frágiles y aún en el caso de que se logró obtener celdas solares con 100% de eficiencia, la energía que podría captar un vehículo de tamaño regular sería muy poca para cubrir las necesidades de transporte actuales, además de que la luz solar no siempre está presente.

1. DESCRIPCIÓN DELA PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO

1.1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

En la actualidad, es evidente que fenómenos como el calentamiento global, los gases de efecto invernadero y el crecimiento constante y acelerado de la población mundial, han generado un proceso de contaminación paulatino del medio ambiente, que, de no tomarse las medidas adecuadas, puede llegar a generar problemas aún mayores, de los que ya se evidencian en muchas partes del mundo, como en el caso de los polos, en donde se derriten constantemente los glaciales (Revista Semana, 2017).

A medida que la población mundial crece, también lo hacen la industrialización y la demanda de energía, lo que hace que se lleven al límite los recursos disponibles, algunos no renovables como el petróleo y otros que generan grandes impactos medio ambientales como las hidroeléctricas. Como consecuencia, los gobiernos de todo el mundo apuestan por la implementación de energías alternativas, que puedan solventar las necesidades energéticas, a la vez que se disminuye el impacto ambiental generado y la contaminación producto del uso (La Republica, 2019).

Es indiscutible la importancia de los combustibles fósiles y los derivados del petróleo en el progreso y avance de la humanidad, sin embargo, es imprescindible la búsqueda de alternativas para suplir la demanda energética de vehículos, puesto que ser millones los que circulan a diario en todas las calles del mundo, el impacto ecológico negativo generado es sumamente elevado. Es así, como con la

búsqueda de alternativas energéticas, para suplir la necesidad de transporte se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿Bajo qué criterios de diseño es posible implementar un prototipo de vehículo eléctrico basado en un sistema solar fotovoltaico con almacenamiento de carga, que permita el análisis de la eficiencia energética respecto a otros tipos de energía convencionales utilizadas en automóviles?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los vehículos eléctricos han tenido un auge debido a la introducción de ideologías que se enfocan a la conservación del medio ambiente. Las limitaciones por altos costos de los métodos de energización del vehículo, con el paso del tiempo se ha ido mejorando la electrónica que está enfocada a manejar la energía usada por un vehículo eléctrico. A su vez, la demanda de vehículos con un menor consumo de combustible y una menor emisión de contaminantes, permite el estudio de nuevos enfoques y desarrollos en cuanto a la generación de energía mediante el uso de nuevas fuentes.

Un auto alimentado por energía solar puede usarse cuando exista radiación solar, a menos que posea un sistema que permita la generación de energía y el posterior almacenamiento para ser usada por el vehículo en horas donde la radiación solar es mínima o inexistente. El desarrollar proyectos que permitan el uso adecuado de las nuevas fuentes de energía da la apertura para que el presente proyecto sea viable.

Además, el generar el tipo de investigaciones, ayuda en el crecimiento personal y profesional que como estudiantes de Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico proporciona, sino que también, abona el camino para que futuros proyectos llevados a cabo en las Unidades Tecnológicas de Santander, sean de beneficio para la región y la población en general.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de vehículo eléctrico basado en un sistema de alimentación fotovoltaica para realizar un análisis de la eficiencia energética respecto a otros tipos de energía convencionales utilizadas en automóviles.

1.3.2. Objetivos específicos

Diseñar un sistema solar-fotovoltaico con almacenamiento de energía, con el propósito de ofrecer el requerimiento energético necesario para el prototipo de vehículo eléctrico mediante panel solar y acumulador de energía.

Realizar el análisis y selección de los componentes, teniendo en cuenta las características técnicas y de diseño que mejor se adapten al prototipo de vehículo eléctrico por medio de la ingeniería de detalle y modelar el sistema mediante la herramienta de software solidwoks.

Implementar un prototipo de vehículo eléctrico a escala con el fin de demostrar el funcionamiento del sistema aplicando los conceptos asociados de la energía solar

fotovoltaica, teniendo en cuenta las especificaciones y características técnicas que mejor se adecuen al sistema.

Determinar la eficiencia energética, la viabilidad técnica y económica del prototipo, para evaluar la factibilidad de implementación de este tipo de sistemas mediante el análisis de las variables, y su respectiva comparación con los vehículos estándar.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

1.4.1. Investigaciones Internacionales

A nivel Internacional se encontraron algunos trabajos de investigación y tesis de grado:

1.4.1.1. Diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico monoplaza alimentado por energía solar mediante paneles solares

A nivel internacional, se encontró el proyecto titulado “Diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico monoplaza alimentado por energía solar mediante paneles solares”. El proyecto de diseño y fabricación de un prototipo de vehículo eléctrico monoplaza energizado por energía solar mediante paneles solares con estructura de bambú se llevó a cabo para el desarrollo de nuevas tecnologías y sistemas de combustibles renovables en el ámbito automotriz. El prototipo solar fue impulsado por un motor eléctrico brushless de 1000 Watts de potencia, 48 V, 12 A. El cual estuvo alimentado por energía alternativa solar por medio de paneles solares fotovoltaicos Exmork de 50 Watts 12 V, 3 A, que fueron expuestos al sol en la superficie del prototipo (Dávila, 2016).

Los paneles solares transformaron las radiaciones solares en electricidad, la electricidad fue enviada por los paneles solares hacia el pack de batería de Ion-Litio de 48 V, 12 Ah para el uso. El pasó y acumulación de electricidad fue posible por un sistema de alimentación tanto de forma normal de carga por enchufe de corriente de 110 V, como de carga continua por parte de los paneles solares, dichos sistemas estaban conectados a un sistema eléctrico que permitía el correcto funcionamiento del prototipo, el sistema de paneles solares cargo continuamente la batería al ser expuesto a la presencia de luz solar, mientras que el sistema de carga común se realizaba por medio de un enchufe (Dávila, 2016).

A diferencia de otros vehículos eléctricos el prototipo fue construido con bambú por las propiedades mecánicas y físicas con las que cuenta el material como el módulo de compresión de 4.18 N/mm², Tensión 18 N/mm², Modulo Cortante 1.1 N/mm² y Peso específico 790 Kg/m³ el material hizo posible que el prototipo VSB sea liviano y resista deformaciones y tensiones. La autonomía del prototipo VSB fue de 27 a 36 km a 20 km/h en un tiempo de 2h35 min y 3h54 min respectivamente. El prototipo tuvo una mayor autonomía, rendimiento y movilidad al realizarle diferentes cambios tanto en el sistema de transmisión como en el sistema de frenos y en todo el aspecto, facilitando estabilidad, comodidad y manejo (Dávila, 2016).

1.4.1.2. Propuesta del prototipo de un vehículo eléctrico sustentable

El estudio trata de un vehículo eléctrico alimentado por medio de celdas solares, para lo cual se tienen que tocar los temas esenciales como es la generación eléctrica por medio de celdas solares, así como el almacenamiento y eficiencia;

sin dejar a un lado los tipos de motores de corriente alterna (C.A.), que puedan ayudar al funcionamiento adecuado del vehículo, formando un vínculo entre celdas solares, baterías y el motor (Ramos & Soto, 2013).

Para poder realizar la unión de las partes es necesario la aplicación de un controlador para que pueda funcionar en todo momento sin ningún tipo de combustible, respaldado por una batería, un auto regenerador y una segunda forma de alimentación por medio de estaciones de carga rápida; siendo las partes esenciales de la que se trata. Se realizó a lo largo del trabajo los cálculos y aditamentos adecuados, para que se lleguen a aplicar en un proyecto en la producción futura de los prototipos de Vehículos Eléctricos (Ramos & Soto, 2013).

1.4.2. Investigaciones Nacionales

1.4.2.1. Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar

En cuanto a proyectos nacionales, se investigó el proyecto titulado *“Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar”*. Tratándose del automóvil la palabra diseño puede estar dada en función de la apariencia externa; pero también los elementos que lo constituyen son diseñados, no por artistas sino por ingenieros, aunque en algunos casos tenga oportunidad de mostrar algo de capacidad artística. Por tanto, el diseño de un automóvil alimentado por energía solar consiste en definir y calcular movimientos, fuerzas y cambios de energía a fin de determinar el tamaño, las formas y los materiales necesarios para cada uno de los componentes interrelacionados del vehículo y así plantear procesos tecnológicos de fabricación apropiados que permitan llegar a la construcción de la

máquina logrando que cumpla, sin falla, la función pretendida (Carreño, Vacca, & Lugo, 2011).

El diseño y construcción de un auto eléctrico alimentado por energía solar responde a numerosas necesidades y dificultades presentes en muchas de las ciudades del mundo, y ofrece soluciones al congestionado tráfico que presentan las principales vías vehiculares, a la creciente contaminación ambiental y a las agotables fuentes de energía fósiles. Además de servir como plataforma tecnológica para el desarrollo de nuevos sistemas, conjuntos y mecanismos que permiten el desarrollo de autos eléctricos solares en Colombia, que hasta el momento es una tecnología nula en el país (Carreño, Vacca, & Lugo, 2011).

La importancia del presente proyecto está dada en la ejecución de diferentes áreas y disciplinas de trabajo. La construcción de un automóvil requiere de la aplicación de la mayoría de los conocimientos mecánicos ingenieriles; la concepción de un sistema eléctrico de propulsión solicita la ampliación del conocimiento en áreas específicas de la electrónica y la electricidad y la aplicación de la energía solar, como fuente de alimentación del sistema propulsor, concibe la aplicación y empleo de los últimos estudios en los que está puesto el interés de los investigadores y científicos en la actualidad, para la adaptación en automóviles y para la implantación en cada uno de los requerimientos del hombre social. Además de la utilización de software de diseño mecánico y análisis por elementos finitos de última tecnología (Carreño, Vacca, & Lugo, 2011).

1.4.2.2. Diseño e implementación de un prototipo de vehículo solar con almacenamiento de energía

En la presente investigación se realizó el diseño, la construcción, implementación las pruebas de un vehículo alimentado por energía solar, que contiene un sistema de almacenamiento de energía para la alimentación de dos motores para producir el movimiento de una estructura por un tiempo determinado, teniendo en cuenta la incidencia de la luz solar y la carga y descarga de la batería que será el suministro de energía para la estructura (Arévalo, Ortiz, Gama, Ramos, & Duque, 2013).

Inicialmente se hizo el diseño del componente eléctrico del vehículo teniendo como parámetros prioritarios: el voltaje, corriente, tiempo de carga y descarga de la batería, dependiendo de la carga colocada los motores y muchos otros factores que pueden incidir en el funcionamiento del vehículo, teniendo presente la construcción del componente mecánico, las dimensiones y peso adecuado para el buen funcionamiento del vehículo. Por último, se realizó la implementación pruebas del carro, determinando su efectividad y los tiempos de funcionamiento (Arévalo, Ortiz, Gama, Ramos, & Duque, 2013).

1.4.3. Investigaciones Locales

En cuanto a proyectos relacionados con energía solar fotovoltaica, realizados en el municipio de Barrancabermeja, se consultó el proyecto titulado *“Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela Campo 45 del corregimiento el Centro del municipio de Barrancabermeja”*, para lo cual, se realizó

una búsqueda exhaustiva de los parámetros climatológicos, un predimensionamiento del sistema en espacio físico libre de instalación, así como, un análisis de costo aproximado para su ejecución (Montañez, Vargas, & Trujillo, 2015).

Para un mejor acercamiento, se obtuvo de dicho análisis que en la zona se pueden obtener un promedio mensual de 155 kWh/m², lo que permitiría un aprovechamiento adecuado de energía eléctrica en la escuela si se colocan aproximadamente 5 paneles solares que soporten la demanda de energía eléctrica mensual aproximada de 649 kWh/mes; de igual forma, se realizó una revisión de sistemas a utilizar con paneles que permite ver las diferentes características que pueden ser necesarias a la hora de un buen funcionamiento del sistema, además, se propone un seguimiento en el mantenimiento, teniendo en cuenta las condiciones del lugar (Montañez, Vargas, & Trujillo, 2015).

Del presente proyecto se puede concluir que en la escuela o en la zona de influencia directa, es factible realizar un diseño y una implementación de un sistema solar fotovoltaico que permita el abastecimiento de la necesidad energética de la población (Montañez, Vargas, & Trujillo, 2015).

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Energía solar y su aplicación en vehículos

La energía solar, es una de las energías renovables más importantes que existen, debido a que constituye prácticamente toda la energía que llega a la tierra. Su uso puede dividirse en dos rubros: el primero puede ser como fuente de calor de calor para sistemas solares térmicos y el segundo como fuente de electricidad para sistemas fotovoltaicos. El uso de la energía solar tiene en gran medida como objetivo el ahorrar energías no renovables sobre todo la energía fósil y la energía nuclear, además de amortiguar el impacto ambiental de estas. Alrededor del mundo se están implementando cada vez más, como sistemas de generación de energía eléctrica (Centro de Estudios de Energía Solar, 2001).

El uso del tipo de sistemas ya sea el solar-térmico o el fotovoltaico tiene un gran número de aplicaciones, en el primero se puede obtener el calentamiento de agua ya sea para uso doméstico o industrial o simplemente para dar calefacción a los hogares. El segundo sistema tiene una aplicación de mayor importancia que es el proveer de energía eléctrica, sus aplicaciones van desde la electrificación de una comunidad rural hasta el uso en un vehículo eléctrico.

La superficie solar se encuentra a una temperatura media de 5,000 °C, la energía liberada por el sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar. La radiación en el sol es de 63, 450,720 W/m². A la tierra solo llega un tercio de la energía total interceptada por la atmosfera del cual el 70% cae en el mar, aun así,

es miles de veces el consumo energético mundial. Existen tres tipos de radiación solar; la directa, difusa y albedo. La primera es la recibida desde el sol sin que se desvíe en la atmosfera, la segunda es la que sufre cambios en la dirección principalmente por la reflexión y difusión en la atmosfera, y la tercera es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies (Méndez & García, 2011).

Las proporciones de radiación directa y de albedo recibida por una superficie determinada dependen de tres factores: las condiciones meteorológicas, de la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal y de la presencia de superficies reflectantes. En función del lugar, además varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que, al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permita maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar (Fernández, 2010).

Para elaborar mapas de radiación solar, es común emplear métodos en su forma más difusa, aun cuando existen otros tipos de mediciones meteorológicas que se relacionan con la energía solar, siendo los datos de radiación la mejor fuente de información, sin embargo, en ausencia de estas se pueden emplear relaciones empíricas para estimar la radiación global a partir de las horas de insolación. Al emplear datos de insolación para obtener la radiación total, se estima la aproximación con un error dentro de un $\pm 10\%$ (Almanza & Muñoz, 1994).

Una expresión que permite calcular la constante solar para cada día del año es:

$$C = 1367[1 + 0.033 \cos (0.973N)]$$

La constante solar es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmosfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del sol y donde N es el número secuencial del día considerado. La radiación emitida por el sol, junto con sus condiciones geométricas respecto de la tierra, dan por resultado que, sobre la atmosfera terrestre incide una cantidad de radiación solar casi constante (Almanza & Muñoz, 1994).

2.1.2. Características de diseño que constituyen a un vehículo eléctrico solar

2.1.2.1. La carrocería autoportante

Una carrocería autoportante o monocasco integra en un único conjunto las funciones estructurales de resistencia y de la carrocería. El diseño se empezó a popularizar desde que en 1930 lo usara Citroën en sus vehículos, aunque su incorporación ha sido gradual, aplicándose inicialmente a turismos ligeros para llegar en la actualidad a incluirse en la práctica totalidad de los turismos, en numerosos vehículos industriales ligeros y en algunos todoterrenos. Se basa en el concepto de que todos los elementos del vehículo soporten las solicitaciones a las que está sometido (Ramos & Soto, 2013).

En los diseños modernos los vehículos se componen de diversos conjuntos o subchasis en los que se montan los diferentes mecanismos. El objetivo es minimizar problemas tales como ruidos o vibraciones al incluir elementos de conexión aislantes. Lo que se conoce como construcción semi integral y fue introducida hacia 1950 por Daimler-Benz en Alemania. En la práctica, la carrocería

o cuerpo de un turismo se construye mediante chapas conformadas que se unen por medio de soldadura por puntos o colas estructurales (pág. 6).

