

Energías renovables en el desarrollo de aplicaciones electrónicas para **DISPOSITIVOS DE MOVIMIENTO**



Mónica Flores Marín
Luis Benavides Castillo

U
UEES



*Energías renovables en el desarrollo
de aplicaciones electrónicas
para dispositivos de movimiento*

Mónica Flores Marín
Luis Benavides Castillo
2018

Universidad Espíritu Santo – Ecuador

Autores:

Mónica Flores Marín
Luis Benavides Castillo

Editores:

Fernando Espinoza Fuentes
Alexandra Portalanza Chavarría

Asistente editorial:

Natascha Ortiz Yáñez

Cita:

(Flores & Benavides, 2018)

Referencia Bibliográfica:

Flores, M. & Benavides L., (2018). Energías renovables en el desarrollo de aplicaciones electrónicas para dispositivos de movimiento. Universidad Espíritu Santo - Ecuador.

Portada:

Universidad Espíritu Santo.

Diagramación e impresión:

Impgraficorp S.A.

ISBN-E:

978-9978-25-219-2

Derechos reservados. Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio, sin la autorización escrita de los editores.

Agradecimientos a:

George Orlando Ascencio Jordán

Jorge Eduardo González Feijóo

Manuel Isaac Rezabala Franco

María Daniella Muñoz Arias

Sedny Garrido Peñaherrera

*La integración de sus proyectos de titulación ha sido
plasmada en este libro, con el fin de entregar a la
comunidad las aplicaciones y beneficios de una ingeniería
consciente e innovadora.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción.....	i
-------------------	---

CASO I:

Desarrollo de un automóvil para niños basado en microcontrolador con eficiencia ecológica de energía.

CAPÍTULO I Introducción

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Enfoque de la solución.....	3
1.4	Alcance.....	5
1.5	Descripción de los objetivos del proyecto.....	6
1.6	Contenido.....	6

CAPÍTULO II Componentes utilizados

2.1	Paneles solares.....	11
2.1.1	Sistemas de agrupamiento y conexión de paneles.....	13
2.1.1.1	Acoplamiento de módulos en serie.....	13
2.1.1.2	Acoplamiento de módulos en paralelo.....	14
2.1.1.3	Acoplamiento mixto de módulos.....	14
2.1.2	Tipos de los módulos fotovoltaicos.....	15
2.2	Arduino.....	15
2.2.1	Características de Arduino.....	17
2.2.2	Modelos y “shields”.....	18
2.2.2.1	Modelos.....	18
2.2.2.2	Shields.....	19
2.3	Wi-Fi.....	20
2.3.1	Antecedentes de la tecnología Wi-Fi.....	21
2.3.2	Características principales de Wi-Fi.....	22
2.3.3	Beneficios de Wi-Fi.....	23
2.4	GPS.....	24
2.4.1	Antecedentes del sistema GPS.....	25

2.4.2	Beneficios del GPS.....	26
2.5	Sistema operativo móvil Android.....	27
2.5.1	Características del sistema operativo Android.....	28
2.5.2	Arquitectura del sistema operativo Android.....	29
2.5.3	Versiones del sistema operativo Android.....	30
2.6	Carros para niños – CPN.....	33
2.6.1	Características de los CPN.....	33
2.7	Componentes electrónicos.....	34
2.7.1	Motor de paso.....	34
2.7.2	Relés.....	34
2.7.3	Reguladores.....	34
2.7.4	Transistores.....	35
2.7.5	Motor DC.....	35
2.8	Componentes mecánicos.....	35
2.8.1	Transmisión.....	35
2.8.2	Engranajes.....	36
2.8.3	Caja reductora de velocidad.....	36

CAPÍTULO III Análisis y selección de componentes del prototipo

3.1	Paneles solares.....	39
3.1.1	Comparación de paneles solares.....	39
3.2	Arduino.....	40
3.2.1	Comparación placas Arduino.....	40
3.3	Shield Wi-Fi.....	41
3.3.1	Comparaciones de Shields Wi-Fi.....	41
3.4	Shield GPS.....	43
3.4.1	Comparaciones de Shields GPS.....	43
3.5	Sistemas operativos para dispositivos móviles.....	44
3.5.1	Comparaciones de sistemas operativos.....	45

CAPÍTULO IV Circuito y estructura implementados

4.1	Diseño de circuito electrónico.....	49
4.1.1	Conexión de panel solar.....	50
4.1.2	Control de giro.....	51

4.1.3	Control de aceleración.....	52
-------	-----------------------------	----

CAPÍTULO V Diseño de la aplicación móvil ecoCar

5.1	Descripción de funcionalidades y casos de uso.....	55
5.1.1	Funcionalidad #1: Acelerar y retroceder.....	55
5.1.2	Funcionalidad #2: Girar.....	56
5.1.3	Funcionalidad #3: Mostrar ubicación geográfica.....	57
5.1.4	Funcionalidad #4: Encender y apagar de luces.....	58
5.2	Diagrama de caso de uso.....	59
5.3	Diagrama de secuencia.....	60
5.4	Arquitectura.....	60
5.5	Interfaz.....	61

CAPÍTULO VI Implementación y pruebas del prototipo

6.1	Implementación del circuito.....	65
6.2	Instalación y ejecución de la aplicación.....	66
6.3	Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	67
6.3.1	Pruebas del CPN.....	67
6.3.1.1	Pruebas en modo de funcionamiento manual.....	68
6.3.1.2	Pruebas en modo de funcionamiento automático.....	69
6.3.2	Pruebas de usabilidad de la aplicación.....	70

CASO II

Uso de energía renovable por medio de un generador termoeléctrico para energizar un puerto USB de carga en un vehículo.

CAPÍTULO VII Introducción

7.1	Antecedentes.....	77
7.2	Planteamiento del problema.....	80
7.3	Enfoque de la solución.....	82
7.4	Alcance.....	83
7.5	Descripción de los objetivos del proyecto.....	85

CAPÍTULO VIII Componentes utilizados

8.1	Generalidades del vehículo.....	89
8.2	Fundamentos de los motores de combustión interna a gasolina.....	89
8.2.1	Pérdidas en los motores de combustión interna a gasolina.....	90
8.2.2	Sistema eléctrico de un automóvil a gasolina.....	91
8.2.3	Acumuladores de voltaje o baterías.....	92
8.2.4	Reguladores de tensión de un automóvil.....	94
8.3	Termoelectricidad y sus efectos.....	94
8.3.1	Módulos termoeléctricos.....	95
8.3.2	Principios de funcionamiento de los módulos termoeléctricos.....	96
8.3.3	Generadores termoeléctricos de automoción.....	98
8.3.4	Especificaciones y características individuales de los módulos termoeléctricos.....	98
8.3.5	Configuración de módulos en serie y paralelo.....	100
8.3.5.1	Configuración en serie.....	101
8.3.5.2	Configuración en paralelo.....	101
8.4	Sistema de regulación y carga.....	102
8.4.1	Funcionalidad de los reguladores de tensión.....	102
8.4.2	Convertidores DC – DC.....	103
8.5	Funcionamiento del convertidor Step-Down Buck o reductor.....	104
8.6	Puertos Universal Serial Bus (USB).....	106
8.7	Banco de carga.....	106

CAPÍTULO IX Diseño – Herramientas y procedimientos

9.1	Instrumentos de medición.....	111
9.2	Instrumentos del generador termoeléctrico.....	112
9.3	Instrumentos de ensamblaje del generador termoeléctrico.....	112
9.3.1	Elementos de conducción térmica.....	112
9.3.2	Elementos de refrigeración.....	113
9.3.3	Elementos del soporte.....	114
9.3.4	Elementos de conducción eléctrica.....	115
9.4	Instrumentos electrónicos.....	115
9.5	Etapas de implementación.....	116
9.5.1	Procedimiento preliminar.....	116

9.5.2	Pruebas de laboratorio.....	116
9.6	Módulo individual.....	117
9.7	Sistema de regulación.....	119
9.8	Implementación con módulos.....	119
9.8.1	Arreglo serie-paralelo.....	119
9.9	Implementación de sistema de regulación.....	122
9.10	Implementación en el automóvil.....	123
9.10.1	Procedimiento mecánico.....	123
9.10.2	Procedimiento electrónico.....	125
9.11	Instalación eléctrica.....	125

CAPÍTULO X Análisis de resultados

10.1	Etapas de implementación.....	129
10.1.1	Procedimiento preliminar.....	129
10.2	Pruebas de laboratorio.....	131
10.2.1	Análisis individual del módulo.....	131
10.2.2	Análisis de sistema de regulación.....	133
10.2.3	Análisis teórico para la implementación de TEG.....	136
10.2.4	Arreglo en serie y paralelo.....	139
10.3	Instalación de los módulos.....	139
10.4	Implementación con módulos.....	144
10.5	Análisis de arreglo serie paralelo.....	147
10.6	Implementación de sistema de regulación.....	160
10.7	Implementación en el automóvil.....	162
10.7.1	Procedimiento electrónico.....	162
10.8	Instalación eléctrica.....	164
10.8.1	Conexión de módulos.....	164
10.9	Resultados de la implementación.....	165

CAPÍTULO XI Conclusiones finales

11.1	Conclusiones finales.....	169
	Bibliografía.....	173
	Apéndices.....	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Carro para niños a usar para la elaboración del prototipo.....	4
Figura 2.1	Esquema de funcionamiento del prototipo de CPN con eficiencia en el consumo de energía y una aplicación móvil.....	11
Figura 2.2	Celda fotovoltaica.....	12
Figura 2.3	Acoplamiento de módulos en serie.....	13
Figura 2.4	Acoplamiento de módulos en paralelo.....	14
Figura 2.5	Acoplamiento mixto de módulos.....	14
Figura 2.6	Configuración de red modo infraestructura.....	20
Figura 2.7	Configuración de red ad hoc.....	21
Figura 2.8	Logo de Wi-Fi.....	22
Figura 2.9	Arquitectura del sistema operativo Android.....	29
Figura 2.10	Versiones de Android.....	31
Figura 2.11	Gráfico lineal de la presencia en el mercado de los sistemas operativos para dispositivos móviles.....	32
Figura 4.1	Diagrama general de implementación de vehículo prototipo con eficiencia de energía.....	49
Figura 4.2	Esquema de funcionamiento mecánico.....	50
Figura 4.3	Diagrama general de conexión del panel solar.....	51
Figura 4.4	Esquema de conexión del motor de paso.....	51
Figura 4.5	Diagrama de conexión y elementos a usar para la aceleración y desaceleración del vehículo.....	52
Figura 5.1	Diagrama de secuencia de aceleración y reversa.....	55
Figura 5.2	Diagrama de secuencia para la acción de giro.....	56
Figura 5.3	Diagrama de secuencia para mostrar la ubicación geográfica del carro.....	57
Figura 5.4	Diagrama de secuencia de la funcionalidad para encender y apagar de luces.....	58
Figura 5.5	Diagrama de casos de uso de ecoCar.....	59
Figura 5.6	Diagrama de secuencia de la aplicación.....	60
Figura 5.7	Arquitectura de la aplicación.....	60
Figura 6.1	Soporte colocado en el CPN.....	65
Figura 6.2	Habilitación de opciones de seguridad para instalar la aplicación.....	66

Figura 6.3	Espacio de almacenamiento empleado por la aplicación desarrollada.....	67
Figura 6.4	Diálogo de error al momento de conectarse con el módulo Wi-Fi.....	71
Figura 8.1.	Camino que sigue la energía de un vehículo de combustión interna.....	91
Figura 8.2.	Módulos termoelectricos. (A) Efecto Peltier. (B) Efecto Seebeck. (C). Módulo visto desde el interior.....	97
Figura 8.3.	Módulo termoelectrico conectado a una carga.....	97
Figura 8.4.	Diagrama del modelo eléctrico del módulo termoelectrico.....	100
Figura 8.5.	Circuito eléctrico de los módulos. (A) Configuración en serie. (B) Configuración en paralelo.....	101
Figura 8.6.	Tipos de reguladores. (A) Regulador básico. (B) Regulador básico en serie. (C) Regulador básico realimentado.....	103
Figura 8.7.	Esquema de un convertidor Buck con un generador termoelectrico como fuente.....	105
Figura 8.8.	Disposición pines puertos USB.....	106
Figura 8.9.	Diagrama de bloques del banco de carga.....	107
Figura 9.1.	Instrumentos de medición. (A) Multímetro Fluke Modelo 179. (B) Termocupla Fluke.....	111
Figura 9.2.	Dimensiones del módulo TE-MOD-10W4V-40.....	112
Figura 9.3.	Representación gráfica de zona de contacto de módulos. (A) Contacto parcial de un módulo. (B) Contacto total de los módulos.....	113
Figura 9.4.	Módulos con sistema de refrigeración.....	114
Figura 9.5.	Módulos con sistema de refrigeración y soporte.....	115
Figura 9.6.	Curva característica del módulo, relación de voltaje en circuito abierto y diferencias térmicas.....	118
Figura 9.7.	Curva característica del módulo, relación de resistencia interna y diferencias térmicas.....	118
Figura 9.8.	Curva característica del regulador MicroTEG.....	119
Figura 9.9.	Diagrama esquemático de arreglo de módulos en serie.....	120
Figura 9.10.	Diagrama esquemático de arreglo de módulos en paralelo.....	121
Figura 9.11.	Diagrama esquemático del equivalente de fuentes de voltaje y corriente.....	121

Figura 9.12.	Diagrama esquemático de arreglo de módulos en paralelo y serie.....	122
Figura 9.13.	Diagrama de bloques sistema eléctrico completo.....	123
Figura 9.14.	Sistema de escape de Volkswagen Gurgel.....	124
Figura 9.15.	Tipos de ajustes de intercambiadores de calor. (A) Placa con una abrazadera transversal. (B) Placa con varias abrazaderas.....	124
Figura 10.1.	Delimitación de zonas para medición de temperatura.....	130
Figura 10.2.	Diagrama esquemático del sistema de regulación buck de prueba.....	134
Figura 10.3.	Diagrama esquemático de regulador buck doble.....	134
Figura 10.4.	Diagrama de bloques del sistema de regulación de prueba..	135
Figura 10.5.	Disposición de los intercambiadores de calor en el tubo de escape del vehículo.....	140
Figura 10.6.	Generador termoeléctrico de un módulo. (A) Vista aérea (B) Vista frontal.....	141
Figura 10.7.	Generador termoeléctrico con abrazaderas transversales. (A) Vista aérea (B) Vista frontal.....	141
Figura 10.8.	Generador termoeléctrico con abrazadera larga. (A) Vista aérea (B) Vista frontal.....	142
Figura 10.9.	Disposición de los módulos en el escape del vehículo.....	143
Figura 10.10.	Vista inferior del vehículo con el sistema ATEG.....	144
Figura 10.11.	Comparación de los módulos en el escape del vehículo.....	147
Figura 10.12.	Diagrama de bloques de arreglo de módulos en serie.....	152
Figura 10.13.	Diagrama de bloques de arreglo de módulos en paralelo.....	153
Figura 10.14.	Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 1.	127
Figura 10.15.	Diagrama esquemático del arreglo de módulos de la configuración 1.....	154
Figura 10.16.	Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 2.....	155
Figura 10.17.	Diagrama esquemático del arreglo de módulos de la configuración 2.....	155
Figura 10.18.	Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 3.....	156

Figura 10.19. Diagramas esquemáticos de configuración 3. (A) Arreglo de módulos. (B) Diagrama esquemático de la reducción de módulos.....	156
Figura 10.20. Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 4.....	157
Figura 10.21. Diagramas esquemáticos de configuración 4. (A) Arreglo de módulos. (B) Diagrama esquemático de la reducción de módulos.....	157
Figura 10.22. Diagrama esquemático del equivalente a un módulo.....	158
Figura 10.23. Voltajes y corriente de configuraciones con vehículo detenido.....	159
Figura 10.24. Voltajes y corriente de configuraciones con vehículo en movimiento.....	160
Figura 10.25. Diagrama de bloque del circuito implementado.....	161
Figura 10.26. Diagrama esquemático del circuito implementado.....	162
Figura 10.27. Diseño de placa PCB visualizada en 3D.....	163
Figura 10.28. PCB del circuito implementado. (A) Vista superior. (B) Vista posterior.....	163
Figura 10.29. Conexión de módulos en la bornera.....	165
Figura 10.30. Mediciones V _C del sistema de regulación. (A) Carro detenido. (B) Carro en movimiento.....	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Principales módulos fotovoltaicos de acuerdo al material de Construcción.....	15
Tabla 2.2	Modelos de placas Arduino.....	18
Tabla 2.3	Modelos de shields para Arduino.....	19
Tabla 2.4	Estándares IEEE 802.11.....	23
Tabla 3.1	Tabla comparativa de las principales características de los paneles solares.....	39
Tabla 3.2	Tabla comparativa de las principales características de las placas Arduino a seleccionar.....	40
Tabla 3.3	Tabla comparativa de las principales características de shields Wi-Fi.....	42
Tabla 3.4	Estándares IEEE 802.11 soportado por las shields Iduino Yun, WizFi210 y CC3000.....	43
Tabla 3.5	Tabla comparativa de las principales características de shields GPS.....	44
Tabla 3.6	Tabla comparativa de las principales características de los sistemas operativos para dispositivos móviles.....	45
Tabla 5.1	Descripción textual del diagrama de secuencia acelerar y retroceder.....	56
Tabla 5.2	Descripción textual del diagrama de secuencia para la acción de girar.....	57
Tabla 5.3	Descripción textual del diagrama de secuencia para mostrar ubicación geográfica.....	58
Tabla 5.4	Descripción textual del diagrama de secuencia de encender y apagar luces.....	59
Tabla 6.1	Resultados generales obtenidos en ambos modos de funcionamiento.....	68
Tabla 6.2	Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento manual empleando el panel solar.....	68
Tabla 6.3	Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento manual sin usar el panel solar.....	69
Tabla 6.4	Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento manual sin usar el panel solar para recargar.....	69

Tabla 6.5	Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento automático empleando el panel solar.....	70
Tabla 6.6	Resultados obtenidos de la prueba de conexión con la red Wi-Fi Arduino.....	72
Tabla 6.7	Resultados obtenidos de la prueba de ejecución de instrucciones de control.....	72
Tabla 6.8	Resultados obtenidos de la prueba de ubicación del CPN.....	72
Tabla 10.1.	Medición de temperatura en varias zonas del escape con vehículo detenido.....	130
Tabla 10.2.	Medición de temperatura en varias zonas del escape con vehículo en movimiento.....	131
Tabla 10.3.	Análisis de funcionamiento de diferentes módulos.....	133
Tabla 10.4.	Pruebas del módulo 4V-10W con reguladores de 350 y 500mA.....	136
Tabla 10.5.	Temperaturas teóricas por zonas en tubo de escape.....	137
Tabla 10.6.	Voltaje y resistencia interna teórica de módulos por zonas....	138
Tabla 10.7.	Cantidad de módulos por intercambiador de calor.....	140
Tabla 10.8.	Resumen de distribución de módulos en las placas.....	143
Tabla 10.9.	Datos de los módulos con respecto a su temperatura, vehículo detenido.....	145
Tabla 10.10.	Datos de los módulos con respecto a su temperatura, vehículo en movimiento.....	146
Tabla 10.11.	Valores de voltaje y resistencia de todas las combinaciones en paralelo posibles, vehículo en movimiento.....	149
Tabla 10.12.	Valores de voltaje, resistencia de todas las combinaciones en paralelo posibles, vehículo detenido.....	150
Tabla 10.13.	Configuraciones de los módulos, vehículo detenido y en movimiento.....	158

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice A: Placa realizada en Proteus del circuito de control de giro.....	187
Apéndice B: Placa realizada en Proteus del circuito de Aceleración y Retroceso y Diseño de la Placa en 3D con elementos electrónicos conectados.....	187
Apéndice C: Soportes elaborados para instalar el panel solar en el CPN.....	189
Apéndice D: Placa elaborada para el circuito de control de aceleración...	190
Apéndice E: Placa del circuito de control de aceleración con componentes soldados.....	191
Apéndice F: Modificación empleando engranajes para permitir el giro y movimiento de la dirección.....	191
Apéndice G: Pantalla de carga de la aplicación.....	192
Apéndice H: Pantalla principal de la aplicación.....	192
Apéndice I: Pantalla principal. Opción de encendido y apagado de luces.....	193
Apéndice J: Pantalla de visualización de ubicación del CPN.....	193
Apéndice K: Visualización de contenido de ayuda que ofrece la aplicación.....	194

Introducción

Para cubrir las necesidades humanas básicas (tales como, alumbrado, cocina, ambientación, movilidad y comunicación) además de los procesos productivos, todas las sociedades necesitan de servicios energéticos; la utilización de combustibles de origen fósil (carbón, petróleo y gas) en todo el mundo ha aumentado hasta convertirse en el suministro de energía predominante desde 1850, situación que ha dado lugar a un rápido aumento de las emisiones del dióxido de carbono (CO₂); en este sentido, las concentraciones de los gases efecto invernadero (GEI) producidos por la prestación de servicios energéticos han tenido un aumento histórico en la atmosfera (IPCC, 2011).

Hay que recordar que la energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo, la misma que puede generar movimiento, luz, calor; también puede transformarse y manifestarse en forma gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante. No obstante, la que se utiliza para cubrir las necesidades humanas básicas es de estos tipos: (a) Energías renovables, que son aquellas que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna y pueden ser consideradas como inagotables, entre ellas están la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas; y (b) las no renovables, que son aquellas que no se renuevan a corto plazo y se agotan cuando se utilizan, estas existen en la naturaleza en una cantidad limitada. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este último tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008).

Para mitigar las emisiones de GEI del sistema energético, existen diversas opciones, sin que ello signifique disminuir la cobertura de la demanda de servicios energéticos, algunas de estas podrían ser energéticamente eficientes, así tenemos: el reemplazo de combustibles fósiles, la energía nuclear, la captura y almacenamiento de dióxido de carbón, el uso de energía renovable o la reutilización de la energía, estas dos últimas serán el foco central de este libro y se expondrán en dos diferentes casos (IPCC, 2011).

En el Caso 1 se tratará la energía solar. El sol produce prácticamente toda la energía que disponemos, al provocar viento, evaporación de aguas superficiales, a su vez la formación de nubes y lluvia. El calor y la luz son la base de diversas reacciones bioquímicas indispensables para el desarrollo vegetal, animal cuyos restos originaron los combustibles fósiles (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008). Existen cuatro grandes tipos de energía solar: (a) Solar térmica, (b) Solar fotovoltaica, (c) Concentración solar y (d) solar para producir combustibles (IPCC, 2011).

En este sentido, el aprovechamiento de fuentes de energías renovables, aunque aún sigue siendo bajo, se está incrementando a nivel mundial; esto gracias a la creciente innovación de las soluciones tecnológicas, las cuales facilitan su tratamiento al convertirlas en energía eléctrica para el consumo en diferentes ambientes (Castellano, 2010). Los paneles solares permiten la transformación de la radiación solar a energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas (Boxwell, 2012). Este aprovechamiento fomenta el desarrollo de proyectos que posibilitan el ahorro y facilitan el estilo de vida de las personas.

En el Caso 2 se expondrá la reutilización de la energía térmica en un vehículo de combustión, ya que aunque existe el desarrollo de gran cantidad de tecnología, es lamentable que en las últimas décadas aún no se haya podido solucionar uno de los más grandes problemas que tienen los motores térmicos de combustión, esto es la pérdida de energía. Lastimosamente, estas máquinas tienden a desperdiciar un alto porcentaje de energía en forma de calor, por las leyes físicas en las que se basa su funcionamiento.

De acuerdo a un estudio realizado por Karri (2005), se determinó que en un vehículo el porcentaje de pérdidas está en el motor y que este asciende hasta el 75 %. El mismo se subdivide en pérdidas de calor en el escape y en el radiador, en la combustión y fricción. Dado que la energía no se crea ni se destruye sino que se transforma, esta energía se puede considerar como inútil y por lo tanto perdida.

Con la finalidad de darle un mejor uso se ha encontrado una manera de poder aprovecharla, transformarla y utilizarla dentro del mismo vehículo.

Existen módulos termoeléctricos que basan su funcionamiento en el efecto de Peltier y Seebeck. El cual detalla que a partir de una diferencia de temperatura se genera energía eléctrica y viceversa. Bajo este principio, es fácil darse cuenta de que la energía desperdiciada puede ser aprovechada en el sistema eléctrico de los vehículos.

Estos módulos trabajan como generadores de energía eléctrica. La ubicación de los mismos sería en las zonas donde se encuentran las más altas temperaturas del vehículo, de tal manera que estos produzcan una tensión que pueda ser reutilizada. El sinnúmero de aplicaciones en las que puede influir este tipo de energía es incalculable. Para objeto de este trabajo, se implementó un sistema que utilice estos módulos como fuente de voltaje. El mismo que fue utilizado para el almacenaje y repartición de energía a dispositivos móviles por medio de puertos USB, ubicados dentro del vehículo.

Por medio de la implementación de este sistema se generó una energía alterna diferente a la que se encuentra en los vehículos. Esta tecnología es relativamente nueva, puesto que se utiliza el calor que emana el motor. Al mismo tiempo, no consume la batería del vehículo, la cual ya tiene otros elementos eléctricos de más importancia que dependen de ella.

Se aplicó este fundamento en un prototipo implementado en un auto de combustión interna, de hasta máximo 2000 centímetros cúbicos. Donde se buscó mejorar el confort de los ocupantes del vehículo, sin afectar el rendimiento del mismo. Por consiguiente se implementó un sistema exclusivo e independiente de carga para dispositivos móviles.

UNESCO (2014) expresa que la excesiva dependencia de la leña, la paja, el carbón o el estiércol para tareas de cocina y calefacción es perjudicial para la salud de grupos vulnerables, que suponen más del 85 % de los dos millones de muertes atribuidas al cáncer; infecciones respiratorias y enfermedades pulmonares causadas por la contaminación del aire interior, por lo que este libro es un esfuerzo por lograr que las energías renovables y reutilizables sean tomadas en cuenta como un factor que lleve a la sociedad a un mejor y adecuado consumo de los recursos naturales con un impacto cada vez más bajo sobre el medio ambiente.

CASO I
CAPÍTULO I

*Desarrollo de un automóvil
para niños basado en microcontrolador
con eficiencia ecológica de energía.*

CASO I

Desarrollo de un automóvil para niños basado en microcontrolador con eficiencia ecológica de energía.

CAPÍTULO I

Los Carros Eléctricos Para Niños (CPN) son juguetes que tienen un considerable consumo de energía y tiempo de recarga, su batería dura aproximadamente 2 horas y su tiempo de recarga es de 5 horas. Este tiempo se debe a que los motores de corriente continua consumen una corriente de alrededor de 4 amperios.

1.1 Antecedentes

El francés Alexandre Edmond Becquerel en 1839 fue el primero en descubrir el efecto fotovoltaico (Álvarez, 2008). Posteriormente Albert Einstein investigó a fondo lo relacionado al efecto fotoeléctrico, estudio que lo llevó a obtener el Premio Nobel de Física en 1921 (Azcárraga, 2010).

Es así que Russell Ohl patentó las primeras celdas solares de silicio aproximadamente por el año 1946. Posterior a él, Daryl Chaplin y Calvin Fuller empezaron la producción de los primeros paneles solares, paneles que a inicios de los años 70 serían utilizados en satélites espaciales (Carrillo, 2009).

En la actualidad el uso de energías renovables se ha incrementado notoriamente en la ciudadanía, esto se debe no solo al hecho de que se ahorra el consumo de energía eléctrica, sino que también se crea la oportunidad de producir proyectos que mejoren el estilo de vida de las personas, dentro de estos proyectos se pueden citar las casas domóticas (CONELEC, 2011).

Cabe indicar que con el uso de los paneles solares se han ido mejorando sus características de eficiencia y rendimiento; se venden desde los paneles solares rígidos, hasta paneles solares flexibles, los cuales facilitan la instalación de los mismos y abre las opciones para el uso e implementación.

Por otro lado, los carros a batería para niños se encuentran presentes en el mercado con varias opciones de precios dependiendo de su marca y calidad; uno de los carros más vendidos es Kiddy Audi R8, una de sus características principales es tener un diseño mucho más realista (AUDI, 2015). No obstante,

entre los aspectos negativos de este tipo de carros está el hecho que el padre (tutor) no posee el control y su costo no favorece su adquisición.

Se realizó una búsqueda en el mercado local y no se ha encontrado un vehículo como el que se está implementando. Los más semejantes son los vehículos de juguete pequeño controlados por un mando y que normalmente usarían una batería de 9 voltios para su funcionamiento.

Existe un sinnúmero de métodos para producir energía renovable, y de carros que usen batería; este proyecto ofrece economizar recursos y valores para los compradores de los mismos (Merino, 2010).

Por todo lo antes mencionado, se implementará un prototipo para mejorar el tiempo de carga y uso del CPN, esto ofrece al padre de familia la opción de tener un mayor control de la ubicación de su hijo durante el uso, de la mano de una interfaz gráfica amigable la cual puede ser manejada desde su dispositivo móvil.

2.1 Planteamiento del problema

Los carros a batería fueron construidos a comienzos de 1830 por el inventor escocés Robert Anderson, y los principios del uso de baterías como fuente de energía para el funcionamiento del motor se siguen manteniendo hasta la actualidad, los CPN son una muestra de ello, puesto que se emplea un motor que consume energía de una batería recargable (Root, 2010).

Al adquirir este juguete los fabricantes especifican que debe cargarse la batería por 24 horas antes de usarse, después de esto se recomienda recargar el carro después de cada uso; si no se usa, por lo menos una vez al mes. El tiempo de uso promedio del juguete es de 2 horas y el tiempo de recarga de la batería es aproximadamente de 5 horas (RollPlay, 2013), esto quiere decir que en este tiempo el carro va a estar consumiendo energía eléctrica para ser utilizado por pocas horas.

Los recursos que son necesarios invertir, para que la batería tenga la carga suficiente con la cual el CPN funcione, es el problema a resolver. La solución es reducir el tiempo de recarga de la batería e incrementar el tiempo,

a través del uso de paneles solares los cuales serán instalados en el vehículo y convertirán la energía solar en energía eléctrica para recargar la batería (Boxwell, 2012).

Este prototipo busca mejorar la recarga del CPN y mejorar las opciones para su control mediante el uso de una aplicación móvil, de tal manera que el niño al estar usando el carro, su cuidado pueda ser controlado por su tutor y desde la aplicación guiarlo hasta un lugar seguro.

Finalmente, a partir del prototipo se propondrá la fabricación de carros que empleen este modelo de carga y control; adicionalmente el mismo es una oportunidad de emprendimiento para desarrollar este tipo de ahorro energético que es amigable con el medio ambiente.

3.1 Enfoque de la solución

El enfoque del presente trabajo es una investigación experimental descriptiva la cual se fundamenta en la elaboración de un prototipo que utiliza un panel solar, con este trabajo se espera comprobar: (a) Que el tiempo para recargar la batería es menor; (b) que al aprovechar la radiación solar como energía renovable se aumentará el tiempo de uso del carro; (c) soslayar el problema de la disminución de la carga de la batería debido al uso, así como el tiempo de recarga de esta; y, por último, (d) que la aplicación que se ejecuta en un dispositivo móvil permite controlar el movimiento y mantener vigilada la posición en un mapa. Para el desarrollo de este prototipo se consideran las siguientes actividades:

Dentro del procedimiento para el desarrollo del prototipo se comenzará con la selección de los componentes principales del prototipo: paneles solares, la placa Arduino, el módulo Wi-Fi, el módulo GPS; y de la misma manera se analizará el sistema operativo en el cual se desarrollará la aplicación de control.

Posteriormente realizada la selección de componentes se procederá al diseño del circuito electrónico que reunirá los componentes de hardware y posibilitarán la recarga y movimiento del carro, así como también se diseñará

la aplicación móvil mediante la cual se procederá a realizar el control a distancia del carro.

Se empleará una placa Arduino que permitirá el accionamiento del motor y envío de estados del carro. Para poder establecer la comunicación entre el dispositivo móvil y el carro, se empleará un módulo Wi-Fi de manera que se envíen datos entre ambas partes; y para determinar su ubicación se usará el módulo GPS.

La aplicación se desarrollará empleando Scrum, un marco de trabajo que se basa en un proceso incremental e iterativo (Schwaber & Beedle, 2002). Para el diseño de la aplicación se utilizará el lenguaje unificado de modelado mediante el cual se podrá diseñar la aplicación. Para la codificación se utilizará Eclipse en conjunto con las herramientas de desarrollo de Android.

Para la elaboración del prototipo se empleará un carro a batería para niños que se puede observar en la Figura 1.1. En este carro se adaptará el panel solar y se realizarán las conexiones necesarias para que este provea de energía eléctrica y se recargue la batería del carro.



Figura 1.1 Carro para niños a usar para la elaboración del prototipo

Fuente: Elaboración propia

Realizados los diseños se procederá a implementar el circuito electrónico, la codificación en la placa Arduino, la configuración y conexión de los módulos en el carro para niños. La aplicación ecoCar una vez codificada se instalará en un smartphone. De esta manera se realizarán las pruebas de funcionamiento

del prototipo. Mediante estas pruebas se comprobará el funcionamiento en conjunto del carro con la aplicación ecoCar y se medirán los nuevos tiempos de recarga y uso del carro para niños.

1.4 Alcance

El presente trabajo pretende emplear energía solar para reducir el consumo de la energía eléctrica procedente de la red de distribución destinada a la carga del CPN.

Se implementará un sistema de recarga de la batería por medio de paneles, de esta manera se reducirá el tiempo de recarga y aumentará el tiempo de uso del carro.

Para mejorar el control del carro se desarrollará una aplicación móvil mediante la cual se controlará su movimiento y ubicación a distancia.

Para ese trabajo se plantea diseñar un prototipo que comprende:

- Instalación de paneles solares y sistema de carga para el funcionamiento del carro.
- Diseño del sistema para controlar el carro mediante Arduino¹ y motores de paso.
- Configuración del sistema para ser controlado a distancia por un dispositivo móvil con conexión Wi-Fi².
- Diseño y desarrollo de una aplicación para un móvil con sistema operativo Android³ mediante la cual se controlará el carro a distancia.

Para demostrar el funcionamiento de este prototipo se trabajará con un carro para niños en el cual se realizará la instalación de todos los componentes electrónicos para el sistema de recarga, la aplicación se instalará en un

¹ Arduino: Arduino es una plataforma electrónica de código abierto mediante la cual se pueden crear prototipos empleando hardware y software de fácil uso (Komatineni & MacLean, 2012).

² Wi-Fi: Wi-Fi es el nombre comercial por el que se conoce a las redes de área local que funcionan sin presencia de cableado (Wei, Rykowski, & Dixit, 2013).

³ Android: Android es un potente sistema operativo desarrollado por Google Inc., basado en el kernel de Linux 2.6 adaptado para su uso en dispositivos móviles (Ostrander, 2012).

dispositivo móvil, posteriormente se realizarán las respectivas pruebas de funcionalidad del carro y la aplicación móvil trabajando en conjunto.

1.5 Descripción de los objetivos del proyecto

Desarrollar un prototipo de carro que emplee una fuente de energía renovable, con la finalidad de reducir el tiempo de recarga, aumentar su tiempo de uso en conjunto con una aplicación móvil que mejore su control a distancia, además se cumplirán los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar un sistema de recarga y control a distancia del carro para niños.
- Comparar el consumo eléctrico del carro antes y después de emplear el sistema de recarga.
- Demostrar, mediante el desarrollo de la aplicación móvil las mejoras del control de movimiento y ubicación del carro para niños.

1.6 Contenido

El uso de fuentes de energías renovables en la actualidad está en auge. Se espera que su empleo se incremente de un 7 % a un 20 % en el 2020. Diversas soluciones tecnológicas se han desarrollado para aprovechar distintas fuentes de energías renovables, por ejemplo, los paneles solares con celdas fotovoltaicas mediante las cuales se puede transformar la radiación solar a energía eléctrica. Estos paneles se pueden instalar en lugares donde la incidencia de la luz solar es óptima de manera que puedan captar esta radiación con facilidad (Boxwell, 2012).

En Ecuador también se estudia y realizan proyectos que emplean como fuente de energía la radiación solar (INER, 2012); el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) es el centro de investigación encargado de ello. Dentro de los proyectos que se proponen en la línea de investigación de eficiencia energética que emplean energía solar, se encuentran: Estimación del potencial de energía renovable mediante la instalación de estaciones meteorológicas; Atlas de recursos solar y eólico; y la modelización de sistemas solares híbridos con cogeneración para aplicaciones industriales.

Como ya se mencionó, el presente trabajo de investigación consiste en la elaboración de un prototipo de carro para niños con eficiencia en el consumo de energía. El prototipo tiene como finalidad aprovechar la energía solar para reducir el tiempo de recarga de la batería del carro, aumentar su tiempo de uso de manera que no se vea limitado por la carga de la batería mientras el niño lo esté usando y mejorar el control del carro mediante una aplicación móvil para que el propietario del carro pueda controlar los lugares a los que se dirige el niño.

Para cumplir con estos objetivos en primer lugar se realizó un análisis comparativo para seleccionar los componentes principales del prototipo como son el panel solar, la placa Arduino, el módulo Wi-Fi y el sistema operativo. Posteriormente se realizaron los diseños electrónicos y de software para luego proceder a la implementación en el carro.

Con el prototipo desarrollado se espera optar por una solución viable para la fabricación y/o adopción del uso de tecnologías renovables para la recarga de CPN que empleen este modelo de carga y control.

CAPÍTULO II

Componentes utilizados

CAPÍTULO II

Componentes utilizados

El prototipo a desarrollar está conformado por dos partes como se puede observar en la Figura 2.1, el carro cuenta con el sistema de recarga por medio del panel solar, un módulo Wi-Fi, un módulo GPS, un circuito electrónico para controlar el movimiento; y la aplicación que es ejecutada en un dispositivo móvil con sistema operativo Android.



Figura 2.1 Esquema de funcionamiento del prototipo CPN con eficiencia en el consumo de energía y una aplicación móvil

Fuente: Elaboración propia

2.1 Paneles solares

Para el funcionamiento de los sistemas eléctricos solares se utilizan como componente principal los paneles fotovoltaicos. Estos son los encargados de convertir la radiación solar en electricidad (Boxwell, 2012).

El elemento principal en los paneles es la célula fotovoltaica. Esta célula funciona gracias al efecto fotovoltaico que consiste en “la excitación del material semiconductor (silicio) por la acción directa de la radiación solar (fotones)” (Roldán, 2010) provocando el movimiento de los electrones lo que a su vez genera corriente eléctrica en el circuito.

En esta parte, a pesar de ser sencilla, es necesario realizar una explicación en términos simplificados; esto es que la producción de electricidad consiste en situar debajo del sol una placa de material semiconductor que consta

de dos capas, una denominada n y otra p, con una superficie de contacto común, como se observa en la Figura 2.2. La radiación solar incidente que llega a la placa genera pares electrón – hueco separados espacialmente, esta separación de cargas produce un potencial eléctrico, el que al ser conectados, ambos lados de la placa irradiada, por una carga fluye una corriente, generando electricidad. **Invalid source specified.**

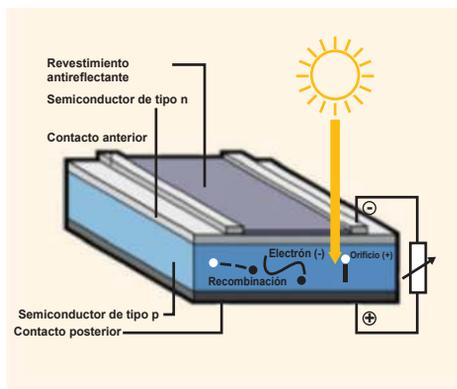


Figura 2.2 Celda fotovoltaica

Fuente: IPCC, 2011, Pág. 61

Muchos de estos paneles son hechos a partir de células fotovoltaicas conectadas entre sí. Una célula fotovoltaica puede generar 0.4V al transformar la radiación solar, así al conectarlas en serie entre sí dentro de un panel, generan un mayor voltaje de salida. Por lo general producen entre 12V a 18V (Freeman, 2014).

Revisando un poco de la historia de los paneles solares, se observa que el efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel (Roldán, 2010), no obstante, no fue sino hasta 1883 que fue construida la primera celda solar por Charles Fritts. En esta celda estaba cubierto el selenio semiconductor con una capa muy delgada de oro en las uniones, tenía 1 % de eficiencia (Castellano, 2010).

En 1954 laboratorios Bell construyó un módulo fotovoltaico que tuvo un costo muy elevado y no pudo ser empleado a nivel industrial y menos a nivel

residencial. No fue sino hasta la década de los 60 del siglo pasado que estos módulos comenzaron a utilizarse con la finalidad de generar electricidad para los satélites que empezaban a diseñarse (Roldán, 2010).

El satélite ruso Sputnik fue lanzado en octubre de 1957 y se convirtió en el primer satélite en usar paneles fotovoltaicos para su funcionamiento. Este evento fue importante para que los gobiernos ruso y norteamericano realizaran inversiones en esta tecnología (Castellano, 2010). En los últimos años del siglo XX se mejoró el rendimiento de las células fotovoltaicas y su costo se redujo, de manera que sus campos de aplicación se han podido extender a la industria, servicios y residencias (Boxwell, 2012).

2.1.1 Sistemas de agrupamiento y conexión de paneles

Con la finalidad de producir más corriente o voltaje los paneles solares pueden conectarse o acoplarse entre sí para crear un arreglo, estos arreglos pueden ser: acoplamiento de módulos en serie, acoplamiento de módulos en paralelo y acoplamiento mixto de módulos.

2.1.1.1 Acoplamiento de módulos en serie

Su objetivo principal es aumentar el voltaje suministrado. Típicamente entre 24V o 48V en un sistema autónomo o cientos de voltios en una red de paneles. En este tipo de acoplamiento la intensidad se mantiene. En la Figura 2.3 se puede observar este tipo de conexión.

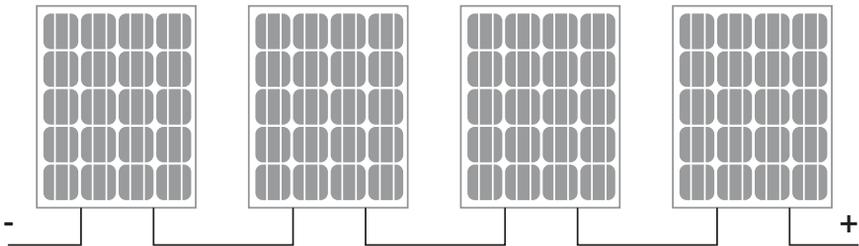


Figura 2.3 Acoplamiento de módulos en serie

Fuente: Elaboración propia.

