



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Instituto de Ciencias Básicas y Aplicadas

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables

T E S I S

Desarrollo de un vehículo eléctrico con sistema solar fotovoltaico autónomo

Para obtener el grado de:

Maestro en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables

Presenta

José de Jesús Espinosa Chanona

Directores de Tesis

**Dr. Neín Farrera Vázquez
Dr. Pascual López de Paz**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Julio 2015.

Agradecimientos

Primeramente a Dios, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo y quien me ha sostenido en todo este tiempo.

Quiero agradecerle por todo, no me alcanzan las palabras para expresar el orgullo y lo bien que me siento por tener a una esposa tan maravillosa, el tiempo sigue pasando, y ahí estas, cerca de mi ofreciendo lo mejor que tienes, gracias por tu apoyo Patricia Espinoza Antonio.

Agradezco a la coordinación de la Maestría en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables y a la dirección de Investigación y Posgrado de la UNICACH, por permitir realizar mis estudios de Posgrado con el alto nivel académico que exige el PNPC.

De igual manera quiero expresar mi gratitud al CONACYT, por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría y apoyar de esta forma esta investigación.

Dedicatoria especial a mis asesores, quienes han tomado el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos, especialmente del campo y de los temas que corresponden este trabajo. Pero además de eso, han sido quienes han sabido en caminar por el camino correcto, y quien me ha ofrecido sabios conocimientos para lograr mis metas y lo que me proponga.

Y a la empresa INVEMEX que facilito su vehículo eléctrico como prototipo, equipos de medición y asesorías técnicas para las pruebas durante el desarrollo de la tesis.

Resumen

El presente trabajo muestra el desarrollo y funcionamiento de un vehículo eléctrico, impulsado con un sistema solar fotovoltaico autónomo para el aprovechamiento de la energía solar bajo diferentes condiciones de operación, donde la energía es aprovechada mediante un sistema con módulos fotovoltaicos instalados en la parte superior del mismo.

Los vehículos eléctricos actualmente utilizan solo energía convencional, tienen el problema que se descargan rápidamente, por lo que es importante incrementar su autonomía con energía limpia.

Para lograr el proyecto es necesario tener los siguientes antecedentes que involucran este trabajo como el análisis del estado del arte de los vehículos solares, vehículos Eléctricos, las características de los módulos fotovoltaicos, clasificación y funcionamiento de los componentes en un sistema autónomo fotovoltaico.

Los vehículos eléctricos recargan sus baterías con energía de la Red pública por la noche, para luego trabajar el siguiente día y estar conectándolo eventualmente el vehículo en horas de trabajo a la toma corriente para lograr terminar la jornada.

Se inicia el desarrollo de este trabajo con la evaluación del vehículo eléctrico y se procede a implementar el sistema solar fotovoltaico en el vehículo, para luego realizar los estudios previos en la evaluación y diseño del sistema, obteniendo resultados por arriba del 80 % de eficiencia en autonomía en kilómetros recorridos durante las pruebas realizadas considerando una radiación de 4.7 kw/m^2 día para estos resultados.

Con esto evitamos la conexión al toma corriente durante el día y disminuimos el tiempo de recarga eléctrica durante la noche, a la vez ayudando la disminución del calentamiento global con la reducción del uso de energía convencional y demostrando que la energía solar puede ser aplicada en un vehículo.

Índice General

Agradecimientos	I
Resumen	II
Índice de tablas	VII
Índice de figuras	VIII
Introducción	XI

Capítulo 1. Generalidades	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes de los vehículos eléctricos. (Estado del Arte)	2
1.2.1. Historia del vehículo eléctrico	4
1.2.2. Clasificación de los vehículos eléctricos, por su forma de recarga de energía	7
1.2.2.1. Vehículo eléctrico solar de energía autónomo	7
1.2.2.2. Vehículo eléctrico enchufable de energía recargable	13
1.2.3. Vehículos eléctricos en México	18
1.2.4. Propuestas para la aplicación de energía solar de autos eléctricos en México	21
1.2.5. Vehículos contaminantes de carga ligera en el Mundo	22
1.3. Conclusiones	24

Capítulo 2. Fundamentos Teóricos	25
2.1. Introducción	25
2.2. Clasificación de las fuentes de energías	26
2.3. Fuente de energía	29
2.3.1. El sol	29
2.3.2. Constante solar y radiación solar	31
2.3.3. Geometría del sol y tierra	31
2.3.3.1. Movimientos terrestres y variaciones temporales	32
2.3.3.2. Conceptos geométricos básicos	32
2.3.4. Ecuaciones para la radiación Solar en la Tierra	33
2.4. Efecto fotovoltaico	34
2.4.1. La célula fotovoltaica	34
2.4.2. Funcionamiento y tipos de Celdas Solares	35
2.4.3. Componentes de un sistema solar fotovoltaico	38
2.5. Componentes básicos de un vehículo eléctrico	40
2.5.1. La batería o acumulador	40
2.5.1.1. Tipos de baterías	41
2.5.1.2. Características técnicas de las baterías	43
2.5.1.3. Funcionamiento de las baterías	45
2.5.2. Motor eléctrico	46
2.5.2.1. Tipos de motores	46
2.5.2.2. Funcionamiento del motor eléctrico	47
2.5.3. Unidad de control electrónica	47
2.6. Vehículo eléctrico solar fotovoltaico	47
2.6.1. Cómo funciona un auto solar	48

2.7. Ventajas y desventajas del vehículo solar fotovoltaico	49
2.8. Conclusiones	51
Capítulo 3. Metodología	52
3.1. Introducción	52
3.2. Estudio del vehículo eléctrico prototipo a evaluar	53
3.2.1. Características técnicas del vehículo eléctrico	54
3.2.2. Evaluaciones del vehículo eléctrico	55
3.3. Desarrollo del sistema autónomo solar fotovoltaico al vehículo eléctrico	55
3.3.1. Dimensionado del sistema solar fotovoltaico autónomo	56
3.3.1.1. Conexión de los módulos fotovoltaicos	57
3.3.1.2. Conexión de las baterías	59
3.3.2. Caracterizar la radiación solar del lugar	60
3.3.3. Selección de los equipos eléctricos y electrónicos	61
3.3.4. Ubicación del área en el vehículo para los equipos eléctricos	63
3.3.5. Conexión del sistema eléctrico y sistema solar fotovoltaico	64
3.4. Técnicas de evaluación al vehículo eléctrico con el sistema autónomo solar fotovoltaico	66
3.4.1. Evaluar las características técnicas de los módulos instalados	66
3.4.2. Evaluación de las características técnicas del rendimiento al vehículo con el Sistema Solar Fotovoltaico con diferentes peso	66

Capítulo 4. Resultados	67
4.1. Resultados del vehículo eléctrico prototipo	68
4.1.2. Distancias recorridas del vehículo eléctrico	71
4.2. Resultados del vehículo eléctrico con el sistema autónomo solar	
Fotovoltaico	72
4.2.1. Resultados de evaluación a módulos fotovoltaicos	72
4.2.2. Características y recarga del banco de baterías del sistema	75
4.2.3. Evaluación con 130 kilogramos de peso en terrenos planos	77
4.2.4. Evaluación con 180 kilogramos de peso en terrenos planos	78
4.2.5. Evaluación con 130 Kilogramos de peso en Terrenos con Pendientes	79
4.2.6. Resultados del vehículo solar fotovoltaico con baterías de diferentes capacidades	81
Conclusiones	84
Bibliografía	86
Glosario de términos técnicos	89
Participaciones	93

Índice de tablas

Tabla I. <i>Concentración de Contaminantes en la Atmosfera</i>	XII
Tabla II. <i>Clasificación de las energías</i>	28
Tabla III. <i>Clasificación de las energías según su estado natural</i>	28
Tabla IV. <i>Radiación solar en Tuxtla Gutiérrez de diferente meses del año, INEGI 2014.</i>	61
Tabla V. <i>Variación del voltaje con respecto a la carga de las 5 baterías</i>	71
Tabla VI. <i>Variación del voltaje con respecto a la carga de 4 baterías</i>	76
Tabla VII. <i>Voltajes de descarga con respecto a los kilómetros máximos recorridos</i>	78
Tabla VIII. <i>Resultados de evaluación del vehículo con cargas diferentes</i>	80
Tabla IX. <i>Autonomía en distancia recorrida por capacidad de baterías</i>	83

Índice de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1. Primer Vehículo de Vapor (Cernuschi, 2005)	3
Figura 1.2. Automóvil de Karl Benz, Primer coche de combustión interna(Cernuschi, 2005)	3
Figura 1.3. Recarga energía el vehículo EV1, de corriente alterna (Pellicer, 1997)	5
Figura 1.4. Vehículo Emim One (México)	8
Figura 1.5. Coche solar, (Quiet Achiever en 1982)	8
Figura 1.6. Ruta transcontinental del automóvil a través de Australia, (World Solar Challenge)	9
Figura 1.7. Vehículo solar, el pampa solar (UNCPBA)	10
Figura 1.8. Carrera oficial de la WSC (World Solar Challenge)	10
Figura 1.9. Vehículo Solar Sunraycer (world solar challenge)	11
Figura 1.10. Eolian 2 vehículo solar (world solar challenge)	11
Figura 1.11. Auto solar Mexicano (Tonatiuh)	12
Figura 1.12. Estación de recarga solar honda y Toyota.	13
Figura 1.13. Bicho solar (Solar Bug) (EEUU)	14
Figura 1.14. Recarga de un vehículo eléctrico de CA. (Plan de Movilidad Eléctrica, MOVELE)	15
Figura 1.15. Vehículos eléctricos con recarga de energía convencional (INVEMEX)	15
Figura 1.16. Estructura de VEH	16
Figura 1.17. Vehículo híbrido (Toyota Prius)	17
Figura 1.18. Vehículo eléctrico (Renault Twizy)	17
Figura 1.19. Vehículo eléctrico (Zilent, México)	18
Figura 1.20. Vehículo, carrera Formula Sol. Foro Automotriz Tlaxcala Noviembre 2014	20
Figura 1.21. Estación de carga de baterías para VE	21
Figura 1.22. Sistema híbrido de recarga	21
Figura 1.23. Vehículo con motor a gasolina,(FIEE)	22
Figura 1.24. Distribución por tipo de vehículos en México, Fuente: INE, 2011.	23

Capítulo 2

Figura 2.1. Estructura del sol	30
Figura 2.2. Funcionamiento de una célula fotovoltaica	34
Figura 2.3. Estructura del módulo fotovoltaico	35
Figura 2.4. Módulo solar monocristalino.	36
Figura 2.5. Módulo solar policristalino	37
Figura 2.6. Celda solar tipo amorfo.	37
Figura 2.7. Celda solar tipo nano cristalino.	38
Figura 2.8. Curva característica del módulo fotovoltaico	38
Figura 2.9. Punto de máxima potencia y factor de forma	39
Figura 2.10. Componentes y estructura de una batería plomo-acido convencional	41
Figura 2.11. Capacidad de ciclos de batería automotriz y ciclo profundo	44
Figura 2.12. Fisker Karma (Valmet Automotive, 2012)	50

Capítulo 3

Figura 3.1. Vehículo eléctrico convencional a evaluar	55
Figura 3.2. Vehículo con módulos fotovoltaicos instalados	56
Figura 3.3. Ficha técnica del módulo de 135 watts	57
Figura 3.4. Conexión paralelo de módulos	58
Figura 3.5. Conexión serie de módulos	58
Figura 3.6. Arreglo de baterías en serie del vehículo eléctrico	60
Figura 3.7. Radiación obtenida de la estación meteorológico (Centro de Energías Unicach)	60
Figura 3.8. Motor del vehículo eléctrico y unidad electrónica	62
Figura 3.9. Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT)	63
Figura 3.10. Ubicación de ECU, motor eléctrico y baterías	64
Figura 3.11. Conexión del MPPT con módulos y baterías	64
Figura 3.12. Esquema general del sistema eléctrico del vehículo	65
Figura 3.13. Conexión eléctrica del MPPT de 57 vdc y componentes eléctricos.	65

Capítulo 4

Figura 4.1. Comportamiento de recarga de 5 baterías del vehículo eléctrico, iniciando con las baterías totalmente descargadas.	69
Figura 4.2. Variación del voltaje en la recarga de las baterías	70
Figura 4.3. Distancias máximas alcanzadas a diferentes velocidades con el mismo peso.	71
Figura 4.4. Potencia 245 Watts promedio, el 1 de Marzo/ 2014, suministrada al vehículo durante la descarga de baterías	73
Figura 4.5. Potencia de 212 Watts promedio proporcionados al vehículo con módulos	73
Figura 4.6. Distancia recorrida del VE con 4 horas de carga de energía solar,6.8 km con la velocidad a 20 km/h	74
Figura 4.7. Potencia promedio instantáneos registrados durante las pruebas con 4 horas de carga de baterías	75
Figura 4.8. Cargador de alimentación 220 volts y salida a 48 VCD	75
Figura 4.9. Recarga del banco de 4 baterías	76
Figura 4.10. Distancias recorridas en terreno plano con 130 kilogramos a 20 km/hr	77
Figura 4.11. Distancias recorridas en terreno plano con 180 kilogramos a 20 km/h	79
Figura 4.12. Distancias recorridas en terrenos con pendientes y terracerías a 20 km/h con peso de 130 kilogramos	80
Figura 4.13. Distancias recorridas con batería de 105 Amperes-hrs	81
Figura 4.14. Distancias recorridas con batería de 150 amperes-hora	82
Figura 4.15. Modelado del vehículo eléctrico con módulos instalados	85

Introducción

Las energías renovables se presentan como alternativas adecuadas para contribuir al desarrollo sustentable, dado que los vehículos de combustión interna son excesivamente contaminantes, los GEI (Gases de Efectos Invernaderos) son difíciles de erradicar y afectan en la vida del ser humano y al medio ambiente en que se desarrolla. En la tabla I, se puede observar la concentración de contaminación en la atmósfera.

Como se mencionó anteriormente, los GEI afectan la calidad de vida de los seres vivos que habitan el planeta, los contaminantes más importantes de este tipo, emitidos por los vehículos convencionales, son: El monóxido de carbono CO (reduce la cantidad de oxígeno que llega al cerebro, corazón y el resto del cuerpo), hidrocarburos HC, (provoca irritación de piel, ojos, cáncer, etc.), entre otros como el nitrógeno y las emisiones de dióxido de carbono teniendo dos orígenes, naturales y antropogénicas, estas últimas con un fuerte crecimiento en las últimas décadas según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC] (1). El promedio actual de emisiones de CO₂ en el aire oscila alrededor de 380 partes por millón ppm, o 0,038%, con algunas variaciones día-noche, estacionales y con picos de contaminación localizados.