Los diferentes elementos resistentes que componen la carrocería suelen estar formados por cuerpos huecos, es decir, secciones cerradas de paredes delgadas, chapas y elementos de refuerzo que dotan al vehículo de las características mecánicas adecuadas. El conjunto deberá poseer una rigidez tal que asegure el correcto posicionamiento de todos los elementos que soporta, aun admitiendo que aparecerán deformaciones elásticas en el conjunto (pág. 6).

2.1.2.2. Chasis

El chasis o bastidor es el armazón sobre el que se montan y sujetan todos los mecanismos, soportando el peso de unos (motor, variador, baterías, etc.) y quedando otros colgados de él (suspensión y ruedas). La carrocería está unida al chasis y se destina al transporte de pasajeros y carga (pág. 7).

2.1.2.3. Componentes mecánicos

Son todos aquellos sistemas que requieren energía mecánica para su funcionamiento y que, en la mayoría de los casos, la trasladan o la transforman en otra clase de energía. En algunos de los casos no es necesario fabricar cada uno de los diferentes componentes mecánicos que conforman el proyecto, es preciso realizar un riguroso proceso de selección bajo criterios ingenieriles convenientes para cada cuestión en particular (pág. 8).

2.1.2.4. Sistema de dirección

La dirección permite controlar los movimientos del automóvil y es la encargada de trasladar a las ruedas, las maniobras que el conductor hace con las manos en el volante. Básicamente, existen tres tipos de dirección, según la unión existente entre la barra de dirección y las bielas que actúan sobre las ruedas. El sistema es aplicado a las ruedas delanteras (pág. 8).

2.1.2.5. Componentes eléctricos

Los componentes eléctricos son los equipos que requieren de electricidad para realizar una acción en otros dispositivos, mediante la conversión de energía o a sí misma.

2.1.2.6. Motor eléctrico

El motor eléctrico es el motor que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, por medio de la repulsión que presenta un objeto metálico cargado eléctricamente ante un imán permanente. Son máquinas eléctricas rotatorias. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, ya que pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras o en automóviles híbridos realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos (pág. 10).

Son muy utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así,

en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos. El motor eléctrico es el que se encarga de transformar la energía eléctrica que se encuentra almacenada en las baterías, en energía de tracción. Su acoplamiento con la rueda se hace de forma directa a través de un sistema diferencial (pág. 10).

Existen diferentes tipos de motores que podrían adaptarse perfectamente a las necesidades de un vehículo eléctrico entre los que están:

Corriente Continúa:

- Motor serie
- Motor c/c de excitación independiente

Corriente Alterna:

- Motor asíncrono (de inducción)
- Motor síncrono - De roto bobinado - De imanes permanentes (brushless)
- Motor de reluctancia conmutada

2.1.3. El efecto fotovoltaico

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto fotovoltaico. El objeto físico en el que este fenómeno tiene lugar es la célula solar, que no es otra cosa que un diodo con la característica esencial de tener una superficie muy amplia. Para analizar de forma más minuciosa el efecto fotovoltaico es necesario, por tanto, describir el funcionamiento del diodo (unión p-n). Además, ya que hasta

hoy el material más utilizado para la realización de las células solares es el silicio cristalino, se tomará en consideración el diodo de silicio (RES & RUE Dissemination, 2015).

El silicio tiene 14 electrones de los que 4 son de valencia, lo que quiere decir que se encuentran disponibles para unirse con electrones de valencia de otros átomos. En un cristal de silicio químicamente puro, cada átomo se encuentra unido de forma covalente con otros 4 átomos, así que dentro del cristal no hay, como consecuencia del enlace químico, electrones libres. Algunos átomos de silicio en cristal se sustituyen con átomos de fósforo, elemento que tiene 5 electrones de valencia: 4 serán utilizados para enlaces químicos con átomos adyacentes de silicio, mientras que el quinto puede ser separado del átomo de fósforo mediante energía térmica y así tener libertad de movimiento en el retículo del cristal. El electrón que falta actúa como si fuera un electrón 'positivo' y se llama hueco.

La unión p-n (diodo) se realiza uniendo una barra de material de tipo n con una barra de material de tipo p. Los electrones libres en el material 'n' verán a la izquierda una región en la que no existen electrones libres y, por tanto, habrá un flujo de los portadores hacia la izquierda en el intento de restablecer el equilibrio. De forma análoga, los huecos verán a su derecha una región en la que no hay huecos y habrá, por tanto, un flujo de cargas positivas hacia la derecha. Con el avance del proceso de difusión, en el lado izquierdo se tendrá un exceso de cargas negativas mientras en el lado derecho habrá un exceso de cargas positivas (RES & RUE Dissemination, 2015).

Por consiguiente, en la región de unión de los dos materiales se ha creado un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los huecos y los

electrones continúan difundándose hacia lados opuestos. El proceso continúa hasta que el potencial eléctrico alcanza un tamaño que impide la posterior difusión de electrones y huecos. Cuando se alcanza el equilibrio se habrá creado un campo eléctrico permanente en un material sin la ayuda de campos eléctricos externos.

2.2. MARCO HISTORICO

2.2.1. Historia de los vehículos eléctricos

En los años 1832 y 1839 Robert Anderson construyó el primer carruaje de tracción eléctrica, que constaba con una batería de energía no recargable. Después de algún tiempo inventó la línea electrificada que era utilizada más para trenes eléctricos. La línea electrificada no era apta para vehículos eléctricos, únicamente para trolebuses o trenes. Las primeras pilas o baterías que tenían la capacidad de recargarse se fabricaron antes de 1880 lamentablemente no eran muy fiables para los automóviles eléctricos de la época (Motorpasión, 2015)

En el año de 1900 cuando los automóviles eléctricos entraban en apogeo eran los más vendidos en la época más que los vehículos a combustión interna y que los vehículos a vapor muy famosos y utilizados. Al inicio los primeros automóviles que funcionaban a gasolina no eran muy confiables tenían diferentes aspectos que no los hacían muy atractivos, por el simple hecho de necesitar gasolina para su funcionamiento que en la época no era muy fácil de conseguir, de igual manera por el ruido que hacían y la contaminación que emitían los hacían vehículos menos atractivos (Autolibre, 2011).

Figura 1. Vehículo eléctrico de Thomas Alva Edison



Fuente: Motor pasión. Vehículos eléctricos

Mientras que los vehículos a gasolina se hundían, los vehículos eléctricos surgían con gran fuerza en la época por las características, ya que no eran ruidosos, no contaminaba, ni consumían gasolina y eran rápidos, el problema era la autonomía que no se comparaba con la de un carro a gasolina pero era razonable además el costo era moderado para la clase media y alta en algunos años los automóviles eléctricos superaban en ventas a los vehículos a gasolina y vapor (Motorpasión, 2015)

El auge de los vehículos eléctricos fue decayendo, porque las grandes corporaciones petroleras de la época, empezaban a destilar derivados de petróleo

en grandes cantidades, comenzando de esa manera el auge de los vehículos a combustión interna como los de gasolina, nafta y Diesel. Sin embargo, el impacto ecológico y económico que sufre la actual sociedad, tanto por la escasez de petróleo y como por el cuidado del medio ambiente han dado paso para el renacer de los vehículos eléctricos. Al principio empezó a haber vehículos híbridos que funcionaban con motor de combustión interna y motor eléctrico, pero con el paso del tiempo las marcas fabricantes de vehículos en el mundo, han optado por desarrollar vehículos completamente eléctricos (Croxwell, 2014).

2.2.2. Historia de la celda fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas tuvieron su nacimiento gracias a un físico francés llamado Edmundo Becquerel, por el año 1839, fue éste quien notó que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando los mismos eran expuestos hacia la luz y es así como el principio del aprovechamiento de la energía solar surgiría. Luego, Albert Einstein, en el año 1904 describió lo que era el efecto fotoeléctrico, en el cual se basa hoy la tecnología fotovoltaica, por dicho trabajo consiguió el premio Nobel de física. Con toda la información, conocimientos y avances, los Laboratorios Bell crearon el primer módulo fotovoltaico en 1954 apareciendo allí las primeras celdas fotovoltaicas (SunSupply, 2018).

Como la fabricación era bastante costosa y en aquella época el precio resultaba algo injustificado, la producción de celdas fotovoltaicas decayó hasta 1960. Fue en tal año en donde la industria espacial comenzó a hacer uso de la tecnología para conseguir energía eléctrica y distribuir las luego a bordo de sus naves. Por ello se puede afirmar que fue a través de los programas espaciales que los científicos y

técnicos pusieron énfasis en la energía solar y sus beneficios. Cuando el uso alcanzó un alto grado de confiabilidad, se pudo lograr una reducción en los costos. La confiabilidad o rendimiento va aumentando año a año mediante estudios que se van realizando, mejorando así sus prestaciones (Instalación de energía solar, 2015).

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. Regulación energética

En materia de energías alternativas, existen normativas para promover la investigación y el uso adecuado de las energías renovables con el objetivo de satisfacer la demanda energética tanto a nivel nacional como internacional, algunos de los protocolos y normas más importantes se describen a continuación:

El Protocolo de Kioto que tiene origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, fue aprobado en la Sede de las Naciones Unidas en 1992, adoptándose finalmente en la conferencia de las partes en 1997, con el objetivo de estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero, en donde se establece el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual permite que un país en virtud del protocolo, ponga en práctica proyectos de reducción de las emisiones en países en desarrollo (Ministerio de Ambiente, 2018).

En Colombia, las instituciones encargadas de regular las normativas legales vigentes son la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la cual planea el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos, además de producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma

de decisiones; la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que regula la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica, gas combustible y servicios públicos de combustibles líquidos, además, promueve el desarrollo sostenido de estos sectores, regula los monopolios e incentiva la competencia donde sea posible atender las necesidades de los usuarios de acuerdo a los criterios establecidos por la ley (Benito & Ruiz, 2018).

Por otra parte, el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), el cual es una organización intergubernamental de la que Colombia hace parte desde el año 2014 gracias a la ley 1665 de 2013 aprobada por el Congreso de la República, en donde se establece por objetivo promover el desarrollo sostenible, mitigar los problemas de seguridad energética y combatir el cambio climático (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Dentro de las normas legales referentes al uso de energías renovables en el país, se encuentra principalmente, el Art. 79 de la Constitución política de Colombia, el cual establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines (Constitución política de Colombia, 2018).

Adicionalmente, la Ley 697 de 2001, estipula el fomento del uso racional y eficiente de la energía, promoviendo la utilización de energías alternativas a la vez que se dictan otras disposiciones (Senado de la República, 2001). Por su parte, la Resolución 0551 de 2009, por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para

la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al mecanismo de desarrollo limpio – mdl (Ministerio de Ambiente, 2009).

Por último, la Resolución 180919 de 2010, por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la energía y demás Formas de Energía No Convencionales PROURE (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

2.3.2. Leyes de Incentivación Económica y Tributaria

La ley 1715 del año 2014 tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante la integración al mercado eléctrico, la participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (Ministerio de Minas y Energía, 2014).

Desarrollada por la Unidad de Planeación Minero Energética, el Ministerio Nacional de Minas y Energías, el Ministerio de Ambiente y el Consejo Regulatorio de Energía y Gas, la ley 1715 del año 2014 se divide en 46 artículos que exponen la incursión oficial de las fuentes no convencionales de energía en el portafolio del sector energético nacional. Adicionalmente, ofrece los siguientes beneficios económicos y tributarios que incentivarán la inversión privada y pública de proyectos en los que se involucren fuentes como la energía solar, la energía eólica y la biomasa (Bitar & Chamas, 2017):

- Descuento en la renta de sobre el 50% del valor total de la inversión inicial para proyectos de auto generación y cogeneración con fuentes de energía no convencionales (Artículo 11).
- Exención del impuesto del valor agregado (I.V.A.) en equipos utilizados para el desarrollo y la implementación de proyectos con fuentes no convencionales de energía (Artículo 12).
- Exención del arancel de importación en equipos utilizados para el desarrollo de proyectos con fuentes no convencionales de energía (Artículo 13).
- Depreciación acelerada al 20% anual en equipos utilizados para el desarrollo de proyectos con no convencionales de energía (Artículo 14).

2.4. MARCO CONCEPTUAL

2.4.1. Energías renovables

Las energías renovables se plantean en el momento como una alternativa a las energías actuales. Aunque no por ello son nuevas. Fueron utilizadas hasta la llegada del petróleo, cuyo costo era bajo. Pero a causa de los problemas medioambientales y al incremento del precio de los combustibles se vuelve a recurrir a las energías renovables. Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables, por eso, también se les denomina energías blandas o limpias (FactorEnergia, 2016).

2.4.2. Energía solar

La energía solar es una de las más importantes dentro de las energías renovables. Se puede afirmar que el sol es la fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los inicios de la historia. Puede satisfacer todas las necesidades si se aprende cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. Por tanto, el sol es el mayor productor de energía existente en la tierra (Acciona Business, 2017).

En cada zona del planeta es diferente la radiación (que se transmite mediante ondas electromagnéticas) o cantidad de calor incidida por el sol, esto dependerá tanto de la inclinación del planeta como del ángulo en que lleguen los rayos, unos más inclinados que otros, incluso perpendiculares en zonas como el ecuador (por ello hace más calor) o tangentes en las zonas polares (por lo que no hace tanto calor). Por lo tanto; Factores que afectan a la radiación solar(Acciona Business, 2017):

Geográficos:

- Latitud
- Exposición
- Inclinación del suelo

Atmosféricos:

- Atmosfera (nubosidad)
- Partículas en suspensión (naturales y antrópicas)

Otros:

- Estación del año
- Hora del día

Un dato curioso es que el Sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que se puede consumir. Los rayos solares que logran atravesar la atmosfera terrestre están constituidos en un 50 % de luz blanca o visible y un 45 % de radiación infrarroja, el resto son pequeñas cantidades de luz ultravioleta y otras formas de radiación electromagnética. Además, la energía solar se encuentra indirectamente relacionada con otros tipos de energía renovables, por ejemplo, la energía solar genera la evaporación del agua de los mares, la cual precipita en lagos y ríos, que serán aprovechados en la generación de hidroelectricidad(Acciona Business, 2017).

Al calentar más unas zonas que otras, el Sol produce diferencias en el "peso" de las masas de aire, generando los sistemas de viento del planeta: la energía eólica, siendo tan solo un ejemplo de lo importante que puede ser la energía solar. Es por las razones expuestas, que el estudio de como poder aprovecharla cada vez sea mayor, lográndose con ello resultados cada vez mejores para los intereses humanos y por supuesto para los intereses ecológicos. Básicamente se puede utilizar la energía solar de dos formas diferentes, es decir, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, se puede obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los colectores térmicos y la electricidad a través de los llamados módulos fotovoltaicos(Acciona Business, 2017).

2.4.3. Energía solar fotovoltaica

Energía solar fotovoltaica es la que produce energía eléctrica de origen renovable o de forma natural, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica o panel solar. La energía solar se utiliza para proveer de energía a diferentes aplicaciones como para abastecer refugios o viviendas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución. La vida útil de los paneles fotovoltaicos es superior a 30 años, producen electricidad limpia durante más del 95 % de su vida útil. La energía solar fotovoltaica también se utiliza en otros ámbitos como en la de los vehículos eléctricos y la industria (ESCO-TEL, 2014)

2.4.4. Paneles solares

El panel solar es un dispositivo fotovoltaico que ayuda a usar los rayos del sol como energía eléctrica. Lo que hacen es recolectar la energía térmica o fotovoltaica del sol y transformarla en energía y pueda emplearse para producir electricidad o producir calor calentando algo como por ejemplo agua, los paneles solares cuentan con varias células dependiendo del tamaño y de la potencia que se requiera, siendo las encargadas del efecto fotovoltaico, y sirve para formar cargas positivas y negativas en semiconductores para formar el campo eléctrico que se necesita para producir electricidad (Eliseos, 2018).