2.1.1.2 Acoplamiento de módulos en paralelo

Su finalidad es aumentar la intensidad de corriente suministrada. En este tipo de acoplamiento se mantiene la tensión. En la Figura 2.4 se aprecia esta conexión de módulos.

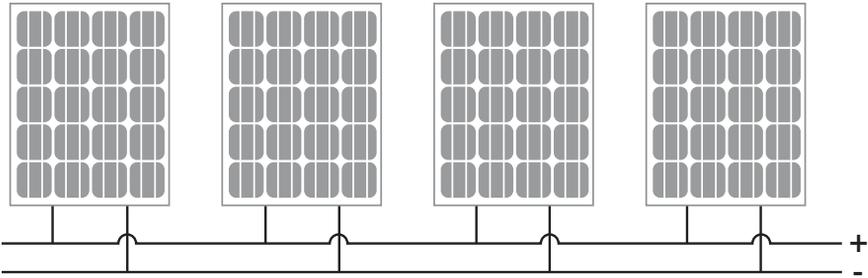


Figura 2.4 Acoplamiento de módulos en paralelo

Fuente: Elaboración propia.

2.1.1.3 Acoplamiento mixto de módulos

Su finalidad es aumentar tanto el voltaje como la intensidad de corriente suministrada. En la Figura 2.5 se puede apreciar esta forma de conexión.

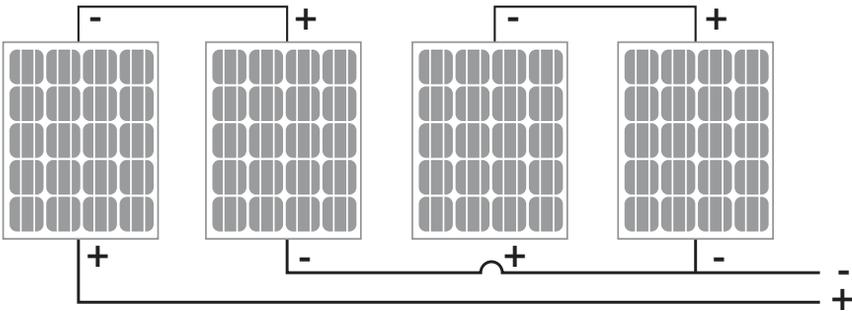


Figura 2.5 Acoplamiento mixto de módulos

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se realizan este tipo de conexiones se debe considerar que todos los módulos deben poseer las mismas características (potencia, voltaje, intensidad) y de la misma manera las necesidades de voltaje e intensidad (Foster, Majid, & Alma, 2009).

2.1.2 Tipos de los módulos fotovoltaicos

En la Tabla 2.1 se revisan los más relevantes tipos de módulos de acuerdo al material de construcción.

Tabla 2.1 Principales módulos fotovoltaicos de acuerdo al material de construcción

Módulos fotovoltaicos	Características
Monocristalinos	<ul style="list-style-type: none">▪ Su comportamiento uniforme proporciona un buen rendimiento.▪ Tienen una difícil fabricación.▪ Se reconocen por su coloración azulada oscura y metálica.▪ Su rendimiento es de 14 a 18 %.
Policristalinos	<ul style="list-style-type: none">▪ Precio más barato que los monocristalinos.▪ Las técnicas de preparación de este material son menos exigentes que los monocristalinos.▪ Son de uso más extendido.▪ Tienen una eficiencia de 10 a 15 %.▪ Tienen un color azulado oscuro.
Amorfos	<ul style="list-style-type: none">▪ Proceso simple de fabricación y resultan más baratos.▪ Eficientes ante baja radiación solar.▪ Su color es marrón homogéneo.▪ Empleados en calculadoras y relojes.▪ Tienen un rendimiento de 10 %.

Fuente: Adaptado de *“Instalaciones Solares Fotovoltaicas”* por Roldán, J., 2010, Madrid: Paraninfo.

2.2 Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto mediante la cual se pueden crear prototipos usando hardware y software de fácil empleo (Komatineni & MacLean, 2012). Puede interactuar con el medio físico

empleando sensores y actuadores, de esta manera se pueden detectar distintas magnitudes físicas como luz, calor, humedad, fuerza, entre otras, y mediante esta información activar otra secuencia de instrucciones para encender o apagar un actuador como puede ser un servomotor, un relé, LEDs, entre otros (Margolis, 2011).

La plataforma Arduino está compuesta por dos partes muy importantes: la placa Arduino, la cual es una pieza de hardware con la que se trabajan y construyen los proyectos; y el ambiente de desarrollo integrado (IDE) Arduino que es el software que se ejecuta en cualquier computador y mediante el cual se puede codificar el programa que se carga en la placa Arduino, es decir, dará la secuencia de instrucciones que ejecutará la placa (Banzi, 2011).

Una breve revisión histórica del proyecto Arduino especifica que tuvo su comienzo en el 2005 dentro del Instituto IVREA, Italia. Los estudiantes de computación y electrónica de esta institución empleaban el microcontrolador BASIC Stamp para realizar sus proyectos, no obstante su costo elevado era un impedimento para utilizarlo en clases (Barrett, 2013).

Massimo Banzi en conjunto con otro grupo de estudiantes desarrollaron su propia placa cuyo objetivo era brindar una plataforma que ayudará a los estudiantes con sus proyectos de sistemas embebidos de una manera simple, de costo bajo y fácil de trabajar con hardware y software (Grimmett, 2014).

El desarrollo de Arduino se basó en cuatro elementos fundamentales que se incorporan en la plataforma y permite a los usuarios desarrollar sus proyectos de manera sencilla:

- Proveer una plataforma fácil de usar, la conexión entre el hardware y el procesador no debería requerir comprar otros elementos de mayor costo o que ocasionen dificultad adicional, por esta razón se optó por incorporar una conexión USB.
- Establecer un programa de arranque (un programa que se ejecuta cuando el microprocesador se enciende) que permita configurar el hardware de la manera en que el usuario desea.

- Incorporar un ambiente de desarrollo integrado que pueda ser ejecutado en una computadora y mediante el cual permita desarrollar los programas que darán la funcionalidad a la plataforma. Los programas podrán ser codificados, depurados y modificados a través de este ambiente.
- La última característica es un conjunto de puertos de entrada y salida (I/O) en una configuración estándar. Esto hace la documentación más sencilla y adicionalmente permite la interconexión con otros módulos llamados “shields” (Banzi, 2011).

Estos elementos se mantienen en el desarrollo de la plataforma Arduino dentro de sus diferentes placas, lo que garantiza que al adquirir cualquiera de estas se podrá desarrollar prototipos con la misma facilidad.

2.2.1 Características de Arduino

Arduino es una plataforma que presenta varias características que permite el desarrollo de proyectos innovadores de una manera sencilla y práctica. Se diferencia de otros tipos de plataformas que se pueden encontrar en el mercado por características especiales como son:

1. Basado en open source hardware⁴ y software⁵. Si un usuario desea puede descargarse el diagrama de la placa, comprar los componentes y ensamblar su propia placa sin tener que pagar a ningún intermediario o distribuidor de Arduino (Banzi, 2011).

2. Ambiente multiplataforma. El ambiente de desarrollo integrado se puede ejecutar en sistemas operativos Windows, Mac y Linux. Esto permite que la programación de la placa pueda realizarse en cualquier sistema operativo de escritorio sin tener problemas con los controladores (McRoberts, 2013).

3. Programación de instrucciones realizadas desde el computador mediante cable USB. Arduino incorpora este puerto evitando así el uso de los puertos seriales que en la actualidad ya no son incorporados en las placas madre en los ordenadores modernos (McRoberts, 2013).

⁴ Open source hardware: Término para denominar artefactos tangibles cuyo diseño es público de forma que cualquier persona puede ensamblar, modificar, distribuir y usar esos artefactos (Open Source Hardware Association, 2014).

⁵ Open source software: Es un software que debe ser distribuido con código fuentes incluidas o

4. Arduino fue desarrollado en un ambiente educacional. Por esta razón se convierte en un medio por el cual los usuarios que quieran desarrollar nuevos proyectos podrán hacerlo fácilmente gracias a esta plataforma (Evans, 2011).

2.2.2 Modelos y “shields”

Inicialmente Arduino era únicamente una placa, por lo que no existía alguna selección previa, sin embargo el uso de Arduino se ha extendido alrededor del mundo de manera que la cantidad de usuarios creció al igual que las necesidades específicas, de esta manera, en la actualidad existen modelos de diferentes tamaños, capacidades y factores de forma (Grimmett, 2014).

2.2.2.1 Modelos

Los modelos de placas Arduino son manufacturadas por la compañía italiana Smart Projects y algunas placas cuentan con el soporte original de la compañía norteamericana SparkFun Electronics y Gravitech (McRoberts, 2013). En la Tabla 2.2 se revisarán brevemente los modelos más importantes que se distribuyen en el mercado.

Tabla 2.2 Modelos de placas Arduino

Modelos de placas Arduino.

Modelo	Microcontrolador	Puertos I/O Digitales	Memoria
Arduino Uno	ATmega328	14	32 KB
Arduino Zero	Atmel SAMD21 MCU	14	256 KB
Arduino Leonardo	ATmega32u4	20	256 KB
Arduino Mega 2560	ATmega2560	54	256 KB
Arduino Due	Atmel SAM3X8E ARM Cortex- M3	54	512 KB
Arduino Yun	ATmega32u4	20	512 KB

fácilmente disponibles, tales como su descarga gratuita desde internet (Kavanagh, 2004).

Arduino Micro	ATmega32u4	20	32 KB
Arduino Fio	ATmega328P	14	32 KB
Arduino Nano	ATmega328	14	16 KB

Fuente: Adaptado de “*Arduino*” por Arduino, 2015,
Recuperado de <https://www.arduino.cc/>

2.2.2.2 Shields

Los shields son módulos que se pueden conectar directamente con la placa Arduino, esto se debe a que la configuración de pines de entrada y salida permite conectar varios módulos brindando funcionalidades adicionales como sensores, comunicación alámbrica o inalámbrica con redes, entre otros (Barrett, 2013). En la Tabla 2.3 se revisarán brevemente los módulos más relevantes que pueden usarse con la placa Arduino.

Tabla 2.3 Modelos de shields para Arduino

Modelos de shields para Arduino.

Modelo	Uso
Arduino GSM Shield	Permite la conexión a internet mediante una red inalámbrica GPRS ⁶
Arduino Ethernet Shield	Conecta la placa Arduino a una red Ethernet local y acceder a Internet mediante un conector RJ45.
Arduino Wi-Fi Shield	Permite establecer la conexión a una red inalámbrica.
Arduino Wireless SD Shield	Permite la comunicación inalámbrica de la placa Arduino con otro dispositivo con soporte Xbee.
Arduino USB Host Shield	Establece una conexión a un dispositivo mediante USB.
Arduino Motor Shield	Se basa en el controlador L298 y es empleado para manejar cargas inductivas como relés, servomotores o solenoides

Fuente: Adaptado de “*Arduino*” por Arduino, 2015, Recuperado de <https://www.arduino.cc/>

2.3 Wi-Fi

Wi-Fi es el nombre comercial por el que se conoce a la redes de área local que funcionan sin presencia de cableado (Wei, Rykowski, & Dixit, 2013). Wi-Fi está definido por el protocolo IEEE 802.11 en el cual se describen los parámetros y consideraciones de funcionamiento de este tipo de redes.

Este estándar plantea dos modos de funcionamiento; el primero se basa en la creación de una infraestructura y el segundo modo se denomina ad hoc (Khamayseh, et al., 2015).

El primer modo de funcionamiento con infraestructura está coordinado por un punto de acceso (Access Point), el cual permite que los diferentes dispositivos (Smartphone, laptop, desktop, Tablet, entre otros) se asocien a este y de esa forman accedan al conjunto de servicios básicos. Los dispositivos conectados, además, podrán transmitir datos entre sí (Wei, Rykowski, & Dixit, 2013). En la Figura 2.6 se puede observar este modo de funcionamiento.

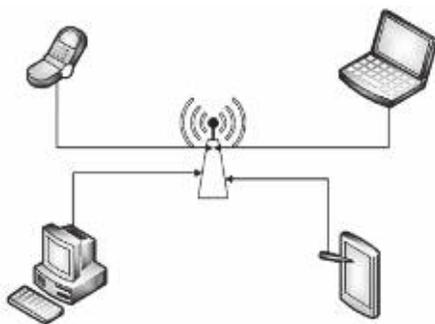


Figura 2.6 Configuración de red modo infraestructura

Fuente: Elaboración propia

En el modo de funcionamiento ad hoc se emplea un canal de una banda de frecuencia de radio sin intermediarios. Todos los dispositivos (Smartphone, equipos portátiles, equipos de escritorio, Tablet, entre otros) conectados usan el medio para dirigirse a todas las estaciones que tienen un radio de cobertura (Garg, 2010). En la Figura 2.7 se puede apreciar el modo de funcionamiento ad hoc.

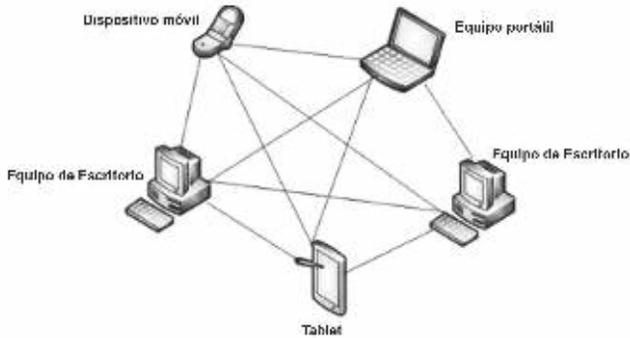


Figura 2.7 Configuración de red ad hoc

Fuente: Elaboración propia

En los siguientes apartados se revisan de manera breve los antecedentes, versiones, características y beneficios de las redes con tecnología Wi-Fi.

2.3.1 Antecedentes de la tecnología Wi-Fi

Wi-fi define una manera de transmitir datos entre equipos empleando ondas de radio, es decir, emplea un medio radioeléctrico para dicha transmisión. La tecnología en la que basa su funcionamiento es denominada espectro expandido, el cual se caracteriza por ser resistente a las interferencias de otras fuentes de radio, de esta manera puede coexistir con otros sistemas de radiofrecuencia sin afectarse fuertemente (Gratton, 2013).

En 1999 las empresas Nokia, 3Com, Cisco y Symbol Technologies crearon la asociación denominada Alianza de Compatibilidad Ethernet Inalámbrica, WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), que en el 2003 pasó a llamarse Wi-Fi Alliance (Bhatia & Gupta, 2015). Esta asociación fue establecida con la finalidad de crear una marca mediante la cual se fomente fácilmente el uso de la tecnología inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.11 así como garantizar la compatibilidad de los equipos empleados (Wolter, Hayes, & Groenewegen, 2010).

El nombre Wi-Fi fue puesto por la empresa publicitaria Interbrand, su “propósito era crear un nombre corto, sencillo de recordar”, para ello emplearon

siglas similares a Hi-Fi (High-Fidelity) y crearon un logo basado en el Ying y el Yang (Concejero, et al., 2014). En la Figura 2.8 se presenta el logo de Wi-Fi.



Figura 2.8 Logo de Wi-Fi. Adaptado de “*The handbook of personal area networking technologies and protocols*” por Gratton, D., 2013, Cambridge University Press.

2.3.2 Características principales de Wi-Fi

IEEE 802.11 define varios medios físicos de transmisión, no obstante los más empleados corresponden a las bandas sin licencia ISM (Industrial, Scientific, Medical). Estas bandas se caracterizan por no requerir una licencia para poder transmitir datos siempre y cuando la finalidad de dicha transmisión sea con fines industriales, científicos o médicos (Wei, Rykowski, & Dixit, 2013).

El estándar que define la operación de redes inalámbricas propone algunos ejemplos para su utilización, como son 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ad, 802.11ac. A continuación se describen brevemente sus características.

IEEE 802.11b Opera en la banda de 2,4 GHz y tiene velocidades de 11Mbps. Se ha organizado en 14 canales de 22MHz cada uno separados por 5MHz.

IEEE 802.11a emplea la banda de 5GHz y alcanza una velocidad de 54Mbps. Tiene un alcance inferior a IEEE 802.11b.

IEEE 802.11g permite alcanzar velocidades de 54Mbps en la banda de 2,4GHz y tiene un mayor alcance que la especificación mencionada anteriormente.

IEEE 802.11n cuenta con una velocidad de transmisión de 300 Mbps y un mayor alcance de operación. Trabaja en frecuencias de 2,4 GHz y 5 GHz, por este motivo es compatible con las ediciones anteriores de Wi-Fi.

IEEE 802.11ad alcanza velocidades de 6,7 Gbps en la banda de 60GHz. Al usar una banda de mayor frecuencia, el alcance en estas redes es menor.

IEEE 802.11ac utiliza una banda de 5GHz y alcanza velocidades de 7 Gbps, fue aprobado en el 2014 (Gratton, 2013).

En la Tabla 2.4 se resumen estos estándares para redes inalámbricas.

Tabla 2.4 Estándares IEEE 802.11

Estándares IEEE 802.11.

Estándar	Banda de Frecuencia	de Ancho de Banda	de Velocidad de Transmisión
802.11	2,4GHz	20MHz	2 Mbps
802.11b	2,4GHz	20MHz	11 Mbps
802.11 ^a	5GHz	20MHz	54 Mbps
802.11g	2,4GHz	20MHz	54 Mbps
802.11n	2,4GHz,5GHz	20MHz,40MHz	600 Mbps
802.11ac	5GHz	20, 40, 80, 160MHz	6.93 Gbps

Fuente: Adaptado de “*Wide Bandwidth Measurement Techniques for 802.11ac WLAN Devices*” por Asquith, 2014, *Wide Bandwidth Measurement Techniques for 802.11ac WLAN Devices*.

2.3.3 Beneficios de Wi-Fi

Las redes Wi-Fi son una potencial alternativa rápida, sencilla y económica frente a las redes cableadas en hogares u oficinas. Su facilidad de uso para los usuarios ha permitido que esta tecnología sea empleada alrededor del mundo y en varias áreas (Mohammad, 2012). A continuación se describen los principales beneficios que aportan las redes con tecnología Wi-Fi.

1. Movilidad. Al contar con una red Wi-Fi, se obtiene movilidad; aquí los usuarios pueden conectar sus dispositivos a la red Wi-Fi y utilizarlos desde cualquier lugar dentro del área de cobertura de la red sin la necesidad de utilizar alguna conexión con cable para navegar por internet o acceder a información en la red. Adicionalmente, al estar conectado a este tipo de redes permite al usuario moverse a cualquier punto sin perder la comunicación (Geier, 2010).

2. Flexibilidad. Una vez instalada y configurada una red Wi-Fi el usuario puede conectar cualquier dispositivo que soporte esta tecnología sin la necesidad de hacer cambios en la configuración. También podrá extender la red lo cual resulta más económico en comparación con una red cableada. Estos son atributos de flexibilidad que nos ofrecen las redes Wi-Fi (Bhatia & Gupta, 2015).

3. Bajo coste. En el aspecto económico, el diseño e implementación de una red cableada puede llegar a resultar en un gran costo, adicionando el tiempo y molestias en la instalación de los puntos de red y el cableado, no obstante, Wi-Fi se convierte en una alternativa para entornos domésticos y empresariales donde no es necesario o posible realizar este cableado (Rackley, 2011).

2.4 GPS

El GPS (Global Positioning System) fue concebido en 1960 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD), con la finalidad inicial de satisfacer necesidades militares, sin embargo luego de un tiempo este sistema también estuvo disponible para uso civil y es así como en la actualidad es un sistema al que pueden acceder usuarios civiles y militares (El-Rabbany, 2002).

Uno de sus usos está presente en los automóviles mediante la acción de navegación, que consiste en identificar el origen, el destino y reconocer la ruta a seguir, mediante ello se obtiene una orientación, la posibilidad de obtener rutas alternativas acortando el tiempo invertido en el viaje, la ubicación actual en tiempo real del vehículo y una conducción segura hacia el objetivo (González, Mas, & Vidal, 2011).

El GPS permite que el receptor, como es el caso de un vehículo, pueda saber su posición actual en cualquier parte de la superficie terrestre y con un alto grado de precisión, para ello también es necesario en este sistema un conjunto de satélites y estaciones de seguimiento para estos satélites (Letham, 2001).

El sistema GPS está conformado por tres segmentos: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento del usuario (El-Rabbany, 2002).

El segmento espacial consiste en una constelación de 31 satélites. Cada satélite transmite una señal compuesta por dos ondas sinodales (también conocidas como frecuencias portadoras), dos códigos digitales, y un mensaje de navegación. Las portadoras y los códigos son usados principalmente para determinar la distancia desde el usuario receptor hasta el satélite GPS. Las señales transmitidas son controladas por relojes atómicos de alta precisión que poseen los satélites (Kaplan & Hegarty, 2005).

El segmento de control del sistema GPS consiste en una red mundial de estaciones de seguimiento con una estación de control maestra localizada en los Estados Unidos en Colorado Springs. La tarea principal de este segmento es realizar el seguimiento de los satélites GPS para determinar y predecir su ubicación, la integridad del sistema, el comportamiento de los relojes atómicos, datos atmosféricos y otras consideraciones. Esta información se empaqueta y es cargada en los satélites GPS (El-Rabbany, 2002).

El segmento del usuario incluye a los usuarios militares y civiles. Con un receptor conectado a una antena GPS, un usuario puede recibir señales GPS, las cuales pueden ser usadas para determinar su posición en cualquier parte del mundo (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2012).

2.4.1 Antecedentes del sistema GPS

En 1960 el Departamento de Defensa y la Fuerza Aérea de los Estados Unidos aprobaron el desarrollo del sistema GPS para reemplazar al sistema TRANSIT que tenía dos deficiencias: (1) los grandes vacíos en la cobertura y (2) su precisión de navegación relativamente baja (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2012).

El concepto inicial en el desarrollo del GPS debía cumplir con requisitos como la búsqueda de valores de posición con precisión en cualquier punto de la superficie terrestre en cualquier momento y con cualquier condición climática (Gopi, 2005).

También se consideraron como requisitos para este sistema: una precisión en la medida con un error de 4 a 20 metros, la exactitud previsible con un

error de 15 a 30 metros, posicionamiento 3D y sincronización de tiempo y posicionamiento 3D y velocidad, posicionamiento 24 horas todo el año y una cobertura global (Carles, 2012).

Posteriormente con la colaboración de otros cuerpos militares de Estados Unidos ayudaron y rebautizaron el sistema como NAVSTAR Global Positioning System, sin embargo es conocido por las siglas GPS hasta la actualidad (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2012).

Pruebas realizadas en 1972 indicaron que la precisión podía tener una fiabilidad de 1 metro y de 15 metros en el peor de los casos, de esto surgió una preocupación de que fuerzas enemigas a los norteamericanos usen este sistema en su contra, por ello surgieron dos tipos de precisión: la superior, empleada por usuarios militares; y la inferior para usuarios no autorizados, es así como los receptores GPS militares tienen mayor precisión que los civiles (Kaplan & Hegarty, 2005).

En 1978 se puso en órbita el primer satélite. Los satélites siguen una órbita no geostacionaria a una velocidad de 3.218 km/h, lo que les permite dar dos veces la vuelta a la tierra cada 24 horas. En 1997 estaban en órbita 24 satélites de la constelación. Un año después se declaró operativo el sistema GPS (Carles, 2012).

2.4.2 Beneficios del GPS

GPS fue diseñado originalmente para uso militar. Luego de satisfacer sus propósitos de creación pudo ser accesible para uso de civiles. Las primeras dos mejores aplicaciones civiles en las que se empleó este sistema fueron la navegación marina y la topografía (Gopi, 2005). Desde entonces el GPS ha demostrado muchos beneficios a los usuarios civiles expandiendo su número de aplicaciones. Entre las ventajas de GPS tenemos:

Precisión de posicionamiento relativamente alto, desde decenas de metros hasta el nivel de milímetros.

Disponibilidad de señal a los usuarios desde cualquier parte de la tierra; en la tierra, aire o mar.

Capacidad de determinar la velocidad y el tiempo con una precisión acorde con la posición.

Es un sistema que puede ser utilizado bajo todo tipo de clima y disponible las 24 horas del día.

Es un sistema que puede ser usado sin cargos para el usuario y emplea un hardware de costo relativamente bajo (Gopi, 2005).

2.5 Sistema operativo móvil android

Android es un potente sistema operativo desarrollado por Google Inc., basado en el kernel de Linux 2.6 adaptado para su uso en dispositivos móviles (Ostrander, 2012). Las aplicaciones que usa este sistema operativo pueden ser programadas en lenguajes HTML5⁶ con CSS3⁷ en Java; Google ofrece herramientas para su programación así como soporte técnico actualizado para el desarrollo de dichas aplicaciones (Amaro, 2011).

De acuerdo a Eric Schmidt, CEO de Google Inc., Android es el sistema operativo con más presencia en el mundo. A diferencia de otros sistemas operativos para móviles, Android es libre, multiplataforma y gratuito. Según la consultora International Data Corporation (IDC) en su informe Worldwide Quarterly Mobile Phone Tracker, Android domina el mercado de dispositivos móviles con el 78 % siendo su contribuidor principal Samsung (IDC, 2015).

En la actualidad este sistema operativo ha trascendido el mundo de los dispositivos móviles debido a su característica de open source y puede encontrarse en otros dispositivos como son las tablets, televisores digitales, relojes digitales, autos, electrodomésticos entre todos (Allen & Murphy, 2011).

Históricamente, Android fue creado por Android Inc. como un sistema operativo para teléfonos móviles. Google adquirió esta compañía en julio del 2005 (Wallace, 2012).

⁶ HTML5 (HyperText Markup Language, versión 5): Es una evolución natural de anteriores versiones de HTML que incluye mejoras para cubrir las necesidades de visualización y estructura de sitios webs. (Castro & Hyslop, 2011).

⁷ CSS3 (Cascading Style Sheets, versión 3): Esta versión es más potente que sus predecesoras e introduce numerosos efectos visuales como son sombras, texto sombreado, esquinas redondeadas y gradientes (Castro & Hyslop, 2011).

Un parte fundamental para el desarrollo de Android fue el soporte brindado por Open Handset Alliance (OHA). La búsqueda del desarrollo de estándares abiertos para dispositivos móviles permitió que las reconocidas empresas de tecnología como Texas Instruments, Broadcom Corporation, Nvidia, Qualcomm, Samsung Electronics, Sprint Nextel, Intel, LG, Marvell Technology Group, Motorola y T-Mobile contribuyan en el desarrollo del código fuente de Android (Green & Zechner, 2012).

OHA, bajo la directriz de Google, incursionó en el mercado de los dispositivos móviles en el 2008 con el lanzamiento de la versión 1.0 de Android bajo el nombre Apple Pie. El Smartphone T-Mobile incorporaba esta versión, la cual tenía entre sus características una ventana de notificaciones desplegadas, un menú para agrupar aplicaciones, integración y sincronización de Gmail y la introducción del Android Market (Barrett, 2013).

Desde su lanzamiento, Android ha tenido una gran penetración en el mercado a nivel mundial, esto se debe a sus características open source, ya que permite a los fabricantes adaptar el sistema operativo a sus dispositivos y brindarle la personalización y atributos necesarios para ofrecerlos a sus usuarios. Empresas como Samsung, HTC, LG, Huawei, Motorola, Alcatel, entre otras, favorecen a este crecimiento ofreciendo dispositivos móviles con la última versión de este sistema operativo (Purdy, 2011).

2.5.1 Características del sistema operativo Android

Android es una distribución de Linux destinada a los dispositivos móviles, no obstante, este sistema operativo ofrece al desarrollador varias características que fomentan el surgimiento de aplicaciones de diferentes tipos que aprovechan el conjunto de hardware y software del dispositivo (Green & Zechner, 2012). A continuación se describen las principales características del sistema operativo Android.

Es un sistema operativo de licencia open source, lo que permite al usuario personalizar la interfaz y aplicaciones; no requiere pagar algún tipo de licencia a terceros (Girones, 2013).

Cuenta con la máquina virtual Dalvik, la cual se encarga de la ejecución de aplicaciones con bajo consumo de memoria y energía, aspecto indispensable en el ambiente de los Smartphone. Las aplicaciones ejecutadas son desarrolladas con lenguaje Java y las interfaces con XML⁸ (Vavru & Ujbanyai, 2014).

Tiene soporte para el desarrollo en conjunto de varios servicios incorporados, como: GPS, bases de datos SQLite, Bluetooth, lector de huellas, reconocimiento de voz, Wi-Fi, navegación web, entre otros; de tal manera que el desarrollador puede utilizar estos servicios directamente en sus aplicaciones (Yaghmour, 2013).

Tiene soporte para reproducción de archivos multimedia comunes, audio, video y formatos de imágenes como son MP3, Ogg, MPEG-4, H.264, PNG, entre otros; incluso cuenta con una API especializada para efectos de sonido para desarrollo de videojuegos (Green & Zechner, 2012).

2.5.2 Arquitectura del sistema operativo Android

La arquitectura de Android está dividida en cuatro capas, las cuales se pueden observar en la Figura 2.9.

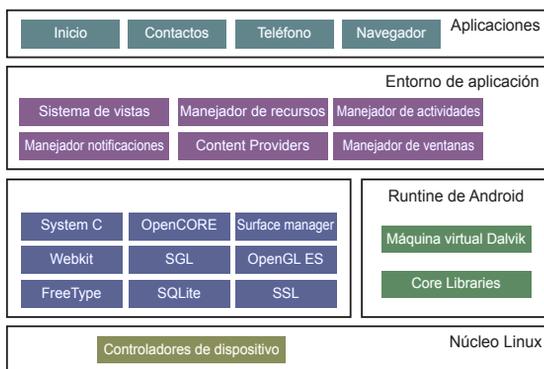


Figura 2.9 Arquitectura del Sistema Operativo Android. Adaptado de “*El Gran Libro de Android*” por Girones, 2013, Barcelona: Marcombo.

⁸ XML (Extensible Markup Language): XML es un lenguaje de marcas. Inicialmente fue desarrollado para Internet, sin embargo, en la actualidad se emplea para distintas aplicaciones como formato de intercambio o para sistemas de almacenamiento de datos (Brochard, 2001).

La capa núcleo Linux está formada por el sistema operativo Linux 2.6 y provee los servicios básicos y manejadores para los componentes de hardware. También es el responsable de brindar servicios de seguridad, manejo de memoria, multiproceso y pila de protocolos (Lee, 2012).

La capa Runtime de Android está conformada por la máquina virtual Dalvik y un conjunto de librerías que dan funcionalidades en la ejecución. La máquina virtual Dalvik es una variación de la máquina virtual de Java que ha sido optimizada para Android (Girones, 2013).

La capa de librerías nativas está conformada por un conjunto de librerías nativas C/C++, las cuales son empleadas por varios componentes de Android. Tienen la finalidad de evitar tareas repetitivas y codificación adicional para determinadas tareas que llevan a cabo las aplicaciones al momento de ser ejecutadas (Green & Zechner, 2012).

La capa de entorno de aplicación brinda una plataforma para el desarrollo de aplicaciones. Esta capa permite simplificar la reutilización de componentes de manera que una aplicación puede publicar sus capacidades para que otras puedan ser empleadas (Gargenta & Nakamura, 2014).

2.5.3 Versiones del sistema operativo Android

Desde el lanzamiento oficial de la primera versión de Android se han realizado varios cambios, actualizaciones y detectado errores para mejorar la experiencia de uso y desarrollo. Cada versión de este sistema operativo se caracteriza por llevar el nombre de un postre en orden alfabético (Gargenta & Nakamura, 2014). A continuación se revisarán brevemente las versiones de Android y sus principales características.

Android 1.0 fue la primera versión que venía en el dispositivo móvil T-Mobile G1 en el 2008. Un año más tarde se lanzó la versión 1.5 bajo el nombre de Cupcake, la cual incorporaba un teclado en pantalla. En el 2009 llegó Donut, la versión 1.6, que añadía multi-touch. Eclair fue la versión 2.0 y se introdujeron librerías para Bluetooth y un navegador con soporte para HTML5. Android 2.2 bajo el nombre Froyo fue lanzada en mayo del 2010 y

tenía una barra de búsqueda desde cualquier pantalla; y en diciembre del mismo año se lanzó Gingerbread, la versión 2.3, con un teclado con funciones de copiado y pegado (Gargenta & Nakamura, 2014).

Android con su versión 3.0, nombrada Honeycomb, dio un paso para ser utilizada en tablets, se optimizaron aspectos como resolución para pantallas más grandes. Con estas mejoras en el 2011 se lanzó Ice Cream Sandwich con la finalidad de unificar características de todas las versiones anteriores y que esté disponible tanto para smartphones como tablets (Portales, 2015).

La versión 4.1 de Android lanzada en el 2013, KitKat, tenía como objetivo abarcar tanto nuevos como antiguos dispositivos como poca memoria RAM (Gargenta & Nakamura, 2014). La última versión hasta el presente trabajo de investigación, Lollipop es la versión 5.0 del sistema operativo y fue lanzada en el 2014. Se realizó un rediseño de las interfaces de la aplicaciones así como también se incorporaron nuevas opciones de notificaciones (Android Inc., 2015). En la Figura 2.10 se puede observar un resumen de las versiones de Android.



Figura 2.10 Versiones de Android. Adaptado de “IBN” por IBN Tech Live, 2014, Recuperado de <http://www.ibnlive.com/news/india/android-5-0-lollipop-10-highlights-of-the-latest-version-of-googles-android-operating-system-720503.html>.

Android presenta una gran ventaja frente a los otros sistemas operativos puesto que fabricantes y desarrolladores no tienen que pagar licencia para el desarrollo o modificación del código fuente del sistema operativo (Girones, 2013). Los fabricantes que emplean este sistema operativo personalizado

para sus dispositivos, así como los desarrolladores no pagan elevados valores para subir sus aplicaciones a Google Play.

En el aspecto de cuota de mercado, de acuerdo a datos recopilados por la consultora especializada en tecnología, International Data Corporation (IDC) hasta el primer cuatrimestre del 2015 que se pueden observar en la Figura 2.11, el sistema operativo tiene una cuota del 78 %, iOS cuenta con el 18.3 % y Windows Phone el 2.7 %. Contribuyen a esta presencia en el mercado el soporte brindado por compañías como Samsung, Lenovo, Huawei, LG, Xiaomi, ZTE, entre otras, que emplean este sistema (IDC, 2015).



Figura 2.11 Gráfico lineal de la presencia en el mercado de los sistemas operativos para dispositivos móviles. Adaptado de “IDC” por IDC, 2015, Recuperado de <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>.

Cada sistema operativo cuenta con su propio ambiente de desarrollo mediante el cual se diseña y codifican las aplicaciones que posteriormente son publicadas para su descarga en cada dispositivo. Android cuenta con dos principales ambientes como son Android Studio y un SDK (Software Development Kit) que puede ser empleado en conjunto con Eclipse. Para la codificación de aplicaciones para este sistema se emplea Java. El uso del ambiente y el SDK es gratuito y cuenta con soporte multiplataforma para sistemas operativos de escritorio (Komatineni & MacLean, 2012).

2.6 Carro para niños – CPN

Es común en la actualidad ver CPN impulsados por batería, ahora el enfoque se basará en la razón por la cual se hicieron tan conocidos, la estructura básica para el actual CPN y lo que se espera mejorar con este proyecto.

2.6.1 Características de los CPN

El primer indicio de CPN no fue básicamente en juguetes, a principios del año 1930 estos fueron creados como una alternativa para movilizarse ya que los primeros autos creados en esa época no eran asequibles a todos debido a sus altos costos. El “velocar” fue uno de los primeros vehículos de tracción humana, desarrollado por Charles Mochet, este vehículo era completamente cerrado, su funcionamiento se basaba totalmente en el poder humano y no en un motor como ya era habitual en vehículos de esa época (Miller, 2010).

Siguiendo cronológicamente, los primeros vehículos a pedal dieron el inicio de la idea de convertirlos en un CPN, el primer modelo denominado Leitra, creado por Carl Georg a principios del año 1980 sirvió como base para los demás modelos que surgirán en los siguientes años. El primer prototipo se consideró pesado, sin embargo después fue mejorado introduciendo el uso de fibra de plástico (Colville, 2011).

Por otra parte, usar carros que funcionen con energías renovables o energía eléctrica es de gran beneficio para la sociedad por el simple hecho que estos no emitirán monóxido de carbono y otros gases que dañan la salud y el medio ambiente. El primer vehículo eléctrico fue un triciclo eléctrico en el año de 1881 (Langarica, 2010).

A lo largo de la historia se han desarrollado 3 tipos de vehículos eléctricos, como son los híbridos, los híbridos enchufables, y los 100 % eléctricos. Si bien se han desarrollado vehículos usando energía renovable, siendo de mayor uso los vehículos con paneles solares, se desconoce aún la puesta en funcionamiento de los mismos en CPN a batería (Chancusig, 2014).

Por el motivo de ser un juguete tan vendido a lo largo de los años, se ve la necesidad de agregarle la tecnología adecuada para no solo mejorar el juego

del niño sino también la tranquilidad del padre al tener un tipo de seguridad sobre ello.

2.7 Componentes electrónicos

Para establecer el correcto funcionamiento de este proyecto se necesitarán los componentes electrónicos adecuados, cabe indicar que estos son en su mayoría los encargados de recibir la información del Arduino y efectuar acciones en los motores y/o relés y así poner en funcionamiento cada acción enviada desde el Arduino.

2.7.1 Motor de paso

Un motor de paso es un dispositivo electrónico que cumple la función de controlar velocidad, torque y posición. El motor de paso tiene como característica principal el poder realizar el torque mediante pasos a la vez por cada pulso generado. Permite realizar pasos con ángulos desde 1,8° a 90°, hasta los 360° que corresponde al giro completo (Molas, y otros, 2006).

Para este proyecto el motor de paso es uno de los componentes más importantes en la implementación, puesto que estará encargado de manipular la dirección del vehículo cuando el usuario esté usando la aplicación móvil.

2.7.2 Relés

Un relé es un equipo electrónico conformado por un electroimán, el cual al ser accionado por algún voltaje inducido accionará sus contactos, que permitirán activar o desactivar otros dispositivos (Ebel & Idler, 2008).

Para el prototipo se usará el relé como un interruptor de mando a distancia, el cual volverá al reposo luego de accionar los botones en la aplicación móvil; el relé se encargará del accionamiento del motor hacia adelante y hacia atrás.

2.7.3 Reguladores

Un regulador tiene como finalidad proporcionar un voltaje estable que pueda ser empleado para alimentar otros dispositivos. Este tipo de componente suele ser utilizado en equipos que requieren valores de voltaje estables (Carretero, 2009).

2.7.4 Transistores

Las funciones básicas de un transistor son amplificar, oscilar, conmutar y rectificar un circuito electrónico. Los transistores son usados diariamente en la mayoría de los enseres domésticos, como por ejemplo: refrigeradoras, radios, celulares, reproductores mp3, impresoras, computadores, entre otras cosas. Son el reemplazo de las válvulas termoiónicas y del triodo (Mesa, 2010).

En la implementación del proyecto se utilizarán los transistores con el fin de reducir el consumo de energía del Arduino, además es utilizado como un sistema de protección para las compuertas digitales del Arduino, ya que al realizar la conexión en secuencia del transistor, resistor y diodo, trabajan como un cortapicos de corriente, evitando que se produzca una carga de retorno y evitar que el pin sea afectado.

2.7.5 Motor DC

Un motor DC es un dispositivo electrónico que tiene como función convertir la energía recibida por una fuente como, por ejemplo una batería, a energía mecánica produciendo un giro rotatorio en la llanta posterior del carro (Rodríguez Pozueta, 2015).

En la implementación del prototipo, el motor es utilizado en la parte manual y automática, para realizar la aceleración o retroceso según sea recibida la orden a través de la aplicación móvil o por el usuario a conducir el carro.

2.8 Componentes mecánicos

2.8.1 Transmisión

La transmisión emplea mecanismos y dispositivos formados por la interconexión de piezas rígidas. Una configuración habitual, aquella en el que un motor de combustión interna hace girar un cigüeñal unido a un volante de inercia que es a la vez la salida del motor y la entrada del embrague de fricción. El embrague permite mantener el motor funcionando aun cuando el vehículo está detenido (Pintado Sanjuán, 2000).

2.8.2 Engranajes

Son componentes que transmiten movimiento cuando en las máquinas la transmisión de potencia se hace de un eje a otro paralelo que esté cercano a este. Un tipo característico son los engranajes cilíndricos rectos, tienen ruedas dentadas con dientes rectos paralelos al eje del árbol (Pintado Sanjuán, 2000).

2.8.3 Caja reductora de velocidad

Es empleada para “transmitir potencia cuando se requiere relaciones de transmisión o relaciones de par mayores que las logradas con engranajes simples” (González, Rodríguez, & Sancho, 2007). Este mecanismo está compuesto de trenes de engranajes que tienen ejes intermedios con diferentes etapas de reducción.

CAPÍTULO III

Análisis y selección de componentes del prototipo

CAPÍTULO III

Análisis y selección de componentes del prototipo

El presente desarrollo incorpora implementaciones por hardware y software para funcionar adecuadamente. En los siguientes apartados se realizará un análisis comparativo de los principales componentes de hardware y software seleccionados para el desarrollo del prototipo.

3.1 Paneles solares

Los paneles solares permiten transformar la energía solar en energía eléctrica (Roldán, 2010), la cual servirá para recargar la batería que brinda el funcionamiento del motor del carro.

3.1.1 Comparación de paneles solares

En la Tabla 3.1 se realiza una comparación de las principales opciones de los paneles solares a seleccionar.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de las principales características de los paneles solares.