Con grandes variaciones, el incremento anual en la concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de 0,5 ppm/año en 1960 a 2 ppm/año en el año 2000, con un mínimo de 0,43 en 1992 y un máximo de 3 ppm en 1998. Desde el 2000 la tasa anual apenas ha cambiado. La concentración de CO₂ en la atmósfera es actualmente de 387 ppm, o sea el 0,0387% de la atmósfera. El dato más reciente del 09/05/2013 (Centro de Investigación Langley de la NASA Ciencias Atmosféricas), Presencia de 400 ppm CO₂ en la atmósfera. Aumentando cada año, en 2007 las emisiones de CO₂ eran 2,0 veces mayores que en 1971. Entre 1990 fueron emitidas 20.878 (Giga toneladas) Gt/año de CO₂ y en 2005 (26.402 Gt/año), o sea un aumento del 1,7% por año durante este período.

La combustión de un litro de gasolina no se desvanece en el aire sino que genera 2.3 kg de CO₂ y un litro de gasóleo 2.6 kg de CO₂. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) (2).

Esta información muestra que es necesario reducir el uso de los combustibles fósiles que está dañando nuestro entorno y proponer el uso de las energías renovables conocidas también como energías limpias, en este caso Energía Solar Fotovoltaica, como combustible en algunos vehículos de uso particular y de transporte ligero para reducir las emisiones de GEI en nuestro planeta. En los seres

humanos el CO₂ solo es tóxico en altas concentraciones como se muestra a continuación (3).

- a) A partir de 0,1%, (1000 ppm), el CO₂ se convierte en uno de los factores de asma. Esta concentración es el máximo permitido para el diseño de sistemas de aire acondicionado, en el interior de los edificios y de las viviendas.
- b) Por encima de 0,5%, (5000 ppm), es la exposición ocupacional máxima que se permite en la mayoría de los países, y el máximo permitido para el diseño de equipos de aire acondicionado en los aviones no debe sobrepasarlo.
- c) 3 veces esa tasa (1,5 %, o 15000 ppm) es la exposición laboral máxima por un máximo de 10 minutos.
- d) A partir de 4% de CO₂ en el aire, (40000 ppm) se alcanza el umbral de efectos irreversibles sobre la salud (el umbral mínimo que obliga a una evacuación inmediata de los locales).
- e) A partir del 10% y una exposición superior a 10 minutos sin un recurso de reanimación rápida, se produce la muerte.

A continuación se enumeran, junto con sus fuentes comunes, las tasas en que aumentan en la atmósfera y sus contribuciones actuales al calentamiento global, indicando el uso de combustibles fósiles de mayor contaminación.

Tabla I. Concentración de Contaminantes en la Atmósfera (1)

Gas	Fuentes Principales	Tasa de concentración	Contribución al calentamiento global (%)
Dióxido de carbono CO ₂	Combustión Combustibles Fósil (77%), Deforestación 23%	0,5 % (353 ppm)	55
Clorofluorocarbonos (CFCs)	Usos Industriales: Refrigeradores, aerosoles, etc.	4% (280 ppm)	24
Metano (CH ₄)	Arrozales, Fermentación, Fugas de gas	0,9% (1,72 ppm)	15
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Quema de biomasa, uso de fertilizantes, combustibles fósiles	0,8% (310 ppm)	6

Hasta el año 2050 la temperatura mediana del globo terrestre aumentará aproximadamente 2.5 y 5.7 grados centígrados hasta el año 2100, si no se reduce el crecimiento de las emisiones de CO₂ en el mundo (1).

Los efectos del calentamiento atmosférico son la expansión de los desiertos, el aumento del nivel del mar (por expansión térmica y por el derretimiento del hielo polar), catástrofes climatológicas, estrés biológico y posiblemente otros efectos desconocidos hasta el momento con sus correspondientes impactos sobre el bienestar humano y la economía mundial.

De los gases de efecto invernadero, el que se emite en mayor cantidad en el mundo por actividades humanas es el CO₂. Se estima que más del 80% de la emisión mundial de gases de efecto invernadero está representada por CO₂, generando un 75% por la producción y el uso de combustibles fósiles en maquinaria y vehículos, en el caso de Chiapas, en el año 2011, emitió 28,161.08 gigagramos (Gg) de CO₂, es decir 28, 161,080 toneladas de CO₂.

El principal sector emisor es el uso de suelo, Cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUISS), con un 57% o 16,182.08 Gg de CO₂ que provienen principalmente de la deforestación y degradación forestal para la transformación de las tierras forestales a tierras agrícolas y pastizales para uso ganadero.

El segundo sector en el rango de emisiones es el de agricultura (incluyendo ganadería), donde se identificó a la fermentación entérica (digestión del ganado) como una fuente importante de emisiones de metano (CH₄) y la fertilización de tierras agrícolas que emite dióxido nitroso (N₂O) en menor proporción que generaron 5,392.28 Gg de CO₂, equivalente al 19%.

El tercer sector, también con una alta relevancia es el energético, donde la principal fuente de emisión es el consumo de combustibles fósiles, principalmente para transporte (gasolinas y diésel), el cual está creciendo de manera importante y es responsable por 4,314.16 Gg CO₂ aportando el 15% de las emisiones generadas en Chiapas (4).

Por otro lado, las características del Vehículo Eléctrico Solar (VES) que se diseñó y evaluó en este estudio, no se pueden comparar con otro Vehículo Eléctrico (VE), ya que no existe en el mercado, solo existen vehículos híbridos (motor de gasolina y motor eléctrico) con un vehículo de gasolina en México que pueden ser comparados.

Los VE tienen una eficiencia energética aproximadamente tres veces mayor por kilómetro que los vehículos a gasolina; sin embargo, su elevado costo de adquisición inicial exige que se conduzcan al menos 195 km por día para tener un ahorro comparativo con vehículos convencionales.

Éste kilometraje diario disminuye en la medida que el precio de la gasolina aumenta, y el precio de los vehículos eléctricos se reduce cuando los fabricantes logran

acceder a una expansión en su producción. Como toda transición a una nueva tecnología, ésta implica una serie de retos.

Entre las medidas necesarias para poder incorporar exitosamente vehículos eléctricos al transporte en México se encuentran:

- a) Llevar a cabo programas educativos que documenten el costo y los beneficios sociales.
- b) Permitir que el precio de la gasolina se iguale a los niveles internacionales (incrementar su precio), lo que ocasiona cierta ventaja para los vehículos eléctricos.
- c) Implementar tarifas eléctricas más bajas por tiempo de uso
- d) Desarrollar una normatividad en materia de la instalación de estaciones de recarga.

En 2011, el número total de vehículos de gasolina en circulación en México creció en un 11%. La mitad de estos vehículos adicionales fueron vehículos usados importados, los cuales contaminan más que un vehículo nuevo. A este ritmo, el número total de vehículos se duplicará cada siete años, exigiendo más gasolina y generando más emisiones de gases de efecto invernadero, a menos que el gobierno implemente políticas que hagan atractivo el uso de vehículos y transportes masivos que operen de manera más limpia.

Una de las principales razones para una transición a VE é híbridos es su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo en los últimos años se ha cuestionado dicho potencial, por el hecho de que actualmente el principal método de generación de energía eléctrica es la quema de combustibles fósiles, y por lo tanto la utilización de vehículos eléctricos solo podría cambiar el lugar y tiempo de las emisiones de gases de efecto invernadero, más no disminuir la cantidad.

La energía eléctrica produce 64% más CO₂ por kWh que la energía obtenida por combustión de gasolina. (5)

Por cada kWh de energía eléctrica, se generan en México 494 g de CO₂, mientras que por cada kWh de energía por combustión de gasolina se generan 300g de CO₂. Una vez determinadas las emisiones por kWh, es necesario examinar la eficiencia con la que los vehículos utilizan dicha energía y la transforman en movimiento.

Comparando la eficiencia energética de un vehículo a base de gasolina y la de un vehículo híbrido, se puede determinar que el vehículo de gasolina consume 0.80 kWh por km recorrido, mientras que el vehículo eléctrico consume 0.22 kWh, menos

de una tercera parte. La significativa diferencia de eficiencia se debe a la pérdida de energía que el motor de combustión interna presenta al convertir la energía almacenada en movimiento. Adicionalmente, y a diferencia del motor de gasolina, el motor eléctrico sólo consume energía cuando el vehículo está en movimiento y utiliza la energía de frenado para regenerar su batería, siendo lo anterior especialmente relevante en condiciones de manejo urbano. Organización Meteorológica Mundial, OMM (6)

El vehículo de gasolina emite 240 g de CO₂ por cada km que recorre, mientras que el vehículo eléctrico emite sólo 111g. Así, cada vehículo eléctrico contamina 1.11 Kg de CO₂ por cada 10 km recorridos en comparación con el de gasolina 2.4 Kg de CO₂.

Para los posibles usuarios de vehículos eléctricos, es de vital importancia saber si el gasto en energía eléctrica de un vehículo eléctrico es menor que el gasto en combustible de un vehículo con motor de combustión interna. Como se mencionó anteriormente la energía eléctrica es más cara que la proveniente de combustión fósil, pero es debido a su eficiencia energética que los vehículos eléctricos ahorran un 48% del gasto en energía requerido por los vehículos de gasolina.

El costo por kWh de la energía eléctrica es considerablemente más caro que el de la gasolina. El usuario de un vehículo eléctrico paga un precio mayor por cada kWh en comparación al usuario de un vehículo a base de gasolina, pero la eficiencia del vehículo eléctrico es suficiente para contrarrestar el mayor costo de la energía eléctrica, dando lugar a un ahorro del 48% por parte del vehículo híbrido con relación al costo por km propulsado.

En conclusión, no obstante el mayor costo de la energía eléctrica, el usuario de un vehículo eléctrico ahorrará 4.50 pesos por cada 10 km de recorrido. Con lo anterior se determina que tanto la emisión de contaminantes como el gasto en combustible de los vehículos eléctricos es significativamente menor que el de sus análogos de gasolina. La conveniencia económica de adoptar un vehículo eléctrico depende del segmento de mercado al que pertenezca el consumidor, ya que los ahorros en combustible generados por los vehículos eléctricos sólo compensan el elevado precio de compra en el caso de consumidores cuyos trayectos son superiores a los 250 km por día.

Por todo lo anterior, solo tendrá lógica económica adoptar vehículos eléctricos para aquellos consumidores que se encuentren por encima de los 250 km de uso diario según la OMM, (6)

Se estima, que regularmente un usuario se traslada de 20 a 30 kilómetros máximos al día dentro de la ciudad y con un uso comercial de hasta los 60 kilómetros al día,

en Chiapas se está iniciando la fabricación de vehículos eléctricos y lo mejor de esto que se pretende hacer es el uso de la energía solar para la recarga de las baterías mientras se encuentran trabajando y así lograr terminar su jornada de trabajo sin necesidad de adquirir vehículos eléctricos de alto costo como los vehículos eléctricos Tesla (estos soportan mucho peso y son muy rápidos), que exigen usualmente recorridos muy largos para hacerlos eficientes de acuerdo al precio de su compra.

El transporte vehicular es un medio primordial para trasladarnos y de gran necesidad en nuestra vida cotidiana, y se pretende usar en este trabajo las tecnologías de módulos solares fotovoltaicos que pueden alimentar energía eléctrica al vehículo durante el día, reduciendo el uso de recarga eléctrica de la red pública, con esta innovación tecnológica, estaremos contribuyendo en lo ecológico, social y económico, los VES podrán recorrer distancias con pesos de 130 kilogramos y velocidad de 30 km/hora.

En la parte ecológica, estos vehículos ya no emitirán gases contaminantes, aprovechando la energía solar que se encuentra libremente en nuestro planeta y evitaremos el uso de productos contaminantes como el aceite, bujías, anticongelante, filtros de cada mantenimiento que se le hace a un vehículo convencional.

En la parte social, estos vehículos ya no emitirán mucho ruido, serán de baja velocidad, versátiles pudiendo ahorrar espacios en el tránsito vehicular y usarlos para servicios de transporte en diferentes necesidades como venta de productos alimenticios pudiendo ser cafetería, taquería, panadería, repartidores de comida, distribución de productos, transporte de vigilancia, seguridad o cualquier transporte ligero, así como de uso particular.

Y en lo económico, no consumirán combustibles fósiles (contaminante) gasolina y esto a largo plazo será un ahorro para cada propietario de un vehículo, no requieren de cambio de piezas mecánicas en su mantenimiento periódico, como los vehículos que usan un motor a gasolina, ahorrándonos ese gasto frecuente de un vehículo convencional y su recarga eléctrica será directamente Solar.

Actualmente, los vehículos eléctricos están siendo introducidos en el mercado automotriz, pero se presenta como un gran reto en las tecnologías por su bajo rendimiento energético, apoyar su eficiencia es lo que se pretende en este proyecto con vehículos menos pesados, de baja velocidad y pocos kilómetros de recorridos. Se pretende lograr haciendo un aporte de la energía fotovoltaica que se encuentra disponible de forma gratuita en radiación solar llegando a nuestro planeta entre 800 y 1000 watt/m².

En este trabajo se realizaron evaluaciones de la radiación solar para el mejor aprovechamiento utilizando los módulos solares para los vehículos eléctricos.

Cabe mencionar, que los vehículos eléctricos con los que se trabajaran en esto son diseñados y fabricados en el Estado de Chiapas, por la empresa INVEMEX siendo esta la primera fábrica de vehículos eléctricos en nuestro Estado.

De acuerdo con el inventario nacional de emisiones de México - 1999 (INE, 2011), el transporte y los vehículos son la principal fuente antropogénicas de emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV), sustancias precursoras de la formación de ozono. Asimismo, contribuyen de manera importante a la emisión de partículas suspendidas (PM) y monóxido de carbono (CO). Si bien estas emisiones son el resultado directo del uso de combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel, existen otros factores determinantes en la cantidad de contaminantes que un vehículo automotor puede generar, como la edad, la tecnología, el uso y el mantenimiento del vehículo.

Por otro lado, se analizó la tecnología que se pueda aplicar a los vehículos eléctricos solares con el fin de aportar una recarga autónoma durante su horario de servicio en un vehículo de transporte ligero.

En consecuencia, puede resultar de interés para el desarrollo en futuros trabajos al proporcionar nuevas perspectivas sobre la forma en que se administra la Energía. Sin embargo, es importante hacer hincapié en las eventuales aplicaciones cotidianas de este tipo de metodologías.

Actualmente, la humanidad en general se encuentra enfrentando el desafío de utilizar en forma más eficiente sus recursos energéticos: Alemania ha decidido recientemente eliminar su generación de energía a partir de recursos nucleares, y la investigación en movilidad eléctrica es cada vez mayor. Una de las limitantes que los vehículos eléctricos enfrentan en la actualidad para competir a la par contra vehículos híbridos o de combustión interna es, su reducida autonomía.