Figura 2. Paneles solares fotovoltaicos



Fuente: Eco Inventos. Panel Solar Fotovoltaico

El tipo de energía consiste en recibir la luz proveniente del sol por medio de un material semiconductor. La energía se debe almacenar en baterías, o bien puede ser inyectada directamente a la red eléctrica. Sin duda que aún queda mucho por avanzar en la tecnología de los paneles solares, especialmente en materia de eficiencia, pero la energía solar es considerada una de las fuentes energéticas más limpias existentes hoy en día (Eliseos, 2018).

2.4.5. Paneles solares fotovoltaicos

Principalmente los tipos de paneles son los utilizados en los vehículos eléctricos con carga solar. Los paneles solares fotovoltaicos fueron todo un éxito cuando salieron al mercado. Con la implementación se pudo apreciar la posibilidad de generar energía en un mismo sitio. El sistema consiste en que la energía de la radiación solar se transmite a los electrones de los materiales semiconductores de los paneles solares fotovoltaicos, creando una acumulación de energía y corriente eléctrica para abastecer a un mismo lugar la energía necesaria (Eliseos, 2018).

2.4.6. Celdas fotovoltaicas

Las Celdas Fotovoltaicas, son sistemas fotovoltaicos que convierten directamente parte de la luz solar en electricidad. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico en su forma más simple, los cuales se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. Cuando los electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente de silicio. (YubaSolar, 2013).

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

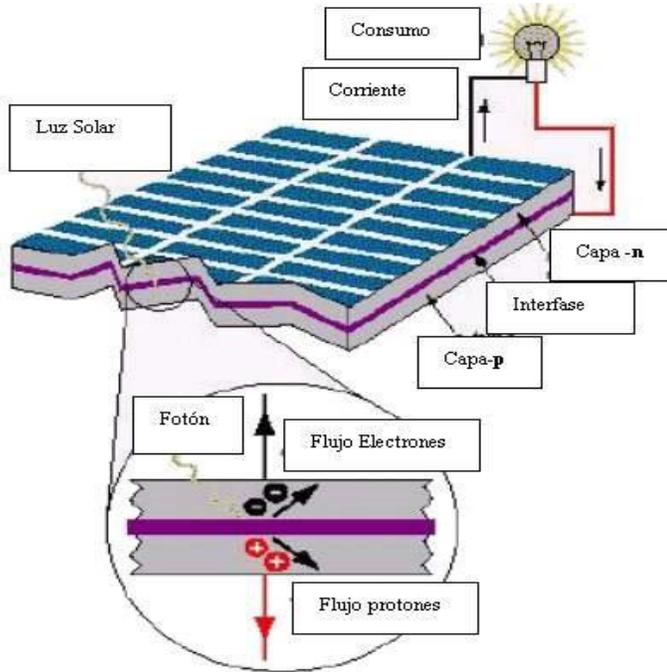
3.1. DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR-FOTOVOLTAICO CON ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Para el inicio del desarrollo de proyecto, se diseñó un sistema solar-fotovoltaico con almacenamiento de energía, con el propósito de ofrecer el requerimiento energético necesario para el prototipo de vehículo eléctrico.

3.1.1. Característica de celdas fotovoltaicas y funcionamiento. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico en su forma más simple, estos materiales se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente de silicio. Las celdas fotovoltaicas, llamadas también celdas solares, están compuestas de la misma clase de materiales semiconductores que se usan en la industria microelectrónica, como por ejemplo el silicio (YubaSolar, 2016).

Las celdas solares fotovoltaicas funcionan bajo el principio de que la electricidad circulará entre dos semiconductores distintos al ponerlos en contacto uno con el otro y ser expuestos a la luz. Conectando un número de estas celdas entre sí (figura 3), se apreciará que se produce una útil y abundante circulación de corriente eléctrica. Un conjunto de dos o más unidades de celdas fotovoltaicas de iguales características constituye un módulo fotovoltaico.

Figura 3. Efecto de absorción



Fuente: (Dávila, 2016)

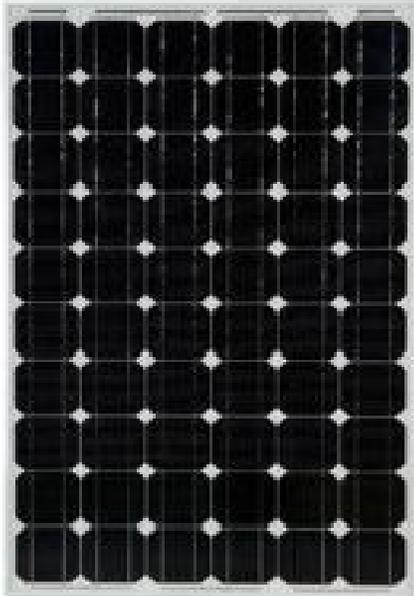
3.1.2. Metodologías de selección, tipos de arreglos de celdas fotovoltaicas y eficiencia energética. Existen dos tipos de celdas fotovoltaicas que se usan comúnmente que son, mono cristalino y poli cristalino, pero en el mercado se encuentran también otro tipo de celdas o células fotovoltaicas, A continuación, se describen las principales características de cada una:

3.1.2.1. Célula fotovoltaica de silicio mono cristalino

Las células de silicio mono cristalinas (figura 4), al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el

crystal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son un azul uniforme.

Figura 4. Celda de silicio mono cristalino



Fuente: (Dávila, 2016)

Ventajas:

- Buen rendimiento de 14% al 16%.
- Buena relación $Wp \text{ m}^2$ (~150 WC/m^2 , lo que ahorra espacio en caso necesario)
- Número de fabricantes elevado.

Las características principales de las celdas mono cristalinas se presentan a continuación en la tabla 1, donde se podrá observar cada una de las características especificadas.

Tabla1. Características celda Mono cristalino.

Celdas Mono cristalinas	Características
Características	Cristal templado de alta transmisión, perdurable, excelente resistencia al clima
Garantía de vida útil	Vida útil de 25 años
Utilización	Sistema de generación de energía eléctrica
Voltaje a circuito abierto	37.62 V
Voltaje de operación	31.30 V
Corriente de corto circuito	8.53 A
Operación de Corriente	7.96 A
Poder máximo	250 Wp
Temperatura de operación	-40C a 85C
Voltaje máximo del sistema	100VDC(IEC)/600VDC(UL)
Tolerancia de poder	±3%
Especificación de la celda	Monocristalina 156x156mm
Cantidad de celdas	60(6x10)
Tamaño	1650x992x50mm
Especificaciones del cristal	Cristal templado
Marco	Aleación de aluminio
Temperatura de operación	45±2 C
Costo	Us234

Fuente: (Dávila, 2016)

3.1.2.2. Célula fotovoltaica poli cristalino

Una célula fotovoltaica basada en silicio poli cristalino (figura 5), durante el enfriamiento de silicio en un molde se forman varios cristales. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales.

Figura 5. Celda poli cristalina



Fuente: (Dávila, 2016)

Ventajas:

- Células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de poli cristalino) que permite un mejor funcionamiento en el módulo.
- Eficiencia de conversión óptima, alrededor de 100 Wp/m², pero un poco menor que en el poli cristalino.
- Lingote más barato de producir que el poli cristalino.

Las características principales de las celdas poli cristalinas se presentan a continuación en la tabla 2:

Tabla2. Características celda Poli cristalino

Celdas Poli cristalino	Características
Voltaje a circuito abierto	37 V
Voltaje de operación	30 V
Corriente de corto circuito	8.18 A
Operación de la corriente	7.66 A
Poder máximo	230Wp
Temperatura de operación	-40C a 85C
Voltaje máximo del sistema	100VDC(IEC)/600VDC(UL)
Valor de fusible en serie	16 A
Especificación de la celda	Policristalina 156x156 mm(6in)
Cantidad de celdas	60(6x10)
Tamaño	1650x992x50mm(65x39.1x2.0in)
Especificación del cristal	3.3mm(0.13in) vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Temperatura de operación	45±2 C
Costo	299us panel solar

Fuente: (Dávila, 2016)

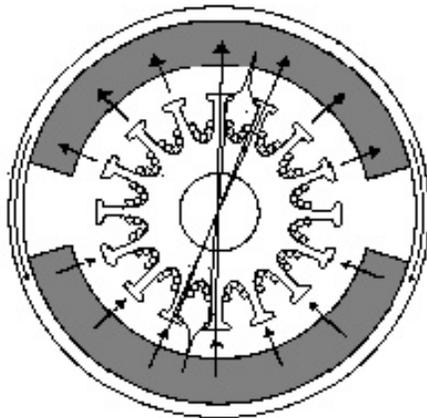
3.1.3. Topología de conexión y de alimentación del motor eléctrico del vehículo. En primer lugar, se debe tener en cuenta, que el prototipo de vehículo, trabajará con corriente continua, por lo que se requiere de un motor que trabaje con este tipo de corriente, los cuales también son conocidos como motores DC. El campo magnético de un motor de DC se puede producir por imanes permanentes o bobinas. Los motores de imán permanente se clasifican de acuerdo con el esquema de conmutación y al diseño de la armadura. De acuerdo con la construcción de la armadura se clasifican en:

3.1.3.1. Motor núcleo de Hierro

El flujo magnético que produce el imán circula a través de la estructura del rotor laminado el cual tiene ranuras donde se localizan los conductores de la armadura. Las características de estos motores son:

- La inercia relativamente alta (ya que la parte giratoria está formada por las bobinas de la armadura).
- Inductancia alta, bajo costo y alta confiabilidad.

Figura 6. Motor Imán Permanente con Núcleo de Hierro



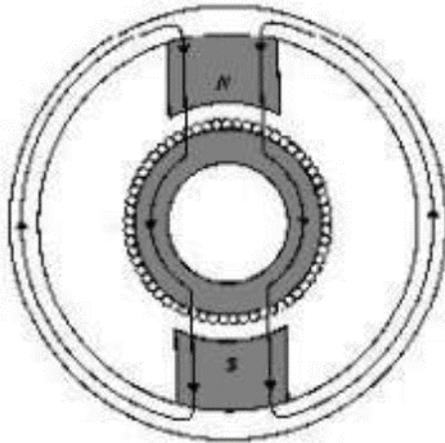
Fuente: (Cadena & Jaramillo, 2015)

3.1.3.2. Motor devanado Superficial

Los conductores de la armadura están pegados a la superficie del rotor, construido de discos laminados sujetos al eje del motor. Los conductores están proyectados en el entre hierro de aire que se encuentra entre el rotor y el campo del imán, este

campo presenta una menor inductancia que el del motor con estructura de núcleo de hierro.

Figura 7. Motor de devanado Superficial

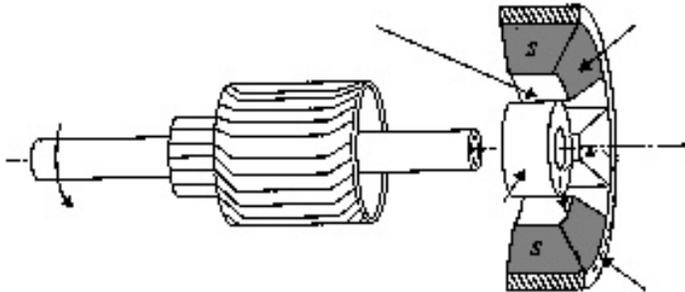


Fuente: (Cadena & Jaramillo, 2015)

3.1.3.3. Motor bobina Móvil

Son diseñados para tener momentos de inercia e inductancia de armadura muy bajos. La estructura del conductor está soportada por un material no magnético que forma un cilindro hueco. Un extremo del cilindro forma un eje, que está conectado al eje del motor, por tal motivo el motor de bobina móvil es una buena elección como actuador en sistemas de control de alto desempeño.

Figura 8. Motor de Bobina Móvil



Fuente: (Cadena & Jaramillo, 2015)

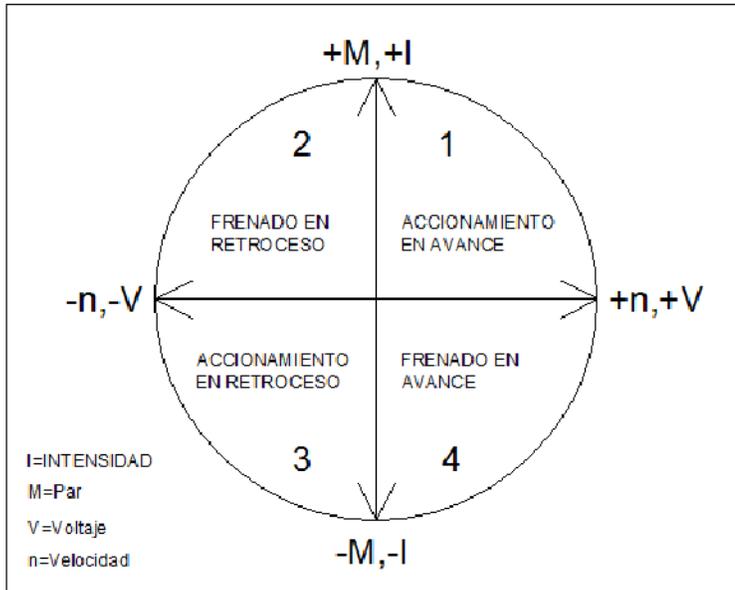
3.1.3.4. Control de Par y Velocidad de Motor Eléctrico DC

Un motor DC posee ciertos límites de funcionamiento que deben ser tomados en cuenta para su control, dentro de dichos límites se da importancia a la corriente de armadura y la tensión inducida de armadura con que se energice al motor, puesto que de estos dos parámetros dependerá el par y velocidad que se induzca al motor DC.

3.1.3.5. Control del Sentido de Giro por Método de Cuadrantes

Control por Cuadrantes, el primer y tercer cuadrante representan un motor energizado tanto en polaridad positiva como negativa respectivamente, mientras que en el segundo y cuarto cuadrante se tiene un proceso de frenado debido a que el motor ha dejado de recibir energía y ha comenzado a funcionar como un generador eléctrico.

Figura 9. Esquema de Control por Cuadrantes para Motor DC



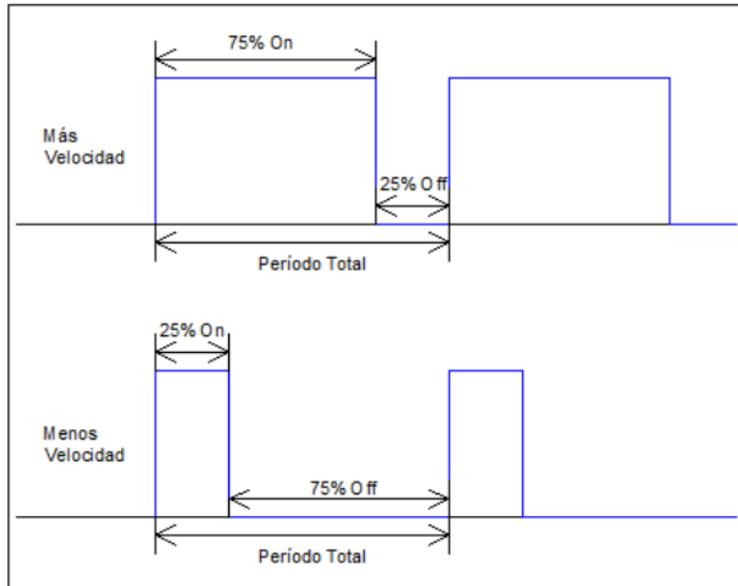
Fuente: (Cadena & Jaramillo, 2015)

3.1.3.6. Control en Etapa de Energización Motor DC

Existen dos métodos que han tomado importancia, el control por ancho de pulso (Pulse Width Modulation) y control por frecuencia de pulso (Pulse Frequency Modulation), también conocida como control por modo deslizante, siendo este último una técnica más robusta para cargas de alto consumo energético.

3.1.3.6.1. Control PWM. Este método permite recortar la corriente continua de alimentación hacia la carga en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe la carga estará reflejada por la proporción de tiempo en alto y bajo que se mantenga la señal de onda cuadrada en un ciclo de trabajo.