	 Panel solar semiflexible de 20W	 Panel solar semiflexible de 30W
Potencia	20W	30W
Voltaje de salida	18 VDC	18 VDC
Intensidad de salida	1000mA	2000mA
Dimensiones	50.5 x 35x 0.3 cm	53.34 x 38.73 x 0.31 cm

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las características eléctricas, ambos paneles brindan valores similares de salida de voltaje, 18 VDC. Este valor de voltaje satisface las necesidades de carga de la batería. En cuanto a la característica de intensidad eléctrica, el panel semiflexible de 20W tiene una salida de 1000mA, mientras que el panel semiflexible de 30W ofrece 2000mA de salida en condiciones ideales. La batería del carro consume 2000mA.

El panel semiflexible de 30W cuenta con las dimensiones de 53.34 x 38.73 x 0.31 cm, mientras que el panel semiflexible de 20W tiene 50.5 x 35x 0.3 cm. Ambos paneles pueden ser instalados con facilidad. Debido a que este panel cuenta con las características de voltaje e intensidad eléctrica necesarias para la recarga de la batería del carro, se optó por este panel.

3.2 Arduino

Para la realización de este proyecto se usará el Arduino que es una placa que cuenta con un microcontrolador y proporciona un entorno de desarrollo (Boxall, 2013).

3.2.1 Comparación placas Arduino

En la Tabla 3.2 se realiza una comparación de las principales características de las placas Arduino a seleccionar.

Tabla 3.2 Tabla comparativa de las principales características de las placas Arduino a seleccionar.

			
	Arduino Uno	Arduino Mega	Arduino Pro
Voltaje de Operación	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Voltaje de Alimentación	7-12 VDC	7-12 VDC	5-12 VDC
Entradas/salidas digitales / PWM	14/6	54/15	14/6
Entradas/salidas analógicas	6/0	16/0	6/0
Compatibilidad con shields	Excelente	Buena	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Todas las placas a seleccionar tienen como voltaje de operación 5 VDC. En el caso de Arduino Uno y Mega el voltaje de alimentación está entre los 7 a 12 VDC, para Arduino Pro, este valor está entre los 5 a 12 VDC.

En el aspecto de entradas y salidas, Arduino Uno y Pro cuentan con la misma cantidad, 14 entradas y 6 salidas digitales; el Arduino Mega cuenta con un mayor número de entradas con un total de 54 y asimismo un mayor número de salidas con 16, ambas digitales. En el caso de las entradas y salidas analógicas sucede algo similar, puesto que Arduino Uno y Pro cuentan con 6 entradas analógicas mientras que Arduino Mega tiene mayor cantidad de entradas con un valor total de 16.

En cuanto a la compatibilidad con los shields existentes en el mercado, tanto Arduino Uno como Pro tienen excelente compatibilidad con varios shields; el Arduino Mega tiene una buena compatibilidad; no obstante, varían ciertas configuraciones de los pines.

Ante las características para este proyecto se ha determinado usar la placa Arduino Uno porque cuenta con la cantidad necesaria de entradas y salidas digitales para el accionamiento de luces y relés, así como también por la compatibilidad con otros módulos como son el Wi-Fi y GPS que se emplearán en conjunto. A futuro se podría optar por una placa Arduino Mega si se desea activar más componentes como pueden ser alarmas, recibir valores de sensores, entre otros; sin embargo, para el desarrollo del prototipo propuesto, Arduino Uno es suficiente para brindar las funcionalidades al carro.

3.3 Shield Wi-Fi

Los shields permiten dar funcionalidades adicionales a la placa Arduino, como pueden ser sensores, comunicación alámbrica o inalámbrica con redes, entre otros (Barrett, 2013). El desarrollo del prototipo está formado por el carro para niños y una aplicación móvil, para establecer la comunicación entre ambas partes se optó por adquirir un shield Wi-Fi de manera que se puedan enviar y transmitir los datos e instrucciones necesarios.

3.3.1 Comparaciones de Shields Wi-Fi

En la Tabla 3.3 se realiza una comparación de las principales características de Shields Wi-Fi.

Tabla 3.3 Tabla comparativa de las principales características de Shields Wi-Fi

			
	Iduino Yun	WizFi210 Wi-Fi Shield	CC3000 Wi-Fi Shield
Estándares Wi-Fi soportados	802.11 b / g / n	802.11 b	802.11 b / g
Compatibilidad con placas Arduino	Arduino Uno, Leonardo, Duemilanove, Diecimila y Mega	Arduino Uno, Yun, Mega	Arduino Uno, Mega y Leonardo
Voltaje de Alimentación	4.75 VDC ~ 23 VDC	3.3VDC	4.5 VDC – 12VDC

Fuente: Elaboración propia

El shield Iduino Yun resuelve los problemas de conectividad inalámbrica Wi-Fi en una placa Arduino. Soporta los estándares IEEE 802.11 b/g/n y cuenta con una interfaz web mediante la cual se puede realizar la configuración del shield y acceder vía Wi-Fi o LAN a través de un navegador web (Geetech, 2014).

El shield WizFi210 brinda conectividad Wi-Fi con bajo consumo de energía y proporciona una pila TCP/IP para el procesamiento de datos. También cuenta con un tiempo de inicialización una vez energizado de 20 milisegundos. (Wiznet, 2013).

El shield CC3000 tiene como núcleo en su funcionamiento el chip Wi-Fi CC3000 de Texas Instruments. Soporta IEEE 802.11 b /g, Posee antena Wi-Fi incorporada así como también la posibilidad de conectar una antena externa para aumentar la ganancia (Texas Instruments Incorporated, 2013).

En la Tabla 3.4 se muestra el resumen de estándares IEEE 802.11 soportado por las shields comparadas. El shield Iduino Yun cuenta con mayor soporte de estándares IEEE 802.11 (802.11 b/g/n) a diferencia del shield CC3000 (802.11 b/g) y el shield WizFi210 (802.11 b).

Tabla 3.4 Estándares IEEE 802.11 soportado por las shields Iduino Yun, WizFi210 y CC3000

Estándar IEEE 802.11	Idiuno Yun	WizFi210 Wi-Fi Shield	CC3000 Wi-Fi Shield
802.11 b	Sí	Sí	Sí
802.11 g	Sí	No	Sí
802.11 n	Sí	No	No

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la compatibilidad con placas Arduino, todos los shields cuentan con esta característica favorable con la placa Arduino Uno, la cual será empleada en el presente proyecto; no obstante, Iduino Yun brinda un mayor soporte de placas como Arduino Leonardo, Duemilanove, Diecimila y Mega. Por su parte, el shield WizFi210 brinda compatibilidad adicional a las placas Arduino Yun, Mega; y finalmente el shield CC3000 también es compatible con las placas Arduino Mega y Leonardo.

El shield Iduino Yun cuenta con características como son compatibilidad y voltaje de operación, que se aprovecharán para el desarrollo del prototipo propuesto; por esta razón se ha seleccionado este shield.

3.4 Shield GPS

El shield GPS permite obtener las coordenadas del CPN y las envía a través del shield Wi-Fi al Smartphone, en el cual se ejecuta la aplicación ecoCar para visualizarlas en un mapa de Google Maps; este será instalado en el CPN.

3.4.1 Comparaciones de Shields GPS

En la Tabla 3.5 se realiza una comparación de las principales características de shields GPS.

Tabla 3.5 Tabla comparativa de las principales características de shields GPS

	 u-blox NEO-6M	 GPS Shield for Arduino	 Ublox-NEO GPS Shield
Compatibilidad con placas Arduino	Arduino Uno y Mega.	Arduino Uno	Arduino Uno
Voltaje de Alimentación	3 VDC - 5 VDC	3.3VDC - 5 VDC	5 VDC
Costo	9.95 USD	26.25 USD	22.88 USD

Fuente: Elaboración propia

En el aspecto de compatibilidad con las placas Arduino, todos los shields son compatibles con Arduino Uno, solo el shield u-blox NEO-6M tiene soporte adicional con la placa Arduino Mega.

En cuanto a costo, u-blox NEO-6M tiene un costo menor respecto a los otros dos shields (9.95 USD). Ublox-NEO GPS Shield tiene un precio de 22.88 USD y finalmente el GPS Shield for Arduino cuenta con un precio de mayor valor entre todos, 26.25 USD.

El shield u-blox NEO-6M posee características similares a los demás shields mencionados anteriormente, como son el voltaje de operación adecuado para funcionar en el carro para niños, compatibilidad con la placa Arduino Uno que se seleccionó para el accionamiento de los componentes y a través de la cual se procesará la información de las coordenadas, también tiene un menor precio. Por estas razones se utilizará este shield para el desarrollo del sistema propuesto.

3.5 Sistemas operativos para dispositivos móviles

Los sistemas operativos para dispositivos móviles, de manera similar a los sistemas operativos de escritorio, tienen la función de gestionar los recursos disponibles de hardware y software, sin embargo, se adaptan a los requerimientos de comunicación (mensajes de texto, llamadas telefónicas), reproducción de contenidos multimedia y limitaciones de consumo de energía (Jipping, 2007).

3.5.1 Comparaciones de sistemas operativos

Android, iOS y Windows Phone son sistemas operativos desarrollados para el funcionamiento en dispositivos móviles y gracias a ellos el desarrollo en este tipo de tecnologías y aplicaciones destinadas para estos dispositivos se ha ido incrementando con los años. Estos sistemas se los puede encontrar principalmente en Smartphone y Tablet, sin embargo, su campo de utilización se va extendiendo a cada vez más dispositivos como, por ejemplo, el sistema operativo Android que se puede encontrar en automóviles.

En la Tabla 3.6 se realiza una comparación de las principales características de estos sistemas operativos.

Tabla 3.6 Tabla comparativa de las principales características de los sistemas operativos para dispositivos móviles

	 Android	 iOS	 Windows Phone
Compañía	Open Handset Alliance/Google	Apple Inc.	Microsoft
Versión actual	Android 5 Lollipop	iOS 8	Windows Phone 8.1
Licencia	Gratuita y open source	Propietario	Propietario
Cuota del mercado	78%	18.3%	2.7%
Ambiente de desarrollo	Android Studio / Eclipse	Xcode	Visual Studio
Lenguaje de programación	Java (Android)	Objective-C, Swift	C#, Silverlight, C/C++
Soporte Wi-Fi	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia

Los sistemas operativos comparados cuentan con soporte Wi-Fi, una característica muy importante puesto que la aplicación a desarrollar empleará este estándar para la comunicación con el CPN. Android, iOS y Windows Phone ofrecen librerías para establecer la comunicación, así como también para consumir la información proporcionada por el módulo Arduino.

A partir del análisis de las características más relevantes a utilizarse dentro del desarrollo del prototipo, se seleccionó el sistema operativo Android como plataforma en la cual se ejecutará la aplicación que permita controlar el prototipo a distancia.

CAPÍTULO IV

Circuito y estructura implementados

CAPÍTULO IV

Circuito y estructura implementados

En los apartados de este capítulo se revisarán los diseños y conexiones electrónicas, mediante los cuales se realiza la recarga de la batería y se efectúa el movimiento del CPN, así como también los aspectos considerados para el desarrollo de la aplicación que permiten el control del carro a distancia.

4.1 Diseño de circuito electrónico

El prototipo está conformado por varias conexiones, las cuales permiten la recarga, control de dirección y giro del mismo. Además de las conexiones del panel solar también está la del control Wi-Fi, que permitirá el acceso a la conexión; y el módulo GPS que servirá para la ubicación del mismo.

El panel solar proporcionará energía tanto para la batería del vehículo como para la placa Arduino que contará con los módulos Wi-Fi y GPS, así como también los circuitos de marcha/retroceso y de dirección van conectados a dicho Arduino; todos estos componentes irán conectados a los motores que tendrá el vehículo, uno para marcha y retroceso, y un motor de paso para controlar los giros. El esquema del circuito completo se puede observar en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Diagrama General de Implementación de vehículo prototipo con eficiencia de energía.

Fuente: Elaboración propia

El usuario al realizar la orden de aceleración o retroceso, Arduino la procesa y manda a acelerar o retroceder el carro, a través de la placa diseñada para realizar el movimiento hacia delante y hacia atrás, accionando el motor DC; pero cuando Arduino recibe la petición del usuario a través de la aplicación móvil para realizar el giro hacia la izquierda o derecha, se pone en funcionamiento el motor de paso de acuerdo a la función recibida por Arduino para después poner a trabajar la caja reductora, mediante la cual se reduce velocidad, y ampliar fuerza a través de 4 engranajes; finalmente dicha caja reductora mueve un engrane superior realizando el giro resultante en las llantas delanteras. Este esquema de funcionamiento se puede observar en la Figura 4.2.

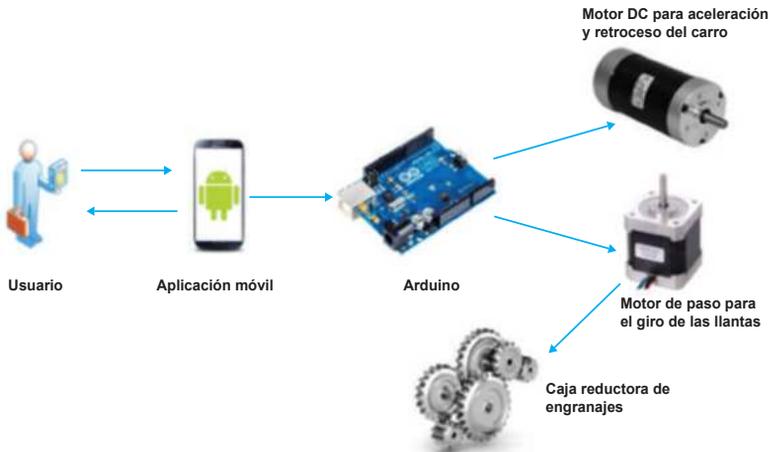


Figura 4.2 Esquema de funcionamiento mecánico

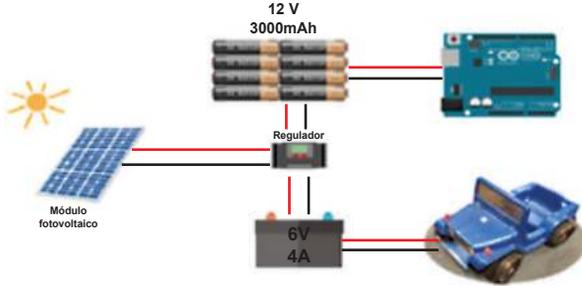
Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Conexión de panel solar

El panel solar que se usará proporcionará energía tanto a la batería de 12VDC como al Arduino, dicho panel solar está conectado a un regulador que controla los niveles de carga. Este panel produce un voltaje máximo de 24V, el cual puede ser regulado. En la Figura 5.3 se muestra el esquema de conexión de los mismos.

Figura 4.3 Diagrama General de Conexión del Panel Solar

Fuente: Elaboración propia



4.1.2 Control de giro

Para el control de giro, se usarán el Arduino, un motor de paso y el circuito L293D. Este circuito permitirá el manejo del motor que tiene una potencia de 7,5 W. Este circuito tiene una capacidad de controlar corriente hasta 600mA y una tensión entre 4.5V a 36V.

Cabe indicar que para la instalación de dicho motor de paso se tuvo que adaptar el vehículo con un engranaje para que permita el giro y movimiento de la dirección. Este motor de paso utilizará señales enviadas desde el celular y moverá la dirección en el ángulo indicado desde 0° hasta 45°, de acuerdo al número de pasos programados. En la Figura 4.4 se puede apreciar el circuito electrónico del control de giro y en el Apéndice A su placa electrónica.

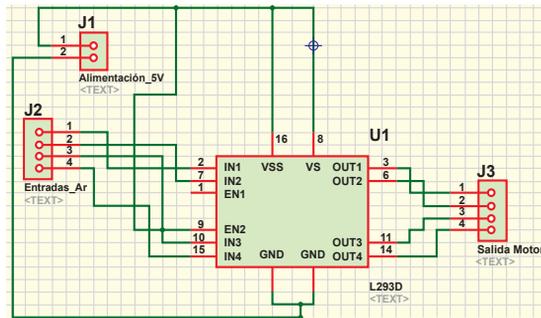


Figura 4.4 Esquema de conexión del motor de paso

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Control de aceleración

Este control consta de un juego de relés que al conmutarse entre ellos generan el giro del motor según lo deseado (RL2 y RL3). Por otra parte, el RL1 sirve para que el circuito no esté siempre encendido sino que espere una señal del switch que corresponde al pedal del acelerador, el cual solo al estar activado energizará dicho relé continuando así con la secuencia de encendido, según la información que dispongan los otros dos relés. En la Figura 4.5 se puede observar el circuito que permite que el motor gire hacia adelante. Para este control se emplearon relés, puesto que pueden soportar una corriente de aproximadamente 1.5^a, que es lo que consume el motor que realiza el movimiento de aceleración y reversa.

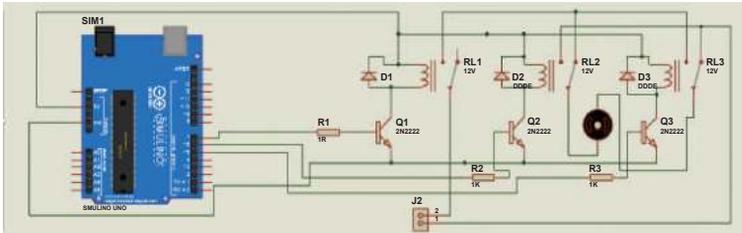


Figura 4.5 Diagrama de conexión y elementos a usar para la aceleración y desaceleración del vehículo.

Fuente: Elaboración propia

Este circuito se implementó en una placa en la que se soldarán todos los componentes. En el Apéndice B se adjuntan el diseño de la placa y la representación en 3D. En el diseño de esta placa, las pistas de los pines comunes de los relés son de mayores dimensiones para soportar una corriente de alrededor de 1.5A, mientras que por el resto de pistas circulan corrientes con valores de hasta aproximadamente 40mA.

CAPÍTULO V

Diseño de la aplicación móvil ecoCar

CAPÍTULO V

Diseño de la aplicación móvil ecoCar

La aplicación tiene como objetivo mejorar el control del CPN de manera que al propietario del mismo se le facilite controlar el carro y dirigirlo a un lugar determinado. A continuación se revisan los criterios para su diseño.

5.1 Descripción de funcionalidades y casos de uso

5.1.1 Funcionalidad #1: Acelerar y retroceder

En la Figura 5.1 se puede observar el diagrama de secuencia de funcionalidad que incorpora la aplicación, la cual permitirá acelerar y dar reversa al carro para niños.

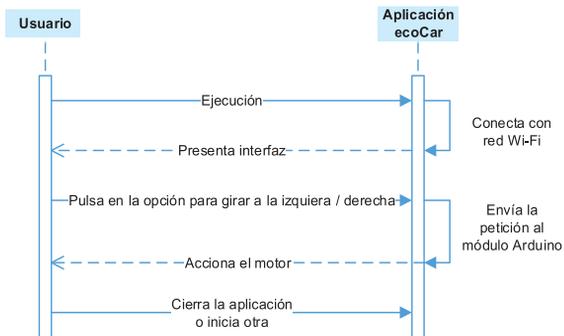


Figura 5.1 Diagrama de secuencia de aceleración y reversa

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5.1 se realiza la descripción diagrama de secuencia anteriormente mostrado.

Tabla 5.1 Descripción textual del diagrama de secuencia acelerar y retroceder

Nombre:	Aceleración del CPN		
Prioridad:	Alta	Actores:	Padre de familia
Descripción:	Permite acelerar el carro para niños		
Precondiciones:	El usuario debe haber instalado la aplicación en un Smartphone y estar conectado a la red Wi-Fi Iduino Yun.		
Flujo normal:	<ul style="list-style-type: none"> • El actor ejecuta la aplicación instalada en smartphone. • Al iniciarse la aplicación activa la conectividad Wi-Fi en el smartphone y se conecta a la red Wi-Fi Iduino Yun. • El actor pulsa en la opción de acelerar o reversa que se muestra en la aplicación. • La aplicación envía la petición al módulo Iduino para que se activen las compuertas que permiten el accionamiento del motor en un sentido que posibilite acelerar u otras compuertas que cambian el sentido de giro del motor para dar de reversa. 		
Flujo alternativo:	2.A. Si no logra conectarse a la red Wi-Fi Iduino, se avisa mediante una ventana emergente que no se ha podido conectar con el módulo del carro para niños y la aplicación se cierra.		
Postcondiciones:	El actor puede seguir utilizando otras funcionalidades para controlar el CPN.		

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Funcionalidad #2: Girar

La segunda funcionalidad a incorporar corresponde al control de giro del carro para niños. El diagrama de secuencia se puede apreciar en la Figura 5.2.

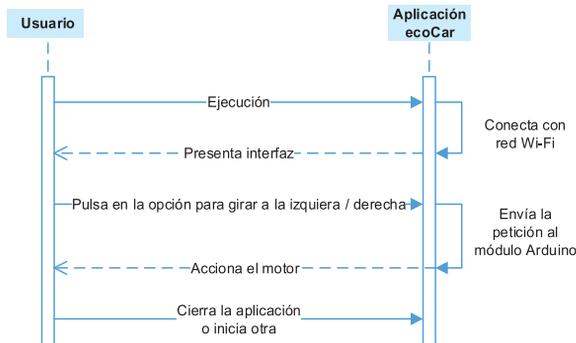


Figura 5.2 Diagrama de secuencia para la acción de giro

Fuente: Elaboración propia

La descripción para la segunda funcionalidad se detalla en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Descripción textual del diagrama de secuencia para la acción de girar

Nombre:	Giro del carro para niños		
Prioridad:	Alta	Actores:	Padre de familia
Descripción:	Permite girar a la derecha o a la izquierda el CPN		
Precondiciones:	El usuario debe haber instalado la aplicación en un Smartphone y estar conectado a la red Wi-Fi Iduino Yun.		
Flujo normal:	<ul style="list-style-type: none"> • El actor ejecuta la aplicación instalada en Smartphone. • Al iniciarse la aplicación activa la conectividad Wi-Fi en el Smartphone y se conecta a la red Wi-Fi Iduino Yun. • El actor pulsa en la opción de girar a la izquierda o la derecha que se muestra en la aplicación. • La aplicación envía la petición al módulo Iduino para que se activen las compuertas que permiten el accionamiento del motor en un sentido que posibilite girar a la derecha u otras compuertas que cambian el sentido de giro del motor para dar de reversa. 		
Flujo alternativo:	2.A. Si no logra conectarse a la red Wi-Fi Iduino, se avisa mediante una ventana emergente que no se ha podido conectar con el módulo del carro para niños y la aplicación se cierra.		
Postcondiciones:	El actor puede seguir utilizando otras funcionalidades para controlar el CPN.		

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Funcionalidad #3: Mostrar ubicación geográfica

La tercera funcionalidad a incorporar corresponde a la visualización de la ubicación del carro para niños. En la Figura 5.3 se puede apreciar un diagrama de secuencia para esta funcionalidad.

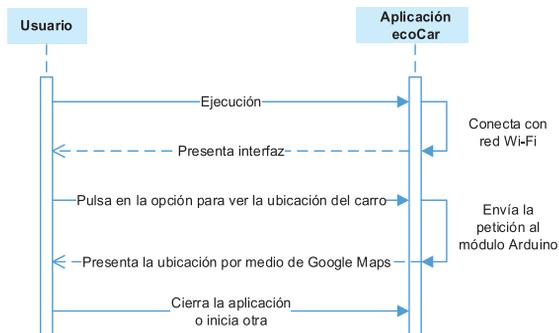


Figura 5.3 Diagrama de secuencia para mostrar la ubicación geográfica del carro

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5.3 se describe textualmente la funcionalidad de visualización de ubicación del carro.

Tabla 5.3 Descripción textual del diagrama de secuencia para mostrar ubicación geográfica

Nombre:	Visualización del carro para niños		
Prioridad:	Alta	Actores:	Padre de familia
Descripción:	Permite visualizar la ubicación del CPN		
Precondiciones:	El usuario debe haber instalado la aplicación en un Smartphone y estar conectado a la red Wi-Fi Iduino Yun y tener acceso a internet.		
Flujo normal:	<ul style="list-style-type: none"> • El actor ejecuta la aplicación instalada en Smartphone. • Al iniciarse la aplicación activa la conectividad Wi-Fi en el Smartphone y se conecta a la red Wi-Fi Iduino Yun. • El actor pulsa en la opción para visualizar la ubicación que se muestra en la aplicación. • La aplicación hace la petición al módulo Iduino para que le envíe los datos de ubicación obtenidos del módulo GPS y una vez recibidos los presenta invocando a Google Maps. 		
Flujo alternativo:	2.A. Si no logra conectarse a la red Wi-Fi Iduino, se avisa mediante una ventana emergente que no se ha podido conectar con el módulo del CPN y la aplicación se cierra.		
Postcondiciones:	El actor puede seguir utilizando otras funcionalidades para controlar el CPN.		

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Funcionalidad #4: Encender y apagar de luces

La cuarta funcionalidad a incorporar corresponde al encendido y apagado de los faros de luces que tiene el CPN. El diagrama de secuencia se puede apreciar en la Figura 5.4.

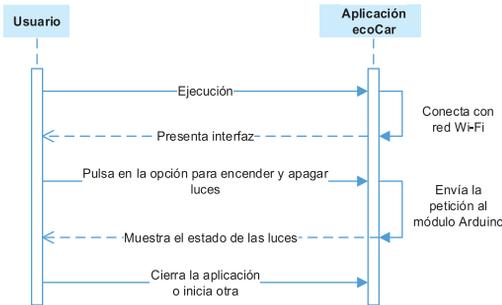


Figura 5.4 Diagrama de secuencia de la funcionalidad para encender y apagar de luces

Fuente: Elaboración propia

La descripción textual del para la cuarta funcionalidad se detalla en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Descripción textual del diagrama de secuencia de encender y apagar luces

Nombre:	Encendido y apagado de los faros de luces del CPN		
Prioridad:	Alta	Actores:	Padre de familia
Descripción:	Permite encender y apagar las luces del CPN		
Precondiciones:	El usuario debe haber instalado la aplicación en su smartphone y estar conectado a la red Wi-Fi Iduino Yun.		
Flujo normal:	<ul style="list-style-type: none">• El actor ejecuta la aplicación instalada en Smartphone.• Al iniciarse la aplicación activa la conectividad Wi-Fi en el Smartphone y se conecta a la red Wi-Fi Iduino Yun.• El actor pulsa en la opción de encendido y apagado que se muestra en la aplicación.• La aplicación envía la petición al módulo Iduino para que se activen las compuertas que permiten el encendido u apagado de las luces.		
Flujo alternativo:	2.A. Si no logra conectarse a la red Wi-Fi Iduino, se avisa mediante una ventana emergente que no se ha podido conectar con el módulo del carro para niños y la aplicación se cierra.		
Post condiciones:	El actor puede seguir utilizando otras funcionalidades para controlar el carro para niños.		

Fuente: Elaboración propia

5.2 Diagrama de caso de uso

Con base en las funcionalidades descritas anteriormente en la Figura 5.5, se puede observar el diagrama de casos de uso para la aplicación ecoCar.

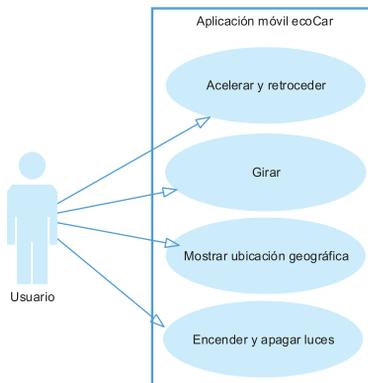


Figura 5.5 Diagrama de casos de uso de ecoCar

Fuente: Elaboración propia

5.3 Diagrama de secuencia

El diagrama de secuencia tiene como finalidad visualizar la interacción entre los componentes de la aplicación mostrando la mecánica de esta interacción basada en tiempos. En la Figura 5.6 se muestra el diagrama de secuencia de la aplicación a desarrollar.

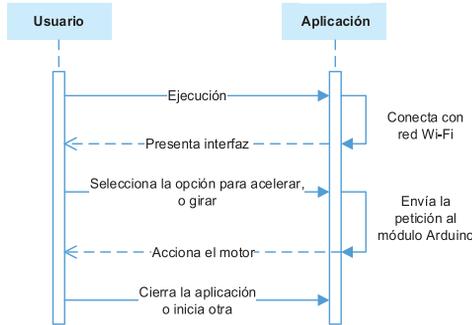


Figura 5.6 Diagrama de secuencia de la aplicación

Fuente: Elaboración propia

5.4 Arquitectura

Mediante la aplicación el usuario puede controlar el movimiento y posición del CPN. Una vez que ingresa a la aplicación esta se conecta a la red Wi-Fi del módulo Iduino que opera en conjunto a la placa Arduino. Una vez establecida la conexión el usuario puede indicar alguna dirección para mover el carro, al realizar esto se envía la petición y la placa Arduino activa y/o desactiva puertos para accionar el motor del carro. Basándose en el funcionamiento de cada uno de los componentes del prototipo anteriormente revisados, en la Figura 5.7 se puede observar la arquitectura con la que la aplicación funcionará al ejecutarse en el Smartphone.



Figura 5.7 Arquitectura de la aplicación

Fuente: Elaboración propia

5.5 Interfaz

Al iniciar la aplicación ecoCar en el Smartphone se despliega una pantalla de carga, como se puede observar adjunto en el Apéndice G. Durante la visualización de esta pantalla se establece la conexión con el módulo Wi-Fi que se encuentra instalado en el carro para niños.

Posteriormente se presenta la pantalla principal de la aplicación adjunta en el Apéndice H. En la parte derecha de la pantalla se encuentran las opciones generales que son, de arriba hacia abajo: encendido del carro, encendido y apagado de luces, ubicación GPS, ayuda. Al presionar sobre cada una de estas opciones se ejecuta una acción que se refleja en el comportamiento del carro para niños.

El usuario presiona el botón de encendido que se encuentra en la esquina superior derecha para activar el carro. De esta manera activa las opciones de control de movimiento de forma que el usuario podrá interactuar con el carro para niños a distancia. El usuario puede acelerar y dar reversa, así como también girar a la izquierda o derecha.

Desde esta pantalla el usuario puede encender y apagar las luces del carro mediante la segunda opción ubicada a la derecha como se aprecia en el Apéndice I.

La tercera opción de la ubicada a la derecha de la pantalla principal permite al usuario mostrar la ubicación del carro. Al presionar sobre esta opción se abrirá la aplicación de Google Maps, en la que se visualizará un mapa con un marcador de la ubicación del carro que se adjunta en el Apéndice J.

La última opción a la derecha de la pantalla principal permite al usuario ver el contenido de ayuda de la aplicación, tal como se puede observar en el Apéndice K.

CAPÍTULO VI

Implementación y pruebas del prototipo

CAPÍTULO VI

Implementación y pruebas del prototipo

Para la implementación del prototipo se instalará el panel solar, el circuito electrónico, la placa Arduino y el módulo Wi-Fi en el CPN. Luego se realizarán las conexiones necesarias, pruebas y verificación de funcionamiento en conjunto con la aplicación móvil.

6.1 Implementación del circuito

El CPN fue adaptado con estructuras que brindaran soporte para el panel solar y el control de giro. Para el panel solar se elaboraron unos soportes a manera de techo para el carro, como se puede apreciar en Apéndice C; de esta manera el panel puede ser afectado directamente por la incidencia de la radiación solar.

Este soporte fue colocado en el CPN, como se observa en la Figura 6.1. Por encima de estos se colocó el panel solar y se procedió a realizar las conexiones necesarias para recargar la batería.



Figura 6.1 Soporte colocado en el CPN

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación, los circuitos de control de aceleración y control de giro comenzaron con su armado respectivo en un protoboard. En el caso del circuito del control de aceleración, se elaboró una placa que se adjunta en el Apéndice D.

Posteriormente se soldaron los componentes y se ubicó esta placa dentro del capó del CPN en conjunto con el Arduino y sus módulos, que se puede apreciar en el Apéndice E.

Para el control de giro se instaló un motor de paso, para lo cual se adaptó el carro empleando engranajes para permitir el giro y movimiento de la dirección, como se puede observar en el Apéndice F.

6.2 Instalación y ejecución de la aplicación

Para la instalación de la aplicación se extrajo el archivo con extensión APK que se genera al compilar la aplicación. Este archivo fue copiado en dos Smartphone, un Samsung Galaxy S3 y un Sony Xperia Z2.

Además se habilitaron las opciones de seguridad para permitir la instalación de aplicaciones de orígenes desconocidos y se procedió a instalar, como se puede apreciar en la Figura 6.2.

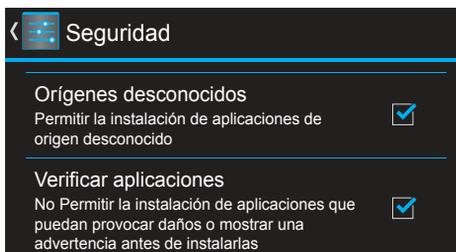


Figura 6.2 Habilitación de opciones de seguridad para instalar la aplicación

Fuente: Elaboración propia

La aplicación, una vez instalada en los dispositivos, ocupa 3.44 MB de almacenamiento de espacio, como se puede apreciar en la Figura 6.3.

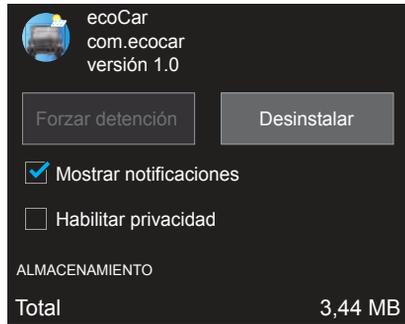


Figura 6.3 Espacio de almacenamiento empleado por la aplicación desarrollada

Fuente: Elaboración propia

6.3 Pruebas de funcionamiento del prototipo

Para realizar las pruebas de funcionamiento se ensamblaron todos los componentes, se efectuaron las respectivas instalaciones y configuraciones tanto en el carro como en los Smartphone. En los posteriores apartados se detallan las pruebas realizadas con sus respectivos resultados.

6.3.1 Pruebas del CPN

El tiempo de uso del CPN depende directamente del tiempo que dure la batería en proporcionar los valores de voltaje y corrientes necesarios para que el motor que posee el carro funcione. Estos valores son de 5VDC y 1.7 A. Al contar con el panel solar este supe constantemente estos valores lo que no ocurre al prescindir de este componente. También se consideraron dos modos de funcionamiento del carro: manual y automático. En el modo de funcionamiento manual, el carro está funcionando con el sistema eléctrico por defecto; y en el modo de funcionamiento automático, el carro funciona con el sistema electrónico y controlado desde la aplicación.

Para ambos modos de funcionamiento, manual y automático, se obtuvieron resultados similares, sin embargo el uso del panel solar afecta los dos estados: empleando el panel solar y sin el uso del panel solar. Al no contar con el panel solar el carro no se puede utilizar mientras se está recargando, ni tampoco se recarga la batería. En la Tabla 6.1 se pueden observar los

resultados generales de las pruebas de tiempo de recarga.

Tabla 6.1 Resultados generales obtenidos en ambos modos de funcionamiento

Estado	Tiempo de recarga
Empleando el panel solar modo manual y automático	Proporcional
Sin usar panel solar modo manual y automático	1 hora y 30 minutos

Fuente: Elaboración propia

A continuación se detallan las pruebas realizadas para ambos modos de funcionamiento.

6.3.1.1 Pruebas en modo de funcionamiento manual

Al emplear el panel solar y el carro en movimiento con un niño, el tiempo de recarga de la batería es proporcional, esto indica que la batería al estar conectada al sistema desarrollado se continúa cargando durante su uso. Por otro lado, el tiempo de recarga sin niño manejándolo es de 1 hora. Finalmente el último estado, cuando el carro no está en movimiento pero está con incidencia de radiación solar, el tiempo de recarga es de 40 minutos. En la Tabla 6.2 se resumen los resultados de esta prueba.

Tabla 6.2 Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento manual empleando el panel solar.

Estado	Tiempo de recarga
En movimiento con el niño	Proporcional
En movimiento sin el niño	1 hora
Sin movimiento	40 minutos

Fuente: Elaboración propia

Para todos estos estados, el panel solar al ser afectado por la radiación solar generaba 24 VDC y 2.4A en un día parcialmente despejado, en el que los rayos del sol afectaban directamente al panel solar, estos valores son posteriormente convertidos para recargar apropiadamente la batería.

Al prescindir del panel solar no existe tiempo de recarga, sino que pasa a ser un tiempo de descarga, esto se debe a que cuando se está usando el carro no se recarga en ese momento a diferencia de las pruebas anteriores.

Se obtuvieron como resultados que al estar en movimiento el carro, con un niño manejándolo, el tiempo de descarga es de 30 minutos. Cuando el carro está en movimiento, pero no hay un niño manejándolo, el tiempo de descarga es de 45 minutos. Finalmente la batería se descarga muy poco al no estar el carro en movimiento. Los resultados de esta prueba se resumen en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3 Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento manual sin usar el panel solar.

Estado	Tiempo de descarga
En movimiento con el niño	30 minutos
En movimiento sin el niño	45 minutos
Sin movimiento	Descarga muy poco

Fuente: Elaboración propia

En el caso de no contar con panel solar, el carro no puede estar en movimiento y no puede ser recargado en el mismo momento, esto se debe a que el cargador necesita una alimentación de la red de distribución eléctrica y es alámbrico. Para este caso el tiempo de recarga es de 1 hora y 30 minutos. La Tabla 6.4 detalla este resultado.

Tabla 6.4 Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento manual sin usar el panel solar para recargar.

Estado	Tiempo de recarga
Sin movimiento y sin panel solar	1 hora y 30 minutos

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.2 Pruebas en modo de funcionamiento automático

Al emplear panel solar tenemos resultados similares al modo de funcionamiento anterior, al estar el carro en movimiento con un niño el tiempo de recarga de la batería es proporcional. Cuando el carro está en movimiento pero sin un niño manejándolo el tiempo de recarga es de 1 hora y cuando el carro no está en movimiento pero está con incidencia de radiación solar, el tiempo de recarga es de 40 minutos. En la Tabla 6.5 se resumen los resultados de esta prueba.

Tabla 6.5 Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento automático empleando el panel solar.

Estado	Tiempo de recarga
En movimiento con el niño	Proporcional
En movimiento sin el niño	1 hora
Sin movimiento	40 minutos

Fuente: Elaboración propia

Como se explicó en la prueba anterior, al no usar el panel solar la batería se descarga y no hay recarga a menos que sea conectando el adaptador del carro.

6.3.2 Pruebas de usabilidad⁹ de la aplicación

La aplicación ya instalada en dos Smartphone fue ejecutada para realizar pruebas de funcionamiento y usabilidad en conjunto con el módulo Wi-Fi.

Desde la aplicación se envían las instrucciones para controlar el movimiento y ubicación del carro para niños.

En las pruebas de funcionamiento realizadas se comprobó que en conjunto el carro para niños con la placa Arduino, ambos funcionan bien con la aplicación que se ejecuta en el Smartphone. En cuanto a la usabilidad se seleccionaron criterios como relación entre el sistema y el entorno real, consistencia, prevención de errores, control de usuario, estética y diseño, y finalmente la ayuda ofrecida al usuario.

En el criterio de usabilidad la aplicación informa al usuario de la acción que está realizando, obtiene retroalimentación mediante animaciones en la aplicación y la respuesta es visible al controlar el carro y este moverse acorde a las opciones deseadas.

En cuanto a la relación entre el sistema y el entorno real, el usuario es capaz de controlar desde la aplicación el control del carro por medio de la interfaz desarrollada en la cual se indican claramente las opciones para poder ejecutar una instrucción como la aceleración del carro o girarlo a la derecha. Al

⁹ Usabilidad: El estándar ISO 9241 lo define como “el grado en el que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un determinado contexto de uso” (ISO).

momento de ejecutar la aplicación el usuario entiende lo que puede ser capaz de hacer en esta.

Dentro del criterio de consistencia se utiliza la misma combinación de colores para los controles y se emplean íconos fáciles de reconocer, de manera que se mantenga una simetría en el diseño.

Para la prevención de errores se hacen verificaciones desde el inicio de la ejecución de la aplicación, las cuales se presentan al usuario mediante cuadros de diálogo para que visualice algún inconveniente detectado, tal como se muestra en la Figura 6.4.

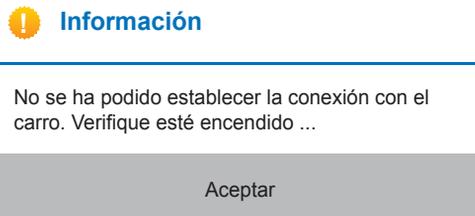


Figura 6.4 Diálogo de error al momento de conectarse con el módulo Wi-Fi
Fuente: Elaboración propia

En el aspecto de control de usuario, se considera la facilidad que tiene para poder salir de alguna opción, esto se debe a que en algún momento puede presionar una opción que no desea y no quiere ejecutar, para ello cuenta con todas las ventanas emergentes y cuadros de diálogo.

Considerando el uso que se le da a la aplicación, en el criterio de estética y diseño se creó una interfaz sencilla que permita al usuario luego de iniciar la aplicación poder utilizarla de manera intuitiva sin necesidad de leer algún tipo de manual o comentario. También se incluyeron animaciones dentro de los controles para poder hacer más entretenida la interacción entre el usuario y la aplicación.

La ayuda ofrecida al usuario es visible a través de una opción, en la cual se detalla el uso de los controles, así como también las opciones que puede realizar una vez ejecutada la aplicación, sin emplear términos complejos.

Adicionalmente a estas pruebas de usabilidad también se realizaron otras para verificar las funcionalidades, como la comprobación del comportamiento general de la aplicación.

Una de las pruebas realizadas consistió en el establecimiento de conexión a la red Wi-Fi del módulo que está conectado en la placa Arduino. En la Tabla 6.6 se detallan los resultados de esta prueba.

Tabla 6.6 Resultados obtenidos de la prueba de conexión con la red Wi-Fi Arduino

Tarea	Conexión con la red Wi-Fi Arduino
Descripción	Conectar el Smartphone a la red Wi-Fi presente en el carro.
Realización	Se encendió la placa Arduino y los respectivos módulos para establecer la red. Desde la aplicación al iniciarse se activaría la conectividad Wi-Fi del Smartphone y se conectaría a esta red.
Resultado esperado	El Smartphone se conecta a la red y permite acceder a la interfaz principal de la aplicación.
Resultado obtenido	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Otra de las pruebas realizadas consiste en la ejecución de las instrucciones desde la aplicación que permite el control del carro. En la Tabla 6.7 se detallan los resultados de esta prueba.