Por ejemplo, se han realizado aplicaciones utilizando métodos similares en medios de transporte terrestre, acuático y aéreo, respectivamente. La reducción de costos mediante la utilización de los recursos energéticos de forma óptima se presenta de este modo como un área atractiva a explorar y que puede atraer gran interés por parte de grandes compañías o centros de investigación, especialmente en tiempos en que el crecimiento industrial demanda mayores cantidades de recursos energéticos (7).

Tomando en cuenta todo lo anterior, se realiza el estudio y análisis del aprovechamiento de la radiación por medio de módulos solares instalados sobre el

techo de un vehículo, para complementar su energía eléctrica recargando las baterías en el transcurso del día. Y para lograr esto se presenta el siguiente documento de tesis estructurado en 4 capítulos que dando de la siguiente forma.

El capítulo 1, presenta un análisis del estado del arte de los vehículos eléctricos y solares

El capítulo 2, se describen las diferentes fuentes de energía, las características de los módulos solares fotovoltaicos, el estudio del vehículo eléctrico solar, componentes y funcionamiento.

El capítulo 3, se desarrolla la metodología de evaluación del vehículo eléctrico para estimar su funcionamiento con diferentes suministros de energía a las baterías (convencional y fotovoltaica) y se analizan las pruebas pertinentes a realizar.

Capítulo 4, posteriormente se presenta la implementación del sistema solar fotovoltaico al vehículo eléctrico prototipo para realizar los estudios y comparación de resultados.

Planteamiento del problema

En Chiapas, no existen vehículos con suministro de energía solar fotovoltaica para un uso que pueda satisfacer una demanda de los usuarios para el transporte terrestre.

El problema de los vehículos eléctricos, es la dependencia de la fuente energética y el almacenamiento de la energía eléctrica que es altamente ineficiente y costoso. Otro inconveniente es la duración de la carga eléctrica al banco de baterías (de 8 a 10 horas), mientras que el vehículo convencional que consume combustible fósil se abastece en cuestión de minutos en una gasolinera.

Actualmente, en Chiapas se encuentran circulando en el transporte público (Moto-Taxis) de recarga eléctrica conectados a la red pública, El problema que estos vehículos tienen baja eficiencia en servicio de kilómetros y regularmente paran su jornada de trabajo antes que termine el día, esto debido a que se descargan rápidamente las baterías cuando hacen demasiados recorridos. Se pretende que rindan estos vehículos más horas de trabajo con la instalación del sistema de recarga de energía solar y que usen baterías más económicas, porque actualmente los propietarios para evitar la descarga prematura de las baterías están invirtiendo en baterías muy costosas para lograr tener suficiente Energía.

La gran mayoría de los VE que se encuentran en el sector del transporte público es de motor a gasolina y se encuentran ya en las grandes ciudades como México, Monterrey, Guadalajara y ahora en nuestro estado en diferentes cabeceras municipales.

Objetivo general y particulares

Objetivo general

Desarrollar un vehículo eléctrico con recarga de energía autónoma solar fotovoltaica, para aumentar las horas de trabajo y disminuir la dependencia de recarga a la red eléctrica pública.

Objetivos particulares.

Estudiar las características técnicas del vehículo eléctrico, sin la utilización de módulos solares fotovoltaicos.

Desarrollar el sistema solar fotovoltaico para el vehículo eléctrico.

Evaluar el vehículo eléctrico con el sistema solar fotovoltaico implementado.

Justificación

En este trabajo, se estudian los vehículos eléctricos tipo moto-taxi que se encuentran circulando en municipios del estado de Chiapas, ya que no emiten gases ni ruidos contaminantes, pero se descargan rápidamente las baterías en las horas de trabajo, y para su nueva recarga de energía al vehículo se le conecta a la red eléctrica pública durante 8 horas, para su posterior jornada al siguiente día

Este trabajo de tesis, presenta características que influyen en el impacto social, económico y ambiental, ya que la empresa INVEMEX, se dedica a la fabricación y venta de VE, con una proyección de continuar fabricando este tipo de transporte.

Para la recarga de baterías que suministran la energía al VE, se desarrollara un sistema solar fotovoltaico autónomo, esto garantizara la descarga antes de su jornada de trabajo y poder instalarle baterías de menos capacidad de amperes-horas, disminuyendo el costo en el banco de baterías para compensar el gasto del sistema FV.

Además se estudia la eficiencia y fiabilidad de recarga eléctrica con módulos solares fotovoltaicos, motivando así mismo, para la aplicación en diferentes servicios particulares este VE.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Introducción

En los últimos años la industria automotriz se ha encargado de desarrollar vehículos que no dependen, parcial o totalmente, de los derivados del petróleo como combustible, para esto se han implementado motores eléctricos, celdas de hidrógeno, biocombustibles, entre otros.

Con el uso de combustibles fósiles hemos alterado gravemente la naturaleza, se desaparecerán especies de plantas y animales, esto es por efectos del calentamiento global que altera todas las estaciones del año y por ende eso también nos afecta a los seres humanos. En la actualidad, es de suma importancia buscar formas alternativas de energía, pues debido al uso excesivo que la industria ha hecho del petróleo a partir de la revolución industrial es muy probable que en muy poco tiempo dicho recurso natural se encuentre agotado o muy escaso, lo que consigo traerá un gran incremento en su precio y por lo tanto se elevarán los costos de combustibles, lo que afecta directamente a la industria automotriz, ya que el motor de combustión interna es el que predomina hasta el día de hoy.

Los Motores de Combustión Interna (MCI) de gasolina o diésel, tienen una eficiencia de un 33 a un 35 %, dicho en otras palabras por cada cien pesos que se le depositan de gasolina a un vehículo solo aprovecha 35 pesos en un vehículo de reciente modelo, lo demás son pérdidas de energía que es altamente contaminante.

En cambio los motores de corriente eléctrica tienen una eficiencia de un 98 % y el 2% que no aprovecha no es contaminante y no son muy ruidosos como un vehículo de MCI (8).

El presente capítulo muestra las cualidades de la energía solar y su uso en el ámbito automotriz, viendo como el hombre se ha venido esforzando por tratar de aprovechar al máximo la energía solar e ir reduciendo los combustibles fósiles para diferentes actividades en nuestra vida cotidiana.

Brevemente haremos mención sobre la trascendencia y evolución que se ha venido dando en nuestros tiempos con los diferentes tipos de transporte vehicular, se da referencia algo de la historia con los primeros vehículos como son de vapor, eléctricos, de combustible contaminante fósiles y solares, se revisan los diferentes tipos de vehículos eléctricos según su forma de recarga de energía eléctrica, también observamos los diferentes vehículos eléctricos del mundo y México.

Observamos los vehículos de gasolina de carga ligera aquí en México que nos generan contaminación ambiental, en el país existen desarrollos de diversos prototipos de vehículos híbridos (Funcionan con un motor de gasolina y uno eléctrico), pero estos tienen un costo elevado por lo que no son apropiados para el desarrollo de vehículos de bajo costo como el que se evalúa y estudia en esta tesis.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un vehículo con sistema eléctrico autónomo a un menor costo de los vehículos eléctricos híbridos que se encuentran como el Toyota Prius y el Honda Civic en México. Estaremos contribuyendo al crecimiento de la industria de los vehículos eléctricos autónomos en nuestro país obteniendo precios mucho más bajo por ser vehículos para baja velocidad, trasladando peso como máximo 200 kg, considerando que serán los primeros en existir con este tipo de alimentación de energía solar autónoma, en Chiapas.

1.2. Antecedentes de los vehículos eléctricos (Estado del arte)

La primera persona en tener una máquina de vapor y colocarlo en un vehículo de tamaño completo era probablemente un francés llamado Nicolás-Joseph Cugnot, quien entre 1769 y 1771 construyó un automóvil a vapor más de treinta años antes de la locomotora del ferrocarril de vapor como se ve en la figura 1.1. Diseño Cugnot único, se exhibe en el museo del automóvil en París. El artefacto pesaba alrededor de 2,5 toneladas, tenía dos grandes ruedas en la parte trasera y una única rueda central de espesor en la parte delantera, y tenía capacidad para cuatro personas. La caldera estaba bien situada en la parte frontal, lo que hizo que el vehículo aún

más endiabladamente difícil de controlar. Mientras que su velocidad máxima estaba destinado a ser de unos cinco kilómetros por hora.



Figura 1.1.Primer Vehículo de Vapor (9).

Las innovaciones posteriores en los años 1800 y 1900 dieron lugar a los coches de vapor en realidad práctica pero siendo desplazado por el Otto (MCI). En mayo de 1876 Otto construye el primer motor de cuatro tiempos. Con Otto trabajan dos jóvenes ingenieros, Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach, que tras discutir con Otto, en 1882 montan su propia compañía, centrando sus esfuerzos en la construcción de un motor de poco peso, alto régimen y que funcione con gasolina con una velocidad de 11 Km/h en 1889. (9)

En 1883 el ingeniero alemán Karl Benz & Company. Construyó su primer modelo en 1885 en Mannheim. Benz lo patentó el 29 de enero de 1886 y empezó a producirlo en 1888. Ha sido considerado históricamente como el primer vehículo con motor de combustión interna; la figura 1.2 muestra el triciclo equipado con un motor de 4 tiempos de construcción propia, se exhibe hoy en el museo alemán (Deutsches Museum) en Munich, según la patente de Otto, en julio del mismo año comienza su construcción para el público. En 1888, Bertha Benz viajó 80 km desde Mannheim hasta Pforzheim (Alemania) para demostrar el potencial del invento de su marido.



Figura 1.2.Automóvil de Karl Benz, primer coche de combustión interna (9).

En 1891 se construye el primer automóvil de 4 ruedas y fue como comienza la era del automóvil, En 1900, la producción masiva de automóviles había ya empezado

en Francia y Estados Unidos. Las primeras compañías creadas para fabricar automóviles fueron las francesas Panhard et Levassor (1889), y Peugeot (1891).

En Estados Unidos, Henry Ford inicia la historia en 1908, a producir automóviles en una cadena de montaje, sistema totalmente innovador que le permitió alcanzar cifras de fabricación hasta entonces impensables, y continuar con la fabricación de estos vehículos en todo el mundo con diferentes empresas (10).

Toda esta tecnología siendo la culpable de lo que hoy en día estamos viviendo con el cambio climático que se aceleró muy rápidamente en las últimas 4 décadas, al crecer la demanda del consumo en combustible fósil, aumentando en grandes cantidades el crecimiento de los GEI (Gases de Efecto Invernadero) emitidos por la combustión de los vehículos de motor a gasolina, buscando en la actualidad alternativas para la disminución del uso de combustible fósil.

1.2.1. Historia del vehículo eléctrico

Por vehículo eléctrico se entiende: Vehículo cuya energía de propulsión procede, total o parcialmente, de la electricidad de sus baterías cargadas a través de la red eléctrica. La energía eléctrica fue el primer medio para el desplazamiento de los vehículos, son tan antiguos como los coches convencionales. Entre 1832 y 1830 se inventó el primer vehículo eléctrico puro, y en 1897 comenzaron a utilizarse taxis eléctricos en Nueva York. Pero fue en 1930, cuando la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo, con la introducción del arranque con los motores de combustión interna. Esto sucedió por su poca eficiencia en potencia del uso de la energía eléctrica en comparación con el uso de los combustibles fósiles (8).

Reflejando, ahora en estos tiempos la preocupación de la contaminación ambiental, se está viendo que se use nuevamente la energía eléctrica para mover los automóviles. Se lograría con el uso de las energías renovables siendo una de ellas, la solar fotovoltaica y lográndose esto con el aprovechamiento de la radiación solar.

Un vehículo eléctrico es un vehículo de combustible alternativo impulsado por uno o más motores eléctricos. La tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores lineales, los motores inerciales, o aplicaciones del magnetismo como fuente de propulsión, como es el caso de los trenes de levitación magnética (11). A diferencia de un motor de combustión interna que está diseñado específicamente para funcionar quemando combustible, un vehículo eléctrico

obtiene la tracción de los motores eléctricos alimentándose por medio de un banco de baterías que puede ser cargado como se muestra en la figura 1.3.

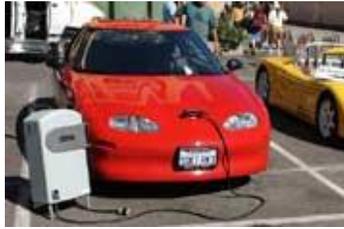


Figura 1.3. Recarga energía el vehículo EV1, de corriente alterna (8)

El futuro es eléctrico, todo el mundo habla de ello, La práctica totalidad de las marcas han iniciado una frenética carrera para llegar a la meta del vehículo eléctrico, publicitando sus esfuerzos al máximo y realizando importantes avances técnicos. Una publicación como (Tecmovia) no puede dejar de realizar un constante análisis crítico sobre estos avances, intentando arrojar algo de luz sobre la dirección que está tomando el sector automovilístico y las razones por las que nos vemos abocados, aparentemente, a conducir vehículos propulsados por electricidad (12), como su propio nombre indica, funciona con electricidad, con lo que no implica tener que quemar un combustible, al menos durante su uso y no emite nada a la atmósfera.

Tenemos una breve historia de un Vehículo Eléctrico (EV1) que fue cesado en su producción de General Motors. Era un coche eléctrico producido y arrendado por la corporación de General Motors, de 1996 a 1999. Fue la primera producción masiva de vehículos eléctricos y diseñados con un propósito de la era moderna de un gran fabricante de automóviles, y el primer coche diseñado para GM ser un vehículo eléctrico desde el principio. La decisión de producir en masa un coche eléctrico llegó después de que GM tuvo una acogida favorable por su impacto en 1990 con el concepto de coche eléctrico, en la que el diseño del EV1 se basó en gran medida. Inspirado en parte por el potencial percibido del Impacto para el éxito, la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) aprobó posteriormente un mandato que hizo que la producción y venta de vehículos de emisiones cero un requisito para los siete principales fabricantes de automóviles que venden vehículos en los Estados Unidos que siga mercado sus vehículos en California. El EV1 fue puesto a disposición a través de los acuerdos de arrendamiento limitados, inicialmente a los residentes de las ciudades de Los Ángeles California, Phoenix y Tucson, Arizona.

Arrendatarios EV1 fueron oficialmente participantes en una "evaluación de ingeniería del mundo real" y el estudio de mercado sobre la viabilidad de la producción y la comercialización de un VE de cercanías en selectos mercados de

Estados Unidos llevado a cabo por el grupo Advanced Technology vehículos de GM. Los coches no estaban disponibles para la compra, y podría ser realizado sólo en los concesionarios de Saturn designados. Dentro de un año del lanzamiento del EV1, también se pusieron en marcha programas de arrendamiento en San Francisco y Sacramento, California, junto con un programa limitado en el estado de Georgia.