Figura 10. Señal de Control por PWM para un Motor DC



Fuente: (Cadena & Jaramillo, 2015)

3.1.3.6.2. Control PWM.Control por Modo Deslizante. Si se tiene la ley de control(u), definida como: $u = 1$ si $s(x) > 0$

$$0 \text{ si } s(x) < 0$$

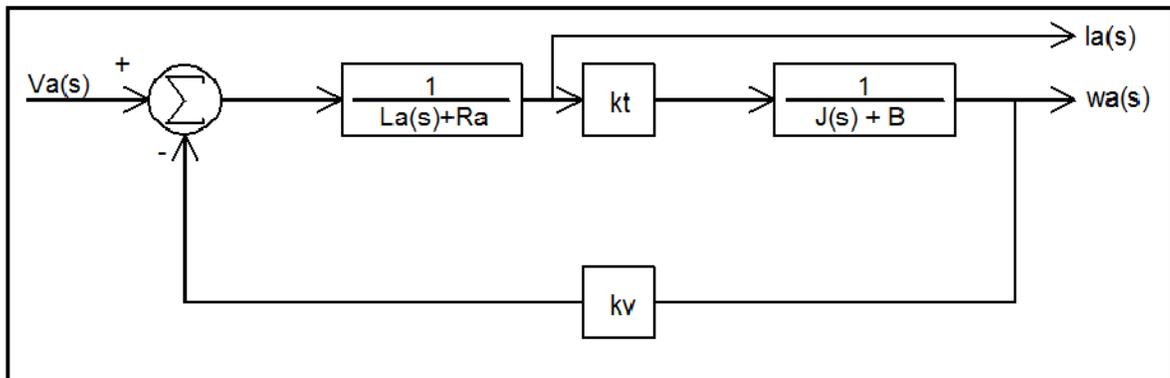
La función $s(x)$ se denomina función de conmutación, y dicta el valor que tomará una función con la que se quiere incidir dentro de la ley de control del modo deslizante, esta función posee una superficie con dimensión de $S = \{x \in \mathbb{R}^n : s(x) = 0\}$

Donde S es la superficie de discontinuidad o superficie de conmutación, si existe una región R donde existe un modo deslizante, es un subconjunto de S . Un convertidor puede estar controlado en modo deslizante cuando se utiliza la ley de control u y hay una región R donde existe modo deslizante. Para que exista el

modo de deslizamiento, la función $s(x)$ y su derivada temporal, deben tener signos contrarios para que las trayectorias generadas se dirijan a la superficie S .

Este modo de control permite variar la frecuencia de trabajo dentro de un convertor de energía, la estabilidad de la frecuencia con la que se trabaje, se logra cuando el convertor ha alcanzado un punto de estabilidad entre el valor de la referencia y el valor de proceso con el que se esté trabajando. Este método permite el uso de un amplio rango de cargas que pueden oscilar entre valores muy bajos (miliohms) y altos (kiloohms), las desventajas que presenta son las de alto rizado a la salida y al trabajar con frecuencias variables es necesario una correcta ejecución en la etapa de control de conmutación debiendo limitarse anchos de banda para un correcto trabajo.

Figura 11. Esquema en bloques de un Motor DC de imán permanente



Fuente: (Cadena & Jaramillo, 2015)

De la Figura 11, se tiene:

V_a =tensión inducido de armadura

L_a =inductancia de armadura reflejada por el motor

R_a =resistencia de armadura

K_t =constante torque dada por el fabricante del motor

K_v =constante velocidad dada por el fabricante del motor J =inercia del rotor, depende de la carga acoplada al motor

B =coeficiente de amortiguación asociado con la rotación del motor

3.2. INGENIERÍA DE COMPONENTES Y MODELO DEL PROTOTIPO DE VEHICULO

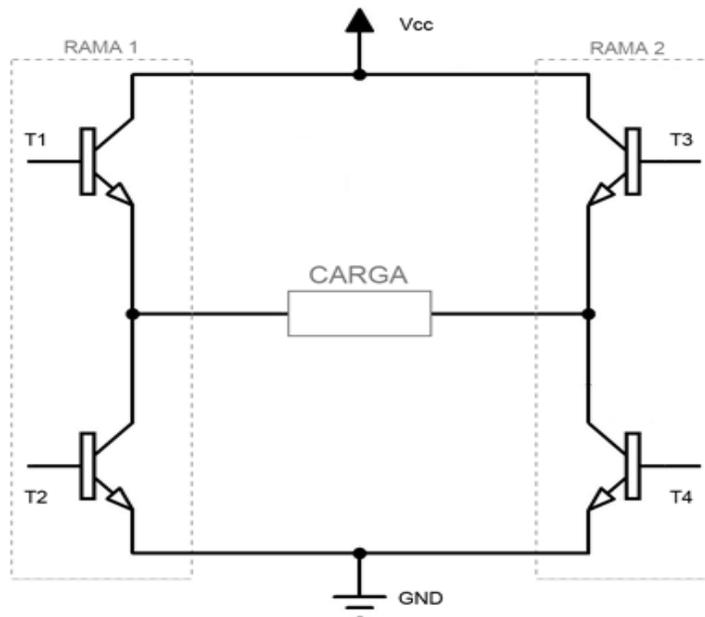
Los vehículos eléctricos tienen formas muy especiales y no hay normas establecidas de diseño. Se trata de minimizar la resistencia del aire, minimizar el peso y hacer los vehículos lo más seguro posible. En los diseños de chasis el propósito es maximizar la rigidez y la seguridad. A continuación, se realiza la descripción detallada de los componentes y elementos de diseño que se tuvieron en cuenta para la elaboración del prototipo de vehículo, como la fuente de alimentación y el motor, así como el modelado realizado a través del software SolidWorks.

3.2.1. Elementos de diseño y los materiales requeridos para elaborar el prototipo. El prototipo se basa en el principio fundamental del control de giro de motores. Su Módulo L298N puente H, está comunicado con Arduino nano para hacerlo más estético, conectado con módulo bluetooth HC06. Maneja 4 pines RX, TX, los cuales van conectados al Arduino nano pero invertidos, por qué RX envía el mensaje y TX lo recibe, 3er pin a 5v y 4to pin a 10v todos los pines para el Arduino. La comunicación es alimentada y controlada mediante la aplicación APK Inventor, que mediante comandos hace que los motores se muevan.

3.2.1.1. Controlador de motores de corriente continua con Arduino y L298N

El L298N es un controlador (driver) de motores, que permite encender y controlar dos motores de corriente continua desde Arduino, variando tanto la dirección como la velocidad de giro. La corriente máxima que el L298N puede suministrar a los motores es, en teoría, 2A por salida (hasta 3A de pico) y una tensión de alimentación de 3V a 35V. El L298N incorpora protecciones contra efectos que pueden producirse al manejar motores de corriente continua. Dispone de protecciones contra sobre intensidad, sobre temperatura, y diodos de protección contra corrientes inducidas (flyback) (Llamas, 2016).

Figura 12. Esquema puente H



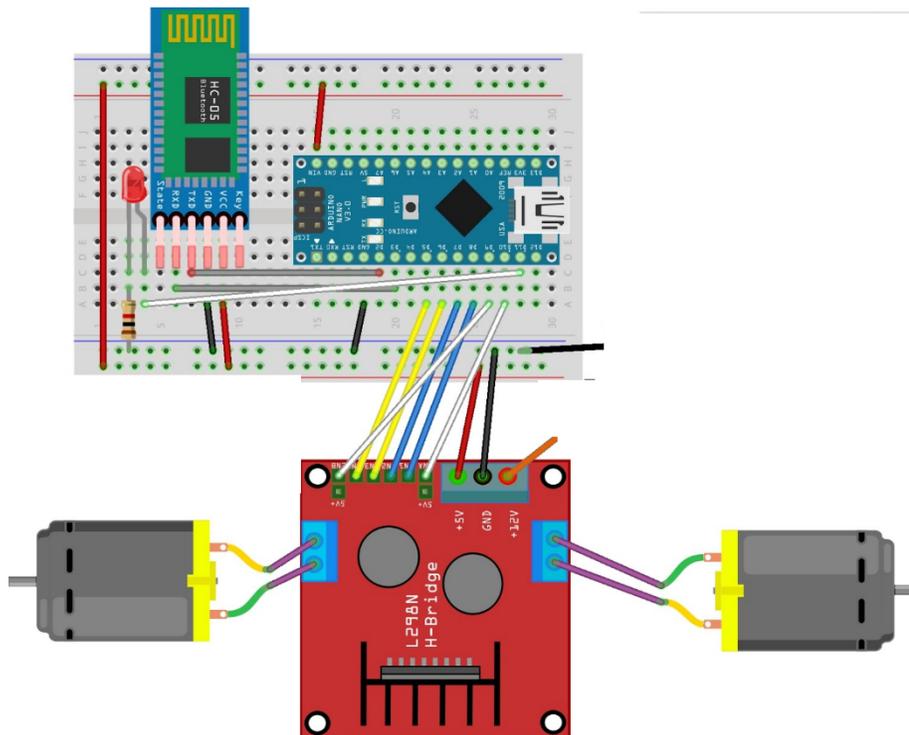
Fuente: (Llamas, 2016)

Básicamente un L298N consiste en dos puentes-H, uno para la salida A y otro para la salida B. Un puente-H es un componente ampliamente utilizado en

electrónica para alimentar una carga de forma que se puede invertir el sentido de la corriente que le atraviesa. Internamente, un puente H es una formación de 4 transistores, conectados entre Vcc y GND, con la carga a alimentar entre ellos. Dibujado en esquema el conjunto tiene forma de "H", de la que recibe su nombre (figura 12).

3.2.1.2. Esquema eléctrico

Figura 13. Circuito eléctrico del prototipo



Fuente: (I.E.S. Cuenca Minera, 2015)

El esquema anterior (figura 13), muestra cómo se conecta Arduino y HC 06. Es importante seguir un código de colores, rojo para el positivo, negro para el

negativo, de esta manera se tiene más cuidado al conectar el + y el -, ya que, si se invierte, el módulo se averiará. Durante el proceso de carga del programa se quitan y se ponen varias veces los cables, para poder cargar el programa al Arduino, ya que, si está conectado la alimentación del BT, a veces no carga el programa, así que se quita el cable rojo de alimentación, se carga el programa y se vuelve a poner el cable rojo (I.E.S. Cuenca Minera, 2015).

El vehículo es dirigido y controlado por medio del programa "App inventor" que se instala en el teléfono celular. En la aplicación aparece un botón para conectarse al Arduino del prototipo mediante Bluetooth. Una vez conectado, se puede pulsar el resto de botones: adelante, atrás, derecha e izquierda. Cada uno de estos botones acciona respectivamente los dos motores, el motor de la derecha o el motor de la izquierda. Hay otro botón para detener el vehículo y otro para realizar la desconexión del Bluetooth.

3.2.1.3. Materiales requeridos

Se utilizó la Rueda loca para ahorrar 2 motores por cada llanta, la cual hace que se dirija el vehículo. Para la estructura externa se utilizó acrílico de grosor 4mm tanto para el chasis como para la base del panel solar, las medidas están especificadas en los Planos Solid Works junto con las medidas de la base, las cuales se detallan en el siguiente apartado del presente documento.

La lista completa de los materiales requeridos para el ensamble del prototipo es la siguiente:

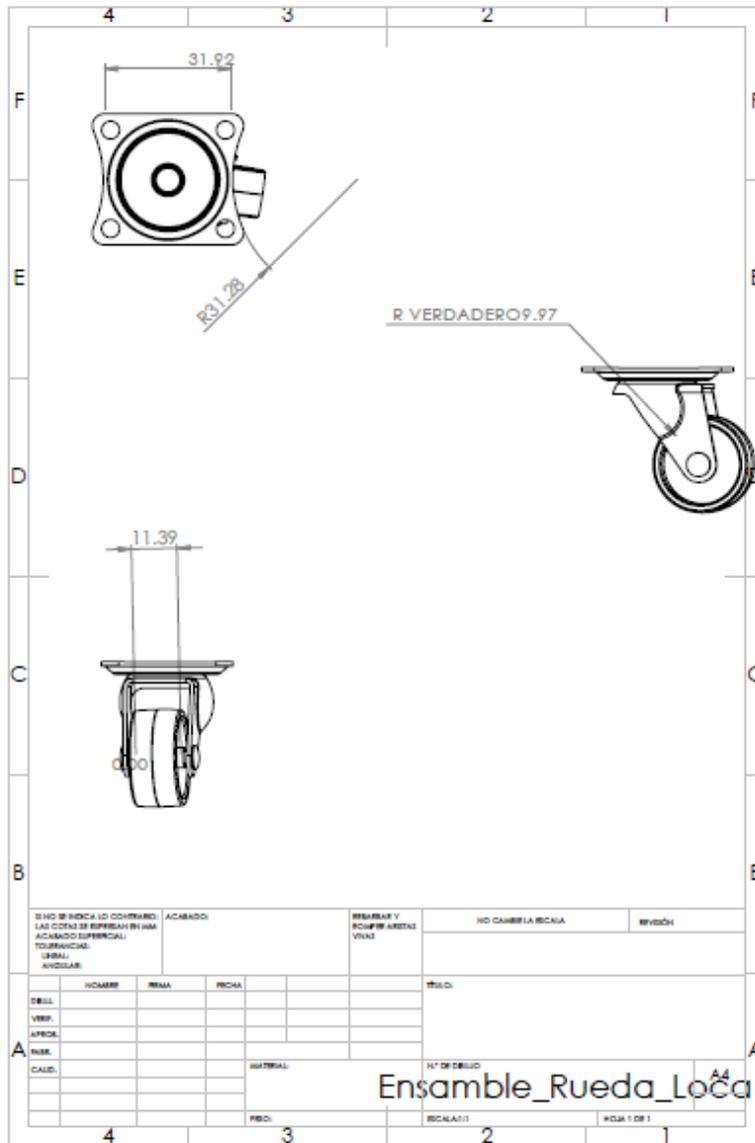
- 1 placa C.I.

- 1 HC 06 (bluetooth)
- 1 Arduino NANO
- 2 motores pequeño con reductor
- Ficha empalme o circuito impreso
- Cables, interruptores
- 1 rueda loca
- Acrílico de 4mm para chasis y base de panel solar
- Panel solar fotovoltaico

3.2.2. Modelado del vehículo eléctrico mediante la herramienta de software

SolidWorks. Para el diseño y análisis estructural se tomó en cuenta la ayuda del programa de simulación software SolidWorks como un asistente de diseño, en el cual se determinó las dimensiones del prototipo. Teniendo ya el sistema fotovoltaico eficiente y los tamaños de los componentes que se escogieron para la implementación, se hace el diseño CAD de la estructura completa utilizando el software SolidWorks, para lograr verificar los tamaños, cantidad de material por utilizar y el peso de toda la estructura, ya que los motores deben cumplir con la especificación de torque suficiente para lograr el movimiento de la estructura. En las siguientes figuras se muestra el diseño CAD realizado, teniendo en cuenta los tamaños de los componentes por utilizar.