Tabla 6.7 Resultados obtenidos de la prueba de ejecución de instrucciones de control

Tarea	Ejecutar instrucciones de control desde la aplicación
Descripción	Conectada la aplicación a la red Wi-Fi se pueden enviar instrucciones para controlar el movimiento del carro.
Realización	Se encienden la placa Arduino y sus módulos, también se energiza la placa de control de aceleración y demás componentes, de manera que estos accionen el motor que permite el movimiento.
Resultado esperado	Desde la aplicación se envían las peticiones a la placa Arduino y esta se encarga de ejecutarlas para accionar las compuertas que permiten el funcionamiento de relés que energizan el motor en un sentido.
Resultado obtenido	Correcto

Fuente: Elaboración propia

También se realizaron pruebas para comprobar la ubicación del carro para niños. En la Tabla 6.8 se resumen los resultados obtenidos de esta prueba.

Tabla 6.8 Resultados obtenidos de la prueba de ubicación del CPN

Tarea	Ver la ubicación del carro para niños
Descripción	Conectada la aplicación a la red Wi-Fi del carro y con acceso a internet se visualiza su ubicación.
Realización	Se encienden la placa Arduino y sus módulos. En la aplicación se ejecuta la instrucción para visualizar posición.
Resultado esperado	Desde la aplicación se envía la petición al módulo Arduino y este envía los datos de posicionamiento para visualizarlos.
Resultado obtenido	Correcto

Fuente: Elaboración propia

CASO II
CAPÍTULO VII

Reutilización de energía por medio de un generador termoeléctrico para energizar un puerto USB de carga en un vehículo de combustión interna.

CASO II

Reutilización de energía por medio de un generador termoeléctrico para energizar un puerto USB de carga en un vehículo de combustión interna.

CAPÍTULO VII

7.1 Antecedentes

El desperdicio de energía en los motores de combustión, la baja eficiencia del consumo de gasolina y la creciente preocupación por el medio ambiente han sido los causantes de numerosos estudios para mejorar el rendimiento de los vehículos. Dado el gran potencial que tienen los generadores termoeléctricos para transformar energía eléctrica, varias investigaciones se han desarrollado para la implementación de los mismos en los automóviles. Yang & Stabler (2009) indican que la mayoría de personas esperan un rendimiento óptimo de su vehículo, en el que se aproveche su máxima capacidad y eficiencia. Los generadores termoeléctricos tienen ciertas características que permiten aprovechar los desperdicios de energía de los vehículos.

Con la finalidad de darle un mejor uso a esta energía se ha encontrado una manera de poder aprovecharla y transformarla en energía útil dentro del mismo vehículo. De acuerdo a un estudio realizado por Patterson & Sobral (2007), llamado “Efecto Peltier”, existe una manera de aprovechar esta energía, la cual se llama el efecto Seebeck. Thomas J. Seebeck, físico alemán, descubrió en 1821 que la unión de dos metales homogéneos expuestos a diferentes temperaturas establece una diferencia potencial, la misma que depende del tipo de metales utilizados y la diferencia de temperatura (Patterson & Sobral, 2007).

En un estudio realizado por Srinivasan & Praslad (2005), se analizaron las principales ventajas y aplicaciones del uso de generadores termoeléctricos – *thermoelectric generators* (TEG) en los automóviles, tales como la reducción del consumo de gasolina en 1230 galones por año, la alimentación de sistemas eléctricos dentro del vehículo como el aire acondicionado, sistema

de calefacción, portavasos frío o caliente, entre otros. Los TEG presentan ciertas características que los hacen sobresalir en relación con otras fuentes de energía y otros métodos de recolección de la misma. Dousti, Petraglia & Pedram (2015) indican que los TEG son silenciosos, durables, puesto que pueden durar hasta 30 años de acuerdo a su uso; compactos, livianos y escalables, ya que se pueden aumentar el número de módulos para absorber más energía.

Srinivasan & Praslad (2005) detallaron que el lugar óptimo para colocar un generador termoeléctrico es en el tubo de escape después del catalizador. En esta zona se pueden encontrar temperaturas de 600 a 700 °C necesarios para obtener una alta diferencia de temperatura y por lo tanto un alto potencial eléctrico. Esta investigación fue realizada en camiones de carga ligera, por lo tanto la temperatura que se encuentre en el tubo de escape de este proyecto será diferente. Por el contrario Espinosa, Lazard, Aixala & Scherrer (2010) explican que la temperatura de los gases expulsados por el tubo de escape oscilan entre 250 y 350 °C, mientras que la temperatura de los gases que circulan por el mismo se encuentran entre 400 y 500 °C.

En otro proyecto documentado por Bass, Kushch & Elsnar (2001) se implementó un prototipo de un generador termoeléctrico para camiones pesados con motores a diésel. Ellos utilizaron 72 módulos termoeléctricos que eran capaces de generar 1 kilovatio de potencia eléctrica a 12 voltios de corriente continua. El lado del arreglo de módulos que debe recibir calor fue ubicado en el tubo de escape del camión. Por el otro lado, la superficie del arreglo de módulos que debe recibir temperaturas bajas fue enfriada por medio de la circulación del refrigerante del motor, de esta manera lograron aumentar la diferencia de temperatura y obtuvieron una alta potencia eléctrica. Este generador está diseñado para reemplazar o aumentar el rendimiento del alternador o también para generar energía para alimentar accesorios del camión. Espinosa et al. (2010) indican que es importante tomar en cuenta que la potencia entregada por los módulos difiere si estos están conectados en serie, paralelo o cada uno con su carga independiente.

Paralelamente al estudio de Bass et al. (2001), Weilguni, Franz & Slyusar (2012) realizaron una investigación sobre la factibilidad de reemplazar el alternador por un generador termoeléctrico en un vehículo Volkswagen Golf. Por lo tanto, el primer paso era analizar la cantidad de potencia eléctrica que podía producir un generador termoeléctrico. Ellos se dieron cuenta de que para cambiar el alternador por un generador, la eficiencia de este debería ser de 13 % por las características del alternador del vehículo en mención. Lamentablemente, con los módulos más eficientes se obtiene un 12 % de eficiencia y dedujeron que se necesitan 40 arreglos de módulos para satisfacer el potencial del alternador.

Por esta razón determinaron que solo bajo circunstancias ideales es posible este reemplazo, pero debido a la baja eficiencia de los módulos termoeléctricos y la alta demanda de energía por la parte eléctrica de los vehículos es prácticamente no factible el reemplazo del alternador, al menos con la tecnología de los módulos en el 2012, cuando fue realizado este estudio (Weilguni, Franz & Slyusar, 2012).

Li, Xu, Chen & Zheng (2011) realizaron una investigación, en la cual se propone una nueva forma de generar potencia eléctrica a partir de los módulos termoeléctricos. Ellos plantean una distribución multisección y multinivel de redes de convertidores de corriente continua a corriente continua (CC-CC) basada en generadores termoeléctricos. Esta red de conversión multisección y multinivel se basa en la ubicación de los generadores termoeléctricos en varios lugares del vehículo para aprovechar de mejor manera la pérdida de energía. Estos generadores van acompañados de convertidores CC-CC de bajo nivel para un incremento inicial. La salida de todos los convertidores de bajo nivel son llevados a un convertidor CC-CC de nivel medio para otra elevación de tensión. Al final, existe un convertidor CC-CC de alto nivel que une todas las secciones de módulos para un tercer incremento de tensión. Esta red de acuerdo a su estudio es 400 % más efectiva que el sistema de una sola etapa. Además de no depender de una sola fuente de generadores termoeléctricos, reduce el impacto de la falla de uno de los módulos que en un sistema de una sola etapa significaría la pérdida del generador (Li, Xu, Chen & Zheng, 2011). Por eso es importante la ubicación de los módulos para obtener

su mayor potencia y el tipo de regulación de voltaje y corriente que se vaya a realizar.

7.2 Planteamiento del problema

El sistema eléctrico de los vehículos de combustión interna trabaja principalmente gracias a dos elementos: alternador y batería. El funcionamiento de estos componentes, en especial la batería, puede verse afectado por factores como la temperatura del ambiente y la carga almacenada en ellos. El funcionamiento de los vehículos permite, por medio de un alternador, generar energía eléctrica a partir de la energía mecánica obtenida por un mecanismo de arrastre. Las baterías aprovechan esta energía eléctrica y así se cargan (Capano, Mozzone & Kar, 2013).

De acuerdo a Capano, Mozzone & Kar (2013), existen diferentes factores que inciden en el proceso de carga reduciendo así su tiempo de vida útil, tales como el tipo de vehículo, la temperatura externa, las cargas que se alimentan de la batería y el ciclo de manejo que el conductor tiene, debido a que en el caso de que se realicen viajes cortos no se da el tiempo necesario para que la batería se cargue completamente. En el caso de que el alternador no genere la energía suficiente para abastecer al vehículo, este comienza a consumir el voltaje de la batería. Por esto la batería debe tener suficiente carga para que el carro funcione cuando el motor recién se enciende (Robert Bosch GmbH, 2007).

Las cargas que se alimentan de la batería pueden ser constantes, es decir que siempre están activas como los sensores del vehículo; o variables, que dependen del accionamiento externo como aire acondicionado, puertos de carga USB, manejo de vidrios eléctricos, plumas del parabrisas y luces. Mientras que la carga más importante del vehículo es la que se necesita para encender el motor (Capano, Mozzone & Kar, 2013).

Dependiendo del tipo de vehículo, puede variar el número de puertos USB, en el caso de que este los tenga. Si por algún motivo no existen, lo más común es que se use el puerto del encendedor eléctrico como punto de carga. En el caso de que haya componentes, externos como regletas de carga, su

uso no sería óptimo, puesto que la mayoría de puertos USB de los vehículos brindan una corriente de 500mA (Schemansky & Landen, 2013), la cual en el caso de conectar varios dispositivos en un mismo puerto será distribuida entre ellos (Stutz, 2001) dando como resultado una velocidad de carga lenta, puesto que los dispositivos portátiles, como celulares, tabletas o reproductores de música, requieren desde 1 amperio en adelante para poder tener una carga rápida (Schemansky & Landen, 2013). Por eso, mientras más amperaje de salida tenga un puerto USB, más rápido se carga el equipo (Michelini, 2014).

Los celulares y otros dispositivos se descargan dependiendo del uso que se les dé (Martin, 2015), y es necesario contar con una fuente de energía para cargarlos, ya sea una batería portátil o por medio de un cargador USB o de pared. De cualquier manera, las personas son dependientes de la energía eléctrica que se obtiene de los puertos USB de los vehículos, computadoras o de tomacorriente. La batería del vehículo, fuente de energía de los puertos de carga, alimenta otros elementos eléctricos de más importancia para el funcionamiento del automóvil que también dependen de ella (Capano, Mozzone, & Kar, 2013).

El tiempo de vida útil de una batería de carros es de 2 años, bajo condiciones normales de uso (Robert Bosch GmbH, 2007). Este tiempo puede ser afectado en el caso de que la batería esté expuesta a altas temperaturas y genere a su vez energía para varios dispositivos y accesorios o simplemente no se realice el proceso de carga adecuado (Baxter, 2009).

La batería es la única proveedora de energía eléctrica en el vehículo; por esta razón, una fuente de poder alterna ayudaría a que el desempeño de la batería no desmejore. La mayor parte de energía que el motor de combustión interna genera se desperdicia, 40 % en el calor que se emana por el tubo de escape y 20 % en el refrigerante del vehículo (Stabler, 2010). Los generadores termoeléctricos utilizan este calor desperdiciado y lo convierten en energía eléctrica permitiendo así que la diferencia de temperatura que existe en el vehículo sea utilizada para cargar una batería de respaldo, la cual puede ser usada como una fuente alterna de energía (Adavbiele, 2013).

Este proyecto es importante puesto que utiliza una fuente alternativa de energía y aprovecha el calor residual del vehículo (Adavbiele, 2013). Este sistema puede dar paso a futuros usos como tomar el calor residual del motor de los vehículos híbridos para generar energía que recargue la batería que permite el movimiento del vehículo (Yang & Stabler, 2009).

Las celdas termoeléctricas tienen dos características: la primera es que si se alimentan con un voltaje DC en sus terminales, una corriente pasa por la celda creando una diferencia de temperatura en las superficies del módulo. La segunda característica se basa en que si se alimenta la celda con una diferencia de temperatura entre sus caras, esta generará un voltaje entre sus terminales. Este efecto se llama Seebeck y se puede usar para aprovechar las altas temperaturas de los vehículos (Yang & Stabler, 2009). Estas celdas son fundamentales para la implementación de este proyecto, puesto que ese voltaje alimentará los puertos USB que se distribuirán en el interior del vehículo. Se espera poder utilizar el desperdicio de calor del vehículo de la mejor manera posible para generar una fuente de energía de respaldo. Esta inicialmente alimentará varios puertos USB, pero a futuro se podría utilizar este fundamento como base para generar energía que alimente al vehículo en sí, o bien a dispositivos que consuman energía de la batería como el equipo de sonido, luminaria, entre otros.

7.3 Enfoque de la solución

Este trabajo tiene un enfoque cuantitativo, puesto que se basará en el análisis y los datos que se recojan en las pruebas de laboratorio, para la implementación posterior en un vehículo de tipo jeep. Con los resultados de este análisis se puede realizar un patrón de requerimientos caloríficos y de disipación para este tipo de vehículo. Estos resultados se podrán comparar con investigaciones previas sobre este tema y podrán ser la base para los requerimientos de regulación de voltaje necesarios para la comprobación de la hipótesis.

Este estudio es de tipo descriptivo ya que se busca detallar los procesos necesarios para la implementación completa del generador termoeléctrico

que alimentará los puertos USB que se ubicarán en el interior del vehículo. Al mismo tiempo, se hará una relación entre los valores de voltaje y calor recopilados en el laboratorio y en el vehículo.

Este trabajo trata sobre el uso de generadores termoeléctricos, los cuales no han sido implementados para alimentar puertos de carga dentro de un vehículo de uso particular, en este entorno. La mayoría de estudios previos en este tipo de carros tratan sobre los módulos termoeléctricos desde un punto de vista teórico y modelado. En ciertos casos sí se han utilizado como generadores termoeléctricos, sin ser expuestos a temperaturas muy altas. Por esta razón, el análisis que se hará se basará en los estudios realizados sobre la utilización y manejo de los TEG, para diseñar un sistema electromecánico e implementarlo en el automóvil.

La implementación de este sistema es viable ya que se cuenta con todas las herramientas necesarias para el diseño del mismo. En el análisis en laboratorio, se contará con una cocina eléctrica, la cual servirá como un generador de calor controlado y herramientas de medición para analizar el funcionamiento de los módulos a diferentes temperaturas. En el caso del vehículo, de acuerdo a las limitaciones de espacio, se realizará un mecanismo compacto para la generación de voltaje. Se cuenta con todos los materiales necesarios para la implementación del generador y la inversión necesaria para este proyecto es manejable.

7.4 Alcance

En la actualidad, se encuentran en el mercado diferentes tipos de vehículos. Estos pueden ser eléctricos, que su fuente de movimiento es únicamente un motor eléctrico, con bancos de batería y convertidores electrónicos (Durán, Guerrero & Claudio, 2009); híbridos, que tienen como propulsión un motor de combustión y un motor eléctrico (Escudero, González & Rivas, 2011); y vehículos con motor de combustión interna. Estos últimos son los más comunes, puesto que obtienen movimiento mecánico a partir de la combustión de un elemento químico (Escudero, González & Rivas, 2011). El último tipo de vehículo es el que más energía desperdicia en forma de calor

(Evans, 2006), por lo tanto el proyecto en cuestión está delimitado en primer plano para vehículos con motor de combustión interna.

En segundo lugar, existen diferentes tipos de vehículos según su chasis. Estos son los vehículos de turismo, monovolúmenes, todoterrenos y deportivos. Los vehículos de turismo¹⁰ son aquellos que son capaces de transportar de 4 a 5 personas y equipaje, los más comunes. Por lo tanto el

objeto de este proyecto será implementado en un vehículo de turismo marca Volkswagen Gurgel, año 1983, de 1600 centímetros cúbicos, el cual se puede apreciar en el Apéndice W.

Otro factor delimitante es el tiempo durante el cual se van a realizar las mediciones, cálculos, diseño e implementación del prototipo. Dado que el presente estudio se lo presentará como tesis de pregrado de Ingeniería Electrónica, el período de desarrollo comprende aproximadamente de 10 meses desde el mes de mayo del 2015 hasta el mes de marzo del 2016.

El proyecto en cuestión estará enfocado en la implementación de un prototipo de un generador termoeléctrico eficiente que sea capaz de generar suficiente potencia eléctrica a partir de la energía desperdiciada en forma de calor, para alimentar puertos de carga USB de dispositivos móviles en el interior del vehículo con la finalidad de alargar la vida útil de la batería del mismo.

Esto comprenderá la recolección de datos del funcionamiento, individual y colectivo de los módulos termoeléctricos; el análisis de distintos prototipos y la cantidad de potencia eléctrica entregada por el generador dependiendo de variables independientes, tales como la temperatura, velocidad, flujo de aire, entre otros. Los puertos de carga dentro del vehículo serán capaces de alimentar los equipos conectados con 5 voltios DC y amperaje óptimo para recargar las baterías de estos dispositivos móviles, ya sean celulares, tabletas, cámaras de video y fotográficas o cualquier tipo de dispositivo que tenga como alimentación este nivel de voltaje. Los puertos de carga serán Universal Serial Bus (USB) y estarán ubicados estratégicamente para el cómodo uso de los mismos.

¹⁰ Automóvil capaz de transportar de cuatro a cinco personas, más equipaje.

El resultado del presente proyecto se establecerá como un antecedente de uso y aplicación de los generadores termoeléctricos como una fuente de energía eléctrica eficiente y limpia dentro de los vehículos. Este proyecto propone el uso de los módulos para reducir la problemática actual de los motores de combustión interna con respecto a ineficiencia, explicada con mayor amplitud en la justificación de este documento.

7.5 Descripción de los objetivos del proyecto

Implementar 2 puertos de carga USB dentro de un vehículo a partir del funcionamiento de un sistema termoeléctrico en el mismo, además se cumplirán los siguientes objetivos específicos:

- Implementar módulos termoeléctricos para generar voltaje a partir del desperdicio de calor del vehículo.
- Analizar el funcionamiento individual y colectivo de los módulos termoeléctricos.
- Diseñar la mejor conexión de los módulos capaz de entregar la mayor potencia de salida.
- Desarrollar circuito regulador de tensión capaz de alimentar una batería y a su vez distribuir su energía a dispositivos móviles por puertos USB en el interior del vehículo.

Por otro lado, este proyecto se centra en el área de electrónica aplicada para mejorar la calidad ambiental, generando otra fuente de energía. El principio que se utiliza como base en este trabajo es altamente estudiado a nivel mundial, puesto que es una manera eficiente de aprovechar los desperdicios de energía de los vehículos (Bell, 2008).

Actualmente grandes compañías como BMW están haciendo estudios sobre este principio de generación termoeléctrica de energía para implementarlo en sus vehículos híbridos y eléctricos, debido a que investigaciones realizadas indican que el 60 % de la energía generada por los vehículos se pierde en el ambiente (BMW Group, 2011). Por esto se realizará un análisis de la energía

generada, puesto que las condiciones locales pueden afectar la cantidad de voltaje y corriente que se genere (Tang, Deng, Su, Shuai & Xie, 2015).

La tecnología de los generadores termoeléctricos ha ido avanzando y mejorando al pasar de los años, haciéndolos más eficientes y con mejor rendimiento en altas temperaturas. Estas tienen diferentes ventajas, entre ellas, ser amigables con el ambiente, no se necesitan mover partes mecánicas del lugar donde se las coloque, requieren poco mantenimiento y son de alta durabilidad (Tang, Deng, Su, Shuai & Xie, 2015). Lo interesante del proyecto, más allá de la implementación del mismo, es el análisis y el diseño del generador de energía.

El enfoque que se le va a dar al proyecto es innovador en nuestro entorno, puesto que se utiliza una fuente de energía diferente a las tradicionales, ya que se busca utilizar el calor desperdiciado y el flujo de viento para que a través de la diferencia de temperatura se pueda generar electricidad. El motor de combustión interna y el generador termoeléctrico deben considerarse como parte de un sistema termodinámico para los análisis de la generación de energía (Korzhuev & Kating, 2010).

El resultado de esta investigación ampliará el campo de visión que las personas tienen respecto al uso de energías alternas. Se busca mejorar el funcionamiento de los vehículos, adaptando diferentes puertos USB en su interior, utilizando el calor residual que emana del motor.

CAPÍTULO VIII

Componentes utilizados

CAPÍTULO VIII

Componentes utilizados

8.1 Generalidades del vehículo

Actualmente, la mayor cantidad de vehículos de turismo son construidos con un motor de combustión interna ya sea a diésel o a gasolina.

8.2 Fundamentos de los motores de combustión interna a gasolina

Las máquinas de combustión interna son motores térmicos que transforman energía térmica en energía mecánica. Esto quiere decir que crean trabajo a partir de la combustión de un elemento con energía calorífica, generalmente gasolina o diésel, los cuales tienen la propiedad de proporcionar mucha energía sin tener mucho peso (Melgar, 2012). Los motores de combustión interna pueden ser de dos o cuatro tiempos, siendo los de cuatro tiempos los más utilizados en los coches actuales (Salinas & Parreño, 2011).

Los motores a gasolina de cuatro tiempos o de “Ciclo Otto”, llamados así por el nombre de su inventor, Nikolaus August Otto, basan su funcionamiento en 4 etapas:

Admisión: en esta etapa la válvula de admisión se encuentra abierta y permite la entrada de oxígeno y combustible al cilindro, mientras que el pistón baja al punto muerto inferior creando un vacío (Salinas & Parreño, 2011).

Compresión: el pistón movido por la inercia del movimiento del cigüeñal sube al punto muerto superior comprimiendo la mezcla del oxígeno y la gasolina (Salinas & Parreño, 2011).

Explosión: el pistón es empujado bruscamente hacia abajo por la explosión de una chispa eléctrica generada por el electrodo de la bujía, quemando así la mezcla de oxígeno y combustible (Salinas & Parreño, 2011).

Escape: en este momento el pistón está nuevamente en el punto muerto inferior, la válvula de escape se abre, permitiendo la salida de los gases acumulados dentro del cilindro (Salinas & Parreño, 2011).

Para realizar esta labor existen muchos elementos dispuestos dentro del motor que funcionan sincrónicamente para proveer de movimiento al vehículo. Los pistones, bielas, árbol de levas, cigüeñal, válvulas, entre otros, deben estar correctamente lubricados para que no sufran daños severos y se mantengan en funcionamiento durante el tiempo (Melgar, 2012).

8.2.1 Pérdidas en los motores de combustión interna a gasolina

Según los estudios de Melgar (2012), existen muchas pérdidas de energía dentro de estos motores. Esto quiere decir que la energía calorífica transformada en el movimiento del pistón dentro del cilindro no es totalmente entregada al movimiento del vehículo.

Las pérdidas mecánicas pueden ser producidas por la fricción y rozamiento entre los elementos dentro del motor, por la activación de auxiliares tales como las bombas, el alternador, la dirección hidráulica, el aire acondicionado, entre otros. Esto influye en el rendimiento del motor ya que la potencia generada en el interior no es la misma que se transmite al movimiento del vehículo (Melgar, 2012).

Por otro lado están las pérdidas de calor, las cuales son producidas por el enfriamiento de la cámara de combustión a través del sistema de refrigeración y el desecho de los gases expulsados por la válvula de escape. En los estudios realizados por Melgar (2012) se indica que si se reducen las pérdidas de calor se puede aumentar el rendimiento del vehículo.

En la Figura 8.1, según Karri (2005), los vehículos con motor de combustión interna desperdician en forma de calor la mayor parte de la energía generada. El 40 % se elimina a través de la expulsión de gases por el tubo de escape, se pierde el 30 % en el sistema de refrigeración, apenas el 30 % lo utiliza el motor y el 5 % de la energía se desperdicia por medio de la fricción del movimiento mecánico dentro del motor.

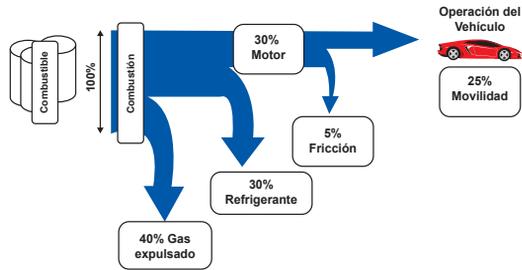


Figura 8.1. Camino que sigue la energía de un vehículo de combustión interna. Adaptado de “Modeling of an automotive exhaust thermoelectric generator”, por Madhav A. Karri, 2005, Clarkson University, p. 3.

8.2.2 Sistema eléctrico de un automóvil a gasolina

Dentro de los vehículos existen diferentes tipos de sistemas necesarios para no solo otorgarle movilidad sino también confort y seguridad al conductor. El sistema eléctrico es uno de los principales hoy en día, ya que de él depende el encendido de la chispa para la combustión de la gasolina, el arranque, la iluminación, la señalización y los circuitos de control (Alonso, 1998).

La implementación de circuitos eléctricos en los vehículos ha permitido instalar dispositivos capaces de mejorar el rendimiento del mismo y la experiencia de manejo del conductor. La inyección de gasolina electrónicamente controlada y la ignición electrónica han reducido el consumo de combustible y mejorado el rendimiento del vehículo (Robert Bosch GmbH, 2007).

Si bien es cierto que muchos han sido los avances en el funcionamiento del vehículo, la otra parte beneficiada con la implementación de dispositivos eléctricos en el automóvil ha sido el conductor, por lo antes mencionado. Entre estas ventajas se encuentran los frenos ABS, sistemas de control como el de tracción y estabilidad, velocidad cruce, ajuste de faros, ajuste de posición de asiento con memoria, entre otros (Robert Bosch GmbH, 2007).

Todos estos avances han sido posibles gracias al funcionamiento del sistema eléctrico del automóvil y el aumento en la capacidad de entrega de energía de la batería. El sistema eléctrico se constituye de varios subsistemas,

tales como el de generación y almacenamiento de energía eléctrica, sistema de arranque, sistema de encendido, sistema de alumbrado y sistema de accesorios (Alonso, 1998).

El sistema de generación y almacenamiento de energía tiene como principal función recargar el acumulador o batería con energía eléctrica para poder usarla posteriormente. Este sistema se compone de un alternador, regulador de voltaje y acumulador o batería (Alonso, 1998). El alternador es el responsable, además de recargar la batería, de generar energía eléctrica para alimentar los diferentes dispositivos eléctricos dentro del vehículo, cuando este está en marcha (Villafuerte, Alcívar, & Holguín, 2014).

Por otro lado está el sistema de arranque, el cual es el encargado de encender el motor. El principal elemento de este sistema es el motor de arranque, que se activa por medio de corriente y usando electromagnetismo genera energía mecánica que permite el giro de los pistones a unas 100 rpm, aproximadamente, lo que pone en marcha el motor. (Villafuerte, Alcívar, & Holguín, 2014).

El sistema de encendido es el encargado de inflamar la mezcla de nafta o gasolina y aire dentro del motor de combustión. Este sistema está compuesto por una bobina que provee alta tensión a las bujías para crear la explosión. Estos tres sistemas son los responsables de la puesta en marcha del motor. El resto de sistemas son los encargados de suministrar energía eléctrica a los faros delanteros, guías de dirección, faros posteriores y a los accesorios, tales como el encendedor de cigarrillos, radio, antena eléctrica, entre otros (Alonso, 1998).

La propuesta del prototipo en esta tesis es autónoma; capaz de generar, regular y suministrar tensión a los puertos de carga que se ubicarán dentro del vehículo para mejorar la vida útil de la batería e incrementar el confort de los ocupantes del mismo.

8.2.2.1 Acumuladores de voltaje o baterías

Las baterías son elementos electroquímicos que por medio de sustancias

químicas permiten el almacenaje de energía eléctrica que se transforma en energía química, y se descargan a partir de la energía química que se convierte en energía eléctrica (BOSCH, s.f).

Las baterías permiten almacenar energía eléctrica para ser usada posteriormente. Existen dos tipos de baterías: primarias y secundarias. Las primarias son elementos que no permiten su recarga, es decir una vez agotada su carga no hay manera de renovar la energía en su interior, a menos de que se repongan los elementos químicos. Las secundarias, las más comunes, más comercializadas y elemento importante en este prototipo, son elementos que permiten la recarga con una corriente eléctrica en sentido opuesto a la corriente de descarga (Peña, 2011).

Según Peña (2011), la capacidad de una batería se mide por la cantidad de amperios que puede suministrar por hora. Esto dependerá de los elementos químicos que la componen, las placas internas, volumen de electrolito, entre otros. Las baterías de los vehículos son de plomo-ácido, las cuales tienen 6 placas de 2 voltios cada una, que permiten 12 voltios de voltaje nominal. Estas baterías tienden a autodescargarse por diferentes variables, tales como la temperatura, tiempo de uso, humedad, entre otros (BOSCH, s.f).

En algunos vehículos, debido al uso que se les da, la batería puede tener un consumo muy grande de energía. Se genera una carga elevada cuando se realizan viajes cortos, detenciones muy frecuentes, en ciudades donde haya mucho tráfico o que por el clima se necesite el aire acondicionado o el sistema de calefacción (Alonso, 1998).

En el caso de que se realicen viajes nocturnos, donde los sistemas de alumbrado, limpiaparabrisas y otros sistemas eléctricos estén funcionando, también se genera una carga alta, la cual produciría una descarga rápida de la batería si no se la recarga constantemente (Alonso, 1998).

El generador o alternador junto al dínamo recargan la batería y durante la marcha suministran la energía eléctrica necesaria para dichos sistemas. Según Alonso (1998), muchas veces el generador y el dínamo no compensan la energía eléctrica necesaria y descargan la batería. Esto sumado a la

cantidad de accesorios y sistemas de control electrónico integrados en los vehículos actuales advierten una carga mucho más grande para la batería, dando como resultado un acumulador con menos vida útil.

8.2.2.2 Reguladores de tensión de un automóvil

La gran cantidad de dispositivos electrónicos, dependientes del sistema eléctrico de los vehículos, necesitan una corriente específica para su correcto funcionamiento. El alternador y dínamo, los encargados de proveer energía eléctrica mientras el motor está en marcha, dependen de la velocidad de rotación para la generación de energía. Como los dos están acoplados al movimiento del motor, se ven sometidos a los mismos cambios de velocidad, por lo tanto la tensión de salida será variable. Los reguladores de voltaje son sumamente importantes para que los equipos funcionen con normalidad. Estos mantienen la tensión e intensidad de la corriente en un nivel predeterminado para evitar sobrecargas y daños en la batería (Alonso, 1998).

8.3 Termoelectricidad y sus efectos

La termoelectricidad es el fundamento de este proyecto, puesto que esta tecnología puede ser usada para aprovechar el desperdicio de calor de los vehículos, convirtiéndola en energía (Yang & Stabler, 2009). La termoelectricidad es la conversión directa de calor en energía o viceversa, de acuerdo a lo que se quiera conseguir. Este efecto termoeléctrico está basado principalmente en el efecto Seebeck, llamado así por Thomas Seebeck en 1821 (Klein Altstede, Rinderknecht, & Friedrich, 2014).

Entre los años 1821 y 1823 Thomas Seebeck realizó estudios sobre termoelectricidad. Él se dio cuenta de que cuando dos materiales de metales diferentes, que se encuentran unidos por un punto en común, son expuestos a distintas temperaturas se genera un compás magnético. De acuerdo con Bell (2008), estos materiales están conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo para conseguir este efecto y son el pilar fundamental de los generadores termoeléctricos.

La eficiencia de energía generada por los materiales termoeléctricos depende de varios factores como el coeficiente de Seebeck, la conductividad eléctrica y térmica de los materiales, y los rangos de operación de temperatura de estos materiales (Klein Altstedde, Rinderknecht, & Friedrich, 2014). Gustav Magnus continuó con los estudios de Seebeck y se dio cuenta de que el voltaje generado por los terminales de las placas no depende únicamente de la distribución de calor de las mismas, sino también del estado termodinámico y del tipo de conductor de los módulos (Goupil, Seifert, Zbrocki, Muller, & Snyder, 2011).

8.3.1 Módulos termoeléctricos

Los módulos termoeléctricos están compuestos de materiales semiconductores que forman dos placas de cerámica que sirven como bases (Karri, 2005). Estos componentes internos están conectados en serie y paralelo para poder entregar su máxima potencia de acuerdo a la diferencia térmica y a la resistencia interna (Dousti, Petraglia, & Pedram, 2015).

Según Karri (2005), el arreglo de módulos puede ser configurado de tal manera que genere más potencia, ya sea colocándolos en serie o paralelo para aumentar su voltaje o corriente, de acuerdo a lo que se necesite. Por esto son la base de los generadores termoeléctricos.

Al momento de seleccionar el módulo adecuado se debe tomar en consideración que la temperatura del ambiente donde van a ser colocados no supere el límite máximo de temperatura que soporta el módulo (Stabler, 2010). El material utilizado en los elementos termoeléctricos depende principalmente del uso que se le piensa dar, comúnmente están compuestos de semiconductores de silicio-germanio. Sin embargo, también pueden estar fabricados con materiales como bismuto-teluro (usados en la presente tesis), plomo-teluro o teluro de antimonio (Karri, 2005).

Los generadores termoeléctricos (TEG) poseen varias ventajas respecto a otras tecnologías, tales como bajo costo, livianos, no necesitan mucho mantenimiento y funcionan con un rango mínimo de temperatura, que si se conectan a un regulador de voltaje se puede conseguir un sistema funcional

apto para varias aplicaciones (Kumar, Sonthalia, & Goel, 2011). Actualmente se han realizado varias mejoras en el diseño de los módulos termoeléctricos, haciendo así que su eficiencia incremente y puedan ser más comerciales (Li, Xu, Chen, & Zheng, 2011).

8.3.2 Principios de funcionamiento de los módulos termoeléctricos

Los principios detrás del funcionamiento de estos módulos son los efectos de Seebeck, Peltier y Thomson. El efecto Seebeck indica que se genera un voltaje por la diferencia térmica de los módulos, como se indicó anteriormente (Karri, 2005). Mientras que el efecto Peltier, descubierto por Jean C. A. Peltier en 1834, indica lo contrario, es decir, que cuando la corriente pasa por los terminales del mismo, esta genera una diferencia térmica (Goupil, Seifert, Zabrocki, Muller, & Snyder, 2011).

De acuerdo a Karri (2005), Peltier determinó que una de las placas del módulo absorbe calor mientras que la otra lo disipa. Años más tarde se entendió que este fenómeno depende de la dirección del flujo de corriente.

En 1851, William Thomson unificó el efecto de Seebeck y Peltier y definió una tercera ley. Él utilizó la teoría termoeléctrica en su análisis sobre la absorción y generación de calor de los módulos termoeléctricos de acuerdo a un gradiente térmico y de corriente (Karri, 2005).

En la Figura 8.2A la corriente pasa por los terminales de las placas y se genera calor o frío de acuerdo a la dirección del flujo de corriente. En la Figura 8.2B existe una corriente eléctrica en los terminales de las placas de acuerdo a la diferencia térmica que existe entre ellas. En la Figura 8.2C se observa un módulo termoeléctrico visto desde su interior, con la conexión en serie y paralelo de los semiconductores tipo N y P.

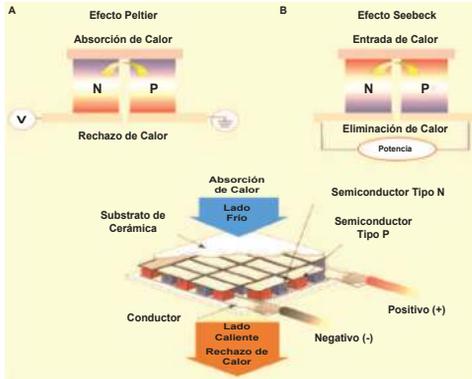


Figura 8.2. Módulos termoeléctricos. (A) Efecto Peltier. (B) Efecto Seebeck. (C) Módulo visto desde el interior. Adaptado de “*Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems*”, por Lon E. Bell, 2008, Science, p. 1458.

En la Figura 8.3 se puede apreciar la dirección de la corriente cuando un módulo está conectado a una carga. Cuando existe una diferencia térmica alta, el voltaje entregado por el módulo aumenta. Se puede apreciar cómo están ubicados los componentes internos. Sin embargo, aunque no se aprecie en la gráfica, esa configuración produce una resistencia interna.

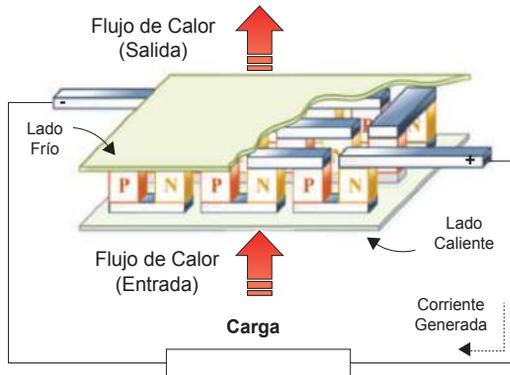


Figura 8.3. Módulo termoeléctrico conectado a una carga. Adaptado de “*Accurate Electrothermal Modeling of Thermoelectric Generators*”, por Mohammad J. Dousti, Antonio Petraglia y Massoud Pedram, 2015, Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), p. 1604.

8.3.3 Generadores termoeléctricos de automoción

Los generadores termoeléctricos de automoción -*automotive thermoelectric generators* (ATEG)- utilizan la energía desperdiciada en forma de calor como fuente de voltaje para alimentar otros sistemas. De acuerdo a Li, Xu, Chen y Zheng (2011), la energía desperdiciada por los vehículos es aprovechada por ATEG. La temperatura del motor es lo suficientemente alta para generar un voltaje adecuado para el equipo que se plantea realizar. El sistema completo de ATEG tiene diferentes componentes, tales como intercambiadores de calor, los módulos, el sistema de enfriamiento y el regulador de voltaje. Los intercambiadores de calor permiten el transporte de energía y la conduce hacia el lado caliente del módulo, el cual convierte la diferencia de temperatura en energía. El sistema de enfriamiento del otro lado del módulo mantiene la diferencia térmica alta y el regulador de voltaje nivela la potencia de salida del generador termoeléctrico a un nivel óptimo que iguale el voltaje que necesita el sistema eléctrico del vehículo (Yang & Stabler, 2009).

Al momento de diseñar un sistema de generadores termoeléctricos de automoción se debe tomar en cuenta la protección del mismo, en el caso de que haya grandes temperaturas. Yang y Stabler (2009) establecen que los ATEG tienen el mismo principio de cualquier generador termoeléctrico, a diferencia de que estos pueden soportar grandes diferencias térmicas y pueden trabajar en temperaturas elevadas.

Estos módulos no requieren mucho mantenimiento, son ligeros y pequeños. Por eso son capaces de trabajar dentro de un vehículo y pueden ser ubicados en cualquier lugar (Liu, Pan, Zheng, Yan, & Li, 2015). Sin embargo, se recomienda que se los ubique en el tubo de escape, puesto que en ese punto las temperaturas son más elevadas y así se puede aprovechar la máxima capacidad de estos módulos.

8.3.4 Especificaciones y características individuales de los módulos termoeléctricos

Los módulos termoeléctricos pueden ser modelados como una fuente de voltaje conectada en serie con una resistencia cuando se los utiliza como

generadores eléctricos. Dependiendo de los requerimientos iniciales, los módulos pueden ser conectados en serie o paralelo, de acuerdo al voltaje o corriente requeridos (Montecucco, Siviter, & Knox, 2014).

En la Figura 8.4 se puede apreciar el interior del módulo termoelectrico, este presenta una fuente de voltaje y una resistencia interna. El módulo se conecta a una carga externa para que esta cierre el circuito y la corriente que circula sea la misma. Cuando el módulo no está conectado a una carga, el circuito abierto es:

$$V_{OC} = \alpha \Delta T \quad (1)$$

Donde V_{OC} es el voltaje del circuito abierto, α es el coeficiente de Seebeck y ΔT es la diferencia de temperatura entre las placas del módulo (Kumar, Sonthalia, & Goel, 2011). Cuando se conecta una carga al módulo, el voltaje de salida cae, puesto que el voltaje de la carga es:

$$V_P = V_{OC} - V_{Rint} \quad (2)$$

De acuerdo a la ecuación 2, el voltaje de la carga es igual a la diferencia del voltaje de circuito abierto y el voltaje de la resistencia interna. La corriente en la carga es:

$$I_P = \frac{V_{OC}}{(R_P + R_{int})} \quad (3)$$

La corriente de la carga es la misma en todo el circuito y según Montecucco, Siviter y Knox (2014), el voltaje producido por los módulos y el valor de la resistencia interna varían de acuerdo al cambio de temperatura. Para que los módulos trabajen a su máxima potencia (MPP), la impedancia de la carga debe ser igual a la resistencia interna. Esta afirmación es conocida como el teorema de máxima transferencia de potencia (Montecucco, Siviter, & Knox, 2014).

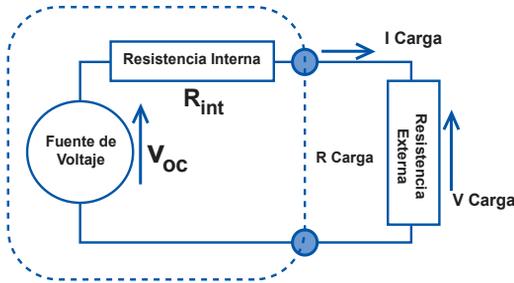


Figura 8.4. Diagrama del modelo eléctrico del módulo termoelectrico. Adaptado de *“The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel”*, por Andrea Montecucco, Jonathan Siviter y Andrew R. Knox, 2014, *Applied Energy*, p. 48.

8.3.5 Configuración de módulos en serie y paralelo

En la práctica, cuando se realizan generadores termoelectricos de alta potencia se debe realizar arreglos de módulos en serie o paralelo de acuerdo a los requerimientos iniciales. Así, se aumenta la corriente o voltaje del sistema. Se debe tener en cuenta que cuando los módulos están en serie la corriente es la misma en todo el sistema y cuando están en paralelo las corrientes de cada módulo se suman (Ashari, Rahman, & Sulaiman, 2014).