La Segunda generación del EV1 (1999-2003) equipado con un paquete más avanzado de baterías de Hidruro Metálico de Níquel (NiMH). Para el año modelo 1999, GM lanzó una versión Gen II del EV1. Las principales mejoras incluyen menores costos de producción, un funcionamiento más silencioso, amplio de reducción de peso, y el advenimiento de una batería de níquel e hidruro metálico (NiMH). Los modelos Gen II fueron liberados inicialmente con 60 amperios-hora (18,7 kilovatios-hora) batería panasonic de plomo-ácido, una ligera mejora con respecto a la fuente de alimentación Gen I utilizando el mismo 312 V de tensión, modelos posteriores ofrecieron una batería Ovonic NiMH, de 77 Ah (26,4 kWh) con 343 voltios.

Los coches con el grupo de cabeza-ácido tenían un rango de 80 a 100 millas, mientras que los coches de NiMH pueden viajar entre 100 y 140 millas entre cargas (1 milla =1.608 km). Para la segunda generación del EV1, el programa de arrendamiento se amplió a las ciudades de San Diego, Sacramento y Atlanta.

A finales de 2003, GM dijo que no podía vender lo suficiente de los coches para hacer el EV1 rentable. Además, el costo de mantener un suministro de piezas y la infraestructura de servicios para el mínimo de 15 años requerido por el estado de California significaba que los arrendamientos existentes no serían renovados, y todos los coches tendrían que ser devueltos a la posesión de GM. Encontrándose este documental con el nombre de (Quien mato al coche eléctrico) (13).

Terminando de esta forma la fabricación de estos vehículos eléctricos en los años del 2003, para continuar con la evolución de los vehículos de MCI.

Actualmente, las principales fuentes de energía eléctrica que pueden ser almacenadas a bordo con sistemas recargables que luego consumen durante su desplazamiento son:

1. Energía química almacenada en las baterías: vehículo eléctrico de batería.
2. Energía eléctrica almacenada en súper condensadores; baterías de litio.
3. Almacenamiento de energía cinética, con volante de inercia sin rozamiento.
4. Alimentación externa del vehículo durante todo su recorrido, con un aporte constante de energía, como es común en el tren eléctrico y el trolebús.

5. Fuentes que permiten la generación eléctrica a bordo del vehículo durante el desplazamiento, este caso es el de nuestro estudio y pueden ser:

- Generados a bordo usando una célula de combustible.
- Generados a bordo usando energía nuclear, como son el submarino y el portaaviones nuclear.
- La energía solar generada con placas fotovoltaicas, que es un método no contaminante durante la producción eléctrica, mientras que los métodos descritos hasta ahora dependen de si la energía que consumen proviene de fuentes renovables para poder decir si son o no contaminantes, estudiaremos este caso de Placas Fotovoltaicas para nuestro proyecto.

1.2.2. Clasificación de los vehículos eléctricos, por su forma de recarga de energía

Un motor eléctrico tiene una eficiencia energética que se sitúa en el entorno del 90%, que es el porcentaje de energía consumida que se convierte en movimiento aprovechable. Por limitaciones termodinámicas (a las que un motor eléctrico no está sometido) un motor diésel se sitúa por debajo de un 40% siendo éste superior, a su vez, a uno a gasolina (14).

En la investigación sobre estos vehículos se encuentran en el mundo los vehículos que pueden ser con recarga de energía autónoma o recargable con energía convencional, y en la frontera del arte del conocimiento del proyecto, los vehículos que existen, se clasifican en:

- A. Vehículo eléctrico solar de energía autónoma
- B. Vehículo eléctrico enchufable de energía recargable

1.2.2.1. Vehículo eléctrico solar de energía autónomo

Un ejemplo recientemente estudiado en México fue un automóvil eléctrico capaz de transitar de cinco a seis horas continuas con una recarga de tres horas y media, con módulos solares. El prototipo Emim One como se ve en la figura 1.4 obtuvo el primer lugar del segundo premio nacional sobre transporte urbano y movilidad convocado por la Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM).

Emim One es un automóvil de 170 kilogramos con una longitud de 1.90 metros por 1.30 metros, al cual se le adaptaron paneles con celdas solares de silicio y platino a través de los cuáles se genera una diferencia del potencial que produce energía eléctrica mediante un circuito externo, a partir de los fotones provenientes del sol.

Resaltaron que este proyecto es una plataforma evolutiva que les permitirá continuar su investigación en tecnologías alternativas, autos híbridos, eléctricos y celdas de combustible, entre otros. “Pretendemos desarrollar nuestros conocimientos y experiencia para llevar estas innovaciones a los automóviles que circulan en las calles”, resaltaron.

El resultado de este vehículo (Emim One) con respecto al estudiado de esta tesis, es que no tienen alguna aplicación por su pequeño tamaño y diseño a comparación con el nuestro que por los resultados obtenidos se pretende meter al mercado para su fabricación en masa y utilidad en diversas aplicaciones.



Figura1.4. Vehículo Emim One (México)

El VE autónomo solar: Es un vehículo propulsado por un motor eléctrico alimentado por energía solar fotovoltaico obtenido de módulos solares en la superficie del automóvil.

La historia de los autos solares se remonta a 1982, cuando un visionario aventurero australiano, de origen danés, Hans Tholstrup, y el piloto de carreras Larry Perkins, construyeron y manejaron el primer Auto Solar, “BP Quiet Achiever” que se muestra en la figura 1.5 cruzaron Australia de oeste a este por un total de 4,058 Km. Les tomó 20 días con un promedio de velocidad de 23 km/h. Mostrando el recorrido de Australia en la figura 1.6.



Figura 1.5. Coche solar (Quiet Achiever en 1982)



Figura 1.6. Ruta transcontinental del automóvil a través de Australia (World Solar Challenge)

El propósito de este primer auto, fue el de mostrar al mundo tres cosas básicamente:

1. Que la energía solar era una fuente muy importante y suficientemente desarrollada para sustituir a los combustibles fósiles.
2. Que el transporte terrestre tiene alternativas no contaminantes como el vehículo eléctrico.
3. Crear el interés en el mundo científico por el desarrollo de ambas.

El primer fruto de este propósito se dio en 1985, cuando el suizo UrsMuntwyler creó la primera competencia mundial de autos solares el “Tour de Sol”, misma que creó una gran expectación y atrajo la mirada del mundo. Desde entonces esta carrera se celebra anualmente en Europa (Word Solar Challenge) (15).

A pesar que la historia del automóvil eléctrico es más antigua, es evidente el gran auge que ha tomado la idea del vehículo eléctrico a partir de este tipo de competencias que definitivamente han logrado captar el interés del mundo científico, enfocándolo al desarrollo del vehículo eléctrico.

Los vehículos autónomos son los que pueden desplazarse de forma independiente, sin necesidad de estar recargando sus baterías por conexiones externas para tener movimiento, ellos mismos reciben directamente la recarga por sus propios medios, otro vehículo solar lo tenemos en el siguiente contenido.

El pampa solar en la figura 1.7, automóvil híbrido experimental, diseñado por especialistas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), admitido el 08/05/2014, ya que en 2013 obtuvo el primer premio en una de las categorías de la competencia rally para automóviles solares que se disputó en Chile (16).



Figura 1.7. Vehículo solar, el pampa solar (UNCPBA)

La luz solar se puede aprovechar por paneles fotovoltaicos los cuales pueden recibir energía solar y transformarla en energía eléctrica para alimentar el motor del VES o esa energía puede ser almacenada en las baterías del vehículo, el uso de puros módulos solares a continuación se menciona la aplicación en vehículos más relevantes.

Los VES cómo se muestran en la figura 1.8 existen para carreras demostrativas en terrenos planos como se muestran a continuación en la carrera del world solar challenge 2014, con solo una o dos persona abordo.



Figura1.8. Carrera oficial de la WSC (World Solar Challenge)

La General Motors estando de gerente Roger Smith en California, gano el world solar challenge (15) (Carrera de coches con módulos solares) que cubre 3,021 kilómetros a través de Australia en 1987 con su extraordinario automóvil, el "Sunraycer" ver en la figura 1.9, que se decidió diseñar y construir con miras comerciales siendo uno de los autos eléctricos más prometedores. Este automóvil es capaz de desarrollar velocidades de 160 km/h y tiene una autonomía de 190 km a una velocidad de 90 km/h. Pero estos vehículos con capacidad en peso máximo solo para 1 o 2 personas en carreras demostrativas de altas tecnologías y terrenos completamente de superficies planas.



Figura 1.9. Vehículo solar sunraycer (world solar challenge).

Otro vehículo solar es el "Eolian 2", ver figura 1.10 con 6 metros cuadrados de módulos solares poli cristalinos, este auto ha competido en dos de las carreras más importantes de los autos solares: el world solar challenge que se lleva a cabo en Australia en octubre logrando obtener el lugar 11 en 2007 y el lugar 22 en 2011, y la carrera del Atacama Solar Challenge en Chile, obteniendo el segundo lugar el 2011, que se realizará en el desierto de Atacama entre septiembre y octubre (17).



Figura 1.10. Eolian 2 vehículo solar (world solar challenge).

El primer auto solar mexicano lo llamaron Tonatiuh ver figura 1.11, ideado, diseñado y construido totalmente en México, por profesionistas mexicanos y fue financiado por importantes empresas e instituciones del país como IUSA, SEP, NAFIN, IIUNAM, TMM, Australia New Zealand Direct Line, AT&T, Malaysia Air Lines, Dayama Tupperware, Automotores de Satélite, Standox, Tame Composite Division, la Universidad Nuevo Mundo, Mexicana de Aviación, Industrias Murrel, CONAE, Fluke-Mexel, Radio Surtidora, DAESA, Hugo Herrera agencia aduanal, YMCA, Signum, Velox, Xcaret, Ramada Hotel, SKF, Super Net, Acer de México y Comesa, cuyo costo aproximado fue de US\$350,000.

El diseño corrió a cargo del Dr. Jaime Gómez de Silva. A mediados de 1993 se empezó a fabricar el modelo escala 1 a 1.

A finales de 1994 se empezaron a instalar en paralelo los diferentes sistemas, como el sistema mecánico compuesto de suspensión delantera y trasera, transmisión, dirección y frenos, el sistema eléctrico, compuesto de módulo solar, rastreadores de potencia pico, baterías, controlador, motor, telemetría e instrumentación.

Tiene 7 baterías Delco Remy de plomo ácido de 19 Kg, 56 Ah y 12 V c/u, conectadas en serie, módulo solar Kyocera de silicio policristalino, grado terrestre de 13% de eficiencia y 100 cm² c/u. Substrato curvo orientable de 4 m de largo por 2.12 de ancho con un área total de 8.5 m² de potencia máxima con 900 Watts, largo total del vehículo 5.90 metros.

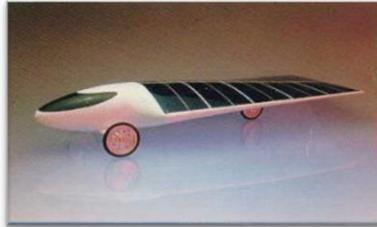


Figura 1.11. Auto solar Mexicano (Tonatiuh)

Este vehículo Mexicano se presentó en la carrera world solar challenge, en octubre y noviembre de 1996 (Australia), y en la Carrera Sun Rayce 95, en junio de 1995 (Estados Unidos) (18).

A pesar que la historia del automóvil eléctrico es más antigua que la de los de combustión interna es evidente el gran auge que ha tomado la idea del vehículo eléctrico autónomo solar a partir de este tipo de competencias que definitivamente han logrado captar el interés del mundo científico, enfocándolo al desarrollo del vehículo eléctrico para un servicio de la sociedad y un beneficio en la disminución del consumo de combustible fósil.

Su confiabilidad en los módulos solares es elevada y se emplean desde hace cerca de 40 años en lugares inhóspitos tales como el espacio, desiertos, selvas, regiones remotas, etc. Todas estas cualidades hacen los SFV muy interesantes como para ser aplicados usados en los vehículos eléctricos actualmente.

Además se toma en consideración que los costos de los módulos van a bajar a medida que se masifiquen.

1.2.2.2. Vehículo eléctrico enchufable de energía recargable

El termino enchufable, es por tener un conector y se conecta a una red eléctrica, este tipo de vehículo eléctrico son los que luego de un cierto kilometraje de recorrido se descargan sus baterías que antes fueron cargadas de una red eléctrica pública y requieren nuevamente carga durante cierto tiempo para que el vehículo pueda volver a transitar, con base a esto se pueden clasificar los tipos de recarga eléctrica, que son:

- A. Vehículos eléctricos con estación de recargas solares.
- B. Vehículos eléctricos con estación de corriente alterna
- C. Vehículos eléctricos híbridos.

A.- Vehículos eléctricos con estación de recargas solares.

Estos Vehículos Eléctricos Solares (VES) cuentan con un banco de baterías que tienen una eficiencia de poder recorrer entre los 70 y 100 km dependiendo el fabricante, pero su costo ha sido muy alto en los vehículos que actualmente circulan en el mercado e incómodos para los usuarios por tener que recargar las baterías después de ciertos kilómetros recorridos y tienen que ir a la central más cerca que se les indique para obtener la recarga de su energía alternativa a las baterías.

A continuación se muestra en la figura 1.12 un tipo de estación de recarga solar con módulos fotovoltaicos. Ya han comenzado las pruebas en las ciudades japonesas de Saitama, Kumagaya y Chichibu, hasta el momento todo va como lo planeado por fabricantes japoneses en estas estaciones de recarga eléctrica, la compañía desea que dentro de los próximos años comiencen las pruebas en algunos países Europeas de estos tipos de centrales de recarga.



Figura 1.12. Estación de recarga solar honda y Toyota (19).

Lo módulos solares que se encuentran instalados en una base fija que recargan un banco de baterías durante el día, cuando un vehículo llega sin carga a esta estación solamente se tiene que conectar durante unas 3 horas para poder recargar energía y llegar a su destino. Esa energía retenida en las baterías se logra obtener durante todo el día por los módulos solares fotovoltaicos.

Tenemos el Bug (bicho solar) como se muestra en la figura 1.13, es un VES que se alimenta de la luz solar con un módulo de 200 Watts y de baterías recargables. Con capacidad para una persona, usando solamente la carga solar, su autonomía es entre 16 y 32 km por día con pura carga solar directa, su velocidad máxima de 56 km/h. Recargar las baterías toma entre 6 y ocho horas de alguna estación solar fija (20).