Figura 14. Ensamble de rueda loca



Fuente: Elaboración propia

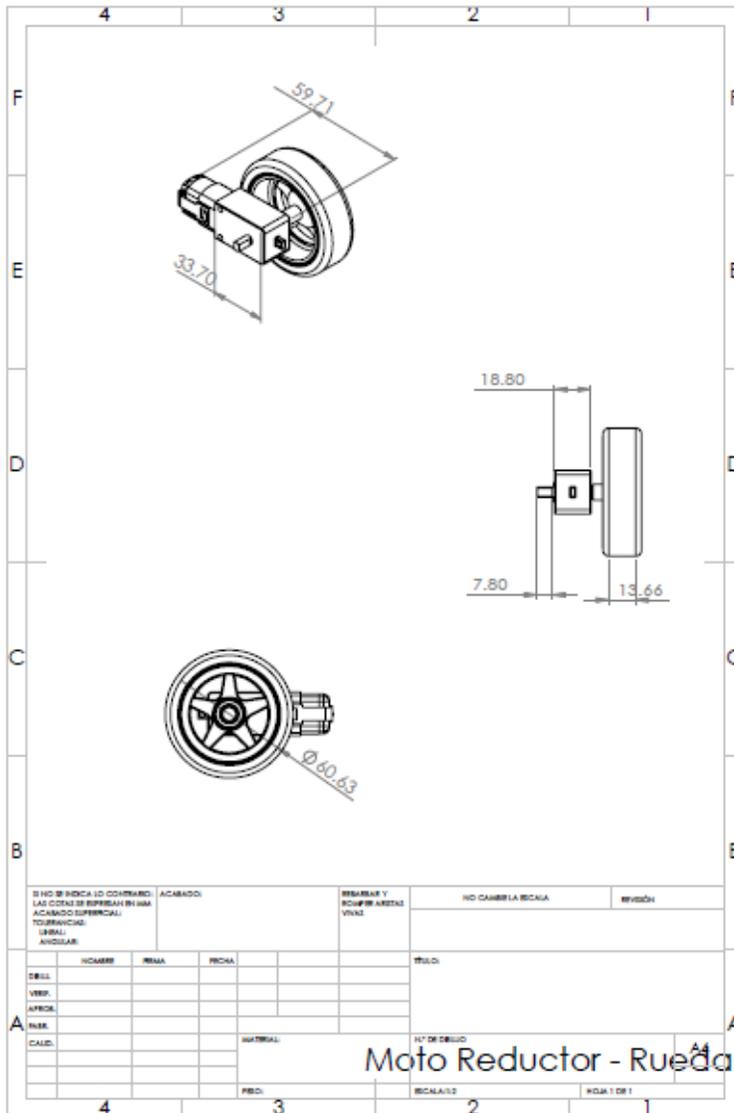
ELABORADO POR:
 Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
 soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
 FECHA APROBACION:

En la Figura 14 se muestra especificado las medidas correspondientes al ensamble de rueda loca, su base es de 31,93 mm, la rueda es de 11.39 mm y sus laterales son de 31,28 mm con un radio verdadero de 9,97 mm.

Figura 15. Ensamble Moto Reductor – Rueda



Fuente: Elaboración propia

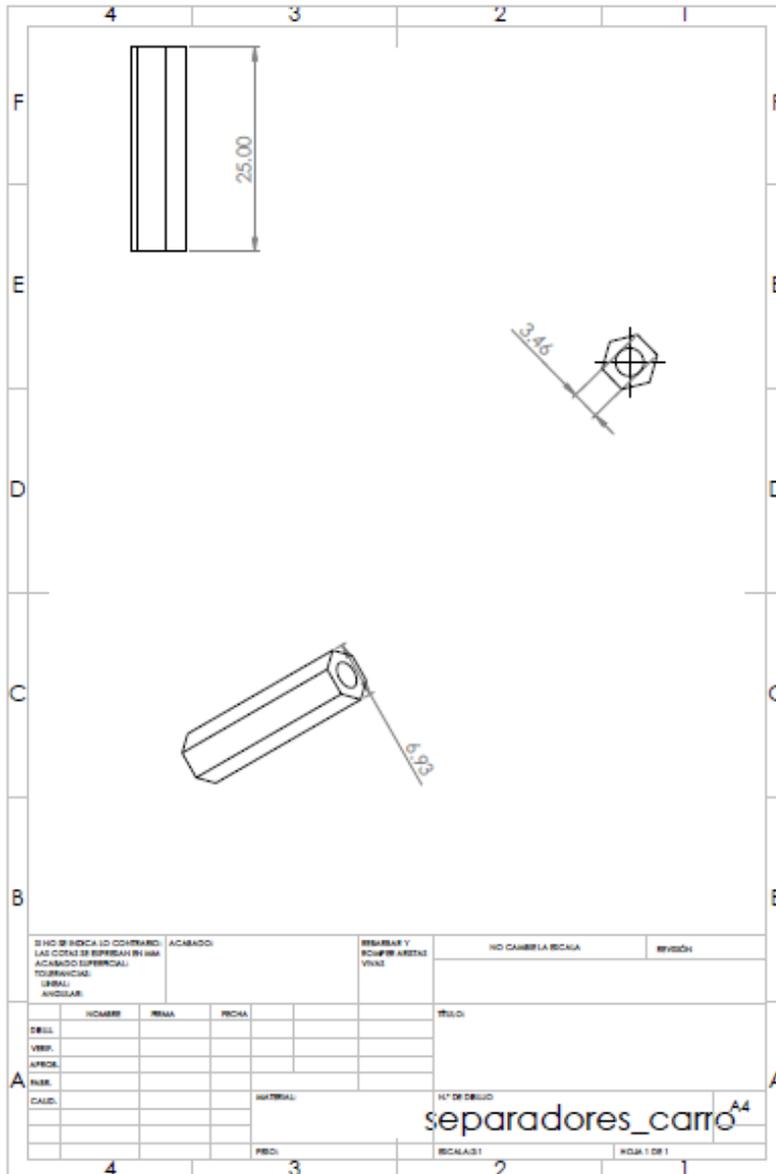
ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

En la figura 15 se muestra en ensamble del moto reductor- rueda nos muestra las medidas correspondientes conectadas a la rueda con 59,71 mm de largo y la rueda un diámetro de 60,63 mm.

Figura 16. Separadores del vehículo



Fuente: Elaboración propia

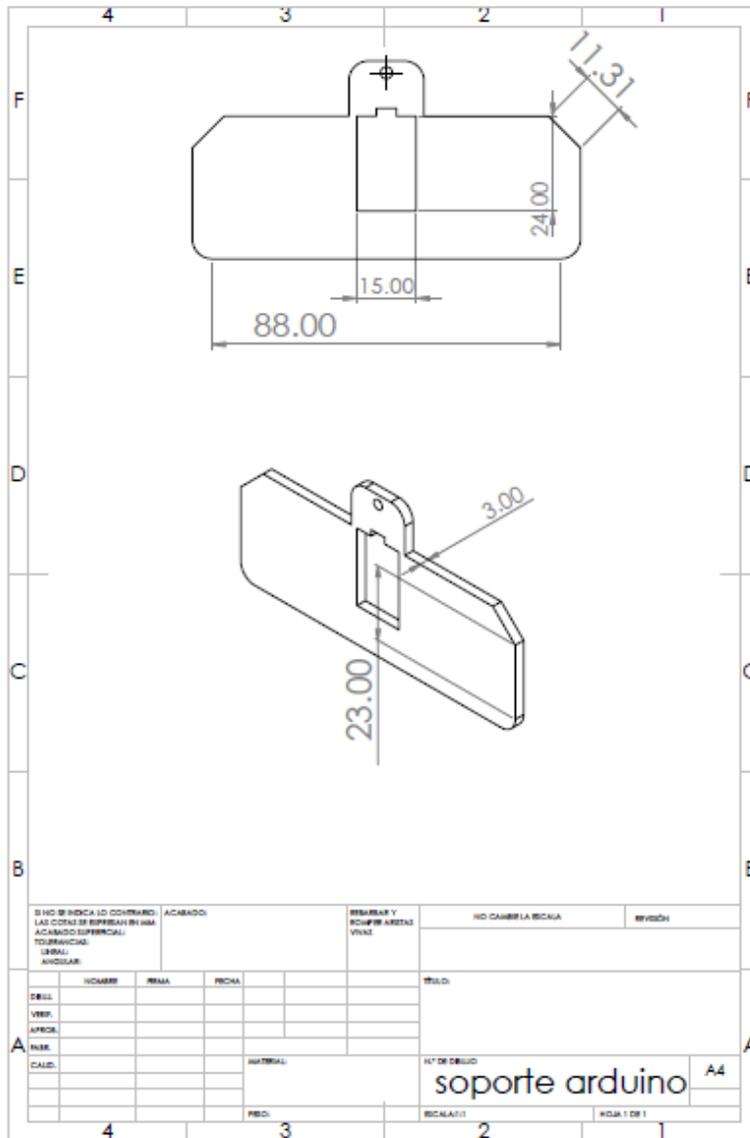
ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

En la figura 16 se especifica las medidas correspondientes de los separadores del vehículo eléctrico teniendo de 25 mm de largo, 6,93 mm de ancho y un diámetro de 3.46 mm.

Figura 17. Soporte para Arduino



Fuente: Elaboración propia

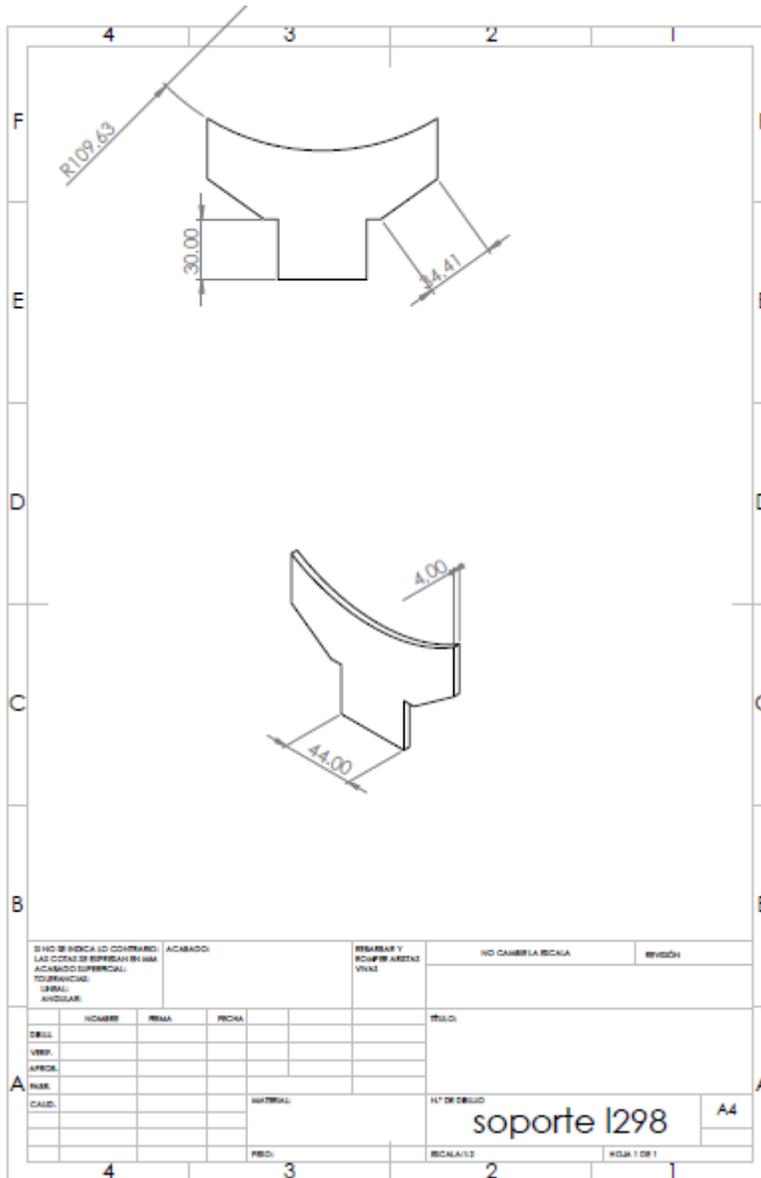
ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

En la figura 17 se muestra claramente específicas las medidas del soporte para Arduino tenemos 88 mm de ancho, lateral de 11.31mm, centro de 15 mm, grosor de 3mm.

Figura 18. Soporte para L298N



ELABORADO POR:
 Oficina de Investigaciones

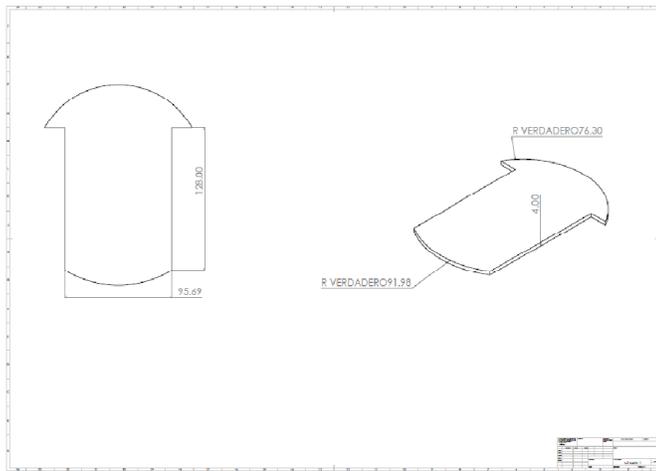
REVISADO POR:
 soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
 FECHA APROBACION:

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 nos muestra el soporte para I298N especificando medidas laterales de 4 mm, ancho 44m y un r109.63 mm.

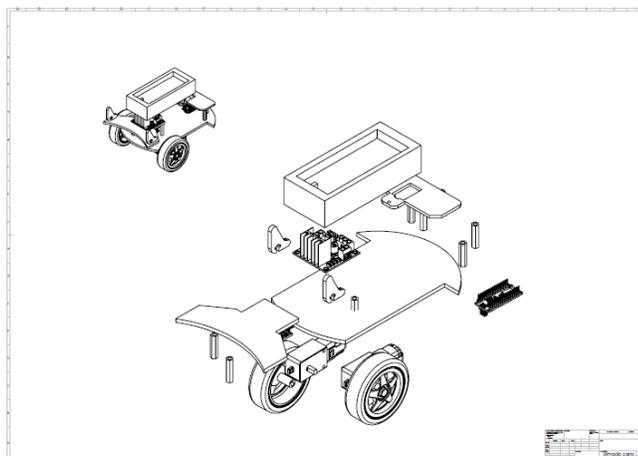
Figura 19. Soporte para paneles solares



Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 nos muestra de la misma forma las medidas de soporte para el panel solar con una altura de 120 mm y ancho de 95 mm.

Figura 20. Ensamblado del vehículo



ELABORADO POR:
 Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
 soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
 FECHA APROBACION:

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 nos muestra el ensamble de cada pieza finalizando el armado el carro eléctrico.

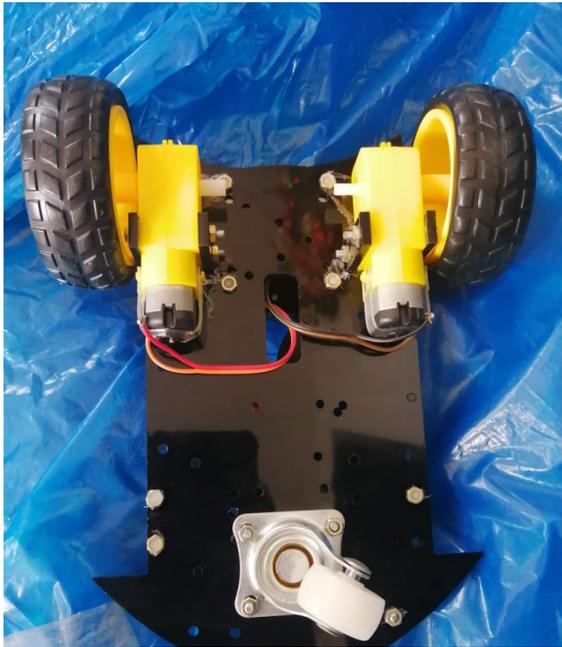
Este diseño permite tener una proyección de cómo se verá el vehículo cuando se haga su construcción. Terminado dicho diseño y el ensamblaje de los componentes por utilizar, se hace con este mismo software un cálculo aproximado del peso final de la estructura, adjudicando a cada componente de la estructura el material del que está hecho; en este momento del diseño se debe tener en cuenta el material de la estructura del chasis, por lo que se escoge el acrílico como componente, dadas sus características y fácil trabajabilidad, logrando así un peso bajo y una resistencia suficiente para que el vehículo soporte los elementos electrónicos.