En la Figura 8.5A se puede observar un circuito en serie conectado a una carga, en el cual el voltaje abierto es la suma de todos los voltajes de los módulos conectados en serie y la resistencia interna es la suma de todas las resistencias internas de los módulos. En la Figura 9.5B los módulos están conectados con la carga en paralelo. La suma de todas las corrientes de los módulos es igual a la corriente de la carga (Montecucco, Siviter, & Knox, 2014).

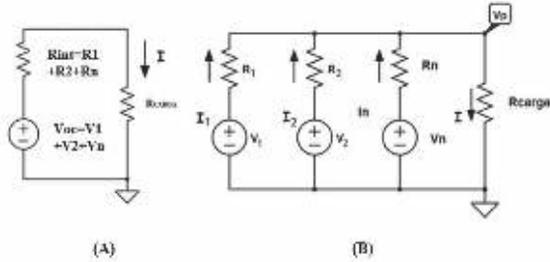


Figura 8.5. Circuito eléctrico de los módulos. (A) Configuración en serie. (B) Configuración en paralelo. Adaptado de “*The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel*”, por Andrea Montecucco, Jonathan Siviter y Andrew R. Knox, 2014, Applied Energy, p. 50.

8.3.5.1 Configuración en serie

En arreglos ideales de módulos en serie, todos tendrían la misma diferencia térmica. Sin embargo, en la práctica no es así puesto que aunque estén ubicados en un mismo punto, estos pueden experimentar temperaturas diferentes. Cuando las temperaturas de cada módulo son diferentes, el voltaje de circuito abierto y las resistencias internas no son los mismos (Montecucco, Siviter, & Knox, 2014). Por eso se debe calcular la corriente del circuito con los nuevos valores de voltaje abierto y resistencias internas. La corriente del sistema es:

$$I_P = \frac{V_{OCT} - V_P}{(R_{int\ TOTAL})} \quad (4)$$

Donde V_{OCT} es la suma de todos los voltajes de circuito abierto del arreglo, V_P es el voltaje de la carga externa y $R_{int\ TOTAL}$ es la suma de todas las resistencias internas de los módulos.

8.3.5.2 Configuración en paralelo

En la configuración en paralelo, teóricamente los módulos deben tener el mismo voltaje y todas las corrientes se suman. Sin embargo en la práctica, por las diferentes temperaturas, esto no sucede. La corriente de cada módulo se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$I_N = \frac{V_N - V_P}{(R_N)} \quad (5)$$

Donde la corriente de cada módulo depende de la diferencia de su voltaje en circuito abierto con el voltaje de la carga, en relación con la resistencia interna del módulo.

8.4 Sistema de regulación y carga

8.4.1 Funcionalidad de los reguladores de tensión

Muchos dispositivos electrónicos necesitan un valor de voltaje constante, sin variaciones ni fluctuaciones para su correcto funcionamiento, de manera que se puedan evitar daños en los dispositivos. La función de los reguladores de tensión es normalizar o mantener una tensión de salida nivelada, sin importar los cambios de tensión o temperatura en la entrada. También se debe mantener una impedancia de salida alta para que la tensión regulada sea independiente de la carga (Huircán, 2012).

Según Huircán (2012), en un regulador de tensión ideal la diferencia de voltaje es 0. En la práctica la tensión de salida sin carga es mayor a la tensión de salida V_L .

$$\text{Porcentaje de regulación} = \frac{V_{OC} - V_L}{V_L} \times 100 \quad (6)$$

Existen varios tipos de reguladores de tensión que, dependiendo de la cantidad de elementos y la complejidad de los mismos, disminuyen el porcentaje de regulación y la protección.

En la Figura 8.6A se muestra el regulador de tensión básico, el cual consta de una resistencia y un diodo zener conectado en paralelo a la carga. Esta configuración está limitada por la corriente que puede soportar el diodo que empieza a conducir cuando el voltaje en la carga supera al voltaje de ruptura del zener. Si la corriente de la carga supera a la corriente que soporta el diodo, este se daña.

En la Figura 8.6B se muestra el regulador básico en serie, el cual no es limitado por la corriente del diodo y soluciona el problema del regulador de tensión básico. En la Figura 9.6C se muestra el regulador básico realimentado que soluciona el problema de que la tensión de salida es regulada por el diodo zener. Por lo tanto, no hay un circuito de realimentación que permita controlar

esta tensión constante en el caso de que aumente o disminuya (Huircán, 2012).

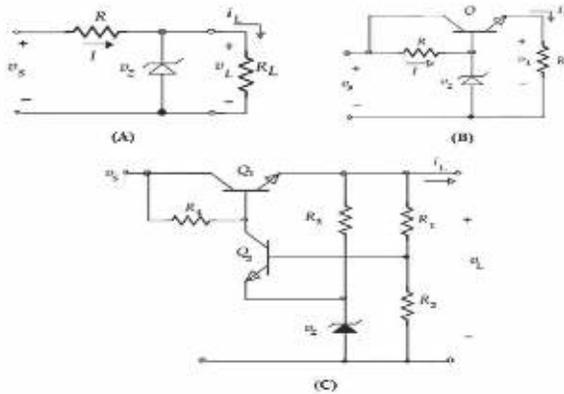


Figura 8.6. Tipos de reguladores. (A) Regulador básico. (B) Regulador básico en serie. (C) Regulador básico realimentado. Adaptado de “Reguladores de Tensión. Universidad de La Frontera Departamento de Ingeniería Eléctrica” por Juan Ignacio Huircán, 2012, p. 112-116.

Según Ruiz (2011), también existen dos tipos de reguladores: en serie o lineales y de conmutación. Los reguladores en serie son poco eficientes y trabajan para potencias menores de 5 Watts y los reguladores de conmutación son 80 % más eficientes que los lineales. Los reguladores de tensión actualmente se comercializan como circuitos integrados (CI) y son conocidos comúnmente como convertidores DC-DC.

8.4.2 Convertidores DC - DC

Los reguladores de tensión o convertidores DC – DC son necesarios en un ATEG. La tensión de salida de los módulos termoeléctricos varía dependiendo de la diferencia de temperatura que exista entre sus dos caras. Desafortunadamente esta diferencia fluctúa dependiendo del ambiente al cual es sometido el generador (Amaldi & Tang, 2013).

El principio de cualquier convertidor DC–DC son los reguladores de voltaje con limitadores de corriente, para evitar el daño de los CI (Huircán, 2012). Estos convertidores también se basan en la carga y descarga de capacitores, los cuales son controlados por transistores (Hendrick & Ghümann, 2014).

Según Wens y Steyaert (2011), los convertidores DC–DC se dividen en 3 grupos: convertidores lineales de voltaje, elevadores de carga e inductivos. Los convertidores lineales de voltaje son aquellos que realizan la conversión a través de la disipación del exceso de potencia en un resistor. Los convertidores inductivos y elevadores de carga pertenecen al grupo de los convertidores con modo de *switch*eo. Ambos hacen la conversión por medio de almacenamiento pasivo de energía. La diferencia entre ellos es que los elevadores de carga utilizan un inductor y capacitor, mientras que los otros usan dos o más inductores y capacitores y como mínimo dos *switch*es.

Los convertidores elevadores de carga son los de gran importancia en esta tesis, puesto que estos van a ser implementados. Por tal motivo no se va a profundizar en los otros convertidores. Los elevadores de carga se pueden dividir según la transformación de tensión que se requiera. Las tres configuraciones básicas son: convertidor Buck (reductor de tensión) el cual es el objeto de esta tesis, convertidor Boost (elevador) y convertidor Buck-Boost (reductor–elevador) (Galera, 2002).

8.5 Funcionamiento del convertidor Step-Down Buck o reductor

Este convertidor está dentro del grupo de los convertidores con *switch*eo. Su función es mantener la tensión de salida en un valor constante, menor a la tensión de entrada, sin importar sus variaciones ni las de la carga (Galera, 2002).

En la Figura 8.7 se muestra el esquema de un convertidor Buck con sus respectivos elementos, conectado a un generador termoeléctrico con su respectiva resistencia interna como fuente de voltaje de entrada. En estos convertidores el voltaje de entrada o V_{teG} debe ser mayor al voltaje en la carga V_O .

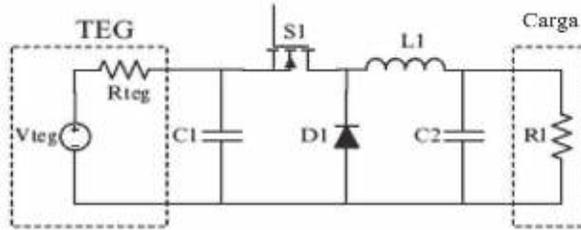


Figura 8.7. Esquema de un Convertidor Buck con un generador termoeléctrico como fuente. Adaptado de “*Proceedings of the 11th European Conference on Thermoelectrics*” por Andrea Amaldi y Francois Tang, 2013, p. 158.

De acuerdo a Galera (2002), el transistor conmuta en dos estados, se distinguen dos modos de operación: Modo de Conducción Continua (MCC) y Modo de Conducción Discontinua (MCD). En el MCC la corriente del inductor nunca es cero. En el transistor permite la conducción de energía. La corriente en el inductor empieza a incrementarse, mientras que el diodo se mantiene en off o en corte. Mientras ocurre esto se dice que el circuito está en T_{ON} . Esto ocurrirá en el intervalo de tiempo $0 < t < D_C t$ donde D_C es el duty cycle.

Para el tiempo T_{OFF} , el transistor se desconecta, en este momento la tensión rompe la tensión de corte del diodo para empezar a conducir y de esta manera mantiene la corriente por el inductor. Sin embargo, esta empieza a decaer hasta que vuelva a conducir el transistor. Esto ocurrirá durante el intervalo $D_C t < t < T$ (Galera, 2002).

En el MCC la ecuación de tensión de salida es igual a $V_o = D_C * V_{in}$, donde es la tensión de salida de los módulos y como el duty cycle no puede ser mayor a 1 entonces $V_o \leq V_{in}$ (Galera, 2002).

En MCD están presentes los mismos tiempos definidos en MCC T_{ON} y T_{OFF} y, pero también existe una tercera etapa donde el conmutador y el diodo están en “off”. Esto sucede cuando la corriente en el inductor cae totalmente a cero durante un tiempo determinado. Por lo tanto en este estado la tensión de salida del convertidor Buck no está definida únicamente por el V_{in} y el duty cycle, sino también por los valores de la bobina, el período de conmutación y la corriente de la carga (Galera, 2002).

8.6 Puertos Universal Serial Bus (USB)

Los puertos USB nacieron como una solución a la poca flexibilidad que existía para la comunicación de periféricos a las computadoras de escritorio o personales. Esto facilitó la instalación e interconexión de los dispositivos computacionales ya que no es necesario apagar el PC para conectar un nuevo periférico. Esta fue una tecnología que permitió crear un medio de comunicación con velocidades de transferencia más rápidas, con mayor flexibilidad, universalidad y compatibilidad implementando una arquitectura “*Plug and Play*” (Lopez, 2002).

En la Figura 8.8 se puede distinguir la disposición de los pines de los puertos USB, de los cuales dos de ellos se destinaron para la transmisión de energía eléctrica. Los otros dos pines son de transmisión de datos.

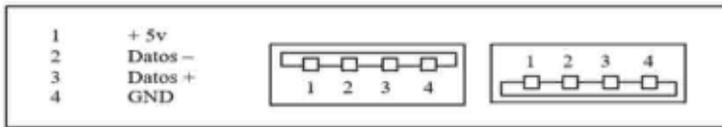


Figura 8.8. Disposición pines puertos USB

Fuente: Los autores

En la actualidad, los puertos USB se utilizan no solo para la transmisión de datos, sino también para la conexión de dispositivos móviles a fuentes de energía. Hoy en día existe gran variedad de enchufes y adaptadores que han hecho que su uso se expanda a casi todos los aparatos portátiles que se encuentran en el medio (Sherman, 2010). Se entiende por dispositivos móviles a los navegadores GPS, teléfonos móviles, PDAs, reproductores de audio portátiles, entre otros (Treviño, Giron, Flores, Bear, & Couttolenc, 2011). Por esta razón las dos tomas de energía dentro del vehículo en esta tesis serán puertos USB, dando así la facilidad de poder conectar y cargar cualquier dispositivo móvil utilizando la energía que entregan los generadores termoeléctricos.

8.7 Banco de carga

Los bancos de carga para dispositivos móviles permiten restablecer la carga

de los dispositivos. Estos cargadores deben satisfacer las especificaciones de las baterías de los teléfonos, puesto que si no lo hacen, estos no van a cargarse correctamente. En la actualidad, la mayoría de los bancos de carga se conectan por puertos USB (Treviño, et. al, 2011).

Estos bancos presentan dos tipos de carga: lenta y rápida. La carga lenta es aquella que trabaja en bajas corrientes y se pueden conectar dispositivos sin tener la preocupación de que se dañen. Sin embargo, aunque es una carga segura, su desventaja es que toma mucho tiempo para que la batería se cargue completamente. La carga rápida es aquella que permite que el dispositivo conectado se cargue en menos tiempo, puesto que la corriente es más alta. Con este tipo de cargas se debe tener cuidado ya que si el amperaje del cargador es mayor a lo que la batería soporta, esta se puede dañar. Por eso se deben tomar en cuenta las especificaciones de los dispositivos que se van a conectar. La mayoría de dispositivos móviles actuales trabajan con 1 amperio de corriente (Simpson, 2011).

De acuerdo a Davis (2014), sin importar las especificaciones del banco de carga, todos tienen el mismo principio de funcionamiento, como se muestra en la Figura 8.9. Estos bancos tienen un voltaje de entrada que alimenta a un cargador de batería y por medio de un controlador carga la batería interna del mismo. Todo este sistema por medio de un convertidor boost obtiene un voltaje de salida de 5 VDC, para alimentar los dispositivos que se deseen cargar.

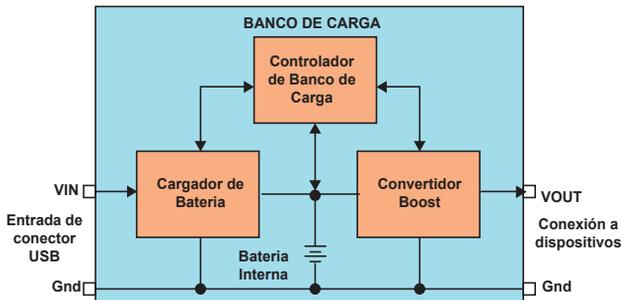


Figura 8.9. Diagrama de bloques del banco de carga. Adaptado de “System-on-a-Chip IC Enables Power Bank to Extend Life of Battery-Powered Devices”, por Sam Davis 2014, Power Electronics.

CAPÍTULO IX

Diseño – Herramientas y Procedimientos

CAPÍTULO IX

Diseño – Herramientas y Procedimientos

9.1 Instrumentos de medición

La ubicación de los módulos termoeléctricos en el vehículo es un tema primordial ya que la potencia de salida depende totalmente de la diferencia de temperatura o Δt ¹². Por lo tanto, el análisis de la transformación de energía a diferentes temperaturas determinará la potencia máxima de entrega una vez instalados los módulos en el vehículo. Para realizar este análisis, la temperatura es una variable que debe estar correctamente controlada y censada.

Por lo tanto es necesario un dispositivo que nos permita conocer con exactitud la temperatura de la zona medida basándonos en algunas características: rango, exactitud y accesibilidad de medición. El rango de medición, ya que los módulos van a estar expuestos a temperaturas que oscilan entre 100° a 250° Celsius, que según las investigaciones, es la temperatura que los gases generan en la salida del escape. La exactitud en la medición, ya que de esto dependerá la ubicación del generador en el tubo de escape y accesibilidad para la medición para hacer contacto con el tubo de escape.

La termocupla es un instrumento de medición de temperatura que se basa en el efecto Seebeck, explicado en detalle en el capítulo anterior. La termocupla y el multímetro que se usarán serán de marca FLUKE modelo 179. La termocupla, gracias a su forma, nos permite conocer la temperatura en las zonas del escape que son difíciles de acceder. El multímetro trabaja a temperaturas entre -40° a 400° Celsius, rango que excede, según las investigaciones, la temperatura del escape del vehículo.



Figura 9.1. Instrumentos de medición. (A) Multímetro Fluke Modelo 179. (B) Termocupla Fluke. Adaptado de www.fluke.com

¹² Diferencia de temperatura

9.2 Instrumentos del generador termoeléctrico

Los generadores termoeléctricos que se van a utilizar en este proyecto son 13 módulos, marca Tegpro, modelo TE-MOD-10W4V-40. Estos módulos están diseñados para soportar temperaturas de hasta 330 °Celsius de manera continua y 400 °Celsius de manera intermitente. Estos ATEG son capaces de trabajar a una potencia máxima de 10W y 4V con carga externa igual a la carga interna del módulo. La composición interna de estos ATEG es de Bi-Te, y las condiciones de trabajo del mismo depende de las temperaturas a las que están expuestos los módulos y la diferencia térmica entre ellos (Tegpro, 2014).

En la Figura 9.2 se puede apreciar que los módulos que serán objeto de este trabajo tienen dimensiones de 4x4x0.5 cm. A la salida del arreglo de semiconductores que se encuentran en el interior de cada módulo se encuentran dos cables de color rojo, alimentación o salida positiva, y negro, alimentación o salida negativa.

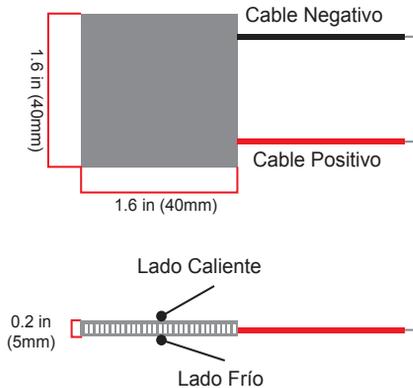


Figura 9.2. Dimensiones del módulo TE-MOD-10W4V-40. Adaptado de “TE-MOD-10W4V-40”, por Tegpro, 2014, p. 3.

9.3 Instrumentos de ensamblaje del generador termoeléctrico

9.3.1 Elementos de conducción térmica

La generación de energía eléctrica en los módulos depende de la . Sin embargo, una temperatura alta en la cara caliente del módulo eleva la potencia

de salida de los mismos. Por lo tanto, estos necesitan recibir de manera uniforme el calor en toda la superficie de su cara. La forma del tubo de escape, es cilíndrica y el módulo es plano, por ende, se usarán intercambiadores de calor que permitan una propagación de calor uniforme en el módulo. Estos conductores serán placas metálicas, las cuales deben tener un coeficiente de conductividad térmica alto, lo que permitirá la transferencia de calor de un lado a otro. Las placas deberán ser de un material homogéneo al material del tubo de escape para que puedan ser soldadas.

En la Figura 9.3A se muestra cuál sería la zona de contacto directo de los módulos con el tubo de escape, lo que solamente calentaría las celdas centrales dentro del módulo. Por consiguiente el módulo trabajará incorrectamente. En la Figura 9.3B se muestra que al usar los intercambiadores de calor se podrá transportar la energía térmica hacia toda la superficie de la cara caliente de los módulos y por lo tanto todas las celdas dentro del módulo recibirán calor de manera equitativa.

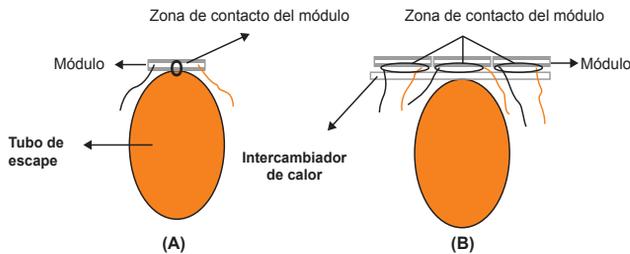


Figura 9.3. Representación gráfica de zona de contacto de módulos. (A) Contacto parcial de un módulo. (B) Contacto total de los módulos.

Fuente: Los autores

9.3.2 Elementos de refrigeración

Para mantener la Δt en las caras de los módulos se necesitará reducir la temperatura en la superficie fría de los mismos. Esto se realizará por medio de grandes disipadores de calor de aluminio, los cuales se enfriarán con el flujo de aire cuando el carro esté en movimiento. Los disipadores recibirán el calor del módulo por medio de la pasta térmica que será aplicada en los mismos.

Esta pasta deberá tener una alta conductividad térmica, de manera que sirva como un medio físico para que el calor se transfiera desde el módulo hasta el disipador y así poder incrementar Δt .

En la Figura 9.4 se muestra gráficamente como estarán ubicados los módulos con el sistema de refrigeración. La crema térmica se esparcirá por toda la superficie fría para unir térmicamente el disipador con los módulos.

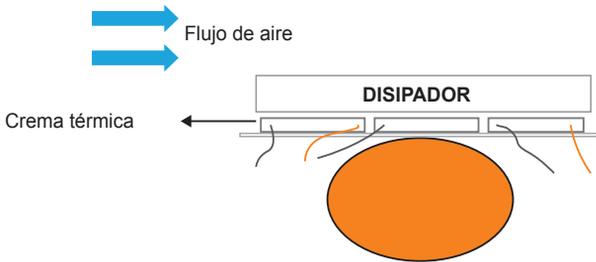


Figura 9.4. Módulos con sistema de refrigeración.

Fuente: Los autores

9.3.3 Elementos del soporte

La soldadura entre los intercambiadores de calor y el tubo de escape es la unión entre el generador y el vehículo. Sin embargo, para sostener los módulos y los disipadores se utilizarán abrazaderas metálicas, las cuales estarán empernadas con las placas, con el fin de mantener compacto el generador y no permitir el movimiento entre los módulos y los disipadores.

En la Figura 9.5 se puede observar gráficamente el generador termoeléctrico con todos sus elementos. Los pernos ajustan todo el sistema para evitar la desubicación de los módulos y el disipador. En el caso de que los pernos se aflojen, ya no habrá suficiente contacto, por ende el funcionamiento de los módulos no será óptimo. Al mismo tiempo los pernos no pueden estar muy ajustados puesto que podría doblarse la abrazadera o romperse los **módulos**.

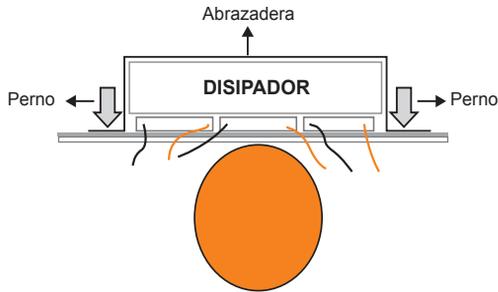


Figura 9.5. Módulos con sistema de refrigeración y soporte.

Fuente: Los autores

9.3.4 Elementos de conducción eléctrica

La energía eléctrica generada deberá ser transportada hasta el interior del vehículo donde estarán ubicados los dos puertos USB. Esto se realizará por medio de cable, el cual deberá soportar la tensión y corriente del generador. Los cables deberán estar protegidos contra las altas temperaturas del tubo de escape en caso de que exista contacto entre ellos. Se los protegerá con un enfundado de caucho de silicona que hace más resistente al cable frente cualquier circunstancia, ya sea agua, polvo, lodo, entre otros.

9.4 Instrumentos electrónicos

Los equipos electrónicos que se usarán en este proyecto serán un regulador de voltaje y un banco de carga. La salida del generador termoeléctrico se conectará a la parte electrónica del sistema. El regulador de voltaje que se va a implementar es un convertidor que alimenta un puerto USB. Este circuito será probado en un protoboard y luego de realizar varias pruebas y simulaciones en Proteus será implementado en una placa PCB con anillo metalizado.

El regulador de voltaje alimentará un banco de carga con dos salidas USB, este banco cuenta con una batería interna, que es la que servirá para tener una fuente de respaldo cuando el carro esté apagado o no se presente Δt en el tubo de escape. Los dispositivos móviles se conectarán a la salida de este banco de carga.

9.5 Etapas de implementación

9.5.1 Procedimiento preliminar

Antes de proceder con la implementación, se deberá comprobar el funcionamiento individual de los módulos basados en las curvas de características de los mismos. El objetivo es realizar tablas de datos de la potencia entregada en circuito abierto y circuito cerrado y se determinará la resistencia interna del módulo dependiendo de su Δt . La finalidad de estas pruebas es poder predecir el funcionamiento de los módulos una vez instalados en el vehículo y poder diseñar correctamente los arreglos del mismo, ya sea en serie, paralelo o combinación de ambos.

En cuanto al vehículo, se deberá tomar la temperatura en varias zonas del tubo de escape para determinar los puntos más calientes en todo el sistema. Se obtendrán los valores máximos de temperatura (motor girando a más revoluciones por minuto o RPM) y los mínimos (motor girando a ralentí¹¹) lo que nos servirá para un análisis de arreglos de los módulos. Las zonas donde se tomarán las medidas y en las que se espera que haya más disipación de calor son: el tubo, múltiple de escape o catalizador.

9.5.2 Pruebas de laboratorio

En las pruebas de laboratorio se debe probar los módulos a diferentes temperaturas para poder analizar su comportamiento. Para simular las altas temperaturas del motor del automóvil, se utilizará una cocina eléctrica con temperatura regulable como se indica en el apéndice A. Para simular la menor temperatura empleada en el módulo se probarán diferentes tipos de disipadores y componentes de enfriamiento, tales como reservorios con agua helada y bloques de hielo seco.

De acuerdo a este análisis se podrá comprobar que mientras haya más diferencia térmica, habrá más voltaje de salida. El diseño del regulador de voltaje depende exclusivamente del voltaje y corriente proveniente de los módulos. Por eso las pruebas de laboratorio deben ser lo más parecido a la realidad, para así poder determinar qué tipo de regulador se va a utilizar.

¹¹ Régimen mínimo de revoluciones por minuto

En estas pruebas se debe hacer una simulación de la temperatura del vehículo, considerando las diferentes temperaturas a las que ATEG está expuesto de acuerdo a factores como temperatura exterior, tiempo en el cual el carro está encendido, revoluciones por minuto a las que está trabajando, entre otras. Se debe tomar en cuenta las condiciones de trabajo normales y extraordinarias, puesto que el sistema de generación termoeléctrica debe estar preparado para estos diferentes escenarios. Al mismo tiempo se debe tomar en cuenta que el factor de enfriamiento será el viento que circule por los disipadores que se van a ubicar en los módulos. Por eso para tener valores cercanos a la realidad se harán pruebas con un módulo ubicado en el tubo de escape y con el carro en movimiento para obtener los valores de voltaje, temperaturas de calor y frío.

9.6 Módulo individual

Se debe modelar las temperaturas del vehículo para obtener un valor teórico más cercano a la realidad. De acuerdo a las temperaturas de calor y frío se puede conocer diferentes variables tales como voltaje en circuito abierto que entrega dicho módulo; resistencia interna; voltaje, corriente y potencia cuando la carga externa es equivalente a la interna. Se van a realizar pruebas con dos tipos de módulos: TE-MOD-10W4V-40 y TE-MOD-22W7V-56.

Se va a obtener el voltaje en circuito abierto en cada uno y conectados a una carga externa. Este análisis se debe hacer para cada uno de los módulos debido a que no todos estarán expuestos a las mismas temperaturas. En este proyecto solo se tomará en cuenta el voltaje de circuito abierto y la resistencia interna, ya que se van a hacer arreglos en serie y paralelo de los módulos y se obtendrán los valores de corriente por medio del teorema de Thevenin y Norton.

En la Figura 9.6 se puede apreciar la curva característica del módulo que se va a implementar. Por ejemplo, en el caso de que esté expuesto a 150 °Celsius en el lado caliente y 100 °Celsius en la parte fría, el voltaje en circuito abierto de ese módulo es aproximadamente 1.5 voltios. T_h es la temperatura en el lado caliente y T_c es en el lado frío.

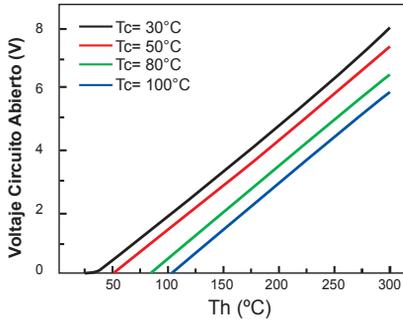


Figura 9.6. Curva característica del módulo, relación de voltaje en circuito abierto y diferencias térmicas. Adaptado de “TE-MOD-10W4V-40”, por Tegpro, 2014, p. 2.

El valor de resistencia interna no es fijo, puesto que cambia de acuerdo a las temperaturas a las que el módulo está expuesto. Por eso se debe analizar este valor en sus mejores y peores condiciones, cuando sea mayor y menor. Se va a realizar una tabla comparativa con estos valores, en donde el carro esté en movimiento y a ralentí.

En la Figura 9.7 se observan los diferentes valores de resistencia interna del módulo, de acuerdo a las temperaturas a la que está expuesto. La mínima resistencia que puede tener es 0.8 Ω y la máxima es 2 Ω . Por ejemplo, en el caso de que esté expuesto a 150 °Celsius en el lado caliente y 100 °Celsius en la parte fría, la resistencia interna de ese módulo es aproximadamente 1.5 Ω . Th es la temperatura en el lado caliente y Tc es en el lado frío.

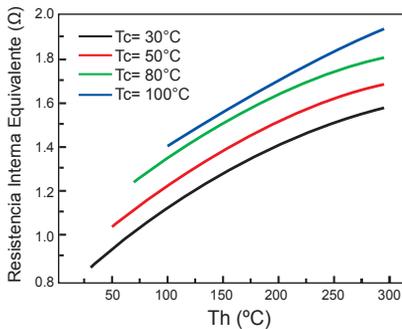


Figura 9.7. Curva característica del módulo, relación de resistencia interna y diferencias térmicas. Adaptado de “TE-MOD-10W4V-40”, por Tegpro, 2014, p. 2.

9.7 Sistema de regulación

Se van a realizar pruebas individuales con dos tipos de reguladores boost y las pruebas con el arreglo de módulos completo serán con reguladores buck. Los reguladores boost a probar serán: MicroTEG de 350mA y 500mA. Los módulos se van a exponer a la temperatura equivalente a la del carro y se probarán estos reguladores para poder aumentar su voltaje y mantener una corriente estable.

En la Figura 9.8 se observan las curvas características del regulador, en el análisis de este proyecto se utilizan los reguladores de 350mA y 500mA, los cuales son de salida estándar y ultra alta respectivamente.

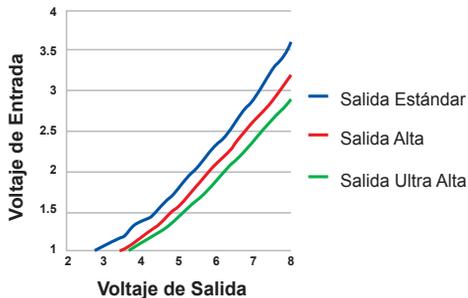


Figura 9.8. Curva característica del regulador MicroTEG. Adaptado de "MicroTEG HV1xBC-x", por TEGulator by TEGpro, 2013, p. 2.

El voltaje de salida de la configuración de módulos y reguladores es en circuito abierto, en el caso de que se conecte una carga este voltaje disminuye. Hay que tener en cuenta que se deben respetar las especificaciones de la hoja de datos de los reguladores. Estos componentes no soportan más de 800mV de voltaje de entrada, es decir solo se podrían probar con un módulo.

9.8 Implementación con módulos

9.8.1 Arreglo serie-paralelo

Para poder determinar la mejor configuración de los módulos, es decir la que entregue más potencia, se deben hacer pruebas con varios arreglos. Se procederá a realizar los cálculos para determinar el circuito equivalente

del arreglo, por medio del teorema de Thevenin y Norton. Primero se calcula el voltaje y resistencia interna equivalente de todos los módulos en serie. Después se procederá con el mismo cálculo, pero todos en paralelo. Se prosigue con el cálculo de varias configuraciones, entre ellas: a) donde los módulos con menor voltaje estén en paralelo y b) los que entregan más voltaje en paralelo.

En la Figura 9.9 se observa el diagrama esquemático del arreglo de 13 módulos en serie. El equivalente a cada módulo es una fuente DC conectada en serie con una resistencia. El voltímetro se coloca al final de la configuración para saber el voltaje en circuito abierto. El valor de resistencia interna total es la suma de todas sus resistencias.

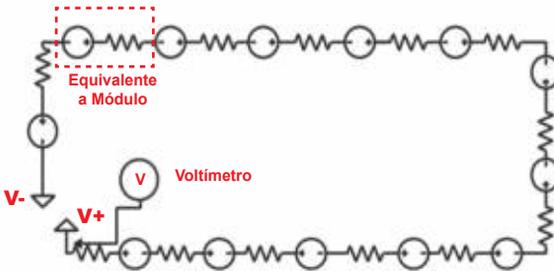


Figura 9.9. Diagrama esquemático de arreglo de módulos en serie.

Fuente: Los autores

En la Figura 9.10 se observa el diagrama esquemático del arreglo de 13 módulos en paralelo. El voltímetro se coloca en los puntos positivo y negativo de cualquier módulo, puesto que todos están conectados en un mismo punto. Para obtener teóricamente los valores de voltaje y resistencias equivalentes del circuito se debe utilizar el teorema de Thevenin y Norton.

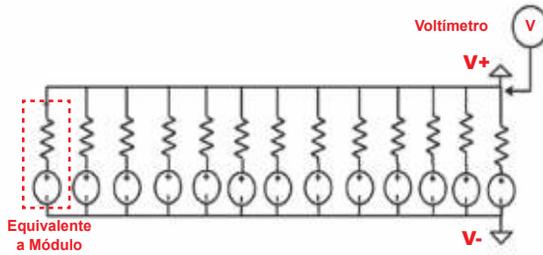


Figura 9.10. Diagrama esquemático de arreglo de módulos en paralelo.

Fuente: Los autores

En la Figura 9.11 se observa el diagrama de la fuente de corriente equivalente a la fuente de voltaje. Se debe hacer este cálculo con todos los módulos para poder obtener los valores de voltaje y resistencia.

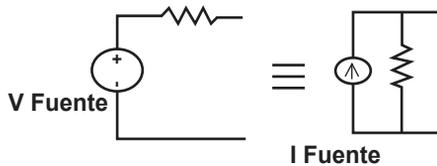


Figura 9.11. Diagrama esquemático del equivalente de fuentes de voltaje y corriente.

Fuente: Los autores

La fuente de voltaje se convierte en fuente de corriente, el valor de la resistencia es la misma en la transformación. El valor de I_{FUENTE} es el voltaje dividido para la resistencia interna del módulo. Así se procede a sumar todos los valores de I_{FUENTE} , puesto que en paralelo las corrientes se suman, y el nuevo valor de resistencia es la suma en paralelo de todas las resistencias de los módulos. Cuando se tenga una sola fuente de corriente y una resistencia se vuelve a transformar el circuito a fuente de voltaje en serie con una resistencia. El nuevo voltaje es la multiplicación de la I_{FUENTE} con la resistencia total.

En la Figura 9.12 se observa el diagrama esquemático de la configuración de los 13 módulos en serie y paralelo. Esta es una posible configuración, la cual tiene dos módulos en paralelo conectados al resto en serie. Se realizarán pruebas con varias configuraciones y se va a utilizar la que esté más de acuerdo con los requerimientos del sistema. El voltímetro se coloca al final de la configuración para saber el voltaje en circuito abierto.

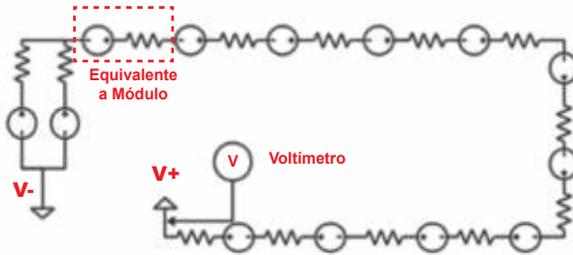


Figura 9.12. Diagrama esquemático de arreglo de módulos en paralelo y serie.

Fuente: Los autores

Así se hacen varias configuraciones, unas que entreguen más corriente y otros arreglos más voltaje. Todo dependerá de la potencia que se necesite para el proyecto. Lo ideal es tener un voltaje mayor a 6V en el caso de que se utilice un regulador buck y la corriente que la carga necesite.

9.9 Implementación de sistema de regulación

La potencia de salida del generador, que fluctúa debido al cambio en la diferencia de temperatura, debe entrar al sistema de regulación para mantener un voltaje constante. Mientras Δt se mantenga baja, la tensión va a ser baja y viceversa. Sin embargo, en el caso de que Δt incremente también va a incrementar la tensión de salida. Por ende, el tipo de regulador de voltaje dependerá de la potencia de salida del generador termoeléctrico.

En este análisis se procederá a implementar diferentes configuraciones de convertidores DC-DC, tales como elevador (boost) y reductor (buck); en especial, el último ya que se espera un voltaje de salida del generador mayor al valor de tensión requerido por el banco de baterías. El diseño del convertidor tendrá reguladores de voltaje, capacitores y diodos.

Las pruebas con la configuración completa de módulos serán con un regulador buck LM7805. De acuerdo a su hoja de datos, este componente soporta hasta 35 voltios de entrada en condiciones máximas. Se utiliza este regulador en particular puesto que su voltaje de salida es 5 voltios, y es lo que se necesita para este proyecto.

En la Figura 9.13 se puede observar que el banco de carga se alimenta de la energía eléctrica saliente del regulador de voltaje. El análisis del regulador se realizará basado en el requerimiento de voltaje que necesita el banco para cargar su batería interna. El banco de carga que se usará es uno prefabricado, de esta manera aseguraremos que las pérdidas de energía sean mínimas y a su vez lo más eficiente posible.



Figura 9.13. Diagrama de bloques sistema eléctrico completo.

Fuente: Los autores

9.10 Implementación en el automóvil

9.10.1 Procedimiento mecánico

La instalación de los módulos se realizará en el sistema de escape, por lo que este deberá ser desarmado para soldar los intercambiadores de calor, los cuales mantendrán el generador unido al vehículo y también transportará energía calorífica desde el tubo de escape hasta los módulos.

El Volkswagen Gurgel tiene un motor de combustión con cuatro salidas independientes de gases, las cuales están separadas unas de las otras. Para obtener la mayor cantidad de calor, los trece módulos estarán dispuestos en varios intercambiadores de calor ubicados en diferentes zonas del sistema de escape.

En la Figura 9.14 se muestran las cuatro salidas de gases del motor. Los módulos van a estar dispersos en todo el sistema de escape, en las zonas donde se encuentre la temperatura más alta.

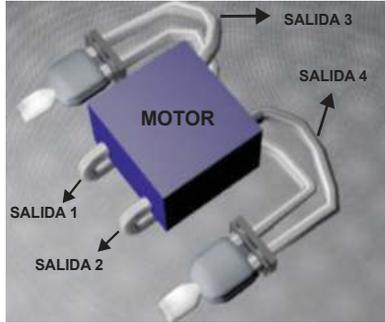


Figura 9.14. Sistema de escape de Volkswagen Gurgel.

Fuente: Los autores

Los intercambiadores de calor deberán tener las medidas necesarias para que cubran completamente los módulos con dimensiones de 4x4x0.5 cm, más un espacio para los pernos que aseguran las abrazaderas contra la placa. Los intercambiadores deberán tener un grosor adecuado para evitar torceduras leves que conlleven a que la superficie de los módulos no haga contacto total y por ende se pierda energía.

En la Figura 9.15 se muestran los dos tipos de placas que se van a realizar para la instalación de los módulos. La Figura 24A muestra un intercambiador largo con los pernos para una sola abrazadera transversal. La Figura 24B muestra una placa ancha la cual tiene orificios para los pernos de dos abrazaderas. El tipo de placa depende del espacio que se tenga alrededor del tubo de escape del vehículo.

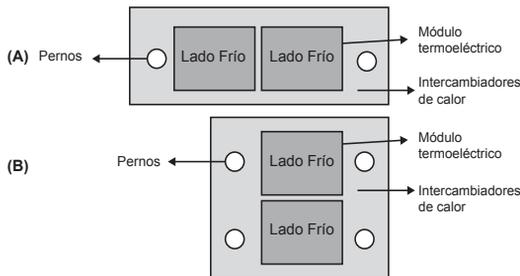


Figura 9.15. Tipos de ajustes de intercambiadores de calor. (A) Placa con una abrazadera transversal. (B) Placa con varias abrazaderas

Fuente: Los autores

9.10.2 Procedimiento electrónico

En esta parte de la implementación del proyecto se conectará la salida del arreglo de módulos a la parte electrónica. De acuerdo al tipo de regulación que se va a utilizar, se comienza con el diseño del sistema en Proteus, el cual es una herramienta para diseño y simulación de circuitos. En Proteus se realizará la simulación del regulador, la cual da paso a realizar el circuito en un protoboard y se lo probará con una fuente de poder regulable, para comprobar su funcionamiento. Cuando ya todo esté correcto se pasará el circuito al carro para probarlo con el voltaje que entregan los módulos.

Después de realizar varias pruebas se continuará con el diseño del PCB del circuito, basándose en el diagrama esquemático del mismo. Con la placa impresa se procederá a realizar las mismas pruebas que se hicieron con el protoboard y se procederá al encapsulamiento del circuito en una caja que se ubicará en el interior del vehículo, con dos puertos USB de salida del sistema. La placa PCB debe estar aislada de cualquier parte metálica, puesto que puede ocasionar un corto circuito que dañaría el sistema de regulación.

9.11 Instalación eléctrica

Una vez implementado el generador termoelectrónico en el tubo de escape, la energía eléctrica será transportada por medio de cable calibre 18 AWG, que soporta un máximo de 300 voltios y temperatura máxima de 60 °Celsius. El cableado estará resguardado por mangueras de plástico hacia el interior del vehículo. Los cables salientes de los módulos estarán protegidos por medio del enfundado de silicona marca Essex que soporta hasta 200 °Celsius sin perder su forma ni textura. Este enfundado es un dieléctrico, el cual ofrece excelente resistencia a los agrietamientos y erosión.

En el interior del vehículo se deberán hacer las conexiones eléctricas en el canal central del mismo. Estas conexiones ya sean en serie, paralelo o combinación de ambos se realizarán a través de borneras plásticas, las cuales se conectarán con el PCB del regulador de voltaje y este a su vez con el banco de carga. Todo esto deberá estar dentro de una caja metálica, la cual servirá como consola para los puertos USB.