Figura 1.13. Bicho solar (Solar Bug) (EEUU)

El sistema permite que durante el día las baterías se puedan cargar usando energía solar, es decir, mediante celdas solares que conviertan la energía solar en energía eléctrica, las cuales pueden estar acopladas al auto o bien, si el vehículo permanece estacionado durante el día, podrían ubicarse en el techo del estacionamiento una central de recarga y así tener una mayor superficie de captación de energía solar.

Actualmente, en los países de Suiza, Alemania, Austria, Francia e Italia existe una red de energía solar llamada "Park & Charge" que utiliza el concepto de estaciones públicas para cargar los vehículos eléctricos.

Los vehículos con SFV no requieren combustibles y, por tratarse de dispositivos de estado sólido, carecen de partes móviles, y por consiguiente, requieren escaso mantenimiento. Tampoco producen ruido, ni emisiones tóxicas, ni contaminación ambiental, ni polución electromagnética.

B.- Vehículos eléctricos con estación de Corriente Alterna (CA)

Estos vehículos tienen la misma característica que los vehículos recargables con energía solar, siendo la diferencia que su recarga se puede hacer en lugares de forma más común por usar energía de corriente alterna que se obtiene de la red de electricidad de la ciudad. Solo tiene que estar cerca de una preparación especial como se muestra en la figura 1.14 y conectarse durante el tiempo que sea necesario mientras el usuario se encuentre en el trabajo, tienda comercial o en algún lugar de la ciudad.

Cabe mencionar que este tipo de vehículo no se encuentran en nuestro estado por ser muy caros y no satisfacen una demanda útil en las actividades cotidianas de nuestra sociedad, en Europa se pueden encontrar en algunas partes como Francia,

Holanda, Alemania, etc. Ya que se prestan por tener excelentes carreteras y lo pueden usar para el servicio particular y comercial.



Figura 1.14. Recarga de un vehículo eléctrico de CA (Plan de Movilidad Eléctrica, MOVELE)

Actualmente existen en el mercado todo tipo de VE, el cual va desde los carros híbridos hasta motocicletas o moto taxis eléctricos, estos últimos se encuentran en el Estado de Chiapas fabricados en el Municipio de Coita ver figura 1.15, algunos modelos de VE.



Figura 1.15. Vehículos eléctricos con recarga de energía convencional (21).

En el Estado de Chiapas se inicia una nueva era de VE, con sistema de recarga conectados a la red convencional, apoyando a reducir los niveles de ruido del ambiente, debido a que son muy silenciosos, teniendo como única contaminación las emisiones producidas para generar, transportar y transformar la energía eléctrica con que cargan sus baterías, siendo estas emisiones muy inferiores a las producidas por un motor convencional.

Este tipo de VE ya está circulando en el estado de Chiapas y actualmente con este transporte se está ayudando a la sociedad generando menos contaminación en el servicio de transporte público con la innovación de las moto – taxi eléctrica.

Estos vehículos no son autónomos, porque su recarga eléctrica, tienen que conectarse al sistema de red pública para hacer su recarga de las baterías entre 8 y 10 horas y como máximo pueden recorrer entre 60 y 80km con 5 Baterías de 130 Ah.

Se menciona que no son autónomos por que el estudio de este trabajo de tesis precisamente es hacer un vehículo autónomo, que se analizara más adelante.

C.- Vehículos Eléctrico Híbridos (VEH)

Es un vehículo de propulsión alternativa combinando un motor movido por energía eléctrica proveniente de baterías y un motor de combustión interna alimentado de combustible fósil, en estos sistemas tenemos uso de combinación de dos tipos energías, como se muestra en la Figura 1.16 la distribución y componentes de un VEH, donde se observa el motor de gasolina y el motor eléctrico (22).

Esto se inicia en las grandes compañías buscando una solución a la problemática del cambio climático ocasionado por los GEI, pero los VEH no han tenido buena aceptación por ser de costo muy elevados.

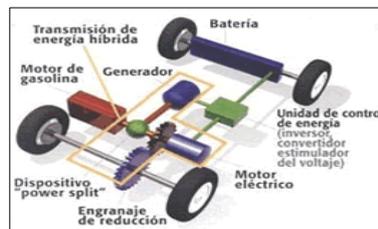


Figura 1.16. Estructura de VEH (22).

Los VEH que se comercializan en la actualidad y que han superado la fase de prototipo utilizan un motor eléctrico y otro de combustión interna o convencional, logrando de esta forma ser potentes como un vehículo convencional, pero de elevados costos.

El origen de la energía utilizada para la propulsión en el vehículo se inicia de la siguiente manera, el depósito de combustible alimentaría al motor de combustión convencional y la batería al motor eléctrico. De esta manera, en teoría, se podría usar el motor eléctrico para circular en zonas urbanas sin consumir combustible evitando las emisiones nocivas para la salud y medio ambiente.

El mundo se encuentra frente a una enorme campaña global, cuyo objetivo es incorporar de la forma más rápida soluciones energéticas basadas en fuentes renovables (23), existen diversos diseñadores y fabricantes automotrices con estrategias de ahorro energético como el que se muestra en la siguiente figura 1.17, el caso del Toyota híbrido versión Prius Plug-in.



Figura 1.17. Vehículo híbrido (24).

Entre ellas esta VW con su estrategia Think Blue, desarrollando autos híbridos como el caso del Tuareg híbrido. En modo exclusivamente eléctrico alcanza una velocidad de hasta 50 Km/h sin emisiones.

La Renault TWIZY ZE ver figura 1.18, está disponible en Alemania y España. Para el caso de los autos 100% eléctricos de mediano tamaño y poco trabajo, están los autos Kangoo ZE-tipo carga disponible a partir de finales 2013. Y el familiar Fluence ZE que está disponible a partir de inicios 2012 (25).



Figura 1.18. Vehículo eléctrico (Renault Twizy).

Para el caso de VW en autos 100% eléctricos está el prototipo VW Nils <http://www.netcarshow.com>. La alternativa más viable es con la empresa Renault que tiene propuestas muy agresivas para ganar este mercado con su estrategia denominada ZE (cero emisiones).

Con estas referencias se plantea un proyecto basado principalmente en la estrategia del océano azul en cuanto a resolver como recargar estos autos con menos emisiones (26).

Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura (disponemos de todas las prestaciones del motor, desde el primer instante “en frío”). Al no tener elementos oscilantes, ni empuje discontinuo, no necesita volantes de inercia ni sujeciones especiales que lo aíslen del resto del coche. Al generar muy poco calor y no tener vibraciones su duración puede ser muy elevada (el motor no “sufrir” durante su funcionamiento). Todo esto redundando en un ahorro de espacio y masa desplazada que (atendiendo exclusivamente al motor) resulta formidable. Pero eso no es todo.

A igualdad de potencia, un motor eléctrico producido en gran serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración, ni aceite, ni apenas mantenimientos. Prácticamente no hace ruido al funcionar, sus vibraciones son imperceptibles y casi no emite calor.

Un motor eléctrico, no necesita cambio de marchas exceptuando algún mecanismo para distinguir avance y retroceso, que bien puede ser la inversión de polaridad del propio motor. Desarrolla un par máximo y constante desde 0 rpm y potencia constante a partir de medio régimen y hasta su límite de giro (teóricamente más del doble que el límite de un motor de gasolina, no digamos un diesel). Esto es lo que hace posible que en la misma “marcha” podamos arrancar desde parado y circular a la máxima velocidad (27).

Por otra parte, una vez que se elimina la caja de cambios y la refrigeración, se abre la posibilidad de descentralizar la generación de movimiento, situando un pequeño motor en cada rueda en lugar de uno “central” acoplado a una transmisión. Sólo es necesario algo de software para sincronizar el régimen de los distintos motores y habremos vaciado el hueco del motor. De aquí a una revolución en la distribución del espacio interior, no hay más que un paso.

Incorporando una mezcla de lo ya creado para obtener un sistema a base de sistemas existentes, es el caso de México como se menciona a continuación.

1.2.3. Vehículos eléctricos en México

En México, existe la marca Zilent ver figura 1.19 comercializándose desde 2010, bajo la dirección de Carlos Take, el problema en la venta de estos autos es su origen Chino, y los altos costos. Zilent, una compañía dedicada a la comercialización de autos eléctricos, introduce también en el mercado mexicano el nuevo vehículo llamado Dream, el cual puede ser recargado al conectarlo a un contacto eléctrico, por lo cual es amigable con el medio ambiente y no produce contaminación por el uso de combustibles fósiles (28).



Figura 1.19. Vehículo eléctrico (Zilent, México).

La línea de vehículos eléctricos Zilent, pueden ser recargados con sólo conectarlos a un enchufe de electricidad. La energía se almacena en seis baterías convencionales.

El gerente técnico Faruk Take Roaro, explicó que será posible utilizar baterías Li-ion, que a pesar de tener una capacidad de carga mayor y una mejor durabilidad, aun son muy caras. Las baterías, según informo la compañía, serán instaladas y recicladas por una empresa mexicana de la cual no se publicó el nombre.

Dream es un vehículo urbano, no diseñado para carretera. La carga dura aproximadamente 150 kilómetros y la velocidad máxima será de 45 kilómetros por hora. El director general de la empresa, Carlos Take dijo que el costo por kW será de 0.66 pesos mexicanos.

El automóvil eléctrico tendrá un costo aproximado de \$8,500 USD. Take dijo que el retorno de la inversión podrá verse en el transcurso de tres años y estos automóviles no tendrán que pagar tenencia, ni verificación, ni tampoco el impuesto a nuevos vehículos. El fabricante ofrecerá una garantía de cinco años en todos sus vehículos. Si decides recargar el auto con energía generada por paneles solares podrás hacerlo 100% deducible de impuestos ya que involucra el uso de energías renovables que está siendo apoyado ampliamente por el actual gobierno Mexicano.

Zilent, en el año del 2009 inicio su venta en Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas retirándose del Estado por su baja demanda en ventas. Diversos tipos de situaciones como el costo y carreteras inadecuadas para este tipo de coche.

Electrathon México 95, el primer proyecto "Sol formula", se puso en marcha en enero de 1995 con un curso de una semana sobre cómo construir vehículos de fórmula electrathon experimentales. Los estudiantes de doce universidades asistieron y, como resultado, 11 vehículos fueron construidos durante un período de 8 meses. Siete competiciones se celebraron en la temporada, cuatro de los cuales se llevó a cabo en la Ciudad de México y los otros tres en las ciudades de Puebla, Colima y Acapulco.

Los patrocinadores que vinieron eran el gobierno de la Ciudad de México (Departamento del Distrito Federal, DDF) hacia adelante, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (Beca IIUNAM), TheBody Shop, Loaly Donuts, Aqua Nova, INVISA, Río y Montaña , Kayak y Hotel Santa Catalina Acapulco.



Figura 1.20. Vehículo, carrera Formula Sol. Foro Automotriz Tlaxcala Noviembre 2014

La Federación Mexicana de Deportes de Motor (FMAD), ha apoyado el proyecto proporcionando personal calificado para ayudar en la seguridad y el desarrollo profesional de este deporte. Desde el año 2008 se a incremento el vehículo en la zona centro, el cual están limitando a 30 autos por seguridad en la pista. Así mismo, se ha iniciado la expansión del proyecto electrátón a nivel nacional, abriendo el campeonato en el Norte de México, con lo cual se ofrece un proyecto integrador a las Instituciones Educativas de la región así como a profesionistas y seguidores del automovilismo (29).

Industria Nacional de Autopartes (INA) junto con sus patrocinadores, está convencida del beneficio que trae este proyecto a la sociedad mexicana, llevando a cabo un proyecto que no solo promueve tecnologías limpias y respetuosas del medio ambiente, sino que ayuda a la formación del capital humano idóneo para el futuro de México

A nivel de un proyecto nacional, crear una industria mexicana de transporte eléctrico y de hidrogeno, antes de que nuestro mercado se vea inundado por empresas extranjeras. Proponemos la creación de una industria horizontal en la cual múltiples, pequeñas y medianas empresas fabriquen o ensamblen los diversos componentes para llegar, entre todos, a uno o varios productos para México y exportables.

1.2.4. Propuestas para la aplicación de energía solar de autos eléctricos en México

Las siguientes 3 propuestas fueron tomadas en la estrategia de electro movilidad fotovoltaica para autos eléctricos e híbridos en México (30).

A. Llenado y cambio de baterías.

El cambio de baterías se visualizó en el (IAA de Frankfurt) salón del automóvil de Frankfurt, como propuesta de Renault, para el mercado Israelita, se trató directamente con los encargados del pabellón de Renault. Esto es la forma de recargarlo mediante un proceso FV (Fotovoltaico) e intercambio de baterías, similar a un proceso de garrafones de agua utilizado en México.

B.-Adecuada a punto de vista de autores.

Propuesta de estaciones de carga de baterías automotrices figura 1.21 basados en módulos fotovoltaicos, proceso en estaciones en supermercados y lugares públicos.



Figura 1.21. Estación de carga de baterías para VE (30).

C.-Sistema híbrido de carga, fotovoltaico más eólico.

Propuesta de estaciones de carga de baterías de electromotores automotrices basados en sistemas híbridos de carga figura 1.22. Módulos fotovoltaicos y sistemas eólicos, que similarmente es en estaciones en supermercados y lugares públicos.

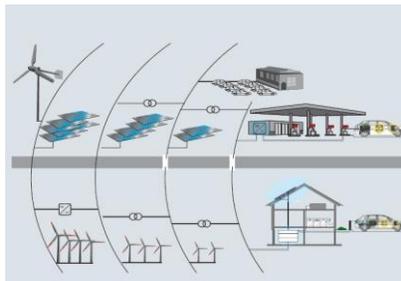


Figura 1.22. Sistema híbrido de recarga (30).

1.2.5. Vehículos contaminantes de carga ligera en el Mundo

Los vehículos tipo moto - taxi que consume combustible fósil, se usan con bastante frecuencia en diversas regiones de Chiapas, México y el Mundo, son unidades altamente contaminantes. Por esta razón, el Dr. Werner Pacheco Luján, docente e investigador de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica (FIEE), sugiere el desarrollo de las moto taxi figura 1.23, con módulos solares, para eliminar la emisión de dióxido de carbono que daña el medio ambiente y reducir la contaminación sonora que provoca debido al bullicio de sus motores.



Figura 1.23. Vehículo con motor a gasolina (FIEE).

Las moto taxis son un nuevo transporte público y una solución para hacer frente a los grandes problemas de transporte que padecen las ciudades de mayor tamaño. En el caso de Guadalajara y Tlajomulco acortan las distancias y cubren las carencias en rutas de los camiones. El hecho de que las motocicletas sean un vehículo ligero, rápido y fácil de estacionar, favorece que el usuario pueda recorrer el trayecto en menor tiempo. Aunque carecen de cajuela o maletero y todavía hay pocos vehículos y compañías dedicados a este fin, Si bien el surgimiento del moto taxi es por necesidades de movilidad de una gran parte de la población.