3.3. PROTOTIPO DE VEHÍCULO ELÉCTRICO

Una vez simulado el vehículo en el software, se procedió a realizar el montaje, teniendo en cuenta los parámetros definidos con anterioridad, en donde se definieron los recursos necesarios para llevar a cabo la ejecución de esta actividad. Teniendo en cuenta que, para realizar un diseño eficiente y accesible, tanto en los componentes electrónicos, como en los componentes estructurales, que cumplan con el objetivo de poder almacenar energía suficiente para que el sistema se comporte de forma óptima y que soporten el peso de dichos elementos respectivamente, hay que tener en cuenta en primera instancia las especificaciones de los componentes que ofrece el mercado.

3.3.1. Diseño del prototipo de vehículo a escala. Teniendo el diseño mecánico y electrónico, se comienza el proceso de construcción e implementación del circuito por utilizar, como primera medida se hace la construcción de la estructura que soportará el panel y los demás componentes. Para la construcción de esta estructura se corta el material, teniendo en cuenta las medidas que proporcionan los planos del diseño CAD de cada una de las piezas. Al cortar los trozos de material necesarios, se hace la unión de los mismos por medio de tornillos de acero, logrando unir todos los componentes.

Figura 21. Base del vehículo y del panel solar

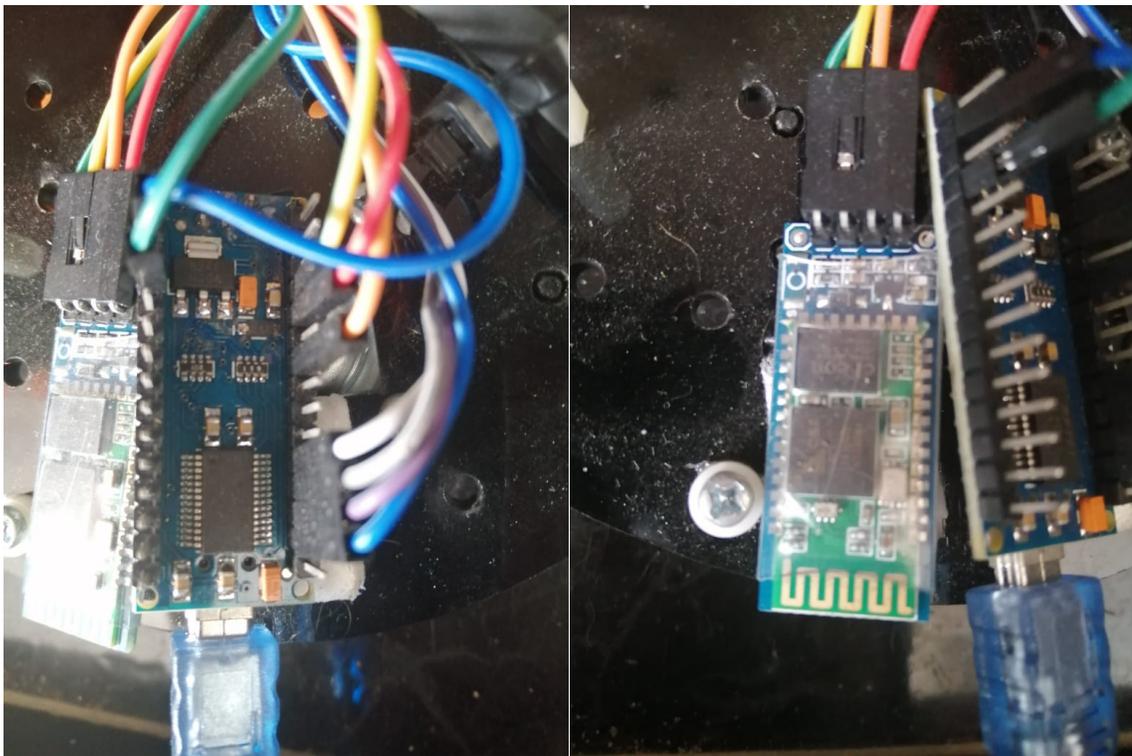


Fuente: Elaboración propia

La figura 21 nos muestra la base del vehículo ya terminado de igual forma nos enseña la base donde será ubicado el panel solar seleccionado.

Para crear una base de dimensiones suficientes que soporte los elementos, se utiliza una placa de acrílico unida con tornillos (Ver figura 21). De igual manera, tanto para los soportes del Arduino y del L298N (Ver figura 22), se utilizó de igual manera este material, dando de esta forma un acabado estéticamente agradable, y que, a su vez, permite que la mayoría de componentes del vehículo, sean visibles e identificables.

Figura 22. Componentes electrónicos Arduino y Bluetooth

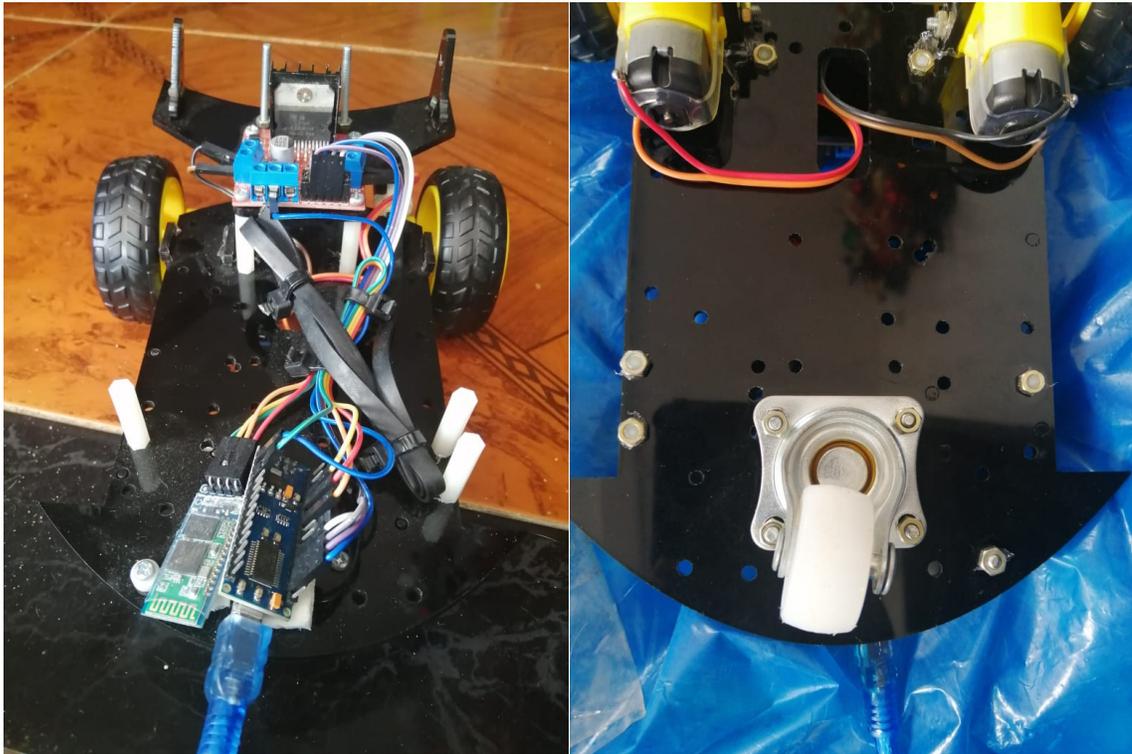


Fuente: Elaboración propia

La figura 22 nos enseña los siguientes componentes electrónicos que fueron utilizados en este prototipo como lo es el Arduino nano y el modulo Bluetooth HC-06.

Teniendo la estructura acrílica terminada, se hace el montaje de los elementos electrónicos y estructurales. En la misma se hacen las conexiones de Arduino, L298N, motores y ruedas necesarias para que el sistema comience su funcionamiento mediante el mecanismo de encendido Bluetooth. El ensamblaje total de la estructura ubicando todos los componentes electrónicos y mecánicos necesarios para el funcionamiento puede verse en las siguientes imágenes, donde se observa la disposición de los motores, las llantas, la rueda loca delantera, la cual brinda mayor movilidad al vehículo, y, por último, la disposición de los componentes electrónicos y su respectivo cableado.

Figura 23. Montaje de componentes electrónicos y estructurales



Fuente: Elaboración propia

La figura 23 nos indica cómo se estructuró el montaje de sus componentes electrónicos y cada una de sus piezas.

A continuación, se realizó el montaje de la base acrílica en donde se dispuso del panel solar fotovoltaico elegido según la oferta existente en el mercado y teniendo en cuenta las especificaciones de diseño previamente establecidas en la presente investigación. Se utilizó el panel solar portátil Power Bank modelo sg-2832, el cual se consigue fácilmente en el mercado y brinda las condiciones adecuadas para el funcionamiento del vehículo. Entre sus características principales están:

- 5.000 Mah

- Doble puerto USB
- Output 5V/1 Amp – 5V/2Amp
- Led indicador de carga
- Linterna Led
- Carga solar y eléctrica
- Dimensiones 1 x 50 x 50 cm
- Peso 0.4 kg

Figura 24. Panel solar Power Bank



Fuente: Elaboración propia

La figura 24 nos presenta el panel solar power bank modelo SG- 28-32 seleccionado para este tipo de prototipo

Finalmente, se realizó el montaje de la APK al celular con el que se controlara el vehículo. La programación tanto de Arduino como de la APK se encuentran en el Anexo A y Anexo B, respectivamente. Se realizaron dos pruebas de funcionamiento, necesarias para conocer la autonomía del vehículo cuando el panel recibe luz e identificar fallas en su estructura o de programación, verificando el correcto desempeño del mismo.

3.4. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PROTOTIPO

Finalmente, se determinó la eficiencia energética, viabilidad técnica y económica del prototipo, midiendo parámetros de potencia y eficiencia realizando la comparación con los modelos convencionales de los vehículos estándar.

3.4.1. Antecedentes de vehículos solares fotovoltaicos. En los últimos años, y desde que la movilidad eléctrica se ha vuelto a poner de moda, han salido a la luz multitud de proyectos que prometen impulsar este tipo de vehículos con la energía del sol. Muchos de ellos no son más que prototipos de pruebas salidos de los laboratorios de una universidad, pero hay otros cuantos, incluidas marcas comerciales, que prometen generar parte de su consumo energético con energía solar. Partiendo de la base de que los vehículos de las universidades no son extrapolables a la vida real, las marcas se han centrado en tratar de conseguir autos que sean capaces de saciar parte de su consumo energético mediante sistemas fotovoltaicos (Fernandez, 2019).

El Toyota Prius fue uno de los primeros autos en incorporar comercialmente paneles solares para la generación de electricidad por el año 2010. Sin embargo, no era un sistema muy ambicioso: su uso estaba limitado a unas cuantas células fotovoltaicas en el techo que generaban electricidad que se utilizaba para ventilar el habitáculo cuando se quedaba aparcado al sol. Por lo tanto, no era un sistema que generase energía para poder mover el vehículo. El Nissan LEAF, buque insignia de la movilidad eléctrica de la marca japonesa, también equipó un extra similar en su primera generación.

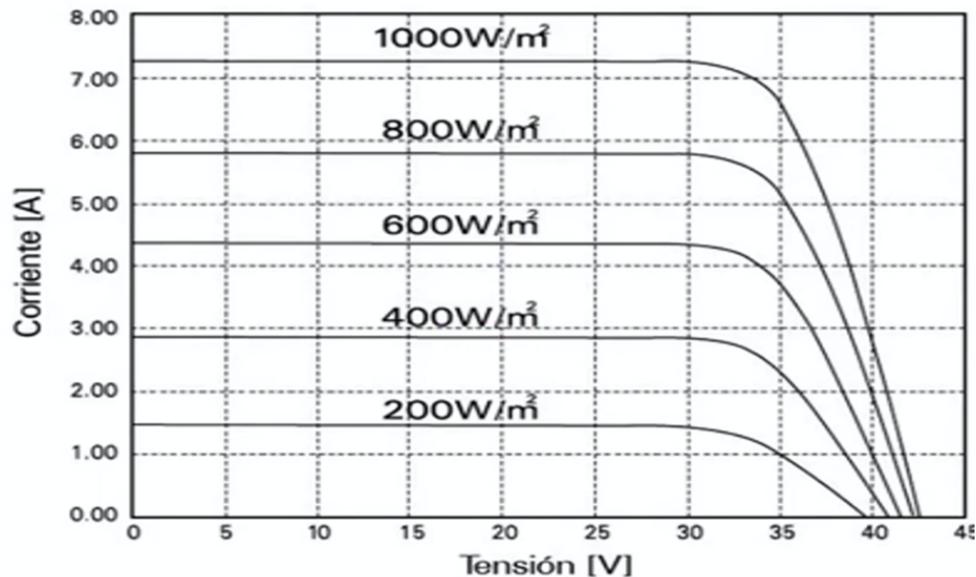
Ahora, en 2019, las cosas han cambiado mucho. Sin ir más lejos, Toyota ha vuelto con el Prius enchufable de nueva generación, ofreciendo como extra la instalación de células fotovoltaicas en el techo con 180 W de potencia nominal. Eso siempre y cuando las condiciones de radiación sean ideales, claro. En paralelo, la marca ha anunciado un acuerdo de colaboración Sharp Corporation y NEDO probar un prototipo de Prius enchufable con paneles que no se limitan al techo, sino que cubren también el capó y la luna trasera, dando una potencia total de 860 W.

Además de las marcas históricas, también han aparecido nuevos jugadores en el mercado. El pasado mes de junio, Lightyear One dio a conocer un prototipo de su vehículo eléctrico equipado con paneles solares, abriendo pedidos anticipados en una serie limitada por nada menos que 120.000 euros cada uno y con entrega en 2021. Otra de las que más repercusión está teniendo es Sono Motors y su modelo Sion, un coche que promete hasta 34 kilómetros diarios adicionales de autonomía gracias a las 248 células solares integradas en toda la carrocería. Según el startup de origen alemán, el sistema tiene una eficiencia del 24 % y una potencia pico de generación de 1.208 W (Fernandez, 2019).

3.4.2. Viabilidad técnica, energética y económica de los vehículos solares fotovoltaicos. En la actualidad, fabricar un automóvil comercial y alineado con los estándares de la industria que esté impulsado al 100% por energía solar no es posible. Como mucho podría hacerse uno parcialmente impulsado con energía solar. Para determinar los datos, se tomaron como modelos, el prototipo del Toyota Prius con 860 W de potencia instalada, suponiendo que el auto se desplazara sobre una superficie plana perfecta. Se realizaron los cálculos de la estimación de producción solar en Madrid a partir de un sistema de esa potencia y suponiendo una inclinación de 0 grados respecto al suelo.

Los resultados muestran una producción bruta de 1360 kWh anuales, con importantes variaciones entre los meses de invierno y verano como es habitual para la generación solar y sin contar ningún tipo de pérdida. Suponiendo un vehículo que consuma 15 kWh cada 100 kilómetros, esa energía sería suficiente para recorrer unos 9.000 kilómetros al año. Pero teniendo en cuenta que, los cálculos están realizados en condiciones ideales, obviando situaciones que ocurrirán durante el día a día, tales como: el vehículo no va a estar ni todas las horas del día ni todos los días del año aparcado en la calle, la suciedad impregnada en la carrocería restará eficiencia a los paneles solares, las pérdidas del sistema desde las células fotovoltaicas hasta la batería del auto y después de nuevo hasta el motor, etc.