CAPÍTULO X

Análisis de resultados

CAPÍTULO X

Análisis de resultados

10.1 Etapas de implementación

10.1.1 Procedimiento preliminar

Antes de proceder con la medición de temperaturas en el tubo de escape del Volkswagen Gurgel, se realizó un prototipo en el múltiple de escape en un Nissan Primera año 2002, donde se iba a ubicar el ATEG. Sin embargo, de acuerdo a distintos factores como espacio de trabajo, ubicación, diferencia térmica, entre otros, no se implementó el sistema en este vehículo. En el apéndice I, J, K y L se aprecia el múltiple de escape, vista frontal y lateral del diseño 3D del sistema en ese vehículo e implementación del mismo, respectivamente. Puesto que este diseño no funcionó, se realizaron las pruebas en el Volkswagen Gurgel debido al espacio que hay en el tubo de escape.

La temperatura de los gases que recibe el generador termoeléctrico depende de la ubicación del mismo en el tubo de escape. Como se muestra en la Figura 9.14, el Volkswagen Gurgel tiene 4 escapes de gases que salen del motor. De los cuales, los dos ubicados en el lado derecho se unen con el catalizador derecho; y los dos ubicados en el lado izquierdo, con el catalizador izquierdo. Según las investigaciones previas se sabe que justo en las salidas del motor es donde existe la mayor cantidad de temperatura, debido a que están más cerca de la cámara de combustión.

Por lo tanto, para corroborar esto, se procedió a medir la temperatura en diferentes zonas del tubo de escape denotadas en la Figura 10.1. Estas mediciones fueron realizadas con el vehículo detenido y en movimiento, debido a que las revoluciones por minuto y el flujo de aire inciden directamente en la temperatura del tubo de escape. Estos datos nos servirán para determinar el rango de temperaturas a las que estarán expuestos los módulos y así poder realizar las pruebas teóricas con base en estas temperaturas.

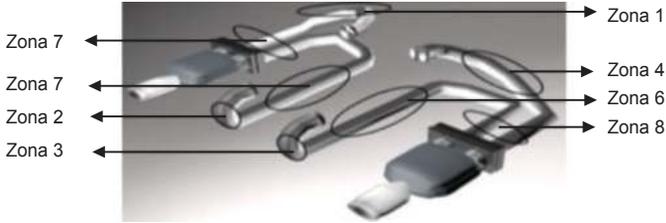


Figura 10.1. Delimitación de zonas para medición de temperatura

Fuente: Los autores

La tabla 10.1 muestra la temperatura del tubo de escape con el vehículo detenido. Las zonas 1, 2, 3 y 4 son donde más temperatura se pudo detectar. Esto se debe a que las 4 están ubicadas muy cerca de la cámara de combustión. La zona 1 y 4 tienen temperaturas más altas que las otras dos debido a su ubicación ya que el calor queda encerrado entre la carrocería y el motor. En las zonas 2 y 3 hay más espacio y flujo de aire, por lo tanto menos temperatura. Las demás zonas disminuyen su temperatura puesto que se alejan de la zona de combustión.

Tabla 10.1. Medición de temperatura en varias zonas del escape con vehículo detenido

Zonas de medición	Temperatura
1	170°
2	143°
3	140°
4	158°
5	138°
6	138°
7	102°
8	108°

Nota: La temperatura es en Celsius

Fuente: Los autores

En la tabla 10.2, la zona 1 mantiene su temperatura mientras que las 2 y 3 aumentan y la 4 se reduce. Desde la zona 5 hasta la 8 la temperatura aumenta cuando el vehículo está en movimiento. El rango de temperaturas al que los módulos están expuestos es de 100° a 170 °Celsius.

Tabla 10.2. Medición de temperatura en varias zonas del escape con vehículo en movimiento

Zonas de medición	Temperatura
1	170°
2	150°
3	145°
4	150°
5	126°
6	126°
7	111°
8	112°

Nota: La temperatura es en Celsius.

Fuente: Los autores.

10.2 Pruebas de laboratorio

Se realizaron pruebas individuales de los módulos, reguladores con fuentes de voltaje y reguladores con los módulos como fuente de alimentación. En estas pruebas se analizó el comportamiento de los módulos y reguladores, puesto que de acuerdo a esos datos se procede con la implementación de los mismos en el vehículo.

10.2.1 Análisis individual del módulo

Se analizó el funcionamiento de tres modelos de módulos: 7V-22W, 5V-5W y 4V-10W. Dado que estos módulos utilizan el efecto Seebeck y Peltier, se probaron conectando sus cables a una fuente de poder regulable, con las características de la fuente del apéndice D. Cada modelo se alimenta con el voltaje permitido, es decir 7V-22W con 7V, 5V-5W con 5V y 4V-10W con 4V. Todos los módulos presentaron diferencia térmica en sus caras, el calor disipado depende del tipo de módulo y el voltaje de la fuente. La disipación de calor del modelo 7V-22W es mayor al resto.

Se procedió a comprobar el efecto contrario, el cual es el que se va a utilizar en este trabajo. Para simular en el laboratorio la temperatura del tubo de escape del vehículo, se utilizó una cocina eléctrica con temperatura regulable. Esta

cocina tiene una hornilla circular, que no cubre uniformemente la superficie de los módulos. Por eso se hizo una base de aluminio para la cocina, permitiendo así que el calor se distribuya por toda la placa de manera uniforme, como se indica en el apéndice B. Para enfriar la otra cara del módulo y dependiendo de la temperatura que se buscaba obtener, se utilizó un reservorio con agua helada, disipador de calor y hielo seco. Estos componentes se utilizaron solos o en conjunto. El reservorio que se utilizó, de acuerdo al apéndice C, tiene forma rectangular para que cubra toda la cocina.

Para el análisis de funcionamiento se probaron diferentes temperaturas, los voltajes en circuito abierto de la Tabla 10.3 no se asimilan a las hojas de datos de los módulos. Para realizar la medición de temperatura de los mismos, se utilizaron dos multímetros y la termocupla de cada uno se ubicó entre las caras del módulo y las superficies de la cocina y el objeto de enfriamiento. Por este motivo no hubo un contacto completo, por ende los módulos no trabajaron a su máxima eficiencia. Para evitar que suceda esto se tomó en cuenta el y se midió la temperatura de la cocina y el reservorio sin topar los módulos. Se realizaron otras pruebas con un disipador con una placa de cobre. Se calentó la placa con una pistola de calor y se midió el voltaje del módulo en sus terminales. En el apéndice E se aprecia el sistema que se implementó en estas pruebas.

De acuerdo a la Tabla 10.3, sin importar que el modelo 4V-10W haya sido expuesto a las mismas temperaturas que 5V-5W, este entregó menos voltaje. Esto sucede porque el módulo provee mayor corriente. Debido a que estos módulos tienen las mismas dimensiones, se prefiere utilizar el de más corriente. En el caso que se desee utilizar el modelo de 7V-22W, lo ideal sería que haya suficiente espacio en el tubo de escape del vehículo, pues sus dimensiones son de 5x5x0.5cm.

Tabla 10.3. Análisis de funcionamiento de diferentes módulos

Módulo	Temperatura		V _{OC} (V)
	Calor	Frío	
7V-22W	160	20	2.80
	160	40	2.30
	140	20	1.25
	110	70	1.23
	100	60	1.18
5V-5W	170	100	2.70
	140	50	2.14
	80	20	1.40
4V-10W	170	100	2.00
	140	50	1.80
	80	20	1.50

Nota: V_{OC}= Voltaje en circuito abierto

Fuente: Los autores

10.2.2 Análisis de sistema de regulación

Para el análisis del regulador de voltaje reductor, se utilizó la configuración básica del LM7805, con las conexiones completas de cargas externas, que incluye el banco de carga y los dispositivos móviles conectados. Esto se realizó para poder determinar la impedancia del circuito total. De acuerdo a la impedancia de la carga, se puede proceder a calcular voltajes y corrientes del sistema. Se puede interpretar la impedancia de entrada del regulador como carga externa de la fuente de voltaje, en este caso los módulos.

De acuerdo a la Figura 10.2, los capacitores que se utilizaron en la implementación del sistema son de acuerdo a la hoja de datos del regulador. Estos valores van a cambiar acorde a las necesidades del mismo. En esta prueba de regulación se utilizó una fuente regulable de voltaje, donde en este caso el valor mínimo de voltaje de entrada es 8.1V y la impedancia de entrada es 8.44Ω. El valor de la carga no va a cambiar, siempre y cuando no se modifique el sistema. Si el voltaje de entrada del regulador aumenta, su corriente aumentará también.

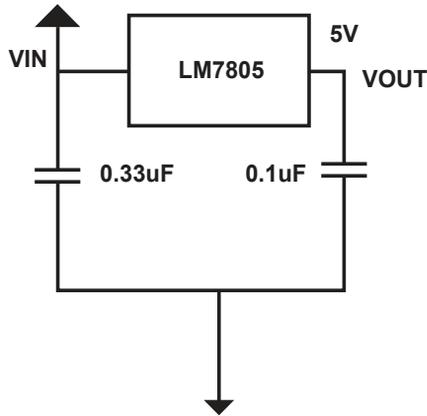


Figura 10.2. Diagrama esquemático del sistema de regulación buck de prueba

Fuente: Los autores

Se procedió a realizar las mismas pruebas de la Figura 10.3, con un regulador buck doble, para que aumente el límite de corriente que soporta el sistema. La impedancia de entrada de este regulador con todas las cargas conectadas es 25Ω .

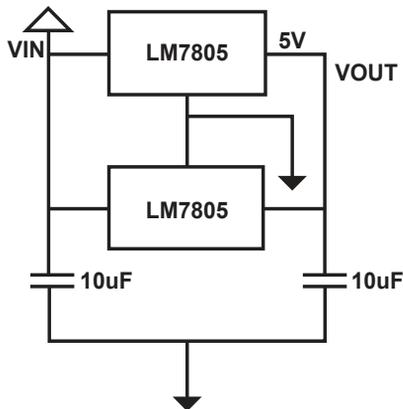


Figura 10.3. Diagrama esquemático de regulador buck doble

Fuente: Los autores

Para el análisis de los reguladores en relación con los módulos se utilizaron dos microrreguladores. Estos componentes están diseñados para

ser utilizados con un solo módulo, puesto que tienen límites de voltaje de entrada. Se usaron estos reguladores pues la corriente que demandan los dispositivos móviles no supera las especificaciones absolutas de los mismos. En el caso de que se realice un sistema con varios módulos, este lo toma como una carga completa que probablemente supere las especificaciones máximas del microrregulador.

En la Figura 10.4 se puede apreciar el diagrama de bloques del sistema que se va a utilizar para comprobar la regulación individual de los módulos. La fuente de voltaje en este caso es solo un módulo, este es conectado a un regulador que a su vez está conectado a una carga.



Figura 10.4. Diagrama de bloques del sistema de regulación de prueba

Fuente: Los autores

Se realizaron pruebas solo con el módulo 4V-10W ya que de acuerdo a las pruebas individuales del mismo, es el modelo idóneo a ser implementado. Antes de conectar la carga externa, se prueba el voltaje de salida del regulador en circuito abierto y después con las diferentes cargas. Como se puede apreciar en la Tabla 10.4, el voltaje en circuito abierto aumentó, de tal manera que supera el del módulo.

El regulador aunque esté conectado sin una carga externa, sigue siendo una carga para el módulo. Sin importar la diferencia térmica a la que esté expuesto el componente, el será siempre el mismo porque estos reguladores limitan la corriente de salida a 350mA y 500mA, respectivamente. Cuando se conecta una carga externa al regulador, el voltaje disminuye, pero se mantiene la corriente.

Se puede apreciar en la Tabla 10.4 que la diferencia térmica sí incide en el voltaje de entrada y salida del regulador, al igual que el valor de la carga. Se utilizaron esos valores de resistencias, para saber el voltaje que se va a obtener en condiciones extremadamente diferentes.

Tabla 10.4. Pruebas del módulo 4V-10W con reguladores de 350 y 500mA

Regulador	V _{OC} (V)	Temperatura		V _{IN} (V)	V _{OUT} (V)	Carga (Ω)
		Calor	Frío			
350mA	18	150	65	1.20	6.00	1000
		120	75	0.80	1.00	22
		145	90	0.50	3.00	1000
		135	85	0.57	0.09	22
500mA	21	175	90	1.10	5.10	1000
		150	75	0.86	1.00	22

Fuente: Los autores

10.2.3 Análisis teórico para la implementación de TEG

Para que la generación de energía de los módulos sea eficiente, se necesita que los módulos termoelectricos sean ubicados en las zonas con mayor desperdicio de energía térmica en el tubo de escape. De la Tabla 10.3, se puede observar que la tensión entregada por los módulos no depende totalmente de una alta, sino también de la máxima temperatura en el lado caliente del módulo. Es decir, una a una temperatura caliente baja proporciona menos potencia de salida que una a una temperatura caliente alta.

De acuerdo a las Tablas 10.1 y 10.2, las temperaturas en casi todas las zonas del tubo de escape se elevan cuando el vehículo está en movimiento. Por lo tanto, para poder determinar las zonas idóneas para la instalación de los módulos es necesario hacer un análisis teórico de cómo se comportarán los mismos con las temperaturas del tubo de escape y una temperatura ambiente.

En la Tabla 10.5 se puede observar que la temperatura ambiente tomada, cuando el vehículo está detenido y en movimiento, es de 100° y 80 °Celsius respectivamente. Se asumen estas temperaturas, según las varias investigaciones de este trabajo. Esto quiere decir que la cara fría de los módulos estará teóricamente sometida a estas temperaturas para la generación de energía. Al mismo tiempo se toma en consideración la temperatura ambiente a nivel del suelo, de acuerdo al calor expuesto por el vehículo.

Tabla 10.5. Temperaturas teóricas por zonas en tubo de escape

Zonas de medición	Detenido		Movimiento	
	Lado Caliente	Lado Frío	Lado Caliente	Lado Frío
1	170°	100°	170°	80°
2	143°	100°	150°	80°
3	140°	100°	145°	80°
4	158°	100°	150°	80°
5	138°	100°	126°	80°
6	138°	100°	126°	80°
7	102°	100°	111°	80°
8	108°	100°	112°	80°

Fuente: Los autores.

En la Tabla 10.6 se pueden apreciar los valores de ΔT y resistencia interna de los módulos que resultan de una diferencia de temperatura entre el tubo de escape con respecto a la temperatura ambiente teórica. En esta tabla se puede observar que hay 4 zonas donde más energía eléctrica se va a producir. Las zonas cercanas a las salidas de gases del motor, es decir la 1, 2, 3 y 4 generarán más energía cuando el vehículo esté en movimiento que cuando esté detenido. Lo ideal sería ubicar los módulos en esta zona para generar la mayor cantidad de energía posible y hacer que el TEG sea más eficiente.

Según la Tabla 10.6, las zonas cercanas a la cámara de combustión serán las ideales para convertir energía térmica en energía eléctrica. La suma de tensión de estas zonas, en teoría, generará más que la suma de las otras 4. Esto se da porque esta es la primera zona del tubo de escape que tocan los gases quemados. Lo ideal sería colocar los 13 módulos termoelectrónicos en estas zonas pero lamentablemente, el espacio y la forma del tubo no lo permiten.

Tabla 10.6. Voltaje y resistencia interna teórica de módulos por zonas

Zona	Detenido				Movimiento			
	Temperatura		V _{OC} (V)	R(Ω)	Temperatura		V _{OC} (V)	R(Ω)
	Lado Caliente	Lado Frio			Lado Caliente	Lado Frio		
1	170	100	2.00	1.61	170	80	2.6	1.55
2	143	100	1.25	1.54	150	80	2.00	1.5
3	140	100	1.20	1.51	145	80	1.90	1.49
4	158	100	1.70	1.58	150	80	2.00	1.5
5	138	100	1.15	1.53	126	80	1.20	1.45
6	138	100	1.15	1.53	126	80	1.20	1.45
7	102	100	0.01	1.41	111	80	0.85	1.38
8	108	100	0.05	1.42	112	80	0.90	1.39

Fuente: Los autores

En las zonas 1, 2, y 3, el espacio y los componentes mecánicos del vehículo solo permiten la instalación de un módulo por cada una. Para los procedimientos posteriores estos módulos serán nombrados como A1, A3 y A2 respectivamente.

En la zona 4, una de las que más energía puede generar, existe espacio para 2 módulos, los cuales serán nombrados como B3 y B4. Las zonas 5 y 6 son las que más extensión tienen, lamentablemente en la zona 6 no existe la posibilidad de colocar un intercambiador de calor debido a que muchas partes mecánicas del vehículo estorban la instalación de los mismos. En la placa 5 se colocarán 3 módulos los cuales se nombraran A4, B2 y B1.

En las zonas 7 y 8 existen dos tubos de escape que se pueden observar como dos zonas de contacto con los intercambiadores de calor para calentar de mejor manera los mismos. Por lo tanto en la zona 7 se instalarán los módulos A5 y B5, justo debajo de los puntos de soldadura. Por el otro lado, en la zona 8 se colocarán los módulos nombrados como 11, 12 y 13.

10.2.4 Arreglo en serie y paralelo

El arreglo teórico de los 13 módulos en serie equivale a una fuente de 8.51V y una resistencia de 12.1 Ω , cuando el vehículo está detenido. En el caso de que se encuentre en movimiento la fuente es de 12.65 y la resistencia 11.7 Ω .

En el caso de que se arreglen los módulos en paralelo, se debe realizar una equivalencia de Thevenin y Norton. Cuando el vehículo está detenido entrega 1.035V con 0.19 Ω en el equivalente en serie. Si el vehículo se encuentra en movimiento, el voltaje es 1.560V y la resistencia 0.18 Ω .

10.3 Instalación de los módulos

El generador termoeléctrico deberá, por cuestiones de espacio, estar localizado en diferentes zonas del tubo de escape del Volkswagen Gurgel. Las zonas más calientes son a su vez las más difíciles de acceder y las que menos espacio tienen alrededor del tubo de escape.

En las zonas 1 y 4, por la forma del tubo no es posible poner más de 2 módulos por cada una, ya que de lo contrario los intercambiadores de calor no conducirán eficientemente la energía térmica al no hacer suficiente contacto con el tubo de escape. En las zonas 2 y 3, por la forma del tubo no es posible ubicar más de 1 módulo por cada una. Las zonas 5 y 6 son las más grandes y las que mayor flujo de aire experimentarán cuando el vehículo esté en movimiento, por lo tanto se colocarán 3 módulos en la zona 5 y ninguno en la zona 6, para no afectar las partes mecánicas del vehículo.

En las zonas 7 y 8 se unen los dos tubos de escape para después llegar hasta el catalizador, respectivamente por cada lado. Por lo tanto los intercambiadores que se ubicarán en estas zonas harán contacto con los dos tubos de escape, lo que permitirá mayor conducción térmica. En estas zonas se ubicarán 5 módulos, 2 en la zona 7 y 3 en la zona 8, tal como se muestra en la Tabla 10.7.

Tabla 10.7. Cantidad de módulos por intercambiador de calor

Placa	Cantidad de módulos
1	1
2	1
3	1
4	2
5	3
6	0
7	2
8	3
Total	13

Fuente: Los autores

En la Figura 10.5 se pueden observar los intercambiadores de calor en el tubo de escape, los cuales tienen el mismo número que la zona en la que se ubicaron. Para soldar las placas metálicas se desinstaló el sistema de escape y se midió el espacio alrededor para fabricar los intercambiadores a esa medida, sin que dañe algún objeto mecánico del vehículo.

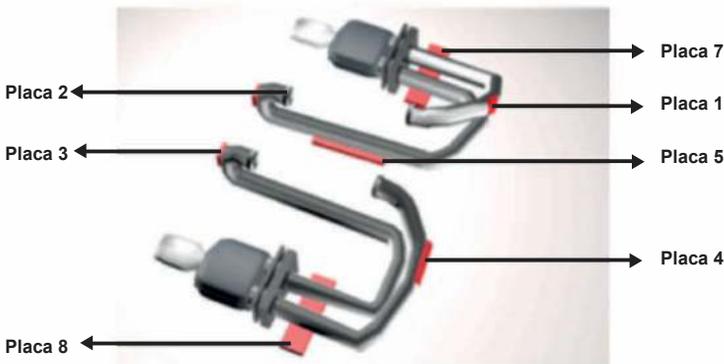


Figura 10.5. Disposición de los intercambiadores de calor en el tubo de escape del vehículo.

Fuente: Los autores.

En la Figura 10.6 se puede observar la representación gráfica del generador de un solo módulo. Las placas 1, 2 y 3 tienen las mismas dimensiones, 10 cm

de largo por 7 de ancho. El disipador que se ubicó en estas placas fue uno de 4 cm de alto, 6 cm de largo y 5 cm de ancho. Todas las placas metálicas tienen 0,5 cm de grosor, lo que permite una sujeción a presión sin dobladuras en la placa.

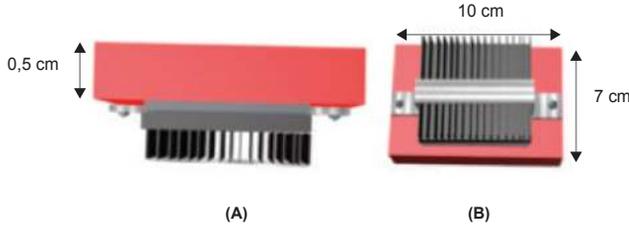


Figura 10.6. Generador termoeléctrico de un módulo. (A) Vista aérea (B) Vista frontal.

Fuente: Los autores

En la Figura 10.7 se representa el generador ubicado en la zona 5. El espacio que se tenía para instalar esta placa era muy grande por lo que se instaló una placa de 20 cm de largo por 10 cm de ancho. Debido a su forma alargada se tuvo que optar por asegurar los módulos y el disipador con tres abrazaderas transversales, para evitar la torcedura de la placa en la mitad. El disipador usado en esta placa tiene 5 cm de alto, 20 cm de largo y 5 cm de ancho.

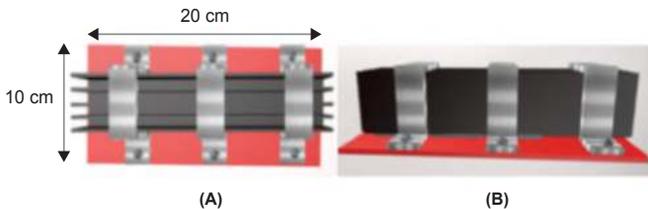


Figura 10.7. Generador termoeléctrico con abrazaderas transversales. (A) Vista aérea (B) Vista frontal.

Fuente: Los autores

En la Figura 10.8 se puede observar la forma y configuración que tienen las demás placas. Las placas 4, 7 y 8 tienen la misma forma. Una placa con un disipador ajustado con una sola abrazadera larga. La placa 4 tiene 12 cm de

largo por 7 cm de ancho. El intercambiador 7 tiene 20 cm de largo por 7 cm de ancho, al igual que el intercambiador 8. El disipador de las placas 7 y 8 tiene 5 cm de alto, 20 cm de largo y 5 cm de ancho mientras que el de la placa 4 tiene 5 cm de alto, 12 cm de largo y 5 cm de ancho.



Figura 10.8. Generador termoeléctrico con abrazadera larga. (A) Vista aérea (B) Vista frontal.

Fuente: Los autores

Una vez instalados los intercambiadores de calor en el vehículo se procedió a colocar los módulos de manera que la cara caliente de los módulos toque la placa y el lado frío el disipador. Para que exista una correcta transferencia de temperatura, se esparció crema térmica en las dos caras de los módulos. Las abrazaderas usadas son metálicas de 0,4 cm de grosor, muy rígidas para evitar doblamientos. Estas fueron aseguradas con pernos, tuercas y anillos de presión para certificar la sujeción del disipador con la placa.

En la Figura 10.9 se pueden observar los 13 módulos distribuidos en las diferentes placas instaladas en el tubo de escape. Para poder identificarlos y monitorear su funcionamiento, individual y grupal, se utilizó la misma nomenclatura que la especificada anteriormente. Esta nomenclatura se la realizó por el cableado desde el exterior al interior del vehículo. Debido al espacio en el interior del vehículo y a la distribución de los módulos en el sistema de escape, se debieron utilizar 2 mangueras (A y B) que protejan el cable saliente de los módulos, esto se explicará con más detalle en la sección de instalación eléctrica. En la Tabla 10.8 se puede observar el resumen de la disposición de los módulos en las diferentes placas del generador termoeléctrico.

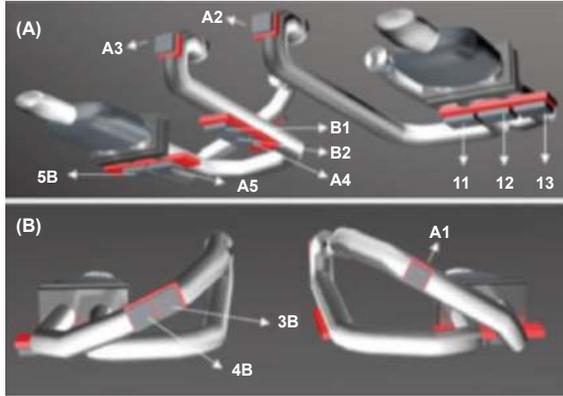


Figura 10.9. Disposición de los módulos en el escape del vehículo.

Fuente: Los autores.

Tabla 10.8. Resumen de distribución de módulos en las placas

Placa	Módulos
1	A1
2	A3
3	A2
4	B3 - B4
5	A4 - B2 - B1
7	A5 - B5
8	11 - 12 - 13

Fuente: Los autores

En los apéndices O, P, Q y R se aprecian los generadores en el tubo de escape. En la Figura 10.10 se puede observar la parte posterior del vehículo, donde se encuentra todo el sistema ATEG. No se pueden apreciar las zonas 1 y 4, puesto que están ubicadas en la parte superior del tubo de escape. En el apéndice X se pueden apreciar con más detalle las zonas 2, 5 y 7 con los ATEG implementados. Los disipadores y placas fueron pintados de color negro anticorrosivo para que no les afecte el óxido.



Figura 10.10. Vista inferior del vehículo con el sistema ATEG

Fuente: Los autores

10.4 Implementación con módulos

Según las Tablas 10.1 y 10.2, la temperatura en todas las zonas aumenta cuando el vehículo está en movimiento, excepto en las zonas 5 y 6 donde disminuye por el gran flujo de aire que reciben. Por lo tanto se espera que los módulos eleven su eficiencia cuando el vehículo esté en movimiento. Los módulos ubicados en la zona 5 también incrementarán su potencia de salida debido a que el flujo de aire enfriará el disipador. Por esta razón se procedió a verificar el voltaje de salida de cada módulo cuando el vehículo está detenido y en movimiento.

En la Tabla 10.9 se midieron los valores de voltaje en circuito abierto de cada módulo cuando el vehículo está detenido. Se puede observar que las temperaturas en el intercambiador de calor se redujeron un poco con respecto a la medición de la Tabla 11.1, cuyas mediciones se tomaron directamente en el tubo de escape. Es decir que en la transferencia de calor desde el tubo hasta los módulos se han perdido un aproximado de 5° a 10 °Celsius.

Se puede apreciar que el módulo A1 es el que entrega más voltaje en circuito abierto y su temperatura en el lado caliente es la más alta en relación al resto. Mientras que el módulo 12 es el que entrega menor voltaje, con una diferencia térmica de 14 °Celsius.

Por otro lado se puede ver que la temperatura en el lado frío del módulo es reducida, en promedio unos 30 °Celsius, por el accionar del disipador. Estas diferencias dan un valor de voltaje de salida con circuito abierto bajo y una resistencia interna alta. La resistencia interna de todos los módulos es entre 1.31 Ω y 1.70 Ω .

Los valores de la resistencia interna de cada módulo se consiguieron a partir de las temperaturas del disipador y del tubo de escape. El disipador está en el lado frío del módulo y el tubo de escape en el lado caliente del mismo.

Tabla 10.9. Datos de los módulos con respecto a su temperatura, vehículo detenido

Módulo	Temperatura		V_{oc} (V)	R(Ω)
	Disipador	Tubo de Escape		
A1	130	167	1.138	1.70
A2	100	125	0.729	1.46
A3	100	138	1.058	1.51
A4	130	140	0.389	1.62
A5	80	96	0.461	1.31
B1	100	125	0.563	1.48
B2	100	118	0.474	1.45
B3	130	160	0.919	1.60
B4	130	150	0.688	1.61
B5	80	100	0.520	1.35
11	100	116	0.335	1.40
12	100	114	0.297	1.43
13	80	105	0.614	1.35

Fuente: Los autores

En la Tabla 10.10 se puede observar que la temperatura en el intercambiador de calor ha incrementado en algunos módulos pero en otros también ha bajado, esto debido al flujo de aire que circula por los mismos. Mientras que en el lado frío de los módulos todas las temperaturas se han reducido, dando como resultado una mayor diferencia de temperatura, por ende un mayor voltaje de salida y una resistencia interna más baja.

La resistencia interna de todos los módulos disminuyó y se encuentran entre 128 Ω y 160 Ω . Se puede determinar que cuando existe una resistencia térmica mayor, el valor de resistencia disminuye. El voltaje en circuito abierto de todos los módulos aumentó a diferencia del módulo 13.

Tabla 10.10. Datos de los módulos con respecto a su temperatura, vehículo en movimiento.

Módulo	Temperatura		V_{OC} (V)	$R(\Omega)$
	Disipador	Tubo de Escape		
A1	100	162.5	1.870	1.60
A2	80	130	1.497	1.42
A3	80	140	1.701	1.48
A4	100	135	0.930	1.48
A5	70	100	0.713	1.28
B1	80	125	1.195	1.41
B2	75	112.5	1.090	1.35
B3	100	145	1.230	1.54
B4	120	150	0.840	1.60
B5	75	100	0.735	1.28
11	90	112.5	0.635	1.40
12	90	112.5	0.514	1.39
13	75	100	0.605	1.30

Fuente: Los autores

A partir de la comparación entre estas dos tablas se puede notar un incremento sustancial en el voltaje de salida con circuito abierto. En los módulos A2, A4, B1 y B2 el incremento es más del 100 %, los demás módulos incrementan su voltaje de salida en un 30 a 80 %, excepto el módulo 13 que se mantiene con la misma diferencia de temperatura y con el mismo valor de voltaje de salida. Lo que sucede con las resistencias internas de cada módulo es que se reducen en un gran porcentaje.

En la Figura 10.11 se realizó una comparación entre el cuando el vehículo está detenido y en movimiento. Se puede notar un incremento sustancial en la generación de energía cuando el carro se está moviendo. El voltaje total generado cuando está detenido es 8.185V, mientras que cuando está en

movimiento es de 13,56V, esto representa un incremento total del 66 %. En esta Figura se puede observar que los módulos ubicados en la zona 5, es decir A4, B1 y B2, tienen un incremento por encima del 100 %. Este incremento es atribuido al flujo de aire que golpea directamente el dissipador y lo enfría produciendo una mayor diferencia de temperatura entre las caras del módulo.

Por otro lado, los módulos que más generan energía están ubicados cerca de la cámara de combustión, los cuales en sumatoria producen más del 50 % de la generación total cuando el vehículo está detenido y en movimiento. Esto es debido a las altas temperaturas que se encuentran en esta zona del sistema de escape.

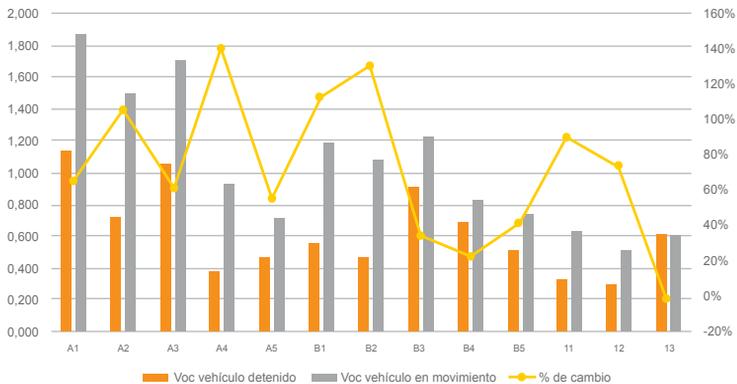


Figura 10.11. Comparación de los módulos en el escape del vehículo

Fuente: Los autores

En el caso de que los módulos trabajen con resistencias externas iguales a la interna, el voltaje de circuito abierto se divide para su resistencia, para obtener la corriente del mismo. En el apéndice G y H se aprecia una tabla con los valores de corriente y potencia equivalentes de cada módulo, cuando el vehículo está detenido y en movimiento, respectivamente. Sin embargo, como la carga externa es diferente, se deben obtener los valores de corriente de cada módulo en relación a esta carga.

10.5 Análisis de arreglo serie paralelo

De acuerdo a los valores de voltaje y resistencia interna de cada módulo,

se realizaron todas las combinaciones en paralelo posibles entre todos los módulos. Este cálculo se hizo con los valores del vehículo detenido y en movimiento. Se puede utilizar como modelo el desarrollo de la fórmula del apéndice F para obtener el voltaje y corriente de la carga. Sin embargo, es más conveniente utilizar el teorema de Thevenin y Norton, puesto que son muchos módulos y el cálculo sería muy extenso en relación al teorema. Se realiza este cálculo para obtener los valores de voltaje en circuito abierto y resistencia equivalente en todas las combinaciones posibles entre los módulos.

A partir de las configuraciones en paralelo, se pueden realizar diferentes configuraciones de arreglo de módulos para obtener mayor voltaje y corriente. En el apéndice A9 se puede apreciar el circuito con fuente de corriente equivalente al paralelo de dos módulos. Se utilizan las fórmulas del apéndice M para obtener los valores de voltaje y resistencia en paralelo.

En la Tabla 10.11 se puede apreciar que la combinación que da mayor voltaje es A1 y A3, puesto que son los módulos con mayor . Sin embargo, si se colocan esos módulos en paralelo y el resto en serie, se va a desperdiciar voltaje en el arreglo. Es preferible colocar en paralelo los módulos que no malgasten voltios en su configuración, en el caso de que se coloque solo una combinación en paralelo con el resto en serie.

Cuando el vehículo está en movimiento, la combinación con menor voltaje es de los módulos 12 y 13, seguida por la configuración de 11 y 12. Sin embargo, ese no es el único factor a considerar para realizar el arreglo de módulos, también se debe considerar la corriente que entregue el mismo. Esto depende de la resistencia equivalente del sistema, su voltaje en circuito abierto y la carga externa.

Tabla 10.11. Valores de voltaje y resistencia de todas las combinaciones en paralelo posibles, vehículo en movimiento

Módulo	Módulo paralelo	R(Ω)	V _{OC} (V)	Módulo	Módulo paralelo	R(Ω)	V _{OC} (V)
A1	A2	0.752	1.671		A3	0.725	1.597
	A3	0.769	1.780		A4	0.725	1.219
	A4	0.769	1.380		A5	0.673	1.084
	A5	0.711	1.226		B1	0.708	1.347
	B1	0.750	1.512		B2	0.692	1.288
	B2	0.792	1.427	A2	B3	0.739	1.369
	B3	0.785	1.544		B4	0.752	1.170
	B4	0.800	1.354		B5	0.673	1.090
	B5	0.711	1.239		11	0.705	1.060
	11	0.747	1.217		12	0.702	0.999
	12	0.744	1.144		13	0.679	1.030
	13	0.717	1.171				
	A3	A4	0.740	1.315		A5	0.686
A5		0.686	1.170		B1	0.722	1.066
B1		0.722	1.442		B2	0.706	1.010
B2		0.706	1.381		B3	0.755	1.077
B3		0.755	1.471	A4	B4	0.769	0.887
B4		0.769	1.286		B5	0.686	0.825
B5		0.686	1.182		11	0.719	0.778
11		0.719	1.084		12	0.717	0.716
12		0.717	1.089		13	0.692	0.756
13		0.692	1.117				
A5	B1	0.671	0.943		B2	0.690	1.141
	B2	0.657	0.896		B3	0.736	1.212
	B3	0.699	0.948		B4	0.750	1.029
	B4	0.711	0.769	B1	B5	0.671	0.954
	B5	0.640	0.724		11	0.702	0.915
	11	0.669	0.676		12	0.699	0.850
	12	0.666	0.617		13	0.676	0.888
	13	0.645	0.659				

B2	B3	0.719	1.154	B3	B4	0.785	1.039
	B4	0.732	0.975		B5	0.699	0.959
	B5	0.657	0.907		11	0.733	0.918
	11	0.687	0.866		12	0.731	0.854
	12	0.685	0.806		13	0.705	0.891
	13	0.662	0.842				
B4	B5	0.711	0.781	B5	11	0.689	0.688
	11	0.747	0.731		12	0.666	0.629
	12	0.744	0.666		13	0.645	0.670
	13	0.717	0.709				
11	12	0.698	0.575	12	13	0.672	0.560
	13	0.674	0.619				

Fuente: Los autores

En la Tabla 10.12 se puede apreciar que la combinación que da mayor voltaje, al igual que en la Tabla 10.11, es A1 y A3. Cuando el vehículo está detenido, la combinación con menor voltaje es de los módulos 11 y 12, seguida por la configuración de 12 y 13. Se deben tomar en cuenta los valores de resistencia interna y de las Tablas 11.11 y 11.12 para obtener la mejor configuración de módulos.

Tabla 10.12. Valores de voltaje, resistencia de todas las combinaciones en paralelo posibles, vehículo detenido.

Módulo	Módulo paralelo	R(Ω)	V _{OC} (V)	Módulo	Módulo paralelo	R(Ω)	V _{OC} (V)
A1	A2	0.785	0.918	A2	A3	0.742	0.891
	A3	0.800	1.096		A4	0.768	0.568
	A4	0.830	0.754		A5	0.690	0.588
	A5	0.740	0.756		B1	0.735	0.647
	B1	0.791	0.831		B2	0.727	0.601
	B2	0.783	0.780		B3	0.763	0.820
	B3	0.824	1.025		B4	0.766	0.710
	B4	0.827	0.907		B5	0.701	0.620
	B5	0.752	0.794		11	0.715	0.528
	11	0.768	0.698		12	0.722	0.511

	12	0.777	0.681		13	0.701	0.669
	13	0.752	0.846				
A3	A4	0.782	0.735		A5	0.724	0.429
	A5	0.701	0.738		B1	0.773	0.480
	B1	0.747	0.808		B2	0.765	0.434
	B2	0.740	0.760		B3	0.805	0.656
	B3	0.777	0.991	A4	B4	0.807	0.539
	B4	0.779	0.879		B5	0.736	0.460
	B5	0.713	0.774		11	0.751	0.360
	11	0.726	0.683		12	0.760	0.340
	12	0.734	0.667		13	0.736	0.512
	13	0.713	0.824				
A5	B1	0.695	0.509		B2	0.732	0.518
	B2	0.688	0.467		B3	0.769	0.734
	B3	0.720	0.667		B4	0.771	0.623
	B4	0.722	0.563	B1	B5	0.706	0.541
	B5	0.665	0.490		11	0.719	0.446
	11	0.677	0.400		12	0.727	0.428
	12	0.684	0.383		13	0.706	0.590
	13	0.665	0.536				
B2	B3	0.761	0.686		B4	0.802	0.804
	B4	0.763	0.575		B5	0.732	0.703
	B5	0.699	0.498	B3	11	0.747	0.608
	11	0.712	0.403		12	0.755	0.591
	12	0.720	0.385		13	0.732	0.754
	13	0.699	0.547				
B4	B5	0.734	0.597		11	0.687	0.429
	11	0.749	0.499	B5	12	0.694	0.412
	12	0.757	0.481		13	0.675	0.567
	13	0.734	0.648				
11	12	0.707	0.316	12	13	0.694	0.460
	13	0.687	0.477				

Nota: Los valores de V_OC y resistencia de la combinación de paralelos son la nueva fuente de voltaje y resistencia interna equivalente.

Fuente: Los autores

Se realizaron 5 diferentes combinaciones de módulos, aparte de la configuración en serie y paralelo de los mismos. Estos arreglos no solo toman en cuenta los valores de las Tablas 10.9, 10.10, 10.11 y 10.12, sino también se realizan combinaciones de más de dos módulos en paralelo.

En la Figura 10.12 se realizó una combinación de módulos en serie. De acuerdo a los valores de las Tablas 10.9 y 10.10, se suman las resistencias internas y voltaje de cada módulo. El circuito equivalente del mismo es una fuente de voltaje de 8.185V en serie con una resistencia de 19.27 Ω cuando el vehículo está detenido. Cuando se encuentra en movimiento la fuente de voltaje es de 13.56V y la resistencia 18.53 Ω . Esta configuración es la que entrega el máximo voltaje. La corriente del circuito, siempre y cuando la carga externa sea igual a la resistencia interna, es 0.2124A con el vehículo detenido y 0.3658A en movimiento.

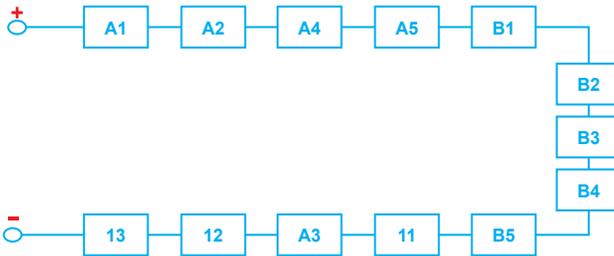


Figura 10.12. Diagrama de bloques de arreglo de módulos en serie

Fuente: Los autores

En la Figura 10.13 se realizó una combinación de módulos en paralelo. De acuerdo al teorema de Thevenin y Norton el circuito equivalente del mismo es una fuente de voltaje de 0.6186V en serie con una resistencia de 0.113 Ω cuando el vehículo está detenido. Cuando se encuentra en movimiento la fuente de voltaje es de 1.025V y la resistencia 0.109 Ω . La corriente del circuito, siempre y cuando la carga externa sea igual a la resistencia interna, es la configuración que entrega lo máximo de corriente en relación al resto, 2.739A con el vehículo detenido y 4.702A en movimiento.

La configuración de la Figura 11.13 es ineficiente si se utiliza un sistema de regulación reductora, ya que el voltaje es mucho menor a 5V. En el caso de que se emplee un regulador elevador, se deben considerar los parámetros iniciales del regulador, pues la corriente que se le entregaría afectaría al mismo si es que se superan dichos parámetros. Esto solo sucedería si la carga del sistema es igual a la interna. Sin embargo, dado que la carga externa es mucho mayor, se considera esta configuración para el análisis y verificación de los cálculos teóricos con los valores prácticos del arreglo.