Los vehículos motorizados emiten monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos como los compuestos orgánicos volátiles, material articulado, plomo, azufre y otros tóxicos. Por cada 3000 litros de gasolina quemada, el aire se contamina con 7.5 kg de bióxido de azufre (31).

Sólo en las últimas décadas cuando hay mayores demandas de energía, problemas ambientales crecientes y una disminución de las fuentes de combustibles fósiles, hemos volcado la atención hacia las opciones de energía alternativa y concentrando nuestra atención en explotar con seriedad estos tremendos recursos.

Este tipo de vehículos tienen diversas denominaciones de acuerdo al país por el cual transitan, por ejemplo en la India se le conoce como (Auto-rickshaws), en Sri Lanka se les llama (Phat-aphats), Bangladesh las conocen como (Tucktuks), en Costa Rica (Toritos) y en parte de Sudamérica (Moto-taxis).

Estos vehículos de transporte ligero de gasolina están siendo desplazados por VE, pero tienen un problema por su bajo rendimiento en la distancia recorrida, se descargan rápidamente las baterías que usan, es por tal razón que se pretende en este trabajo realizar la evaluación a estos modelos de vehículos de carga ligera, instalándole un sistema solar fotovoltaico en su techo del mismo para ir recargando sus baterías durante el día de trabajo y permitirle dar autonomía en su recarga eléctrica sin tener que parar el vehículo.

Se muestra en la figura 1.24 que los vehículos de mayor uso son los autos compactos en Chiapas y todo México, siendo estos con gran aplicación comercial en diversas funciones de transportación con carga ligera y recorridos muy cortos.

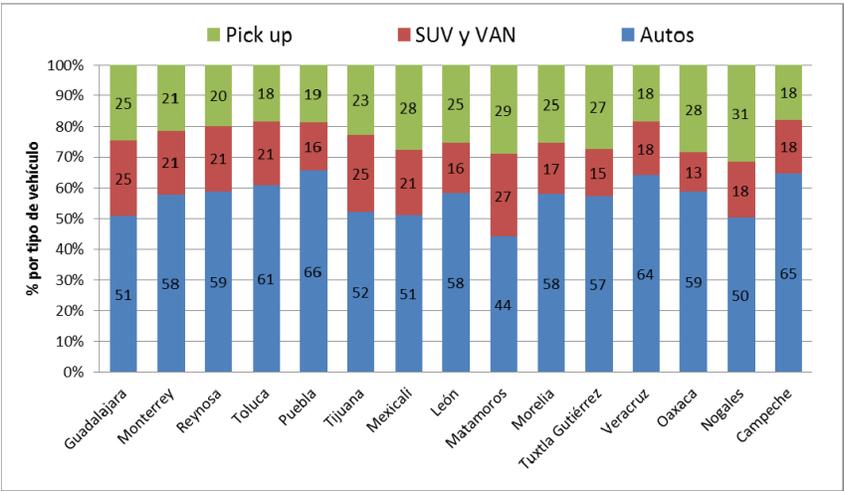


Figura 1.24. Distribución por tipo de vehículos en México, Fuente: INE, 2011.

Cabe mencionar que este análisis de composición de la flota vehicular considera únicamente los vehículos ligeros, a los cuales está dirigido este estudio, por lo que la composición del parque por tipo de vehículos puede cambiar al incluir a los vehículos pesados (32).

1.3. Conclusiones

Este capítulo 1, se analizaron todo los antecedentes del VE y VES, presentando la importancia que se tiene para la disminución de los contaminantes en la actualidad, y nos muestra la gran problemática de su baja eficiencia por descargarse rápidamente sus baterías afectando su poca rentabilidad si queremos usarlo en el servicio de transporte público.

Actualmente como se muestra la investigación en México y el Mundo ya están siendo vanguardista en el tema de los VE y tiene tres proyectos para su estudio de factibilidad en el mercado, no obstante VES para el servicio de transporte público, el cual es del interés en esta tesis.

Se indica la clasificación de los VE que existen en el mundo y la aplicación que se les está proporcionando, así como también se menciona el funcionamiento de ellos y los objetivos tanto general y particulares que se investigaran en el trayecto de este trabajo.

La energía solar en nuestro planeta es inagotable y por tal motivo se pretende adecuar la recarga eléctrica solar a los VE a través de módulos fotovoltaicos en las moto taxi existentes a nivel mundial, siendo aquí en Chiapas el propósito de iniciar con los primeros estudios de recarga a vehículos eléctricos ligeros que pueden ser funcionales para diferentes actividades por ser de poca potencia y no solo para el transporte público, como actualmente se encuentran moto taxis de combustible fósil.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos

2.1. Introducción

La energía solar es convertida a energía útil por el ser humano, ya sea para calentar algo o producir electricidad (como sus principales aplicaciones).- Cada año el sol arroja 4 mil veces más energía que la que consumimos, por lo que su potencial es prácticamente ilimitado.- La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la tierra depende, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

Actualmente es una de las energías renovables más desarrolladas y usadas en todo el mundo principalmente para dos cosas, aunque no son las únicas, primero para calentar cosas como comida o agua, conocida como energía solar térmica, y la segunda para generar electricidad, conocida como energía solar fotovoltaica.

- A. Los principales aparatos que se usan en la energía solar térmica son los calentadores de agua y las estufas solares.
- B. Para generar la electricidad se usan las células solares, las cuales son el alma de lo que se conoce como Módulos solares, las cuales son las encargadas de transformar la energía eléctrica.

Sus usos no se limitan a los mencionados aquí, pueden encontrarse otras aplicaciones que mencionamos a continuación:

- Potabilizar agua,
- Estufas Solares,
- Secado,
- Evaporación,
- Destilación,
- Refrigeración

2.2. Clasificación de las fuentes de energías

Actualmente en nuestras vidas seguimos usando diferentes tipos de energías para el uso cotidiano de diferentes actividades como pueden ser petróleo, gas y carbón, también durante siglos el hombre ha venido aprovechando la energía solar como fuente de vida y opción energética. Y todas estas energías podemos clasificarlas en No renovables y renovables (33).

Energías no renovables: Son energéticos derivados de las fuentes primarias, y se obtienen en los centros de transformación, con características específicas para su consumo final. Estos productos son el coque, gas licuado de petróleo, gasolinas-naftas, querosenos, diésel, combustóleo, productos no energéticos derivados de los hidrocarburos, gas natural y electricidad (34).

Coque: Obtenido de la destilación del carbón siderúrgico y del petróleo. Comprende principalmente al coque de carbón y del petróleo.

Gas licuado de petróleo: Se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento de los líquidos del gas natural. Se compone de propano, butano, o de una mezcla de ambos.

Gasolinas y naftas: Combustible líquido liviano, con un rango de ebullición entre 30 y 200 grados centígrados, que se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento del gas natural. Dentro de este rango se consideran las gasolinas de aviación, automotrices, naturales y las naftas.

Querosenos: Combustible líquido compuesto por la fracción del petróleo que se destila entre 150 y 300 grados centígrados. Comprende la turbosina y otros querosenos.

Diésel: Combustible líquido que se obtiene de la destilación del petróleo entre los 200 y 380 grados centígrados, se utiliza principalmente en motores de combustión interna tipo diésel.

Combustóleo: Combustible residual de la refinación del petróleo que comprende todos los productos pesados. Se utiliza principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación, y se divide en combustóleo pesado, ligero e intermedio.

Productos no energéticos o materia prima: Se utilizan como materia prima, aun cuando poseen un considerable contenido de energía como asfaltos, lubricantes,

grasas, parafinas, etano, propano-propileno, butano-butileno, azufre y materia prima para negro de humo.

Gas natural: Hidrocarburo gaseoso obtenido como subproducto del gas asociado en plantas de gas y refinerías después de extraer los licuables. Se forma por metano y pequeñas cantidades de etano. Se utiliza como materia prima en la industria petroquímica y como combustible.

Los combustibles fósiles (hidrocarburos y carbón) son y seguirán siendo la principal fuente de energía, como consecuencia de su menor costo y mayores eficiencias en su transformación. Sin embargo, el impacto ambiental por la emisión de gases efecto invernadero como consecuencia de su combustión, pueden limitar su utilización en el futuro.

Energías renovables: Se llama energía renovable, a la que, administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente ya que su cantidad disponible no disminuyen a medida en que ésta se aprovecha, aquellas que la humanidad ha utilizado a través de los siglos o bien, su tecnología se encuentra muy bien desarrollada, tenemos por ejemplo las grandes centrales hidroeléctricas, la biomasa (en forma de leña). Las nuevas energías renovables, no convencionales o fuentes alternas que, aun teniendo el potencial para desarrollarlas, no se ha trabajado en ellas para su explotación como por Ejemplo: Solar, eólica, hidroeléctrica, termo marina, mareomotriz, biomasa o hidráulica, geotérmica, bioenergética y las ventajas de las energías renovables podemos mencionarlas debido a su carácter sustentable son (35).

- 1.- Capaces de preservar las fuentes.
- 2.- Garantizan la seguridad y diversidad del suministro energético.
- 3.- Proveen servicios de energía virtualmente sin impacto ambiental, contribuyendo a la protección del ecosistema de las generaciones presente y futuras.
- 4.- En los últimos años, se ha visto una clara tendencia hacia la baja de los costos en los equipos de energías renovables, Su tecnología en forma natural es de tipo modular, lo permite desarrollar infraestructura en forma gradual.

El uso de las energías renovables, representa nuevas fuentes de empleo, mayores exportaciones y la reactivación de muchas industrias tradicionales. En la tabla II, se observa la clasificación de las energías de acuerdo a sus diferentes fuentes y en la tabla III, se observa la clasificación de las energías según su estado natural y como fuente de energía principal el sol.

Tabla II. Clasificación de las energías (36).

Energías Fósiles	<ul style="list-style-type: none"> Gas Natural Petróleo Carbón
Energías renovables	<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Energía Solar <ul style="list-style-type: none"> Térmica Fotovoltaica Bioclimática Energía Eólica Energía Hidroeléctrica Energía de las Olas Energía Termomarina Energía Mareomotriz Energía de las Corrientes Marinas <ul style="list-style-type: none"> Biomasa <ul style="list-style-type: none"> Biogás Biodiesel Alcoholes Leñas y Bagazos Geotérmica <ul style="list-style-type: none"> De Alta Entalpía De Mediana Entalpía De Baja Entalpía Bloenergía
Energía Nuclear	<ul style="list-style-type: none"> Por Fisión Por Fusión (actualmente en investigación)

Tabla III. Clasificación de las energías según su estado natural (36).

Fuente	Efecto	Producto	Tecnología Energética	Fin	
Radiación solar	Evaporación	Lluvia	Energía hidráulica	Trabajo mecánico (+ calor residual) O Calor disipado	
	Viento	Olas	Energía eólica		
			Energía de las olas		
	Calentamiento del mar	Diferencia térmica en las profundidades de mar	Energía termomarina		
			Biomasa vegetal		Combustión
	Fotosíntesis	Biomasa vegetal con alto contenido de azúcares	Carbón, gas y petróleo		Combustión
			Biocombustibles: Aceites, hidrocarburos, otros.		Combustión
			Etanol por fermentación alcohólica		Combustión
			Residuos orgánicos agrícolas, industriales y urbanos		
			Biogás por digestión anaeróbica		Combustión
			Pirólisis		
			Combustión		
	Atracción solar y lunar	Mareas	Energía solar bioclimática		Calor disipado
Energía solar térmica					
Energía solar fotovoltaica					
Calor interno terrestre	Aguas termales	Vapor en superficie	Energía mareomotriz		
		Energía geotérmica de alta entalpia			
			Energía geotérmica de mediana entalpia		
Disociación de masa en energía electromagnética	Reacción nuclear	Radiaciones de alta energía	Energía geotérmica de baja entalpia		
			Energía nuclear por fisión		
			Energía nuclear por fusión		

2.3. Fuente de energía

2.3.1. El sol

El sol, es el objeto central de nuestro sistema solar y se ha formado hace 6.5 mil millones de años de una enorme nube interestelar de gas frío. Contiene prácticamente toda (99.8 %) la masa del sistema solar y es más de 333,000 veces más masivo que la Tierra. Su radio, 700,000 km, es 109 veces más grande que el radio de la tierra. Así que se necesitarían 1, 300, 000 planetas tierra para llenarlo (37).

El sol está compuesto principalmente de dos elementos, hidrógeno y helio, sus cantidades han cambiado a lo largo de su vida, por lo que hoy el hidrógeno y el helio representan el 74.9 % y el 23.8 %, respectivamente de su masa total. El oxígeno sólo contribuye con el 1 %, el carbono con el 0.3 %.- La distancia que nos separa del Sol equivale a un poco más de ocho minutos de luz. Esto significa que la luz, viajando a una velocidad de 300, 000 km/s, se tarda 8.5 minutos en recorrer la distancia que nos separa del sol. Es por eso, que cualquier cambio que sucede en la superficie solar, lo podemos ver con un retraso de ocho minutos. Esta distancia, conocida como unidad astronómica (u.a.), se traduce a 150 millones de kilómetros, lo cual es 390 veces más que la distancia a la Luna y 3, 750 veces mayor que el largo del ecuador.

La temperatura en el sol es tan alta, que el material se encuentra en estado plasma, esto es, separado en iones y electrones. A este estado se le conoce comúnmente como el cuarto estado de la materia, debido a la carga eléctrica de las partículas. El material de un plasma interactúa con campos eléctricos y magnéticos y se comporta de manera muy diferente a un gas neutro.

Si pudiéramos atravesar el sol, veríamos que las condiciones físicas, como la temperatura, la presión, la densidad y la composición química, dependen mucho de que tal lejos del centro del sol las examinamos. Según estas características, el Sol está dividido en capas, de las cuales tres forman el interior solar: núcleo, zona radiactiva y zona convectiva (37).

El núcleo es la parte más interna del sol. Se extiende desde su centro hasta el radio que equivale a un cuarto del radio solar. Esto significa que el volumen del núcleo representa apenas el 1.5 % del volumen del sol, pero, debido a su alta densidad, que en su centro alcanza 150 g/cm^3 o 150 veces la densidad del agua, contiene casi la mitad de la masa solar. El núcleo es también la parte más caliente. La temperatura en el centro es de 15.7 millones de grados Kelvin (K). En el núcleo se produce la mayor parte de energía solar a través de reacciones nucleares.