Figura 25. Corriente-tensión

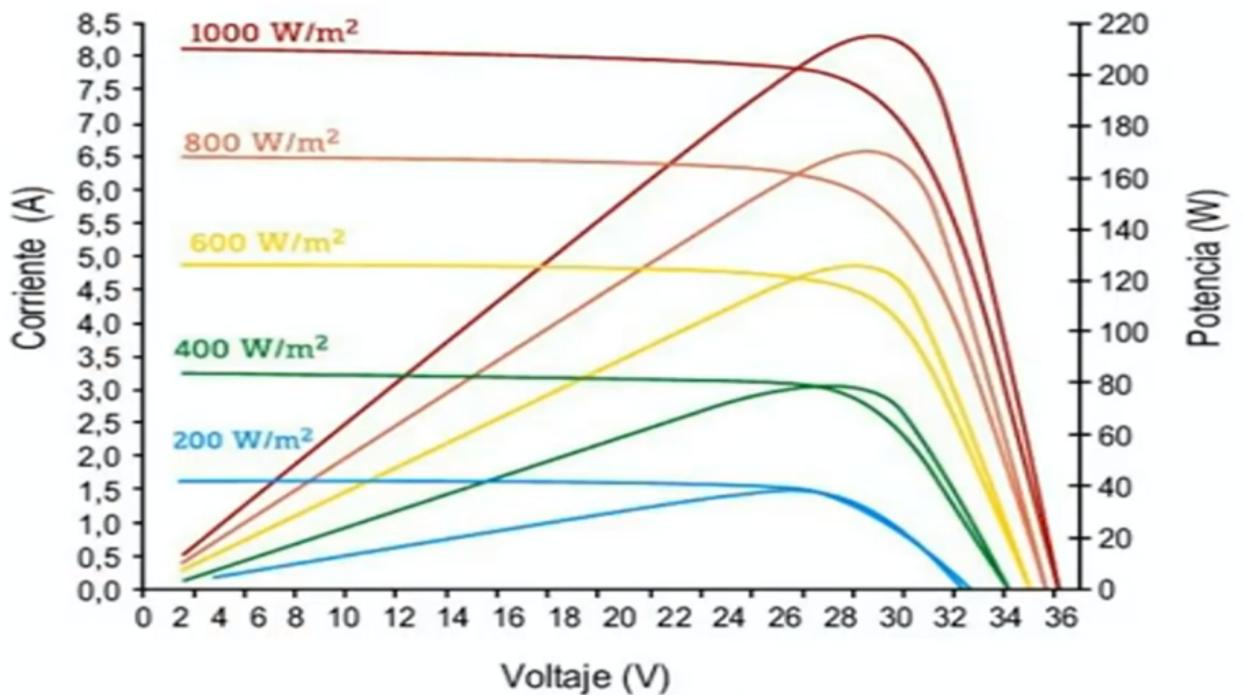


Fuente:(sebastian, 2019)

La figura 25 nos enseña una gráfica de corriente- tensión especificando las variantes de potencia que circulan por medio de esta.

Las mejores condiciones de radiación ruidadas se obtiene con 1000 W/m², el fabricante nos proporciona esta curva como punto de referencia pero además nos proporciona curvas adicionales descendentes que nos indica esta misma relación para 800, 400, 200 w/m² etc.

Figura 26. Corriente- voltaje- potencia



Fuente: (sebastian, 2019)

La figura 26 nos enseña por medio de una gráfica corriente- voltaje- potencia las condiciones de radiación.

A partir de los datos de tensión e intensidad se obtiene esta grafica podemos encontrar también las curvas de potencia, esta grafica de potencia nos proporciona al punto de máxima potencias de la placa, es decir nos indica la tensión e intensidad en las mejores condiciones posibles de funcionamiento a 1000 W/m².

Finalmente, queda la variable más importante: el precio. ¿Cuánto cuesta equipar un sistema de este tipo? ¿Cuánto le cuesta al usuario equipar este extra en el auto? ¿Realmente merece la pena frente a gastarse ese dinero en electricidad o directamente en una instalación fotovoltaica en casa? Un cálculo rápido indica que recorrer 1.000 kilómetros en un vehículo eléctrico con tarifa nominal cuesta entre 10 y 15 euros, por lo que hacer 9.000 km costaría entre 90 y 135 euros. Por el momento, y mientras las células fotovoltaicas no sigan avanzando tecnológicamente, la tarea es complicada. Pero probablemente, con el tiempo se podrán conseguir sistemas más eficientes, mejor integrados y a menor precio.

4. RESULTADOS

A continuación se muestran los siguientes resultados.

4.1. MODELADO DEL SISTEMA MEDIANTE LA HERRAMIENTA DE SOFTWARE SOLIDWORKS E INGENIERÍA DE DETALLE

En esta fase de ejecución del proyecto, se seleccionaron los componentes y elementos con los cuales se diseñará el prototipo, teniendo en cuenta el costo, disponibilidad y los aspectos técnicos más relevantes para el diseño. Una vez investigado sobre los componentes más adecuados y determinar los elementos de diseño para elaborar el prototipo, se modeló el vehículo eléctrico mediante la herramienta de software SolidWorks.

El chasis escogido fue el Robot GPR 2.0, entre las opciones estaban el 2WD MINIQ, el chasis para mini sumo, el chasis 4WD

Se descartó el 2WD MINIQ por precio, diseño, tamaño, y no era el adecuado teniendo en cuenta el objetivo del proyecto, el chasis para mini sumo se descartó por el peso, diseño y el precio, el 4wd se descartó por poseer 2 motores más, lo cual implicaría más componentes para su desempeño por ende más consumo de corriente o voltaje; se concluye escogiendo el GPR por su diseño, tamaño, peso, costo y componentes, al solo poseer 2 motores me consumirá menos corriente.

Se escogió el módulo Bluetooth HC-06 como medio de comunicación y no el HC-05 o un módulo WI-FI, debido a las características el 05 solo puede funcionar en modo esclavo, es decir únicamente se puede conectar a un maestro, en cambio el 06, es maestro, puede funcionar como servidor por decirlo así, pudiéndose

conectar a él otros esclavos y el módulo WI-FI pasaba los estándares requeridos (alcance de conexión), además su instalación y programación es más extenuante.

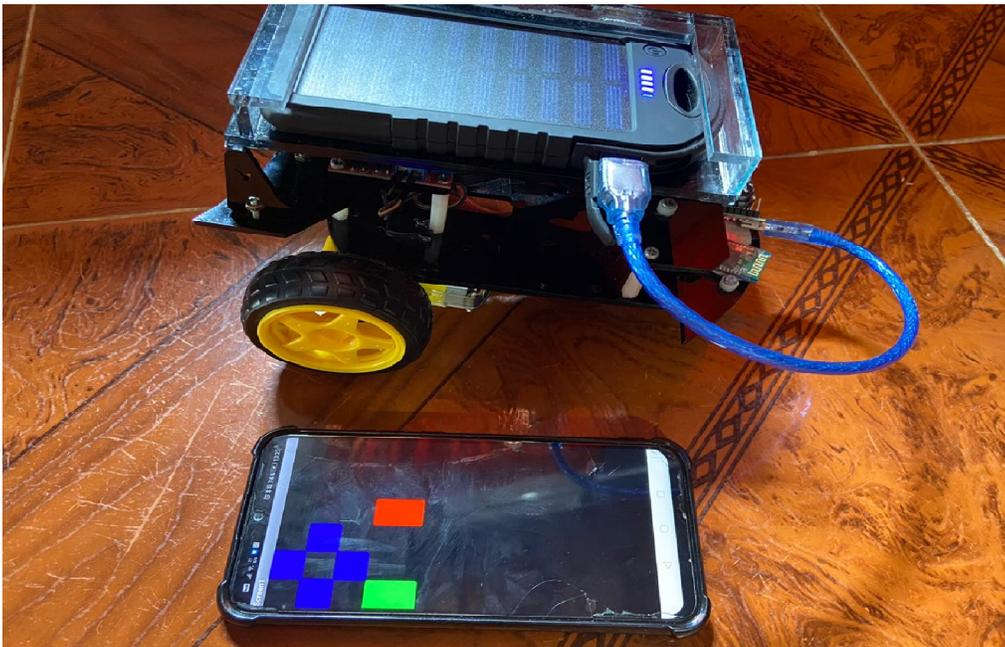
El módulo L298n, se escogió para invertir el giro del motor, por la facilidad de uso, el circuito se pudo realizar artesanalmente con otros componentes y un driver L293d, pero al ser más compacto y por estética se escogió el L298n, si se hubiese escogido un chasis diferente con 4 motores se hubiese comprado 2 módulos L298n

Se escogió la tarjeta de control Arduino nano, por el tamaño que posee y la estética que le brindaba al Robot, un Arduino por su tamaño, la cantidad de pines que trae para conexión o las propiedades que maneja eran innecesarias para el proyecto, el Arduino micro tiende a salir muy defectuoso y se daña (esa falla es de los proveedores)

4.2. PUESTA EN MARCHA Y PRUEBA DEL VEHICULO

Una vez montada toda la estructura del vehículo e instalados todos los componentes, se realizaron las pruebas para determinar en primer lugar la funcionalidad del aplicativo instalado en el teléfono celular, el cual hace las veces de control remoto del prototipo. Luego de esto, se realizaron las pruebas de movimiento y coordinación de las ruedas, así como la respuesta a los comandos emitidos desde el teléfono, para finalmente verificar que la capacidad de carga del prototipo a través del panel instalado, efectivamente proveyera la energía necesaria para el funcionamiento del mismo.

Figura 27. Pruebas de funcionalidad del APK en el celular



Fuente: Elaboración propia

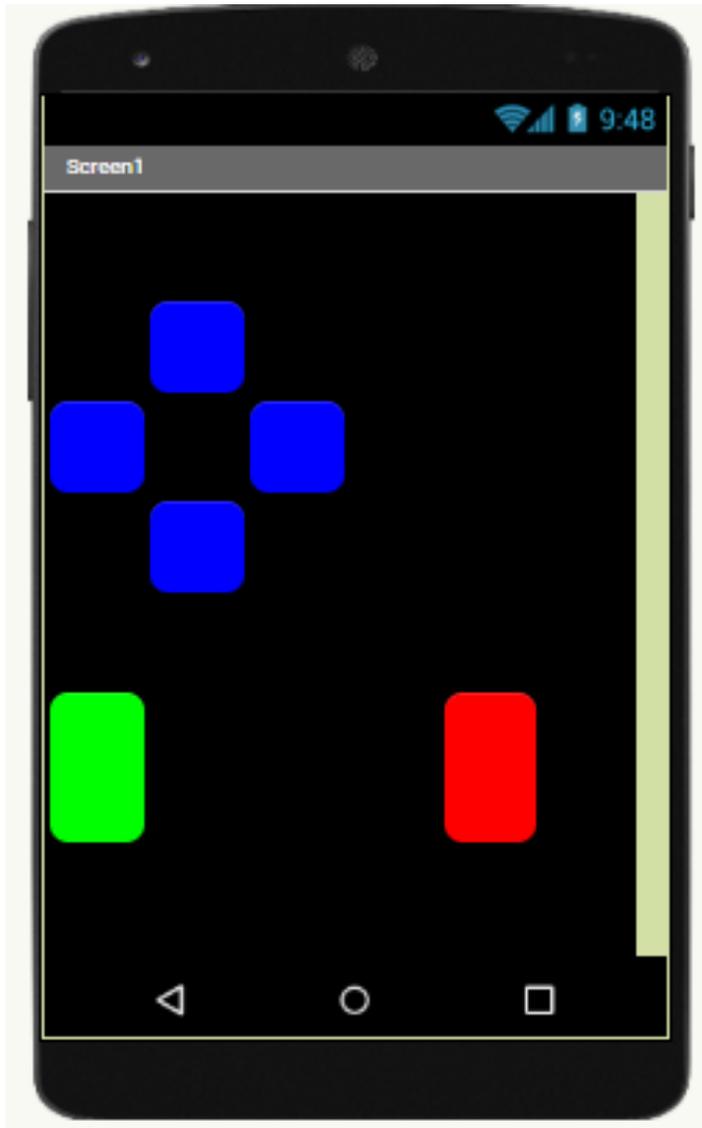
La figura 27 nos demuestra las pruebas realizadas con la APK en el celular para verificar que este dispositivo genere el paso adelante, atrás, izquierda, derecha.

Figura 28. APK realizada en MIT APP NVENTOR

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

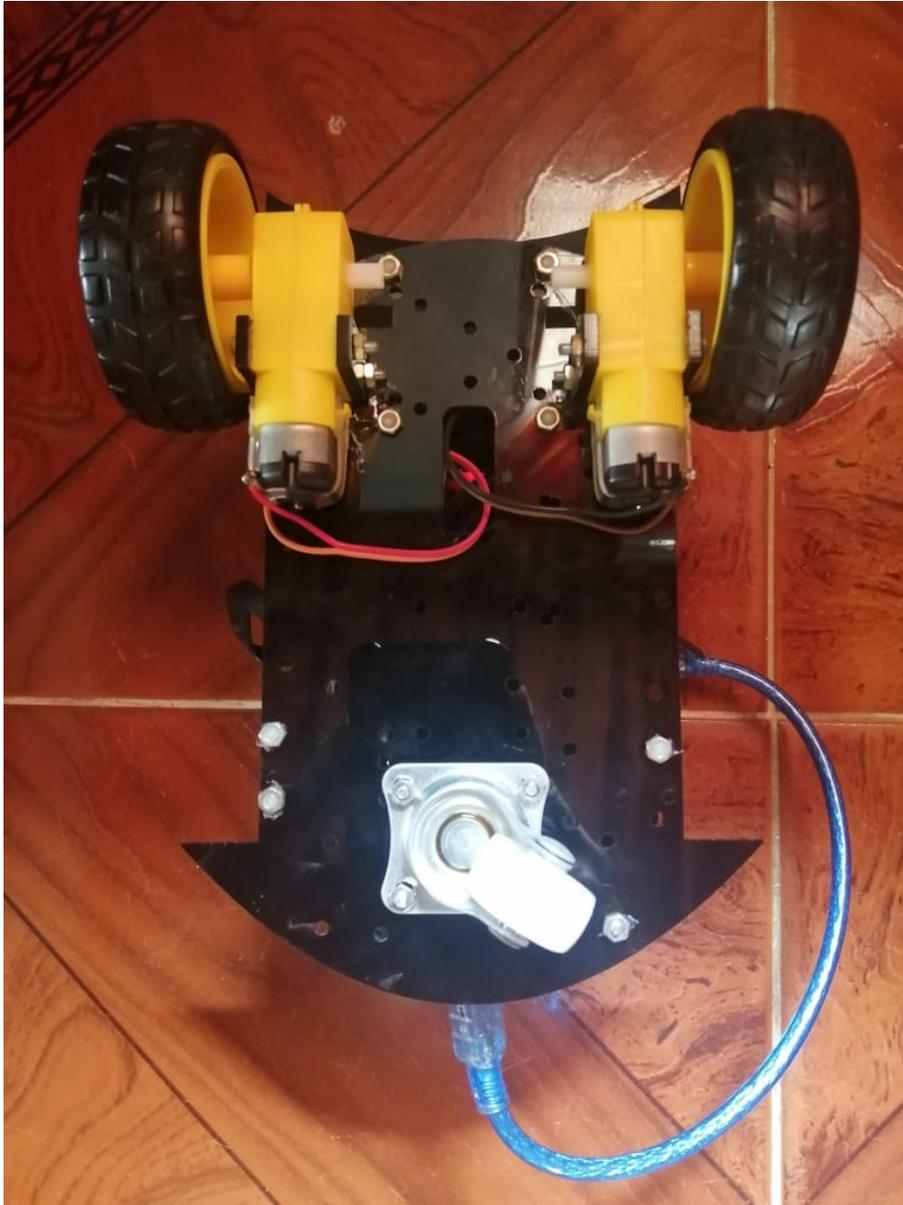
APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



Fuente: Elaboración propia

La figura 28 nos muestra como quedó estructurada la aplicación hecha en MIT APP INVENTOR para el control del prototipo a escala por medio del microcontrolador Arduino nano y su módulo bluetooth HC-06.