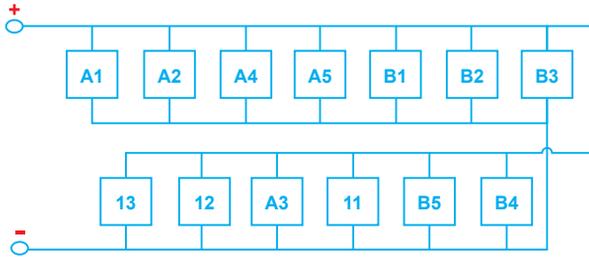


Figura 10.13. Diagrama de bloques de arreglo de módulos en paralelo

Fuente: Los autores

En la Figura 10.14 se aprecia el diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 1. En este caso se tomó uno de los paralelos con menor voltaje, puesto que así no se desperdicia mucho voltaje y se ganaría más corriente. En la Figura 10.15 está el esquemático de la misma configuración, con el equivalente del paralelo de los módulos 11 y 12. El circuito equivalente del mismo es una fuente de voltaje de 7.869V en serie con una resistencia de 17.147 Ω cuando el vehículo está detenido. Cuando se encuentra en movimiento la fuente de voltaje es de 12.981V y la resistencia 16.438 Ω .

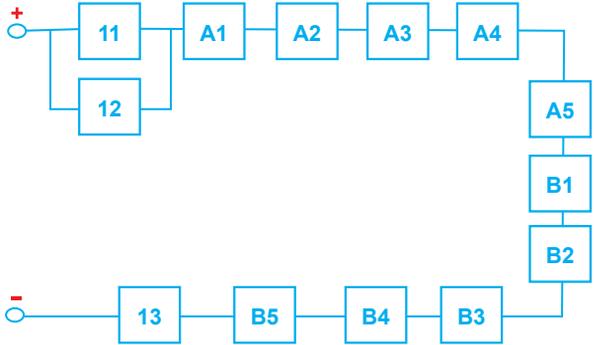


Figura 10.14. Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 1
Fuente: Los autores

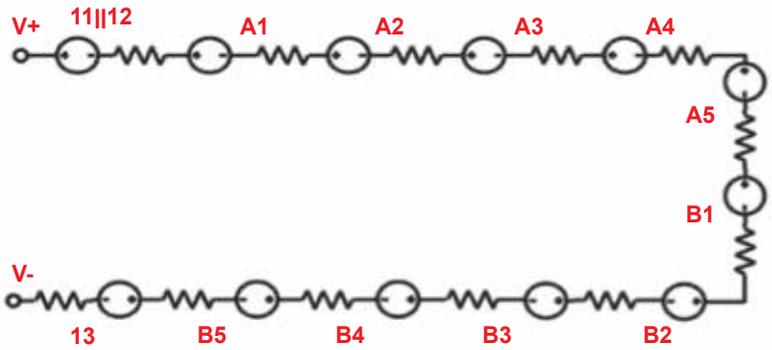


Figura 10.15. Diagrama esquemático del arreglo de módulos de la configuración 1
Fuente: Los autores

En la Figura 10.16 se aprecia el diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 2. En este caso se tomó uno de los paralelos con mayor voltaje. En la Figura 10.17 está el esquemático de la misma configuración, con el equivalente del paralelo de los módulos A1 y A3. El circuito equivalente del mismo es una fuente de voltaje de 7.085V en serie con una resistencia de 16.860 Ω cuando el vehículo está detenido. Cuando se encuentra en movimiento la fuente de voltaje es de 11.764V y la resistencia 16.219 Ω .

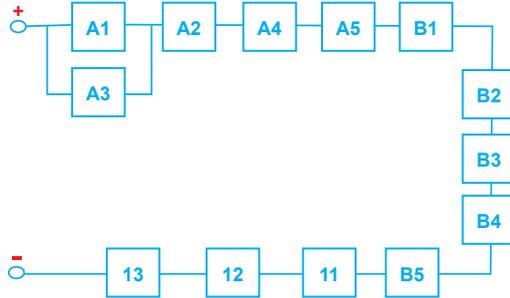


Figura 10.16. Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 2
Fuente: Los autores

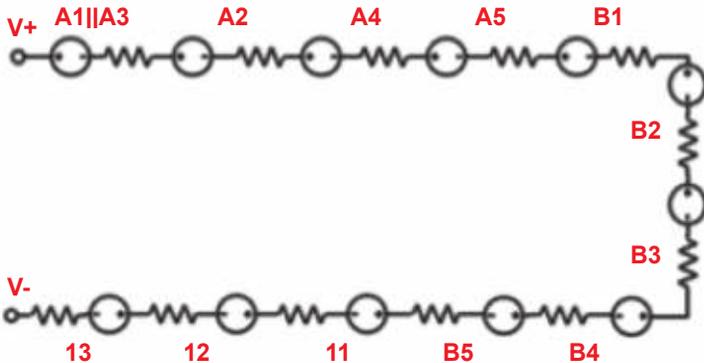


Figura 10.17. Diagrama esquemático del arreglo de módulos de la configuración 2
Fuente: Los autores

En la Figura 10.18 se aprecia el diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 3. En este arreglo se realizó una combinación en serie y paralelo. En la Figura 10.19A está el esquemático de la misma configuración y en la Figura 10.19B se encuentra el equivalente de los paralelos y serie, todos a su vez arreglados en serie. El circuito equivalente del mismo es una fuente de voltaje de 5.780V en serie con una resistencia de 9.436Ω cuando el vehículo está detenido. Cuando se encuentra en movimiento la fuente de voltaje es de 8.856V y la resistencia 9.129Ω .

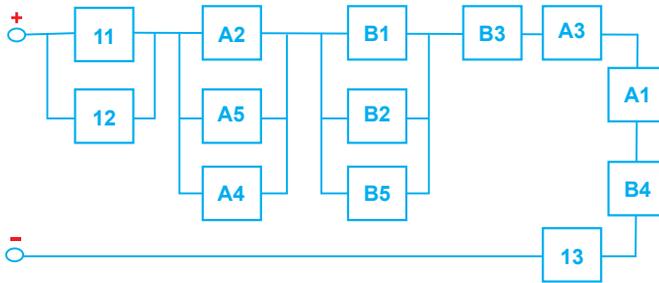


Figura 10.18. Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 3
Fuente: Los autores

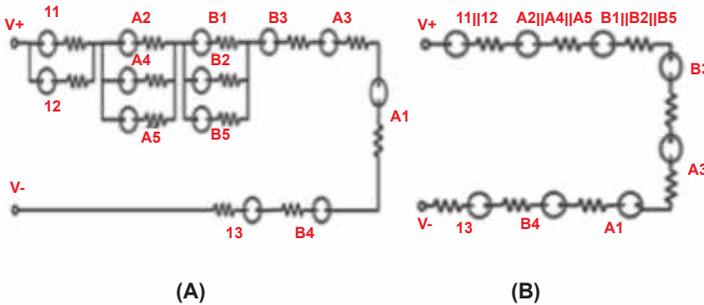


Figura 10.19. Diagramas esquemáticos de configuración 3. (A) Arreglo de módulos.
 (B) Diagrama esquemático de la reducción de módulos.

Fuente: Los autores

En la Figura 10.20 se aprecia el diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 4. En este caso se realizó lo contrario, se tomaron todos los módulos en paralelo y a su vez en serie con el módulo de mayor voltaje. En la Figura 10.21A está el esquemático de la misma configuración y en la Figura 10.21B se encuentra el equivalente de los paralelos arreglados en serie. El circuito equivalente del mismo es una fuente de voltaje de 4.018V en serie con una resistencia de 4.34 Ω cuando el vehículo está detenido. Cuando se encuentra en movimiento la fuente de voltaje es de 6.67V y la resistencia 4.752 Ω .

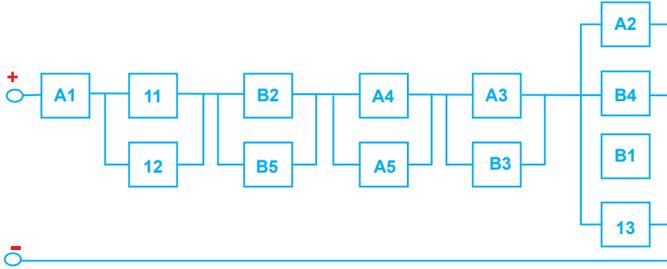


Figura 10.20. Diagrama de bloques del arreglo de módulos de la configuración 4

Fuente: Los autores

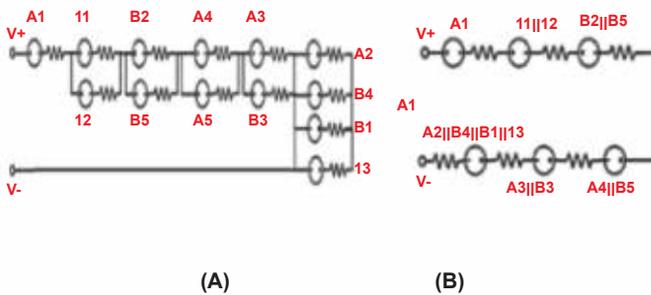


Figura 10.21. Diagramas esquemáticos de configuración 4. (A) Arreglo de módulos.

(B) Diagrama esquemático de la reducción de módulos.

Fuente: Los autores

En la Figura 10.22 se encuentra el circuito equivalente de todas las configuraciones anteriormente mencionadas. Toda combinación de módulo termina en un módulo equivalente que es una fuente de voltaje conectado en serie con su resistencia interna. Este a su vez se conectará a la carga externa, que en este caso es todo el sistema de regulación y carga que se va a implementar.

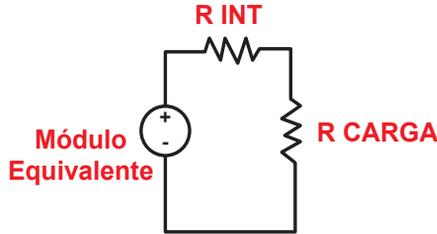


Figura 10.22. Diagrama esquemático del equivalente a un módulo
Fuente: Los autores

En la Tabla 10.13 se explican detalladamente las configuraciones que se realizaron con el teorema de Thevenin y Norton. Para realizar el cálculo de la corriente del circuito equivalente se utilizó el valor de la carga externa. El voltaje que va a alimentar el sistema de regulación y carga es . Se hizo una comparación del sistema con el vehículo detenido y en movimiento para obtener un rango de trabajo del mismo. En las dos situaciones es mayor en serie y en la configuración 1.

La resistencia interna incide en la corriente del sistema, ya que la carga externa es 25Ω y si la diferencia de la carga externa y es muy alta, la corriente va a disminuir. Por eso, en una configuración perfecta, y deben ser iguales para aprovechar al máximo la potencia del módulo.

Tabla 10.13. Configuraciones de los módulos, vehículo detenido y en movimiento

Conf ^{l4}	Detenido				Movimiento			
	V_{OC}^{15} (V)	R_{INT} (Ω)	V_C (V)	I(A)	V_{OC} (V)	R_{INT}^{16} (Ω)	V_C^{17} (V)	I(A)
Serie	8.185	19.27	4.62	0.19	13.550	18.53	7.78	0.311
Paralelo	0.619	0.11	0.62	0.03	1.025	0.11	1.02	0.041
1	7.869	17.15	4.67	0.19	12.981	16.44	7.83	0.313
2	7.085	16.86	4.23	0.17	11.764	16.22	7.14	0.285
3	5.780	9.44	4.20	0.17	8.856	9.13	6.49	0.259
4	4.018	4.34	3.42	0.14	6.670	4.75	5.61	0.224

Fuente: Los autores.

Cuando el vehículo se encuentra detenido o en movimiento, la configuración 1 es la más eficiente y la misma se va a comprobar e implementar en el vehículo. En el caso de que se encuentre el carro detenido, como no hay mucha diferencia de temperatura, todos los voltajes de las cargas son menores a 5V. Es decir, acorde a la Figura 10.23, el sistema de regulación no va a funcionar correctamente, hasta que el carro comience a moverse. Si el vehículo está en movimiento, el voltaje de la carga es suficiente para alimentar el sistema de regulación.

La configuración 1 se parece a la configuración en serie, sin embargo en serie hay menos corriente y más voltaje en circuito abierto. Para la implementación de este sistema se necesita la corriente más alta, para que el regulador pueda cargar más rápido el banco.

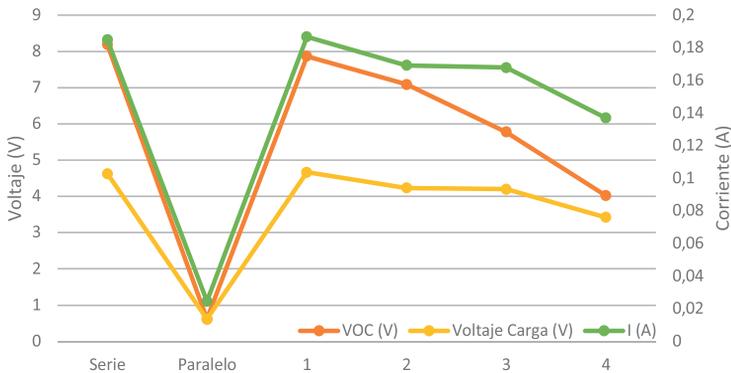


Figura 10.23. Voltajes y corriente de configuraciones con vehículo detenido

Fuente: Los autores

De acuerdo con la Figura 10.24, el arreglo en serie y la configuración 1 son los que más potencia entregan. Los voltajes de todas las configuraciones, omitiendo el paralelo, superan los 5V cuando el vehículo está en movimiento. Por eso, el mejor sistema de regulación a utilizar es el buck.

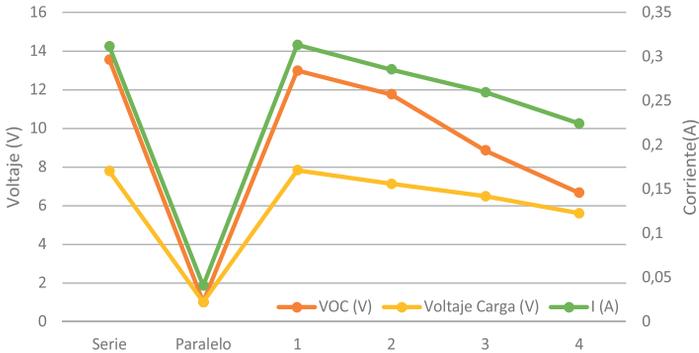


Figura 10.24. Voltajes y corriente de configuraciones con vehículo en movimiento

Fuente: Los autores

Se comparó la configuración 1 con otras, donde la mayoría de módulos estaban en serie y el resto en paralelo, como se aprecia en el apéndice N, utilizando el teorema de Thevenin y Norton. Se hicieron pruebas de hasta cuatro módulos en paralelo. Sin embargo, esto no mejoró el voltaje o corriente de salida. Es decir, la configuración 1 sigue siendo la mejor opción a implementar. También se comprobaron los valores del vehículo en movimiento de la Tabla 10.13 con los cálculos de voltaje y corriente utilizados en el apéndice F. En el apéndice Ñ se muestran esos valores y no hay cambios significativos entre los dos métodos para calcular las configuraciones.

10.6 Implementación de sistema de regulación

Antes de decidir qué sistema de regulación utilizar, se realizaron varios prototipos de acuerdo a los parámetros del arreglo de módulos y a las necesidades del sistema a implementar, como se indica en los apéndices A3, 14, 15, 16, 16, 17 y 18. De acuerdo a las necesidades de las cargas USB se decidió implementar, con la configuración 1, el sistema de la Figura 10.25. Estos módulos van a conectarse a un regulador Buck de 5V que a su vez se conecta a un banco de carga con dos salidas USB donde se van a poder cargar los dispositivos móviles.

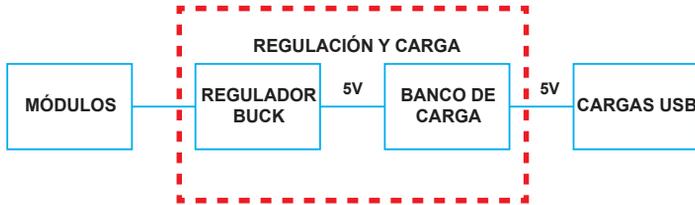


Figura 10.25. Diagrama de bloque del circuito implementado

Fuente: Los autores

Conforme a las necesidades del banco de carga, la corriente y voltaje que entregan los módulos es suficiente para alimentar el regulador. El mismo que va a ser el encargado de suministrar energía al banco. Los módulos solo deben cumplir la función de cargar la batería interna del banco. Este a su vez tiene un sistema de regulación y aislamiento interno encargado de cargar los dispositivos móviles que se conecten sin afectar el sistema entero.

El diagrama esquemático de la Figura 10.26 está compuesto de diodos de protección, capacitores, reguladores de voltaje LM7805 y puerto USB. Se utilizan dos LM7805 en paralelo para aumentar la corriente máxima que soportan estos componentes. A la salida de cada LM7805 se colocan diodos 1N4001 de protección, para evitar que la corriente circule en el sentido contrario y se dañe el sistema o banco de carga. A su vez se ubican capacitores a la entrada y salida del regulador, como indica la configuración general del mismo. Se aumentó el valor de los capacitores para que la caída de tensión de los mismos sea más rápida.

Además, se ubicó un diodo 1N4001 en la salida de tierra para proteger el sistema en el caso de que se ubiquen las polaridades de la fuente de alimentación de manera inversa. En la entrada del circuito se colocaron dos terminales para que sea más sencillo el cableado del circuito y a la salida se ubicó un conector USB.

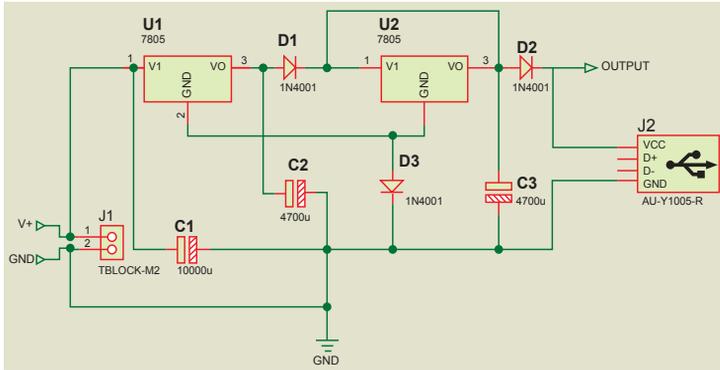


Figura 10.26. Diagrama esquemático del circuito implementado

Fuente: Los autores

Este circuito se lo simuló en Proteus con una batería, el voltaje de salida del regulador se estabilizó en 5V. Después se procedió a implementar el circuito en un protoboard y se lo probó con una fuente de voltaje regulada, haciendo así el mismo efecto que la simulación. En estas pruebas se determinó un porcentaje de regulación del 3.47 %, puesto que el voltaje regulado sin carga es 5.029V y el mismo con carga es 4.86V.

10.7 Implementación en el automóvil

10.7.1 Procedimiento electrónico

Cuando se verificó que el circuito no tiene ningún inconveniente en el protoboard, se realizaron pruebas con los módulos en el vehículo. El sistema de carga se regula cuando el vehículo está en movimiento puesto que en ese momento se obtiene una mayor diferencia térmica. A partir de estas pruebas se procedió a realizar el diseño de la placa PCB.

En la Figura 10.27 se aprecia el diseño en 3D de la vista posterior de la placa PCB, donde van a estar las pistas. Esta placa tiene soldadura solamente en una cara de la misma, puesto que el diseño no tiene muchos componentes y no es necesario realizar una placa impresa de doble cara. Este diseño se mandó a imprimir en una placa de fibra con anillos metalizados.

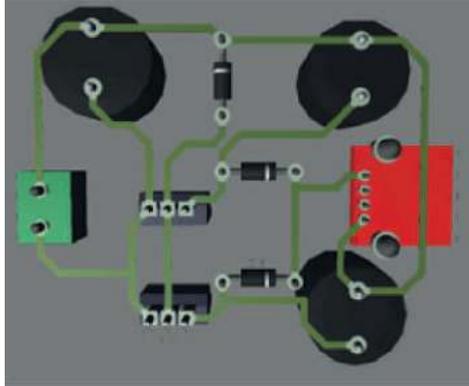


Figura 10.27. Diseño de placa PCB visualizada en 3D

Fuente: Los autores

Una vez impresa la placa se le suelda todos los componentes con estaño de 1mm de diámetro, para que no se haga soldadura muy gruesa que pueda crear soldadura defectuosa. En la Figura 10.28A se observa la vista superior de la placa. Se colocaron disipadores en cada integrado, puesto que estos suelen calentar cuando están funcionando en altas corrientes. En la Figura 10.28B se puede apreciar la vista posterior de la placa con sus componentes. Todos estos factores pueden incidir en el funcionamiento del sistema.

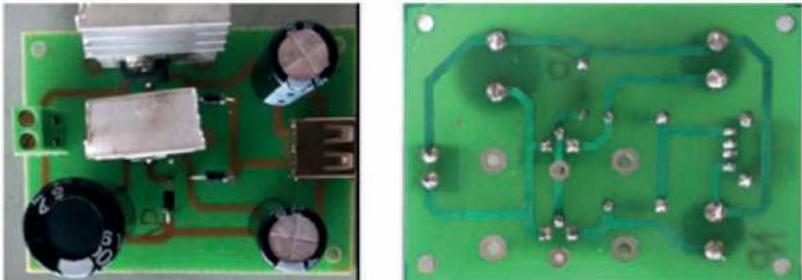


Figura 10.28. PCB del circuito implementado. (A) Vista superior. (B) Vista posterior.

Fuente: Los autores

En el apéndice U y V se puede observar el proceso de ensamblaje de la caja donde va a ser ubicada la parte electrónica del ATEG. Esta caja está

hecha de metal con aislamiento interno para el circuito. La misma fue ubicada en el interior del vehículo, detrás del freno de mano y solo se puede apreciar la salida de los puertos USB.

10.8 Instalación eléctrica

Los 13 módulos instalados dan un total de 26 cables que deben llegar desde el exterior hasta el interior del vehículo. Estos 26 cables salientes de los módulos termoeléctricos están protegidos por el enfundado de silicona para evitar que se dañen. Estos se empataron con cables número 18 AWG, los cuales miden 1,30 metros de largo, medida necesaria para llevarlos hasta la cabina del vehículo. En el apéndice S se puede apreciar el proceso de montaje del tubo de escape, una vez ubicados los módulos y conectados los cables.

Por la parte central del Gurgel pasa un canal que conecta la parte frontal y posterior del vehículo. Por este canal pasa el cableado de la iluminación trasera, la conexión de la batería con el alternador, entre otros. Por lo tanto, es el único lugar por donde los cables del generador pueden entrar al vehículo.

Los cables del generador están protegidos con mangueras de plástico desde la unión con los módulos hasta el canal central del vehículo. Debido a que el espacio dentro del canal central no es muy grande se utilizarán solo dos mangueras "A" y "B". Las cuales transportarán los cables de 10 módulos en total, es decir 10 cables cada una. Los 3 módulos sobrantes, es decir 6 cables estarán protegidos con el enfundado de silicona desde el exterior hasta el interior del carro. De aquí la nomenclatura de los módulos, los 10 cables de los 5 módulos transportados por la manguera "A" tendrán como inicial su letra, de igual forma los de la manguera B y los 3 restantes no llevan letra debido a que no están dentro de una manguera.

10.8.1 Conexión de módulos

Una vez que se obtengan los cables que transportan la energía eléctrica de los módulos al interior del vehículo, se debe proceder a conectarlos en una bornera. En la Figura 10.29 se puede observar la conexión de los módulos

según la configuración que satisface las necesidades del banco de carga.

La configuración detallada en el análisis serie-paralelo de este capítulo plantea que todos los módulos deben estar conectados en serie, excepto el 11 y el 12. Estos dos módulos deben estar conectados en paralelo entre sí y el paralelo conectado en serie con el resto. Esta conexión se hace por medio de una bornera ubicada en el interior del canal central del vehículo. Los cables salientes de esta bornera estarán conectados directamente al regulador de voltaje. En el apéndice T se aprecian las conexiones que se realizaron en las borneras que se ubican en el canal central eléctrico.

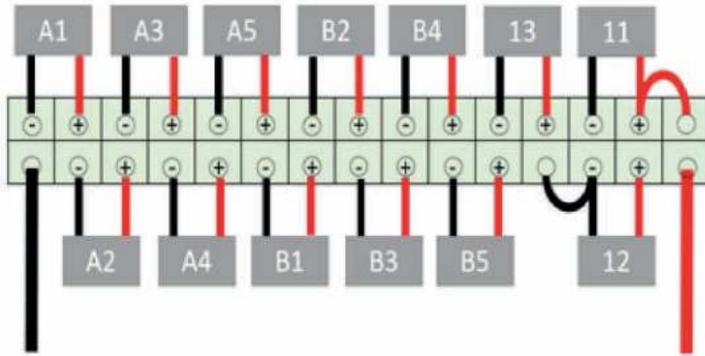


Figura 10.29. Conexión de módulos en la bornera

Fuente: Los autores

10.9 Resultados de la implementación

Los resultados de la implementación de los 13 módulos en el escape del Gurgel deben ser vistos desde los dos puntos de operación del ATEG. El punto mínimo y el punto máximo de producción de energía se dan cuando el vehículo está detenido y en movimiento, respectivamente. El arreglo de módulos denotado en la Figura 10.30 fue el implementado después de haber probado teóricamente que es el más eficiente a la hora de entregar el voltaje y la corriente adecuada para el banco de carga.



Figura 10.30. Mediciones del sistema de regulación. (A) Carro detenido. (B) Carro en movimiento.

Fuente: Los autores

Por lo tanto, como se muestra en la Figura 10.30, cuando el vehículo está detenido el generador produce 4,486V de voltaje con carga y una corriente de 0.135A. Por otro lado, cuando el vehículo se mueve, los módulos generan 7.07V y una corriente de 0.333A, dando como resultado 2.35W de potencia. Estos valores medidos en la práctica con el multímetro son muy parecidos a los calculados teóricamente en la Tabla 11.13, esto es normal debido al margen de error de medición.

CAPÍTULO XI

Conclusiones finales

CAPÍTULO XI

Conclusiones finales

11.1 Conclusiones finales

La sociedad sigue utilizando energías no renovables, aunque con miras a la eliminación por parte de algunos países en 30 años, sin embargo para otros esto sigue siendo una utopía. Por esta razón realizar investigaciones cuyo fin es evitar una mayor utilización de energías no renovables, por medio de aplicaciones electrónicas en dispositivos en movimiento, es contribuir a la disminución del impacto ambiental, futuras dificultades de abastecimiento o a la dependencia energética con la que se vive día a día.

La primera contribución de este libro consistió en la elaboración de un prototipo de carro para niños que emplea una fuente de energía renovable, la cual ha permitido reducir el tiempo de recarga ampliando el tiempo en que el niño puede usar el vehículo puesto que se está recargando mientras se lo está usando. De esta manera se evita el uso del cargador de pared reduciendo gastos en consumo de electricidad, adicionalmente se mejora su control empleando un dispositivo móvil desde el cual se puede guiar su movimiento y ubicación. El uso de un panel solar es la solución que permite al usuario emplearlo por un mayor periodo sin necesidad de la recarga con energía eléctrica de la red de distribución, además puede convertirse en una solución rentable y atractiva a considerar por los consumidores finales.

Por otro lado, el Arduino Uno utilizado facilitó la tarea del accionamiento y control del motor del carro, así como también la incorporación del módulo Wi-Fi para ayudar el envío y recepción de peticiones desde el Smartphone, aun en grandes distancias. Este prototipo es escalable y permite la adición de funcionalidades, que proporcionen un mejor uso y control puesto que los componentes como el Arduino y la aplicación móvil brindan la flexibilidad para ello.

Finalmente se debe considerar que los paneles solares, dependiendo del modelo del carro en el que se desee implementar, pueden colocarse en

cualquier ubicación siempre y cuando tenga la incidencia directa de la radiación solar para realizar su función. En el caso de que no se cuente con la misma, para poder alimentar la batería del carro, por factores climáticos u otros, el carro podría poseer un puerto auxiliar mediante el cual se pueda realizar la recarga. Se espera que en el futuro este trabajo realizado sea de base para incorporar funciones adicionales donde se utilice una placa de Arduino que brinde más salidas para el accionamiento de más dispositivos que den estas nuevas funcionalidades; o en el caso de optar por otra tecnología que permita la comunicación entre el carro y la aplicación móvil podría estudiarse el uso de alguna red que tenga un mayor alcance y pueda ser utilizada con el soporte que brinde el Smartphone o Tablet a emplear, como por ejemplo Xbee.

Por otro lado y como segunda contribución se presentó una implementación que tiene como fin la reutilización de la energía térmica de un auto y convertirla en eléctrica, construyendo un sistema completo ATEG lo más eficiente posible con el propósito de que facilite nuevas utilidades e investigación sobre el manejo de la energía térmica.

Se concluye que para obtener un prototipo funcional es necesario tomar en cuenta la ubicación, eficiencia y diferencia térmica de los módulos a instalar. Las variables externas en relación a los módulos también inciden en el desempeño del sistema, además el sistema de regulación depende del rendimiento de los módulos para suministrar la energía necesaria para las cargas externas.

Por lo cual el lugar óptimo para la implementación de los módulos termoeléctricos en el Volkswagen Gurgel se encuentra justo en la salida de los gases de escape que provienen de la cámara de combustión del motor. Los módulos instalados en esta sección del tubo de escape tuvieron un rendimiento superior a los ubicados en otras secciones. Estos módulos son componentes muy delicados y se debe tener un cuidado especial al momento de ubicarlos. Los deterioros más comunes fueron: desprendimiento de los terminales y rompimiento de los módulos. Por eso, cuando se ubica un módulo en el intercambiador de calor, no se lo debería cambiar de posición.

El desempeño del generador depende directamente de la temperatura. En el caso de este trabajo, por la disposición y el ensamblaje del ATEG, existen variables externas que intervienen en la temperatura de la misma. Entre ellas se pueden mencionar las revoluciones por minuto, el flujo de aire y los puntos de contacto entre el escape y los intercambiadores. Debido a lo anterior, la mayor diferencia de temperatura se obtiene cuando el vehículo está en movimiento, ya que las revoluciones por minuto se elevan y generan una mayor cantidad de gases incinerados en el escape incrementando la temperatura en el intercambiador de calor. La otra cara del módulo se enfría por medio del flujo de aire resultante del movimiento del vehículo, que atraviesa los dientes de los disipadores.

El voltaje que el generador produce es mayor a 5V, variables cuando el vehículo está en movimiento. Para alimentar al banco de carga, el regulador es capaz de nivelar este voltaje a 5V estables, lo necesario para cargar la batería del banco de carga la cual necesita un voltaje entre 3.7V y 5V. Los módulos termoeléctricos implementados utilizaron la energía térmica en el sistema de escape, desperdiciada por el motor para producir 2.35W de potencia. La cual es usada para cargar los dispositivos móviles dentro del vehículo.

La generación de energía eléctrica de los módulos es más eficaz cuando se encuentran expuestos a temperaturas altas. Por ejemplo, el TEG produce más energía a una diferencia de temperatura de 50°, con una temperatura alta de 250°, que una diferencia igual, con una temperatura alta a 120 °Celsius. La resistencia interna de los módulos es variable según ΔT . Una diferencia alta reduce la resistencia interna y viceversa. Por otro lado, el regulador de tensión tipo Buck fue capaz de reducir y estabilizar el voltaje de salida de los módulos cuando el vehículo está en movimiento. El regulador empieza a nivelarse cuando el voltaje de salida de los módulos está alrededor de 7 y 7,5V y se mantendrá así hasta los 30V que puede soportar el LM7805.

En las modificaciones futuras, se debe tomar en cuenta que la eficiencia del generador termoeléctrico puede ser mejorada al incrementar la diferencia de temperatura en las caras de los módulos. Las posibilidades incluyen aislamiento, el uso del flujo del viento y el uso del refrigerante del vehículo.

Con respecto al aislamiento, se pueden desarrollar o fabricar cauchos que impidan el contacto de las abrazaderas con los intercambiadores de calor y el disipador. Esto no permitiría o disminuiría el traspaso de energía térmica desde el intercambiador hasta los dientes del disipador por medio de las abrazaderas.

Con las mejoras indicadas anteriormente, se podría incrementar significativamente la diferencia de temperatura y a su vez la eficiencia de cada uno de los módulos. Debido a esto el arreglo de los módulos podría cambiarse dependiendo, nuevamente del requerimiento del sistema. Y en el caso de que se quiera utilizar la energía de los módulos para otro objetivo donde se requiera más potencia generada, se deberá implementar una mayor cantidad de módulos y que estos a su vez tengan las características de funcionamiento que requiera dicho trabajo.

El generador termoeléctrico desarrollado en este proyecto e instalado en el Volkswagen Gurgel es un prototipo, el cual fue diseñado exclusivamente para este vehículo. Por consiguiente, no puede ser implementado de igual forma en otros debido a diferentes factores tales como la forma y el espacio alrededor del sistema de escape, la cantidad de cilindros, la temperatura, entre otros. Por lo tanto, la implementación del TEG deberá modificarse según el estudio previo que se realice al vehículo.

Los dos casos mostrados en este libro exponen alternativas para una mejor utilización de la energía, en el primero como un prototipo que integra las energías renovables como parte de un vehículo para niños unido a todas las ventajas tecnológicas que el auto aporta, tanto al bienestar personal como al ecosistema. En el segundo, se aprovecha el calor residual que abandona un equipo interno de un auto que luego de haber entregado su energía en un proceso preliminar, existe un alto porcentaje de la misma que es desechada, esta aplicación la aprovechó para fines similares al caso uno, proteger el medio ambiente además de apoyar futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Adavbiele, A. S. (2013). *Generation of Electricity from Gasoline Engine Waste Heat. Journal of Energy Technologies and Policy*, 3, 16-33.

Allen, G., & Murphy, M. (2011). *Beginning Android 4*. New York: Apress.
Alonso, J. M. (1998). *Técnicas del automóvil. Equipos Eléctricos*. Madrid: Paraninfo.

Álvarez, J. D. (2008). Formulación de guía técnica para la implementación de sistemas fotovoltaicos residenciales en el Salvador. Recuperado de Departamento de Electrónica e Informática, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas": http://dei.uca.edu.sv/conuca/archivos/fichas/10_Ficha_109_ARTICULO%20TESIS.pdf

Amaldi, A., & Tang, F. (2013). *Thermoelectric Generator Power Converter. Proceedings of the 11th European Conference on Thermoelectrics*, 151-166.

Amaro, J. (2011). *Android: Programación de dispositivos móviles a través de ejemplos*. Barcelona: Marcombo.

Android Inc. (2015). Android. Recuperado de <https://www.android.com/versions/lollipop-5-0/>

Arduino. (2015). Arduino. Recuperado de <https://www.arduino.cc/>

Ariza, J. O. (2011). La célula solar más eficiente. Recuperado de Universidad Complutense Madrid: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/otri/cult_cient/infocientifica/descargas/concurso%20divulgacion%2008/la_celula_solar_mas_eficiente.pdf

Ashari, M., Rahman, A. A., & Sulaiman, S. (2014). *Electrical and ConFfiguration Characterization of Thermoelectric Generator Modules. Proceedings of the 11th European Conference on Thermoelectrics*, 205-211.

Asquith, D. (2014). *Wide Bandwidth Measurement Techniques for 802.11ac WLAN Devices*. Microwave Product Digest.

AUDI. (2015). Kiddy. Recuperado de Kiddy: <http://www.kiddy-ar.com/productos/audi-r8/>

Auparay, N. (2013). *Room Temperature Seebeck Coefficient Measurement of Metals and Semiconductors*. Oregon State University, Oregon.

AutoBild. (02 de mayo de 2012). AutoBild. Recuperado de <http://www.autobild.es/noticias/fahrradi-farfalla-ffxel-superdeportivo-a-pedales-183569>

Azcárraga, J. A. (2010). Albert Einstein y su Ciencia. Recuperado de <http://www.uv.es/~azcarrag/pdf/EINSTEIN-RSEF-05.pdf>

Banzi, M. (2011). *Getting Started with Arduino*. O'Reilly.

Barrett, S. (2013). *Arduino Microcontroller Processing for Everyone!* Wyoming: Morgan & Claypool Publishers.

Bass, J., Kushch, A., & Elsner, N. (2001). Thermoelectric Generator (TEG) for heavy Diesel Trucks. Número 1. Recuperado del sitio de internet Hi-Z Technology, Inc: http://www.hi-z.com/uploads/2/3/0/9/23090410/6._ict_2001_beijingchina.pdf

Baxter, E. (2009). How often should I replace my car battery?, How Stuff Works. Recuperado de <http://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/vehicle-maintenance/often-replace-car-battery1.htm>

Bell, L. E. (2008). *Cooling, Heating, Generating Power and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems*. *Science*, 1457-1461.

Bhatia, V., & Gupta, D. (2015). *Throughput and Delay Analysis of Wireless LAN Security Protocols Implementing NS2*. *International Journal of Applied Engineering Research*, 19031-19048.

BMW Group. (2011). Looking for the next gram. Recuperado de https://www.press.bmwgroup.com/united-kingdom/pressDetail.html?title=looking-for-the-next-gram&outputChannelId=8&id=T0119853EN_GB&left_menu_item=node__5236

BOSCH. (s.f). Manual de baterías Bosch. Recuperado de http://www.autorex.com.pe/automotriz/sistema_electrico/pdf/manualbaterias.pdf

Boxall, J. (2013). *Arduino Workshop*. San Francisco: No Starch Press.

Boxwell, M. (2012). *Solar Electricity Handbook*. Greenstream Publishing.

Brochard, J. (2001). *XML: conceptos e implementación*. Barcelona: Ediciones ENI.

Capano, G., Mozzone, M., & Kar, M. C. (2013). *Study of the Electric Power Balance in a Vehicle for the Choice of the Battery*. *Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 1-6.

Carles, J. (2012). *Introducción a los sistemas de navegación por satélite*. Barcelona: UOC.

Carretero, A. (2009). *Electrónica*. Editex.

Carrillo, E. (2009). UPCOMMONS. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7170/MEMORIA%20TECNICA.pdf?sequence=1>

Castellano, R. (2010). *Solar Panel Processing*. París: Archives contemporaines.

Castro, E., & Hyslop, B. (2011). *HTML5: Visual QuickStart Guide*. Peachpit Press.

Chancusig, F. (14 de noviembre de 2014). Análisis Técnico-Económico para la inserción de vehículos eléctricos en el sistema eléctrico ecuatoriano. Recuperado de Bibdigital: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8649/1/CD-5818.pdf>

Cobo, R. (2012). Servomotores. Recuperado de El abc de la automatización: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf> Colville, M. (11 de noviembre de 2011). Copenhagenize. Recuperado de <http://www.copenhagenize.com/2011/11/danish-cycling-pioneer-carl-georg.html>

Concejero, J., Benjumea, J., Rivera, O., Rodriguez, J., Romero, M., Sanchez, G., & Sivianes, F. (2014). *Redes locales*. Llanera: Ediciones Paraninfo.

Cóndor, S., & Valarezo, J. (2009). *Diseño de una planta de calentamiento indirecto de crudo mediante trietilenglicol con una capacidad de 11000 barriles por día para la estación Shushufindi Norte de Petroproducción*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.

CONELEC. (agosto de 2011). CONELEC. Recuperado de http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10046_Folleto%20Resumen%202010.pdf

Davis, S. (2014). System-on-a-Chip IC Enables Power Bank To Extend Life Of Battery-Powered Devices. Power Electronics. Recuperado de <http://powerelectronics.com/pmics/system-chip-ic-enables-power-bank-extend-life-battery-powered-devices>

Dousti, M. J., Petraglia, A., & Pedram, M. (2015). *Accurate Electrothermal Modeling of Thermoelectric Generators*. 2015 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), 1603-1606.

Durán, M., Guerrero, G., & Claudio, A. (2009). *Determinación de los requerimientos de par, velocidad angular y potencia para el motor de un vehículo eléctrico*. Congreso Anual 2009 de la Asociación de México de Control Automático, 1-6.

Ebel, F., & Idler, S. (2008). *Fundamentos de la técnica de automatización*. Denkdorf: Festo Didactic.

Echevarría, R. (2002). *Síntesis de un regulador monofásico de tomas C.A. para aplicaciones de media y baja tensión*. Manuscrito inédito, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Tecnológico Nacional de México, México D.F., México.

El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Norwood: Artech House.

Escudero, S., Gonzáles, J., & Rivas, J. L. (2011). *Motores*. Iberia: Macmillan Iberia, S.A.

Espinosa, N., Lazard, M., Aixala, L., & Scherrer, H. (2010). *Modeling a Thermoelectric Generator Applied to Diesel Automotive Heat Recovery*. *Journal of Electronic Materials*, 1446-1455.

Evans, B. (2011). *Beginning Arduino Programming*. Apress.

Evans, R. (2006). *Increasing the efficiency of lean-burn automotive engines*. *International Journal of Environmental studies*, 441-452.

Foster, R., Majid, G., & Alma, C. (2009). *Solar Energy: Renewable Energy and the Environment*. Boca Raton: CRC Press.

Freeman, C. (2014). *The Magnificent Power Of Solar Energy*. KMSPublishing.

Galera, V. (2002). *Simulador convertidores DC - DC*. Manuscrito inédito, Dept d'Eng. Electrónica Eléctrica, i Automática, Escola Técnica Superior d'Enginyeria, Universitat Rovira I Virgili, Cataluña, España.

Gálvez, R. (2010). La temperatura del motor, cómo funciona el sistema. Guiteca. Recuperado de <http://www.guoteca.com/mecanica-automotriz/la-temperatura-del-motor-como-funciona-el-sistema/>

Garg, V. (2010). *Wireless Communications & Networking*. San Francisco: Morgan Kaufmann.

Gargenta, M., & Nakamura, M. (2014). *Learning Android: Develop Mobile Apps Using Java and Eclipse*. O'Reilly Media.

Geeetech. (2014). Geeetech. Recuperado de <http://www.geeetech.com/arduino-yun-shield-p-914.html>.

Geier, J. (2010). *Designing and Deploying 802.11n Wireless Networks*. Indianapolis: Pearson Education.