Por medio de las reacciones el núcleo del sol cambia su estructura química. Estas reacciones transforman elementos químicos ligeros en elementos más pesados. La reacción nuclear más común es la que transforma hidrógeno (H) en helio (He). Sucede que en el núcleo solar, debido a su alta temperatura, los átomos ya no tienen sus electrones. El gas ahí está compuesto de los núcleos atómicos y electrones sueltos que se mueven con velocidades muy altas. Debido a la alta densidad, en un volumen pequeño se encuentran muchos núcleos y estos suelen chocar entre ellos. La mayoría de ellos son núcleos de hidrógeno, llamados protones. Se necesitan cuatro protones para producir un núcleo de helio. Éste pesa casi igual que cuatro protones, pero es más ligero. Esto se debe en parte a que el 0.7 % de la masa de protones se convierte en energía que después será radiada como luz visible ó invisible.

Esta energía no se sale del sol de inmediato, sino que está siendo absorbida y remitida en el interior solar por diferentes partículas, así que se tarda hasta un millón de años en salirse del sol. Cada segundo $4.4 \times 10^9 \text{ kg}$ (4.4 millones de toneladas) de materia son convertidos en 4×10^{26} Joules de energía. Debido a reacciones nucleares la composición química del núcleo cambia, por lo cual es diferente que el promedio del sol. El hidrógeno representa solamente el 40 % de la masa total del núcleo, mientras que el helio es casi el 60 %.

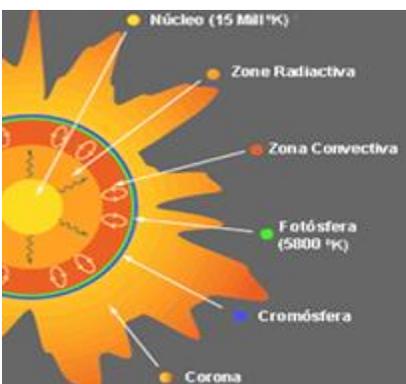


Figura 2.1. Estructura del sol (37).

La energía se genera en el sol en un proceso nuclear de fusión por el que el hidrógeno solar se transforma en helio; esta energía se manifiesta primero en forma de rayos gamma, esta radiación gamma viaja hasta la superficie del sol interaccionando con la materia solar y transformándose en radiación ultravioleta (UV), radiación visible (V) y radiación infrarroja (IR). El sol emite al espacio exterior energía en forma de radiación electromagnética. La radiación electromagnética es una forma de energía que no requiere medio material para desplazarse.

2.3.2. Constante solar y radiación solar

En el límite entre la atmósfera de la tierra y el espacio vacío, la radiación solar es de 1.366 watios por metro cuadrado [W/m^2].- Este valor se llama constante solar, y supone un valor medio para toda la superficie que contiene a la atmósfera terrestre. Sin embargo la energía que llega a la superficie terrestre es menor debido a la interacción de los componentes de la atmósfera con la radiación solar. Primeramente la capa de ozono absorbe radiación ultra violeta [UV] funcionando como una pantalla de radiaciones perjudiciales para la vida terrestre. También, parte de la radiación es reflejada de nuevo al espacio, y otra se atenúa en su choque con partículas y moléculas atmosféricas. Por término medio, en toda la superficie terrestre, la intensidad que llega es de unos $900 W/m^2$ (38).

La radiación global que llega a un punto sobre la superficie terrestre tiene tres componentes, los cuales son:

1. La radiación directa es la que llega sin interaccionar con nada y sin cambios de dirección; es la más importante en un día soleado.
2. La radiación difusa es producto de los choques de la radiación directa con las partículas y los componentes atmosféricos; es la radiación típica de los días nublados.
3. La radiación reflejada, también llamada albedo, es la que llega procedente de la reflexión de la radiación directa en los elementos del entorno; cerca del

mar o en las zonas con nieve esta componente cobra una enorme importancia.

2.3.3. Geometría del sol y tierra

Sin duda la relación más importante entre el sol y la tierra se refiere al intercambio energético, o mejor dicho, al hecho de que una fracción de la enorme cantidad de energía irradiada por el sol llega de manera constante hasta nuestro planeta, haciendo posible prácticamente todas las formas de vida conocidas. Sin embargo existe otro conjunto de relaciones, a las cuales podemos englobar como geométricas, que afectan significativamente la forma en que la radiación solar afecta a nuestro planeta. Las relaciones geométricas entre el sol y la tierra marcan la pauta de nuestro devenir temporal, desde los cambios de estaciones a lo largo del año hasta la sucesión del día y la noche (39).

2.3.3.1. Movimientos terrestres y variaciones temporales

La tierra, realiza simultáneamente dos movimientos principales respecto al sol que se mencionan a continuación (37).

A.- Movimiento de traslación, cuando la tierra se mueve alrededor del sol siguiendo una trayectoria de forma elíptica. El sol se ubica en uno de los focos de la elipse, lo cual ocasiona que la distancia desde la tierra al sol varíe a lo largo del año. Sin embargo dicha variación es muy pequeña, ya que los dos focos de la elipse se encuentran relativamente cercanos entre sí, mientras que la diferencia entre el radio mayor y el radio menor es mínima

De hecho, en términos prácticos, podemos considerar que la órbita terrestre es circular. El movimiento de traslación dura un año solar: 365 días, 5 horas, 48 minutos y 46 segundos.

La distancia entre el sol y la tierra oscila entre 147.0×10^6 km (afelio, 5 de julio) y 152.2×10^6 km (perihelio, 4 de enero). Esto genera una pequeña variación en la cantidad de radiación solar que recibe la tierra, variación que no influye de manera significativa en el clima terrestre.

B.- Movimiento de rotación, simultáneamente al movimiento de traslación, la tierra gira sobre sí misma en torno a un eje denominado norte-sur geométrico (el cual es ligeramente distinto al eje norte-sur magnético). Este eje de rotación se encuentra inclinado 23.47° respecto a la perpendicular de la eclíptica y en todo momento

mantiene casi invariable (3) su dirección absoluta. El movimiento de rotación tiene una duración de un día solar (aproximadamente 24 horas).

2.3.3.2. Conceptos geométricos básicos

Para comprender mejor las relaciones geométricas entre el sol y la tierra es necesario conocer algunos conceptos básicos, entre los que se encuentran la constante eclíptica, el ángulo de declinación, los equinoccios y los solsticios.

Constante eclíptica, es el ángulo constante que forma el eje norte - sur geométrico de la tierra respecto a la perpendicular del plano de la eclíptica. Este ángulo tiene un valor aproximado de 23.47° . El plano del ecuador y el plano de la eclíptica forman un ángulo igual a la constante eclíptica.

Declinación, es la dimensión angular, medida sobre un meridiano que pasa por el centro del sol, entre el plano del ecuador y el plano de la eclíptica.

La declinación (d) entonces depende de la posición de la tierra sobre la eclíptica. Por convención, la declinación se considera positiva cuando el ángulo se sitúa en el hemisferio sur y negativa cuando se sitúa en el hemisferio norte.

Equinoccios, son los puntos de la eclíptica con declinación nula, fenómeno que sucede en dos fechas específicas, el 21 de marzo (equinoccio de primavera) y el 23 de septiembre (equinoccio de otoño). En los equinoccios tanto el plano del ecuador como el eje de intersección entre el plano del ecuador y el de la eclíptica pasan por el centro del sol. La duración del día es igual a la de la noche, mientras que las zonas ecuatoriales reciben la máxima insolación teórica (cuando los rayos solares son perpendiculares a la superficie).

Solsticios, el solsticio de verano, que tiene lugar el 22 de junio, representa el punto de la eclíptica con la máxima declinación positiva ($d = +23.47^\circ$). La franja terrestre ubicada en el Trópico de Cáncer recibe la máxima insolación teórica. El solsticio de invierno, por otro lado, sucede el 22 de diciembre e indica el punto de la eclíptica con la máxima declinación negativa ($d = -23.47^\circ$). La franja terrestre ubicada en el Trópico de Capricornio recibe la máxima insolación teórica.

En los solsticios se produce la máxima diferencia entre la duración del día y de la noche. Para cualquier punto en el hemisferio norte, en el solsticio de verano se presenta el día más largo y la noche más corta. En el solsticio de invierno se da la situación contraria. En cambio en el ecuador el día y la noche tienen la misma duración a lo largo del año (39).

2.3.4. Ecuaciones para la radiación solar en la tierra

La radiación global comprende tres parámetros que son, radiación directa, radiación difusa y radiación albedo. A la suma de estas tres componentes se le llama radiación global y para realizar el procedimiento de cálculo de la radiación sobre la superficie inclinada en cada día del mes de estudio, se calculan los siguientes parámetros:

Declinación solar en radianes; siendo d , el día central de cada mes:

$$\delta = \frac{23.45\pi}{180} \times \text{sen} \left(2\pi \frac{d+284}{365} \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

La distancia de la tierra con respecto al Sol cada día es diferente y se obtiene por la siguiente formula dada.

$$\varphi = 1 + 0.033 \cos \left(2\pi \frac{d}{365} \right) \quad (\text{Ecuación 2})$$

2.4. Efecto fotovoltaico

En 1905 Albert Einstein dio la explicación teórica del efecto fotoeléctrico, la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto fotovoltaico.

El objeto físico en el que este fenómeno tiene lugar es la célula solar, es un diodo con la característica esencial de tener una superficie muy amplia en cm^2 . El material más utilizado en el mercado para la fabricación de estas células solares es el silicio el cual se tomará en consideración para el modulo del trabajo.

2.4.1. La célula fotovoltaica

La conversión de la radiación solar en una corriente eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica, como se muestra en la siguiente figura 2.2. La célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, frecuentemente de silicio y generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada. Para la realización de las células, el material actualmente más utilizado es el mismo silicio utilizado por la industria electrónica, cuyo proceso de fabricación presenta costes muy altos, no justificados por el grado de pureza requerido para la fotovoltaica, que son inferiores a los necesarios en electrónica.

Los semiconductores son sustancias, de conductividad eléctrica intermedia entre un aislante y un conductor y, según sus características, se clasifican en dos tipos: "tipo p" y "tipo n". Estas características se consiguen añadiendo impurezas que afectan a las propiedades eléctricas del semiconductor, proceso que se llama "dopado". Añadiendo al silicio impurezas de fósforo se consigue un semiconductor tipo n, mientras que añadiendo boro, se consigue un semiconductor tipo p. El alto grado de pureza necesario para la obtención de semiconductores será el motivo principal de su elevado costo.

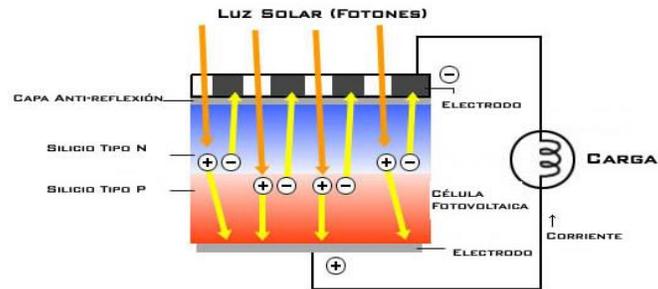


Figura 2.2. Funcionamiento de una célula fotovoltaica (40)

Un disco mono cristalino de silicio dopado en su superficie expuesta al sol hasta hacerla de tipo n y en su parte inferior de tipo p, constituye una "célula solar fotovoltaica", completada por unos contactos eléctricos para hacer circular la corriente eléctrica por el circuito exterior, generalmente adecuados conectando 36 de ellas y montándolas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie, se obtiene un "Módulo Fotovoltaico", capaz de proporcionar una corriente continua entre 18 a 22 Vcd con una iluminación de 1 kW/m².

Una serie de módulos montados sobre un soporte mecánico constituyen un "Panel Fotovoltaico" según se conecten dichos módulos en serie o en paralelo, puede conseguirse casi cualquier valor de tensión y de intensidad de corriente, según sea su aplicación comercial y necesidad.

2.4.2. Funcionamiento y tipos de celdas solares

Módulos fotovoltaicos, llamados comúnmente paneles solares, están formados por un conjunto de celdas, (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos ver figura 2.3 (energía solar fotovoltaica).

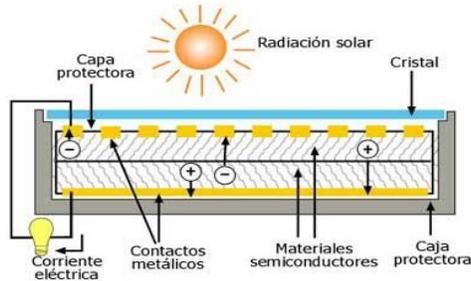


Figura 2.3. Estructura del módulo fotovoltaico (40)

En este tipo de sistemas, la energía producida por los módulos fotovoltaicos es almacenada en baterías de acumulación y la carga es alimentada, a través del regulador de carga, por la energía acumulada en las baterías. De esta forma se logra aprovechar la radiación solar durante el día y darle una aplicación en los aparatos necesarios para uso común en nuestras necesidades de la vida.

Las características de los módulos fotovoltaicos de silicio cristalino se identifican por el silicio de grado solar que necesita una pureza de 0,01 ppm (partículas por millón) respecto del silicio de grado electrónico que requiere una pureza del orden de 0,001 ppm.

Se encuentran diferentes tipos de módulos solares fotovoltaicos, generalmente están compuestos por la conexión de varias células fotovoltaicas entre si y los fabrican de modo de proporcionar una potencia máxima determinada, a un voltaje preestablecido.

Consisten por lo general en una asociación en serie o serie-paralelo de un número determinado de células solares, con un encapsulado o protección de las células montadas sobre un soporte metálico, que podemos describir a continuación:

A).- Celdas solares de tipo mono cristalino, como se ve en la figura 2.4, este tipo de celda tiene una estructura cristalina ordenada, con cada átomo idealmente situado en una posición pre-ordenada y muestra un comportamiento predecible y uniforme donde el silicio pasa a través de varios ciclos de filtración intensiva lenta con la energía y los procesos de separación y por lo tanto es el tipo más costoso de silicio.

Estas celdas normalmente se crean en una forma circular o un "cuadrado-sin-esquinas. Tienen la ventaja de tener una mayor eficiencia que las poli cristalinas pero son más difíciles de fabricar y por lo tanto un poco más caras, en general, los módulos fotovoltaicos hoy en día se fabrican con células solares poli cristalinas.

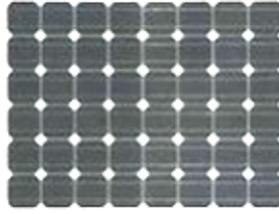


Figura 2.4. Modulo solar monocristalino (34)

Esto es porque, cuando se cultivan a partir de un lingote, la única manera de crear estructuras cristalinas de alta pureza es extruido del líquido fundido y la gravedad hace el resto, con respecto a la creación de un bloque cilíndrico de que las celdas más pequeñas se cortan. Por lo general, los fabricantes dejan las células en una forma circular sin embargo, debido a los avances en el reciclaje, las células se están cortadas en cuadrados-sin-esquinas para maximizar la densidad de empaquetamiento de los módulos.