Figura 29. Verificación de las conexiones de los motores



Fuente: Elaboración propia

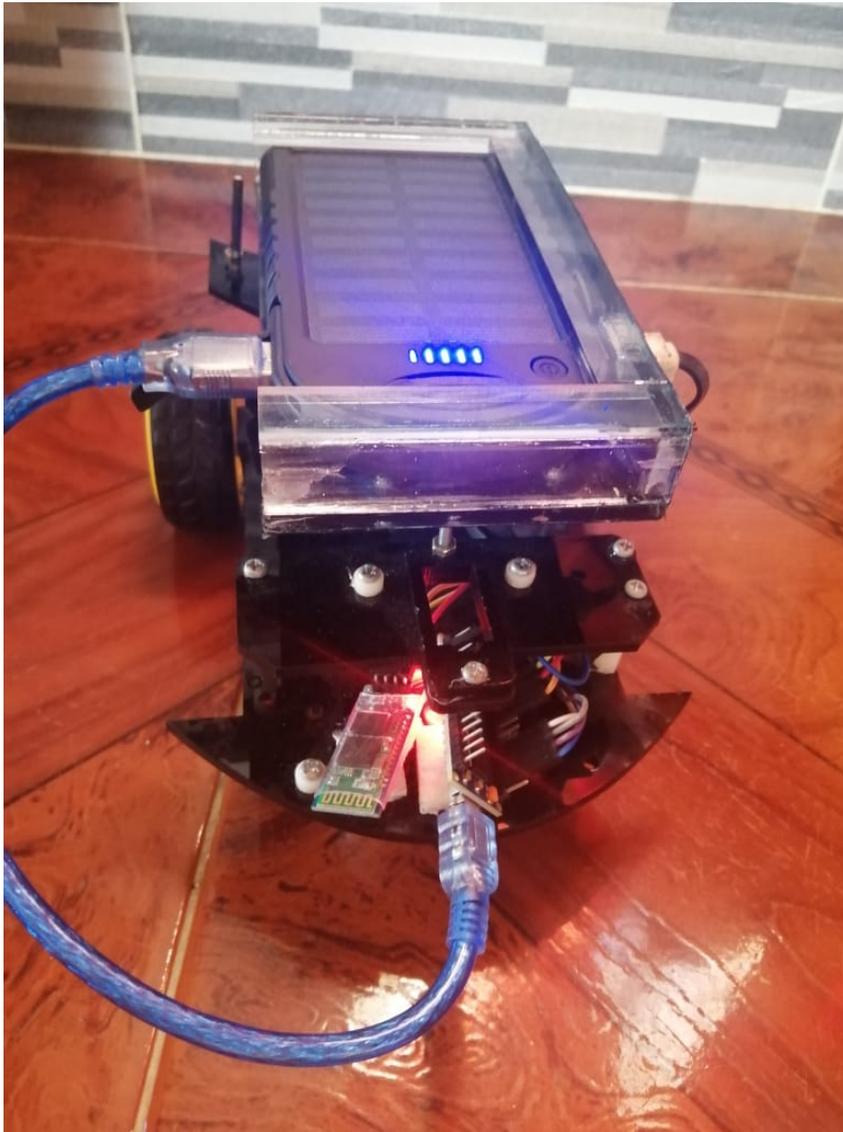
En la figura 29 se concluyó a verificar sus conexiones eléctricas en los motores como estructurales en sus piezas.

Figura 30. Verificación de conexión del panel de alimentación

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



Fuente: Elaboración propia

La figura 30 no señala la conexión del panel de alimentación con sus respectivos elementos para así verificar que este esté funcionando en su modo más eficaz.

Figura 31. Verificación de la carga del panel

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



Fuente: Elaboración propia

La figura 31 concluye la verificación de la carga del panel solar portátil Power Bank modelo sg-2832.

Finalmente, como se muestra en la figura 30, se realizaron las respectivas comprobaciones de la funcionalidad del panel y su capacidad para alimentar de forma correcta los motores del vehículo que hacen que este logre desplazarse siguiendo los comandos ejecutados desde la aplicación instalada en el celular, a modo de control remoto. Eventualmente y luego de hacer las respectivas comprobaciones se pudo establecer que el panel instalado permitía que los motores del prototipo hicieran mover las ruedas, lo que hacía que este se pudiera desplazar siguiendo las indicaciones impartidas desde el teléfono, por medio del APK, lo que resulta en el éxito del prototipo y por ende en el cumplimiento del objetivo del presente trabajo de grado.

5. CONCLUSIONES

Por medio de este proyecto de investigación se buscaron alternativas para reducir la emisión de los gases de efecto invernadero, originados por los vehículos de combustión tradicionales, alimentados por derivados del petróleo. De igual forma se propicia el desarrollo y la implementación de los diferentes tipos de energía renovables para la contribución al medio ambiente de una forma sustentable, teniendo como fuente principal la energía obtenida del sol.

El diseño del sistema solar fotovoltaico se realizó utilizando con proveedor principal de energía una fuente de poder comercial, de fácil acceso y precio accesible utilizada con el propósito de demostrar que este tipo de sistemas, efectivamente pueden llegar a suplir las necesidades energéticas, si son elegido adecuadamente, según los propósitos y las necesidades específicas. Para ello, se realizó un repaso general sobre los diferentes sistemas solares fotovoltaicos, exponiendo sus principales características, ventajas y desventajas, con el fin de elegir el sistema que mejor se adecuara a los propósitos de la presente investigación.

Los componentes para elaborar el prototipo de vehículo eléctrico alimentado con energía solar fotovoltaica, se pensó como un modelo práctico, eficiente y que se pudiera adaptar a un modelo real, teniendo en cuenta las limitaciones y ventajas que su diseño puede aportar. Es así como la elección de los materiales, atendió al diseño que, mediante herramientas de diseño, tal como SolidWorks, por medio de la cual se pudo verificar y comprobar que efectivamente las dimensiones, piezas, formas y demás particularidades del prototipo podían ser llevadas a un modelo adecuado, operativo y funcional

El diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico alimentado por energía solar fotovoltaica responde a numerosas necesidades y dificultades presentes en muchas de las ciudades del mundo, y ofrece soluciones al congestionado tráfico que presentan las principales vías vehiculares, a la creciente contaminación ambiental y a las agotables fuentes de energía fósiles. Además de servir como plataforma tecnológica para el desarrollo de nuevos sistemas, conjuntos y mecanismos que permiten el desarrollo de autos eléctricos solares en Colombia, que hasta el momento es una tecnología prácticamente nula en el país.

Por último, una serie de limitaciones importantes necesitan ser consideradas. En primer lugar, la baja capacidad de generar energía de los paneles, el espacio que ocupan los mismos, sugiriendo que el tamaño y la cantidad de foto celdas tienen que ser amplia, la escasa autonomía de la energía que brindan los acumuladores, y el costo que implica conseguir todo este equipo, hacen que, por el momento, no sea la mejor opción invertir en vehículos netamente alimentados por energía solar fotovoltaica.

6. RECOMENDACIONES

Según los resultados de la investigación, es importante buscar nuevas alternativas para movilización de personas que tengan que ver con energías renovables para evitar la contaminación ambiental y la destrucción del ecosistema y del planeta en general, pues tal como se pudo apreciar en el desarrollo del presente trabajo, existen opciones viables, adecuadas y que pueden ser adaptadas de forma gradual en los vehículos existentes en la actualidad.

El uso de este tipo de celdas fotovoltaicas, como las que se utilizaron en el desarrollo de la presente investigación, ofrecen una razonable producción de energía eléctrica, que se debería aprovechar con mayor eficiencia para sacarles el máximo provecho. Cuando se tiene un día con una irradiación solar buena y el conjunto de foto celdas debidamente acopladas, se lograría generar la suficiente energía eléctrica para ser almacenada en acumuladores la misma que podría ser aprovechada para mover un vehículo.

En este sentido, se podría fabricar cargadores de baterías en una forma artesanal que puedan ser adaptables a la corriente continua que generan los paneles fotovoltaicos con una serie de componentes que admitan el funcionamiento del circuito. Con esto, el proyecto que se expuso, brinda una serie de posibilidades, que pueden ser aprovechadas para futuras investigaciones por los estudiantes del programa de Tecnología en Electromecánica y Mantenimiento Electromecánico de las Unidades Tecnológicas de Santander, siempre en pro de buscar alternativas tecnológicas a los problemas y necesidades que el mundo moderno plantea, aportando el conocimiento al beneficio de la sociedad.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I.E.S. Cuenca Minera. (2015). *Proyecto : Control coche Arduino-Android*. Obtenido de http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/sitio/upload/proyecto_coche_arduinoandroid.pdf
- Acciona Business. (2017). *Energía solar*. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>
- Almanza, R., & Muñoz, F. (1994). *Ingeniería de la energía solar*. México DF.
- Arévalo, J., Ortiz, R., Gama, E., Ramos, O., & Duque, J. (2013). *Diseño e implementación de un prototipo de vehículo solar con almacenamiento de energía*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Autolibre. (2011). *Vehículos electricos*. Obtenido de <http://autolibre.blogspot.com/2014/10/analisis-integral-del-vehiculo-electrico.html#more>
- Benito, G., & Ruiz, K. (2018). *Análisis beneficio-costo de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus aguas claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Meta*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Bitar, S., & Chamas, F. (2017). *Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos como fuente de energía en el sector industrial de Colombia*. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración – CESA.
- Cadena, D., & Jaramillo, D. (2015). *Automatización de un prototipo de vehículo solar fotovoltaico*. Sangolquí: UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.
- Carreño, E. D., Vacca, E., & Lugo, I. (2011). *Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar*. Bogotá: Universidad Distrital.

- Centro de Estudios de Energía Solar. (2001). *Instalaciones de energía solar. Tomo 2: energética solar*. Sevilla, España: Progensa.
- Constitución política de Colombia. (2018). *Artículo 79*. Obtenido de <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-3/articulo-79>
- Croxwell, D. (2014). *Motor electrico* . Obtenido de <http://www.inventosmodernos.cl/motor-electrico.htm>
- Dávila, E. (2016). *Diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico monoplaza alimentado por energía solar mediante paneles solares*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Eliseos, S. (2018). *Panel Solar Fotovoltaico*. Obtenido de <https://eliseosebastian.tumblr.com/post/27900695685/componentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico>
- ESCO-TEL. (2014). *Plantas de luz solar generadoras de energia electrica* . Obtenido de http://www.esco-tel.com/plantas_de_luz_solares.html
- FactorEnergia. (2016). *Energías alternativas: Qué son y qué tipos existen*. Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-son-energias-alternativas/>
- Fernández, M. (2010). *Energía solar: Electricidad Fotovoltaica*. Madrid Españ: Liberfactory.
- Fernandez, S. (27 de 09 de 2019). *¿Son viables los coches solares?* Obtenido de <https://nergiza.com/son-viables-los-coches-solares/>
- Instalación de energía solar. (2015). *Celdas fotovoltaicas: historia*. Obtenido de <http://www.instalacionenergiasolar.com/energia/celdas-fotovoltaicas.html>
- La Republica. (2019). *La apuesta por la energías renovables*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/analisis/amyllkar-d-acosta-m-557896/la-apuesta-por-la-energias-renovables-2860710>

- Llamas, L. (26 de mayo de 2016). *CONTROLAR MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA CON ARDUINO Y L298N*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-motor-corriente-continua-l298n/>
- Méndez, J., & García, R. (2011). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal, D.L.
- Ministerio de Ambiente. (2009). *Resolución 0551 de 2009*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Resoluciones/res_0551_190309.pdf
- Ministerio de Ambiente. (2018). *Protocolo de Kioto (pK)*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Resolución 180919 de 2010*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/674559/Resolución+transitoria+para+incentivos+PROURE2.pdf/01410e6b-2c9f-410e-bb48-bcedb0e8441c>
- Ministerio de Minas y Energía. (2014). *Ley 1715 del año 2014*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22602-11506.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015*. Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23963489/110118_proy_dec_FNCER.pdf/a8dc5abd-4c41-43da-b7d9-c01c2c3c19ae
- Montañez, J., Vargas, J., & Trujillo, E. (2015). *Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela Campo 45 del corregimiento el Centro del municipio de Barrancabermeja*. Barrancabermeja: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Motorpasion. (2015). *Vehículos híbridos*. Obtenido de <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>
- Ramos, A., & Soto, F. (2013). *Propuesta del prototipo de un vehículo eléctrico sustentable*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- RES & RUE Dissemination. (2015). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <https://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm>
- Revista Semana. (2017). *Calentamiento global se daría más rápido de lo previsto*. Obtenido de <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/que-pasara-con-el-calentamiento-global-en-los-proximos-anos/46758>
- sebastian. (15 de octubre de 2019). *eliseo*. Obtenido de [eliseosebastian: https://eliseosebastian.com/calcular-eficiencia-de-paneles-solares/](https://eliseosebastian.com/calcular-eficiencia-de-paneles-solares/)
- Senado de la República. (2001). *Ley 687 del 2001*. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html
- SunSupply. (2018). *Así funcionan los paneles solares componente básico para generar energía solar*. Obtenido de <https://www.sunsupplyco.com/asi-funcionan-los-paneles-solares/>
- YubaSolar. (2013). *Celdas Fotovoltaica*. Obtenido de <http://www.yubasolar.net/2015/03/las-celdas-fotovoltaicas.html>
- YubaSolar. (22 de enero de 2016). *www.yubasolar.net/*. Obtenido de Celdas fotovoltaicas: <http://www.yubasolar.net/2015/03/las-celdas-fotovoltaicas.html>

8. ANEXOS

Anexo A. Programación Arduino

```
int Pin_Motor_Der_A = 8;
int Pin_Motor_Der_B = 9;
int Pin_Motor_Izq_A = 10;
int Pin_Motor_Izq_B = 11;
int tiempo=0;
void setup () {
  // inicializar la comunicación serial a 9600 bits por segundo:
  Serial. Begin (9600);
  // configuramos los pines como salida
  pin Mode (Pin_Motor_Der_A, OUTPUT);
  pinMode (Pin_Motor_Der_B, OUTPUT);
  pinMode (Pin_Motor_Izq_A, OUTPUT);
  pinMode (Pin_Motor_Izq_B, OUTPUT);
}
void loop () {
  if (Serial. Available ()) {
    char Dato= Serial. Read ();
    if (Dato=='a')
    {
      Mover Adelante ();
      tempo=0;
    }
    else if (Dato=='r')
```

```
{  
Mover Retroceso ();  
    tiempo=0;  
}  
eseof(dato=='d')  
{  
Mover Derecha ();  
tempo=0;  
}  
    else if (Dato=='l')  
{  
Mover Izquierda ();  
    tiempo=0;  
}  
}  
of(tiempo<200) // 100 ciclos de 1ms  
{  
    tiempo=tiempo+1;  
}  
ese //ya transcurrió 100ms (100ciclos)  
{  
Mover Stop ();  
}  
dela (1); //pausa de 1ms por ciclo  
}  
void Mover Adelante ()  
{
```

```
digitalWrite (Pin_Motor_Der_A, HIGH);
digitalWrite (Pin_Motor_Der_B, LOW);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_A, HIGH);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_B, LOW);
}
void Mover_Retroceso ()
{
digitalWrite (Pin_Motor_Der_A, LOW);
digitalWrite (Pin_Motor_Der_B, HIGH);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_A, LOW);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_B, HIGH);
}
void Mover Derecha ()
{
digitalWrite (Pin_Motor_Der_A, LOW);
digitalWrite (Pin_Motor_Der_B, HIGH);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_B, HIGH);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_A, LOW);
}
void Mover Izquierda ()
{
digitalWrite (Pin_Motor_Der_B, HIGH);
digitalWrite (Pin_Motor_Der_A, LOW);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_A, LOW);
digitalWrite (Pin_Motor_Izq_B, HIGH);
}
void Mover Stop ()
```

```
{  
  digitalWrite (Pin_Motor_Der_A, LOW);  
  digitalWrite (Pin_Motor_Der_B, LOW);  
  digitalWrite (Pin_Motor_Izq_A, LOW);  
  digitalWrite (Pin_Motor_Izq_B, LOW);  
}
```

Anexo B. Programación celular

```
when Button9 .Click
do close application

when SelectorDeLista1 .BeforePicking
do set SelectorDeLista1 . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames

when SelectorDeLista1 .AfterPicking
do set SelectorDeLista1 . Selection to call BluetoothClient1 .Connect
address SelectorDeLista1 . Selection

when Adelante .Click
do call BluetoothClient1 .SendText
text "a"

when Botón2 .Click
do call BluetoothClient1 .SendText
text "r"

when Botón3 .Click
do call BluetoothClient1 .SendText
text "d"

when Botón4 .Click
do call BluetoothClient1 .SendText
text "i"
```

Fuente: Elaboración propia