Girones, J. (2013). *El Gran Libro de Android*. Barcelona: Marcombo.

González, A., Rodríguez, P., & Sancho, J. (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Barcelona: Publicacions de la Universitat Jaume I.

González, M., Mas, J., & Vidal, F. (2011). *Sistemas de seguridad y confortabilidad*. Editex.

Gopi, S. (2005). *Global Positioning System: Principles And Applications*. New Delhi: McGraw-Hill.

Goupil, C., Seifert, W., Zabrocki, K., Muller, E., & Snyder, G. J. (2011). *Thermodynamics of Thermoelectric Phenomena and Applications*. Entropy, 1481-1517.

Gratton, D. A. (2013). *The handbook of personal area networking technologies and protocols*. Cambridge University Press.

Green, R., & Zechner, M. (2012). *Beginning Android Games*. Apress.

Grimmett, R. (2014). *Arduino Robotic Projects*. Packt Publishing Ltd.

Haseman, C. (2011). *Creating Android Applications: Develop and Design*. Berkely: Peachpit Press.

Hayt, W. H., Kemmerly, J. E., & Durbin, S. M. (2007). *Handy Circuit Analysis Techniques*. En W. H. Hayt, J. E. Kemmerly, & S. M. Durbin (8 Ed.), Engineering Circuit Analysis. (pp. 133-151). New York: McGraw-Hill.

Hendrick, J., & Ghümann, C. (2014). *Adaptive Control of a Boost-Buck Converter for Thermoelectric Generators*. European Control Conference, 2121 - 2126.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2012). *Global Positioning System: Theory and Practice*. Maryland: Springer Science & Business Media.

Huircán, J. I. (2012). *Reguladores de Tensión*. Manuscrito inédito, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

IBN Tech Live. (2014). IBN. Recuperado de <http://www.ibnlive.com/news/india/android-5-0-lollipop-10-highlights-of-the-latest-version-of-googles-android-operating-system-720503.html>.

IDC. (Mayo de 2015). IDC. Recuperado de <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>.

INER. (2012). Línea de Investigación: Energía Solar. Recuperado de INER: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdf

Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias.

IPCC. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. Potsdam: Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

ISO. (s.f.). ISO 9241-11. *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals*. 1998.

Jaramillo, P. (25 de 07 de 2012). DAPROSE. Recuperado de <http://daprose.net/energia/?p=33>

Jipping, M. (2007). *Smartphone Operating System Concepts with Symbian OS*. John Wiley & Sons.

Kaplan, E., & Hegarty, C. (2005). *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House.

Karri, M. A. (2005). *Modeling of an Automotive Exhaust Thermoelectric Generator*. Clarkson University, Potsdam.

Kavanagh, P. (2004). *Open Source Software: Implementation and Management: Implementation and Management*. Digital Press.

Khamayseh, Y., Mardini, W., Al-Hijawi, R., Jaradat, R., & Mouftah, H. (2015). *Prediction-based Schemes for Coexistence in Personal Wireless Networks*. Adhoc & Sensor Wireless Networks, 259-285.

Klein Altstedde, M., Rinderknecht, F., & Friedrich, H. (2014). *Integrating Phase-Change Materials into Automotive Thermoelectric Generators*. *Journal of Electronic Materials*, 43, 2134-2140.

Komatineni, S., & MacLean, D. (2012). *Pro Android 4*. Apress.

Korzhuev, M., & Kating, I. (2010). *On the Placement of Thermoelectric Generators in Automobiles*. *Journal of Electronic Materials*, 1390-1394.

Kumar, C. R., Sonthalia, A., & Goel, R. (2011). *Experimental Study on Waste Heat Recovery from an IC Engine Using Thermoelectric Technology*. *Thermal Science*, 15 (4), 1011.

Langarica, D. (13 de octubre de 2010). Control de un Motor Brushless para Aplicación a Vehículos Eléctricos. Recuperado de CENIDET: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/243MC_dlc.pdf

Lee, W.-M. (2012). *Beginning Android 4 Application Development*. John Wiley & Sons.

Letham, L. (2001). *GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global*. Barcelona: Paidotribo.

Li, M., Xu, S., Chen, Q., & Zheng, L.-R. (2011). *Thermoelectric-Generator-Based DC–DC Conversion Networks for Automotive applications*. *Journal of Electronic Materials*, 1136-1143.

Liu, C., Pan, X., Zheng, X., Yan, Y., & Li, W. (2015). *An experimental study of a novel prototype for two-stage thermoelectric generator from vehicle exhaust*. *Journal of the Energy Institute*, 1-11.

López, A. (2002). Puertos USB - Bus Serie Universal y descripción de la norma IEEE 1394. Recuperado del sitio de Platea: http://platea.pntic.mec.es/~alopez1/web_Eldad/_gs_srca/CI/Puertos%20USB.pdf.

Man, E., Schaltz, E., & Rosendahl, L. (2013). *Thermoelectric Generator Power Converter System Configurations: A Review*. *Proceedings of the 11th European Conference on Thermoelectrics*, 151-166.

Margolis, M. (2011). *Arduino Cookbook*. O'Reilly Media.

Martin, J. (2015). How to improve smartphone battery life: 10 tips and tricks to make your phone's battery last longer. PC Advisor. Recuperado de <http://www.pcadvisor.co.uk/how-to/mobile-phone/how-improve-smartphone-battery-life-3284240/>

McRoberts, M. (2013). *Beginning Arduino*. Apress.

Melgar, A. (2012). *Introducción a los motores de combustión interna alternativos*. Valladolid: Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica.

Merino, L. (2010). Fundación de energía de la Comunidad de Madrid. Recuperado de Fundación de energía de la Comunidad de Madrid: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos.pdf>

Michellini, Z. (16 de febrero de 2014). Cosas que no sabías sobre los cargadores USB para celulares. El País. Recuperado de <http://elpais.com.uy/>

Miller, S. (3 de junio de 2010). Team ECO-Fast: Velomobile. Recuperado de OIT: http://www.oit.edu/faculty/hugh.currin/velo/Velo-Final_09-10.pdf

Mohammad, M. (2012). *Developments in Wireless Network Prototyping, Design, and Deployment: Future Generations: Future Generations*. IGI Global.

Molas, L., Ferrater, C., Gomis, O., Sudrià, A., Boix, O., Benítez, I., Villafuella, L. (Noviembre de 2006). Integración internacional de plataformas de enseñanza a distancia de automatización con PLCs. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de IEEE-RITA: <http://rita.det.uvigo.es/200611/uploads/IEEE-RITA.2006.V1.N1.A1.pdf>

Montecucco, A., Siviter, J., & Knox, A. R. (2014). *The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel*. Applied Energy, 47-54.

Nagoyoshi, H., Tokumisu, K., & Kajikawa, T. (2007). *Novel Maximum Power Point Tracking Control System for Thermoelectric Generator and Evaluation of Mismatch Power Loss Reduction. Proceedings of the 5th European Conference on Thermoelectrics*, Sección 19.

Nahavandipoor, V. (2014). *iOS 8 Swift Programming Cookbook*. O'Reilly Media.

Nathan, A. (2013). *Windows 8.1 Apps with XAML and C# Unleashed*. Sams Publishing.

Open Source Hardware Association. (2014). Open Source Hardware Association. Recuperado de <http://www.oshwa.org/definicion/spanish/>

Ostrander, J. (2012). *Android UI Fundamentals: Develop & Design*. Peachpit Press.

Owen, R. (2013). *Energy from the Sun: Solar Power*. The Rosen Publishing Group.

Patterson, G., y Sobral, M. (2007). *Efecto Peltier*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Peña, C. (2011). *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. Universidad Carlos III, Madrid.

Pintado Sanjuán, P. (2000). *Transmisión*. Castilla: Universidad de Castilla La Mancha.

Ponzano, E. A. (2009). Teorema de la máxima transferencia de potencia. Recuperado del sitio de Internet de Universidad Nacional de la Plata: http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/tcieye/Tci/Documentos/Apuntes/TEMA_03_Teor_max_transf_energia.pdf

Portales, R. (2015). *Mastering Android Game Development*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.

Purdy, K. (2011). *The Complete Android Guide*. 3ones Inc.

Rackley, S. (2011). *Wireless Networking Technology: From Principles to Successful Implementation*. Elsevier.

Robert Bosch GmbH. (2007). *Starter Batteries*. En R. B. GmbH, *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics (5 ed)*. Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics. (pp. 400-427). Plochingen, Germany: Robert Bosch GmbH.

Rodríguez Pozueta, M. A. (2015). Máquinas de Corriente Continua. Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de Universidad de Cantabria: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Maquinas%20cc.pdf>

Roldán, J. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.

RollPlay. (2013). 12V Chevy Silverado. Recuperado de Rollplay: http://www.toysrus.com/graphics/media/trus/Aplusplus/2015/5_14_15/52807826/rollplay-12v-chevy-silverado-52807826_UserManual.pdf

Root, M. (2010). *The TAB Battery Book: An In-Depth Guide to Construction, Design, and Use*. McGraw Hill Professional.

Ruiz, G. (2001). *Electrónica Básica para Ingenieros*. Recuperado del sitio de Internet de Universidad de Cantabria: <http://www.cartagena99.com/recursos/electronica/apuntes/Electronica%20Basica%20Para%20Ingenieros.pdf>

Salinas, A., & Parreño, A. (2011). *Montaje de un turbocompresor a un motor de combustión interna a carburador para aumentar rendimiento e incorporarlo al laboratorio de vehículos de la escuela de ingeniera automotriz*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

Schemansky, K., & Landen, B. (2013, julio 21). Enable Automotive USB Power: Managing the Increasing Currents, Longer Cables, and Tight Portable-Device Specifications. Maxim Integrated. Recuperado de <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5709>

Schwaber, K., & Beedle, M. (2002). *Agile Software Development with Scrum*. Prentice Hall.

Schwartz, M., & Buttigieg, S. (2014). *Arduino Android Blueprints*. Packt Publishing Ltd.

Schwarz, R., Dutson, P., Steele, J., & To, N. (2013). *The Android Developer's Cookbook: Building Applications with the Android SDK*. Addison-Wesley.

SENPLADES. (2012). Plan Nacional del Buen Vivir. Recuperado de <http://plan.senplades.gob.ec/estrategia7>

Sherman, L. (2010). The Basics of USB Battery Charging: A Survival Guide. Maxim Integrated. Recuperado de <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4803>

Simpson, C. (2011). Battery Charging. Recuperado del sitio de Internet de Texas Instruments Incorporated: <http://www.ti.com/lit/an/snva557/snva557.pdf>

Srinivasan, M., & Praslad, M. (2005). *Advanced Thermoelectric Energy Recovery System in Light Duty and Heavy Duty Vehicles: Analysis on Technical and Marketing Challenges*. Power Electronics and Drives Systems, 977 - 982.

Stabler, F. (2010). Automotive Thermoelectric Generator Design Issues. Recuperado del sitio de Internet de Thermoelectric Applications Workshop: https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/thermoelectrics_app_2009/wednesday/stabler.pdf

Stutz, M. (2001). Simple Parallel Circuits. All About Circuits. Recuperado de <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-5/simple-parallel-circuits/>

Su, C., Xu, M., Wang, W., Deng, Y., Liu, X., & Tang, Z. (2015). *Optimization of Cooling Unit Design for Automotive Exhaust-Based Thermoelectric Generators*. Journal of Electronic Materials, 44, 1876-1883.

Tang, Z., Deng, Y., Su, C., Shuai, W., & Xie, C. (2015). *A research on thermoelectric generator's electrical performance under temperature mismatch conditions for automotive waste heat recovery system*. Case Studies in Thermal Engineering, 143-150.

Tegpro. (2014). TE-MOD-10W4V-40. Recuperado de <http://www.tegmart.com/datasheets/TGPR-10W4V-40S.pdf>

Tegulator. (2013). MicroTEG. Recuperado de <http://www.tegulator.com/datasheets/MicroTEG.pdf>

Texas Instruments Incorporated. (2004). 7800 Series Positive-Voltage Regulators. Recuperado del sitio de Internet de SparkFun: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>

Texas Instruments Incorporated. (2013). TI SimpleLink™ CC3000 Module – Wi-Fi 802.11b/g Network Processor. Texas Instruments Incorporated.

Treviño, K., Giron, H., Flores, D., Bear, D., & Couttolenc, J. (2011). *Prototipo de cargador portátil para dispositivos móviles con interfaz USB, mediante energía alternativa*. Manuscrito inédito, Universidad Iberoamericana, Puebla, México.

UNESCO. (2014). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos*. Colombella, Italia: Secretaria del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.

Universidad de Córdoba. (2015). Fuente de tensión. Recuperado del sitio de Internet de Instrumentos Digitales: http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema_01/tema_01_11.pdf

Vavru, J., & Ujbanyai, M. (2014). *Android programming: Complete application programming guide*. Grada Publishing.

Villafuerte, K., Alcívar, J., & Holguín, J. (2014). *Maqueta didáctica de los sistemas eléctricos del automóvil*. Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil.

Wallace, J. (2012). *Android Apps for Absolute Beginners*. Apress.

Wei, H.-Y., Rykowski, J., & Dixit, S. (2013). *WiFi, WiMAX and LTE Multi-hop Mesh Networks*. John Wiley & Sons.

Weilguni, M., Franz, M., & Slyusar, N. (2012). *Feasibility Study and Life Cycle Energy Balance of Thermoelectric Generator Modules for Automotive Applications*. Electronics Technology (ISSE), 355-359.

Wens, M., & Steyaert, M. (2011). *Design and implementation of fully-integrated inductive DC-DC converters in standard CMOS*. Springer Science & Business Media.

Wiznet. (2013). Wiznet. Recuperado de <http://www.wiznet.co.kr/product-item/wizfi210/>

Wolter, L., Hayes, V., & Groenewegen, J. (2010). *The Innovation Journey of Wi-Fi: The Road to Global Success*. Cambridge University Press.

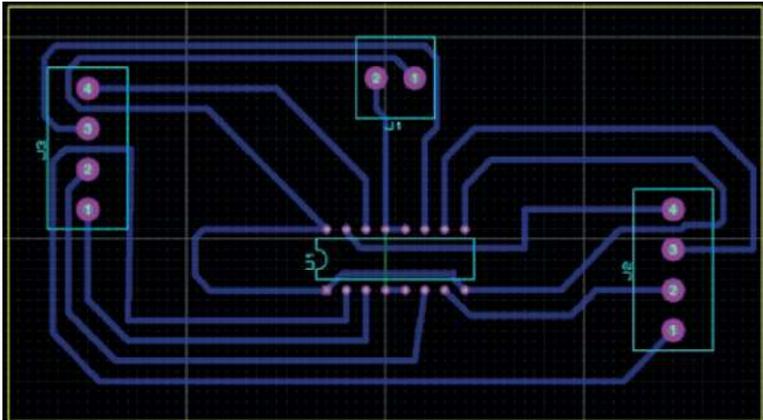
Yaghmour, K. (2013). *Embedded Android: Porting, Extending, and Customizing*. O'Reilly Media.

Yang, J., & Stabler, F. R. (2009). *Automotive Applications of Thermoelectric Materials*. Journal of Electronic Materials, 1245-1251.

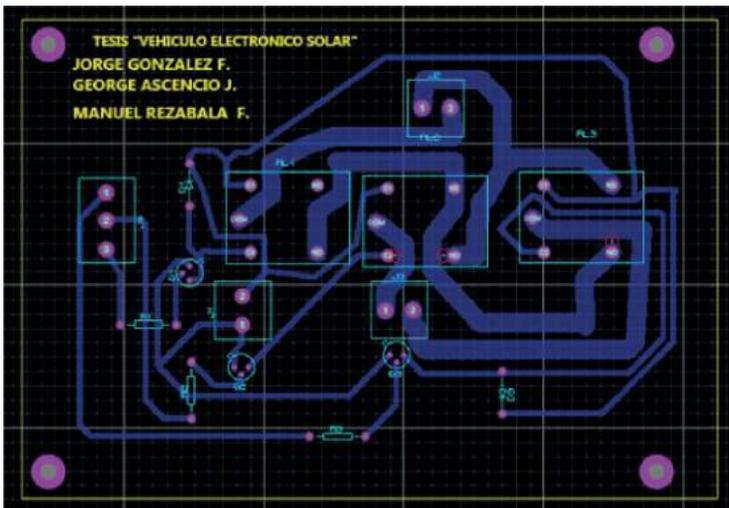
APÉNDICES

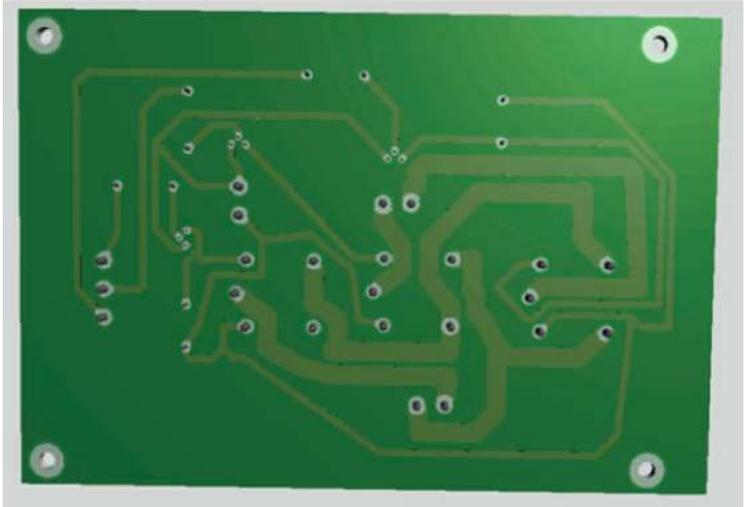
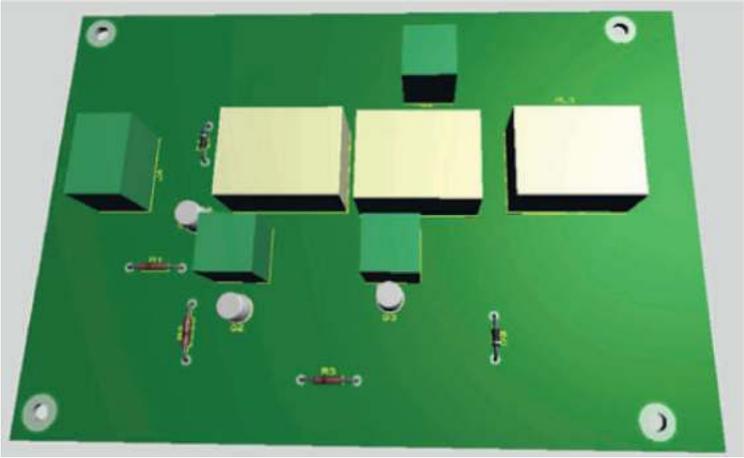
CASO I

Apéndice A: Placa realizada en Proteus del circuito de control de giro



Apéndice B: Placa realizada en Proteus del circuito de Aceleración y Retroceso y Diseño de la Placa en 3D con elementos electrónicos conectados

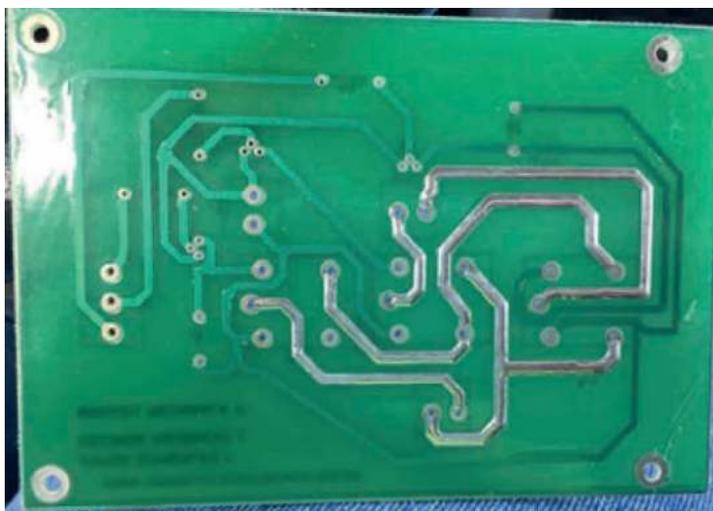
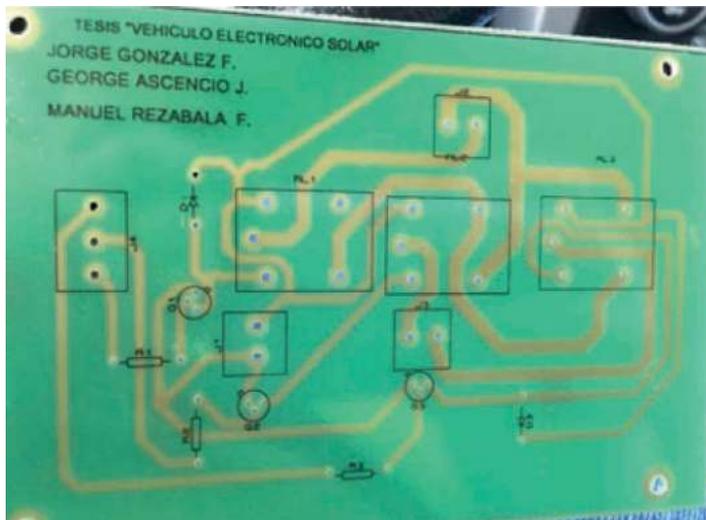




**Apéndice C: Soportes elaborados para instalar el panel solar en el
carro para niños**



Apéndice D: Placa elaborada para el circuito de control de aceleración



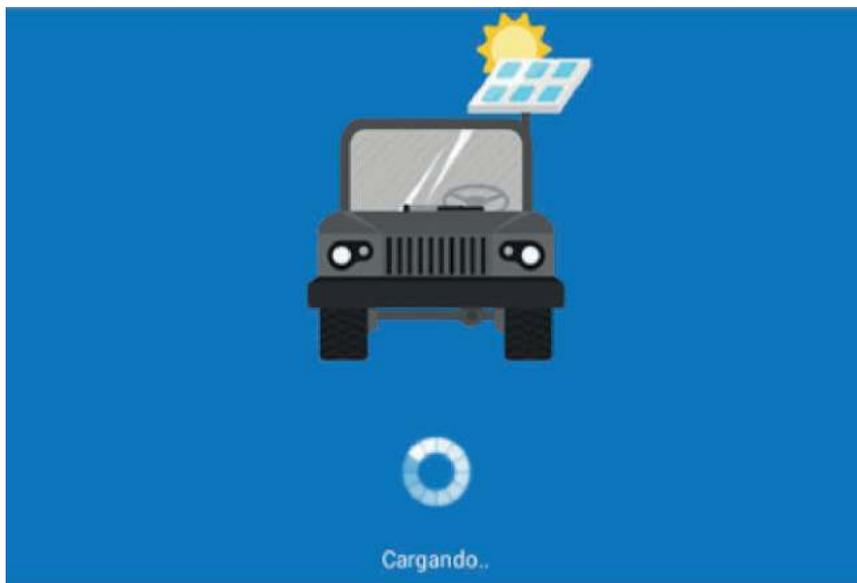
Apéndice E: Placa del circuito de control de aceleración con componentes soldados



Apéndice F: Modificación empleando engranajes para permitir el giro y movimiento de la dirección



Apéndice G: Pantalla de carga de la aplicación



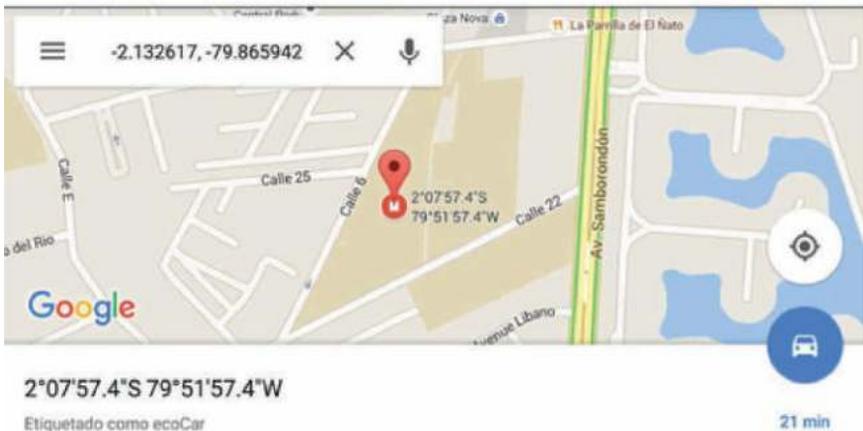
Apéndice H: Pantalla principal de la aplicación



Apéndice I: Pantalla principal. Opción de encendido y apagado de luces



Apéndice J: Pantalla de visualización de ubicación del CPN



Apéndice K: Visualización de contenido de ayuda que ofrece la aplicación



Manual de Usuario Eco Car

EcoCar	Versión 1.0
Manual de Usuario	Fecha: 02/01/2018
Manual de Usuario.docx	

Historial de Revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor

Contenidos

1. ¿Qué es ecoCar?.....	197
2. Funcionamiento.....	197
3. Funciones.....	199
3.1 Aceleración y retroceso del CPN.....	199
3.2 Giro del carro para niños.....	199
3.3 Ubicación geográfica del CPN.....	199
3.4 Encendido y apagado de luces del CPN.....	200

1. ¿Qué es ecoCar?

ecoCar es una aplicación que permite el control remoto de un carro para niños que emplea energía renovable para su funcionamiento. Su fortaleza es permitir a una persona que no necesariamente esté utilizando el carro para niños, guiarlo y ubicarlo.



2. Funcionamiento

Al iniciar la aplicación ecoCar en el Smartphone se despliega una pantalla de carga. Durante la visualización de esta pantalla se establece la conexión con el módulo Wi-Fi que se encuentra instalado en el carro para niños.



Posteriormente se presenta la pantalla principal de la aplicación. En la parte derecha de la pantalla se encuentran las opciones generales que son, de arriba hacia abajo: encendido del carro, encendido y apagado de luces, ubicación GPS, ayuda. Al presionar sobre cada una de estas opciones se ejecuta una acción que se refleja en el comportamiento del carro para niños.



El usuario presiona el botón de encendido que se encuentra en la esquina superior derecha para activar el carro. De esta manera activa las opciones de control de movimiento de forma que el usuario podrá interactuar con el carro para niños a distancia. El usuario puede acelerar y dar reversa, así como también girar a la izquierda o derecha.



3. Funciones

3.1 Aceleración y retroceso del carro para niños

El usuario de la aplicación deberá realizar los siguientes pasos para acelerar o retroceder el carro para niños:

- Ejecutar la aplicación instalada en Smartphone.
- Pulsar en la opción de acelerar o reversa que se muestra en la aplicación.



- El usuario observará el movimiento del carro para niños.

3.2 Giro del carro para niños

El usuario de la aplicación deberá realizar los siguientes pasos girar el carro para niños:

- Ejecutar la aplicación instalada en Smartphone.
- Pulsar en la opción de girar a la izquierda o la derecha que se muestra en la aplicación.



- El usuario observará el movimiento del carro para niños.

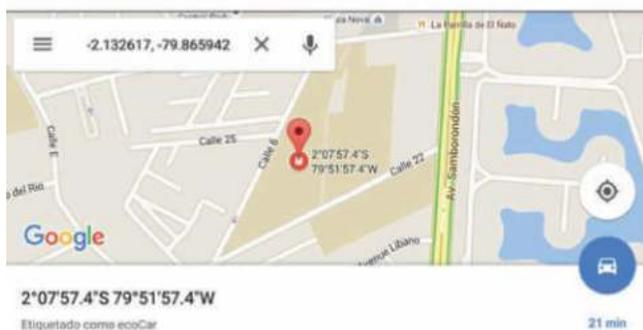
3.3 Ubicación geográfica del carro para niños

El usuario de la aplicación deberá realizar los siguientes pasos para visualizar la ubicación del carro para niños:

- Ejecutar la aplicación instalada en Smartphone.
- Pulsar en la opción para visualizar la ubicación que se muestra en la aplicación.



- El usuario observará en la pantalla del Smartphone un mapa en el que se marcan las coordenadas del carro para niños.



3.4 Encendido y apagado de luces del carro para niños

El usuario de la aplicación deberá realizar los siguientes pasos para visualizar la ubicación del carro para niños:

- Ejecutar la aplicación instalada en Smartphone.
- Pulsar en la opción para encender y apagar las luces que se muestran en la aplicación.



- El usuario observará cómo se encienden o apagan los faros del carro para niños.

CASO II

Apéndice A. Cocina eléctrica con regulación de temperatura.



Apéndice B. Cocina eléctrica con placa de aluminio.



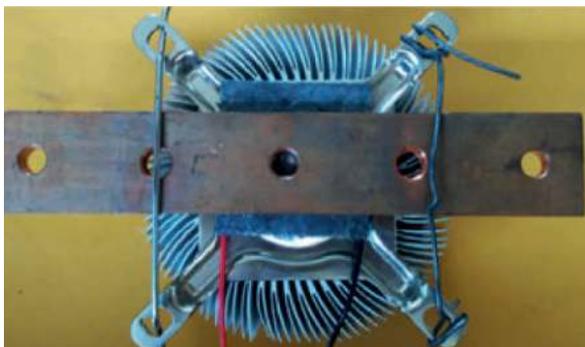
Apéndice C. Reservorio para pruebas de laboratorio.



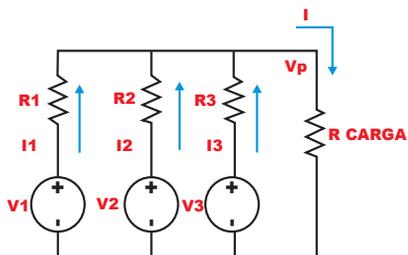
Apéndice D. Fuente de voltaje DC regulable.



Apéndice E. Prueba de módulo con disipador.



Apéndice F. Desarrollo de voltaje con tres módulos



$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$\frac{V_1 - V_P}{R_1}$$

$$\frac{V_2 - V_P}{R_2}$$

$$\frac{V_3 - V_P}{R_3}$$

$$\frac{V_1 - V_P}{R_1} + \frac{V_2 - V_P}{R_2} + \frac{V_3 - V_P}{R_3} = 0$$

$$R_2 R_3 (V_1 - V_P) + R_1 R_3 (V_2 - V_P) + R_1 R_2 (V_3 - V_P) = 0$$

$$R_2 R_3 V_1 - R_2 R_3 V_P + R_1 R_3 V_2 - R_1 R_3 V_P + R_1 R_2 V_3 - R_1 R_2 V_P = 0$$

$$-R_2 R_3 V_P - R_1 R_3 V_P - R_1 R_2 V_P = -R_2 R_3 V_1 - R_1 R_3 V_2 - R_1 R_2 V_3$$

$$V_P (-R_2 R_3 - R_1 R_3 - R_1 R_2) = -R_2 R_3 V_1 - R_1 R_3 V_2 - R_1 R_2 V_3$$

$$V_P = \frac{R_2 R_3 V_1 + R_1 R_3 V_2 + R_1 R_2 V_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}$$

Apéndice G. Datos de los módulos con respecto a su temperatura, vehículo detenido.

Módulo	Temperatura	V _{OC} (V)	R(Ω)	V _{OUT} (V) con R _{EQ}	I(A) con R _{EQ}	P(W) con R _{EQ}
A1	130 - 167	1.138	1.70	0.60	0.385	0.230
A2	100 - 125	0.729	1.46	0.31	0.250	0.080
A3	100 - 138	1.058	1.51	0.60	0.380	0.230
A4	130 - 140	0.389	1.62	0.20	0.120	0.020
A5	80 - 96	0.461	1.31	0.22	0.170	0.037
B1	100 - 125	0.563	1.48	0.32	0.230	0.074
B2	100 - 118	0.474	1.45	0.21	0.200	0.042
B3	130 - 160	0.919	1.60	0.50	0.360	0.180
B4	130 - 150	0.688	1.61	0.32	0.230	0.074
B5	80 -100	0.520	1.35	0.25	0.190	0.047
11	100 - 116	0.335	1.40	0.20	0.180	0.036
12	100 - 114	0.297	1.43	0.18	0.130	0.023
13	80 - 105	0.614	1.35	0.32	0.190	0.061

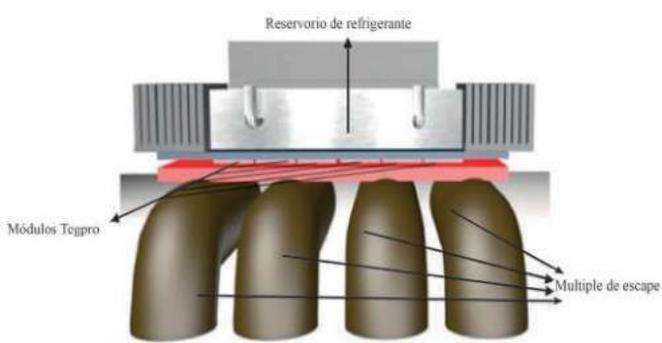
Apéndice H. Datos de los módulos con respecto a su temperatura, vehículo en movimiento.

Módulo	Temperatura	$V_{oc}(V)$	$R(\Omega)$	$V_{out}(V)$ con R_{EQ}	$I(A)$ con R_{EQ}	$P(W)$ con R_{EQ}
A1	100 - 162.5	1.870	1.60	0.95	0.61	0.550
A2	80 - 130	1.497	1.42	0.75	0.53	0.395
A3	80 - 140	1.701	1.48	0.85	0.58	0.489
A4	100 - 135	0.930	1.48	0.47	0.31	0.146
A5	70 - 100	0.713	1.28	0.36	0.28	0.099
B1	80 - 125	1.195	1.41	0.60	0.42	0.253
B2	75 - 112.5	1.090	1.35	0.55	0.40	0.220
B3	100 - 145	1.230	1.54	0.62	0.40	0.246
B4	120 - 150	0.840	1.60	0.42	0.26	0.110
B5	75 - 100	0.735	1.28	0.37	0.29	0.106
11	90 - 112.5	0.635	1.40	0.32	0.23	0.070
12	90 - 112.5	0.514	1.39	0.26	0.19	0.050
13	75 - 100	0.605	1.30	0.30	0.23	0.070

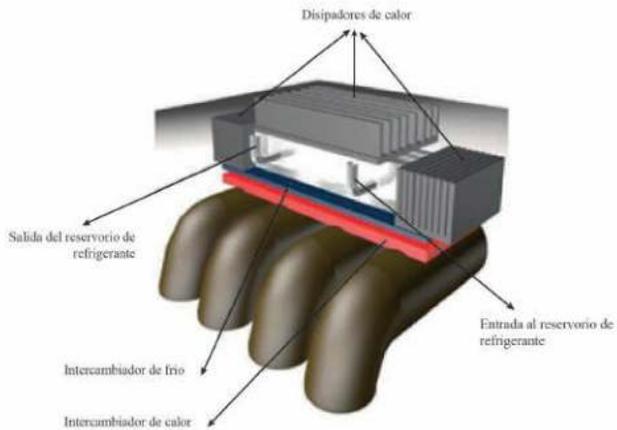
Apéndice I. Múltiple de escape del primer carro



Apéndice J. Vista frontal del diseño 3D de implementación de prototipo en el carro.



Apéndice K. Vista lateral del diseño 3D de implementación de prototipo en el carro.



Apéndice L. Implementación de prototipo en el vehículo.



Apéndice M. Formato de fórmulas para obtener el paralelo de dos módulos.

Módulo	I(A)	R(Ω)	V _{oc} (V)
1	$\frac{V_{oc1}}{R_1}$	R_1	V_{oc1}
2	$\frac{V_{oc2}}{R_2}$	R_2	V_{oc2}
Total	$\frac{V_{oc1}}{R_1} + \frac{V_{oc2}}{R_2}$	$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$\left(\frac{V_{oc1}}{R_1} + \frac{V_{oc2}}{R_2}\right) \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)$

Apéndice N. Configuraciones de los módulos, vehículo en movimiento.

	Configuración	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	R(Ω)
Serie +	(11 13)	12.930	0.3120	16.50
	(11 12)	12.980	0.3133	16.43
	(12 13)	12.996	0.3131	16.51
	(A4 B5)	12.715	0.3067	16.46
	(12 A5)	12.945	0.3120	16.52
	(11 12 13)	12.319	0.3110	14.89
	(11 12 13 A5)	11.706	0.3040	13.50

Nota: Para obtener estos valores se utilizó el teorema de Thevenin y Norton.

Apéndice Ñ. Configuraciones de los módulos, vehículo en movimiento.

ConFiguración	V _{oc} (V)	V _c (V)	P (W)	I (A)
Serie	8.185	4.093	1.134	0.277
Paralelo	0.760	0.380	1.134	2.985
C1	7.869	3.935	1.134	0.288
C2	7.359	3.680	1.134	0.308
C3	5.250	2.625	1.134	0.432
C4	4.636	2.318	1.134	0.489

Nota: Carga externa es equivalente a resistencia interna.

Apéndice O. TEG 1 en tubo de escape



Apéndice P. TEG 2 en tubo de escape.



Apéndice Q. TEG 3 en tubo de escape.



Apéndice R. TEG 4 en tubo de escape.



Apéndice S. Montaje del tubo de escape



Apéndice T. Borneras con conexiones de módulos.



Apéndice U. Vista interior de caja preliminar del sistema.



Apéndice V. Vista superior y lateral de caja preliminar del sistema.



Apéndice W. Volkswagen Gurgel utilizado para la implementación del sistema.



Apéndice X. Zona 2, 5 y 7 con ATEG implementado.



Glosario

CASO II

Coefficiente de Seebeck

Es la propiedad de transporte de un material. También se puede definir como la medida de la cantidad de potencia inducida por la diferencia de temperatura que existe entre dos puntos (Auparay, 2013).

Efecto Seebeck

La diferencia de voltaje de salida de los terminales de los módulos termoeléctricos es igual al coeficiente de Seebeck por la diferencia de temperatura que existe entre estas dos placas (Karri, 2005).

Efecto Peltier

El radio de absorción o disipación de calor de los terminales de los módulos termoeléctricos es definido por el coeficiente de Peltier multiplicado por la corriente que fluye entre las placas (Karri, 2005).

Efecto Thomson

El radio de absorción de calor por unidad de volumen es igual al coeficiente de Thomson por la corriente que fluye por las placas y el gradiente de temperatura entre ellas (Goupil, Seifert, Zabrocki, Muller, & Snyder, 2011).

Energía térmica

Energía conservada por un objeto o sistema gracias al movimiento de sus partículas dentro del objeto o sistema y es liberada en forma de calor (Capehart, 2007).

Energía eléctrica

Energía almacenada en partículas cargadas dentro de un campo eléctrico que genera una corriente eléctrica para obtener trabajo (Capehart, 2007).

Teorema de Thevenin

Es una técnica de análisis de circuitos que permite reducir un circuito completo con fuentes y resistencias, a excepción de la resistencia de carga, en una sola fuente de tensión independiente en serie con una resistencia (Hayt, Kemmerly, & Durbin, 2007, pág. 139).

Teorema de Norton

Es una técnica de análisis de circuitos que permite convertir una fuente de voltaje en serie con una resistencia en un equivalente compuesto por una fuente de corriente independiente en paralelo con una resistencia (Hayt, Kemmerly, & Durbin, 2007, pág. 139).

Impedancia Resistiva

Es la proporción entre la tensión fasorial y corriente fasorial en términos de ohms. Es simbolizada por la letra Z (Hayt, Kemmerly, & Durbin, 2007, pág. 387).

Fuente de Voltaje Ideal

Es aquella que suministra una tensión constante, independiente a la intensidad del circuito y presenta una resistencia interna de 0 ohm (Universidad de Córdoba, 2015).

Fuente de Voltaje Real

Es aquella que suministra una tensión constante y presenta una resistencia interna diferente a 0 ohm, que está conectada en serie con la fuente (Universidad de Córdoba, 2015).

Teorema de la máxima transferencia de potencia

Este teorema indica que la máxima transferencia de potencia entre el generador y una carga sucede cuando la impedancia de la carga empleada es igual a la impedancia del generador (Ponzano, 2009).

Seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT)

Es aquel punto donde los módulos termoeléctricos trabajan a su máxima potencia. (Nagoyoshi, Tokumisu, & Kajikawa, 2007).

Diferencia de temperatura de módulos

Es la resta del valor de temperatura del lado caliente del módulo y el lado frío del mismo (Ashari, Rahman, & Sulaiman, 2014).

Transferencia Térmica

La energía se transfiere entre dos puntos con diferentes temperaturas. El flujo de energía calorífica va en dirección al punto de baja temperatura. La temperatura se transfiere por medio de conducción, convección o radiación (Córdor & Valarezo, 2009).

El presente trabajo tiene el propósito de presentar 2 prototipos de equipos electrónicos con el objetivo de mostrar el uso de energías alternativas, ya sean renovables o de reutilización con el fin de producir energía eléctrica.

En el primer caso se desarrolló e implementó el prototipo del sistema conformado por un vehículo para niños en conjunto con una aplicación móvil, denominado ecoCar; bajo las premisas de buscar eficiencia en el uso de energía por medio de paneles solares, además otorgar control remoto sobre el componente y posicionamiento por medio de la geolocalización. Para la elaboración de dicho proyecto, se realizó un análisis comparativo de los equipos a utilizar y el respectivo diseño electrónico para el sistema de recarga de la batería que usa el carro, posteriormente se elaboraron las placas electrónicas y se ensambló.

Por otro lado en el segundo caso, se trata a la pérdida de energía como un problema de las máquinas de combustión interna que no ha podido ser resuelto aún. En este trabajo se presenta un prototipo de generador termoelectrónico automotriz (ATEG), que usa como fuente de energía el calor producido por el automóvil y lo transforma en energía eléctrica para alimentar dos puertos USB, para el cual se utilizó un arreglo de módulos serie-paralelo y un sistema de regulación reductor. Se concluye que estos módulos entregan mayor potencia, siempre y cuando trabajen en altas temperaturas y con alta diferencia térmica. Este prototipo servirá como base para futuros trabajos donde el arreglo de módulos y sistema de regulación dependerán del tipo de vehículo.



Centro
de Investigaciones



 [uees_ec](#)

 [universidadespiritusanto](#)

 www.uees.edu.ec

 Km. 2,5 La Puntilla,
Samborondón

ceninv@uees.edu.ec

Teléfono: (593-4) 283 5630 Ext: 178 - 150