B).- Celdas solares de tipo multicristalino o policristalino, como se ve en la figura 2.5, Este tipo de celda contiene varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntas a través de un enlace covalente y separados por límites de grano y el silicio pasa a través de un menor número de ciclos de filtración intensiva de energía que los procesos de separación de las células monocristalinas y por lo tanto son un material menos costoso para los fabricantes.

Estas celdas son fabricadas en una forma cuadrada. Esto es debido a que el líquido fundido en los lingotes (cuadrado) no es para ser extruido o ir a través de otro proceso, sino para producir un bloque de silicio fuera de los cuales las pequeñas células son cortadas. Las uniones entre los granos tienen un efecto interesante en la eficiencia de la celda solar.



Figura 2.5. Módulo solar policristalino (34)

C).- Celdas solares tipo amorfo ver figura 2.6, Este tipo de celda tiene un arreglo incluso menos regular de los átomos, que dan lugar a enlaces colgantes y varias lagunas donde la recombinación puede tener lugar, el silicio puede ser fabricado en cualquier forma o tamaño y puede ser producido, en teoría, a precios muy bajos.- Estos fueron el primer tipo de células de energía solar que se utilizaron en la aplicación de productos de consumo, como: Relojes, calculadoras y otras aplicaciones no críticas y al aire libre.



Figura 2.6. Celda solar tipo amorfo (34)

D).- Celdas solares tipo micro / nanocristalino, ver figura 2.7, mejor conocidos como módulos de película fina de energía solar, también son una categoría de las células fotovoltaicas. Este concepto es una extensión de la idea detrás de silicio amorfo sin embargo en lugar de utilizar silicio de la industria en este caso se usan otros elementos, el más eficiente de los cuales es de arseniuro de galio de película fina. Estos tipos de células solares requieren menos materia prima que implicaría que el coste de las materias primas debe ser inferior sin embargo, debido al alto grado de manipulación y los costes de transformación de tales células delgadas, combinadas con la mayor eficiencia, hace que sea muy difícil juzgar si su vale la pena su precio. No obstante, existe una cierta demanda de estas células

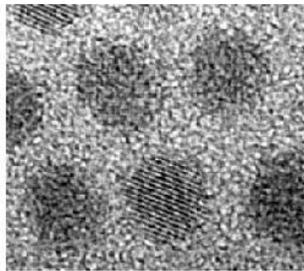


Figura 2.7. Celda solar tipo nano cristalino (34)

El silicio nanocristalino, también llamado micro cristalino, es una clase de silicio amorfo pero contiene cristales pequeños. Es más fácil de hacer que el silicio normal, absorbe un espectro más amplio de la luz que el amorfo.

Todas estas celdas Solares tienen diversas aplicaciones como pueden mencionarse algunas de ellas en la industria, telecomunicaciones, sanidad, servicios públicos, residencial, embarcaciones, comunidades rurales.

2.4.3. Componentes de un sistema solar fotovoltaico

Se define como sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica y los principales componentes que lo forman son: Módulos fotovoltaicos, regulador de carga y sistema de acumulación (baterías).

La base principalmente está en el funcionamiento estándar de un módulo fotovoltaico que proporciona la corriente y tensión (I - V), representándose con la curva característica y sus principales elementos de una célula fotovoltaica como se muestra en la figura 2.8

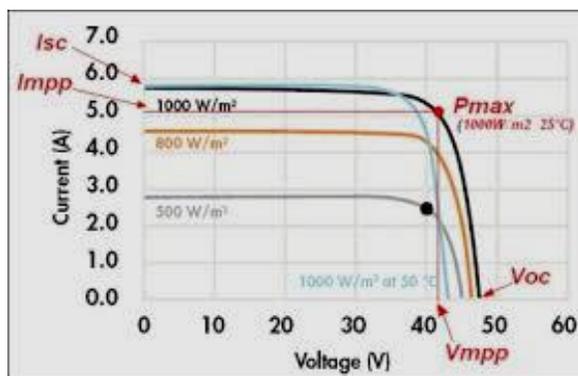


Figura 2.8. Curva característica del módulo fotovoltaico (35)

La curva muestra las posibles combinaciones de corriente y voltaje para un dispositivo fotovoltaico bajo unas condiciones ambientales determinadas (radiación solar incidente y temperatura ambiente).

El factor de forma (FF), También se conoce como Fill factor en inglés y define la eficacia de un panel solar ver figura 2.9, relacionando el punto de máxima potencia (Pmax), dividido por el producto entre el voltaje a circuito abierto (Voc) y la corriente de cortocircuito (Isc). Esto se muestra en la siguiente ecuación.

$$FF = \frac{P_{max}}{(V_{oc})(I_{sc})} \quad (\text{Ecuación 3})$$

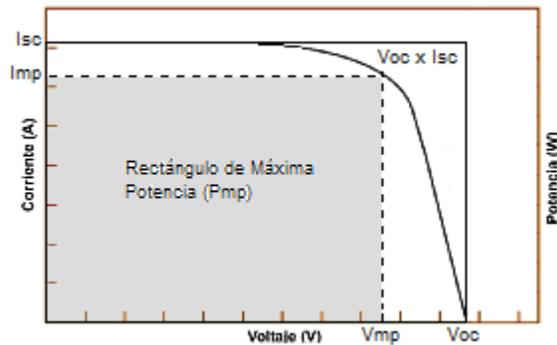


Figura 2.9. Punto de máxima potencia y factor de forma (41)

En un día despejado de nubosidad, el Sol irradia cerca de 1 kW/m^2 a la superficie de la tierra. Teniendo en cuenta que actualmente la eficiencia de un panel fotovoltaico puede estar entre el 12 y 25%, se alcanzaría una producción de energía aproximada de 120 a 250 W/m^2 , dependiendo eso sí de la insolación solar.

Generalmente las células dentro del módulo fotovoltaico se asocian en serie, con el fin de obtener unos valores de voltaje más apropiados para su conexión a distintas cargas o a una batería (el voltaje de una célula estándar suele ser de unos 0.6Vca). El voltaje total del módulo dependerá, por tanto, del número de células asociadas en serie, por el contrario, la corriente que podemos obtener del módulo fotovoltaico va a depender básicamente del tipo y tamaño de células.

Esta información de la fuente de energía solar fotovoltaica que se ha proporcionado en este apartado, es la que se utilizara en el desarrollo del proyecto con el vehículo eléctrico autónomo fotovoltaico.

2.5. Componentes básicos de un vehículo eléctrico

2.5.1. La batería o acumulador

Este dispositivo capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga.

La capacidad de un acumulador se mide en amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, y se define como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado, siendo el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa (42).

El acumulador que ha de ser usado para aplicaciones solares se le debe exigir el cumplimiento de unas condiciones básicas, como son:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el módulo solar.
- Mantenimiento nulo o mínimo.
- Fácil transporte e instalación.
- Bajo valor de auto descarga.
- Rendimiento elevado.
- Elevado número de ciclos de carga-descarga
- Larga vida útil.

Los componentes y estructura interna de los acumuladores de plomo convencional se muestran en la figura 2.10 y describimos cada parte.

1. Electrolito, es la solución diluida de ácido sulfúrico.
2. Rejillas, es el elemento estructural que soporta la materia activa
3. Placas positivas, es dióxido de plomo.
4. Placas negativas, es plomo esponjoso
5. Separadores, son elementos de material microporoso que se colocan entre las placas de polaridad opuesta para evitar un corto circuito.
6. Carcasa, está fabricada comúnmente de plástico o goma dura y contiene todos los elementos de la batería. Los contenedores transparentes facilitan el control visual del nivel del electrolito
7. La célula, es el elemento básico electroquímico (también denominado para dar lugar a tensiones de 12 V (6 elementos en serie) o 24 V (12 elementos en serie)). aislantes, inmersas en una solución de electrolito, todo ello dentro de un contenedor. En una batería típica de plomo-ácido (Pb-a) cada célula tiene un voltaje nominal en torno a 2.2 V, que se pueden asociar en elemento de batería, consistente en un conjunto de placas positivas y negativas separadas.
8. Terminales, son las conexiones eléctricas externas (positiva y negativa).

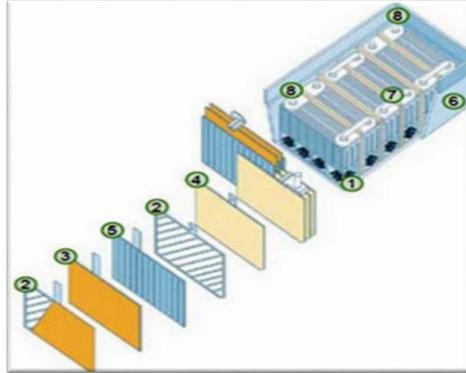


Figura 2.40. Componentes y estructura de una batería plomo-ácido convencional (42)

2.5.1.1. Tipos de baterías

Se encuentran diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo-ácido. Las primeras presentan unas cualidades excepcionales, pero debido a su elevado precio se usan con menos frecuencia.

La capacidad de las baterías de plomo-ácido suele ser de 6, 12 o 24 Vcd, teniendo una tensión por celda de 2.2 V. Están formadas por un depósito de ácido sulfúrico y dentro de él una serie de placas de plomo dispuestas alternadamente. Generalmente, en su fabricación, las placas positivas están recubiertas o impregnadas de dióxido de plomo (PbO_2), y las negativas están formadas por plomo esponjoso. La corriente (intensidad) de las baterías depende del número de placas que ella tenga. La vida útil de las baterías está relacionada a los ciclos de carga y descarga que ella tenga y al uso que se les proporcione.

Por el contrario, las baterías de plomo-ácido en sus diferentes versiones son las más usadas para las aplicaciones solares, adaptándose a cualquier corriente de carga, teniendo un precio razonable.

Estas baterías de plomo-ácido se usaran para evaluar el sistema autónomo solar fotovoltaico que será instalado en el VE.

Existen baterías de ciclado profundo y comerciales para automotor y las podemos clasificar por su funcionamiento como se describen a continuación.

A.- Baterías de arranque para automotor: La función principal de la batería es suministrar corriente eléctrica al motor de arranque y al sistema de encendido hasta

que el motor se ponga en funcionamiento, luego actúa como estabilizador de voltaje, dado que el generador, se encargará de suministrar la energía a todos los sistemas eléctricos dependientes.

Otra función es la de reserva de energía para los accesorios: Radio, luces, controlador, GPS, etc. cuando el motor no está funcionando.

B.- Baterías de tracción de ciclo profundo: Una batería de tracción es una batería que impulsa el movimiento de un vehículo híbrido eléctrico o todo-eléctrico, las más utilizadas actualmente son las de iones de litio y para la unión de sus componentes suele utilizarse la soldadura por rayo láser.

Se trata de una tecnología que puede utilizarse en combinación con la electricidad renovable para optimizar la red eléctrica (V2G) traducido del inglés como "Vehículo a la red", describe un sistema en el cual la energía puede ser vendida a la red eléctrica por el conductor de un vehículo todo-eléctrico o híbrido enchufable, cuando este es conectado a la red en los momentos que no se use para el transporte. Alternativamente, cuando las baterías del coche necesiten ser recargadas, el flujo se invertirá y la electricidad fluirá de la red al vehículo.

El V2G puede ser usado con vehículos eléctricos o híbridos que dispongan de enchufe. La mayor parte de los vehículos permanecen aparcados un 95% del tiempo, sus baterías podrían ser usadas dejando que la electricidad fuera del coche a las líneas de conducción eléctrica y al revés. Una batería de un vehículo puede recibir electricidad de la red o puede aportar electricidad a la red. Tanto la recepción como el aporte pueden ser gestionados por un software que optimiza este proceso, dependiendo de toda una serie de parámetros, entre los que destaca sobre todo el horario de uso del vehículo y la distancia a recorrer.

C.- Baterías estacionarias: Se caracterizan principalmente porque pueden almacenar grandes cantidades de energía y la suministran a una potencia constante. Normalmente son usadas en aplicaciones solares que tal y como indica su nombre no se mueven del sitio donde están instaladas.

2.5.1.2. Características técnicas de las baterías

Las baterías tienen varias características que es necesario conocerlas en este proyecto para el desarrollo de sistema y funcionamiento, como pueden en listarse cada una de ellas a continuación.

A.- Gasificación: Cuando una batería de plomo-ácido está próxima a alcanzar el 100% de su carga, la cantidad de agua en el electrolito ha sido severamente reducida. Los iones que esta provee se hacen más escasos, disminuyendo la posibilidad para el ión de hidrógeno (electrodo negativo) y para el ión de oxígeno (electrodo positivo) de reaccionar químicamente, formando plomo y dióxido de plomo, respectivamente. Si la corriente de carga continúa al mismo nivel, el exceso de gases escapa del electrolito produciendo un intenso burbujeo, el que se conoce como “gasificación”.

B.- Ampere-horas (Ah): Con esto se mide la capacidad de las baterías, Una capacidad de 100 Ah significa que se puede descargar 1 ampere durante 10 hrs. ó 2 amperes durante 50 hr, o bien, 100 amperes durante 1 hora, la capacidad de un banco de baterías depende de la cantidad de baterías conectadas a un voltaje dado y la capacidad de una batería depende de:

- La Profundidad de la descarga (DOD)
- La razón de la descarga
- La temperatura
- La auto-descarga
- La edad
- Plomo-Acido (40-50% ciclo de descarga)
- Números de ciclos 1,000 – 1,500 ciclos

C.- Valor en Ah de una batería: El número de Ah de una batería es un valor que se deriva de un régimen de descarga especificado por el fabricante. Para un tipo especial de baterías, llamadas solares, el procedimiento de prueba ha sido estandarizado por la industria. Una batería, inicialmente cargada al 100%, es descargada, a corriente constante, hasta que la energía en la misma se reduce al 20% de su valor inicial. El valor de esa corriente de descarga, multiplicado por la duración de la prueba (20 horas es un valor típico), es el valor en Ah de esa batería. Un ejemplo práctico servirá para reforzar este concepto. Si una batería solar tiene una capacidad (C) de 200 Ah para un tiempo de descarga de 20 hr, el valor de la corriente durante la prueba es de 10 A.

D.- Watts-hora (Wh), Amperes-hora (Ah) y profundidad de descarga: Tres características definen una batería de acumulación y la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar (descarga) y la profundidad de descarga que puede sostener.

La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el número de Wh. La capacidad (C) de una batería de sostener un régimen de descarga está dada por el número de Ah, Para una batería, el número de Wh puede calcularse multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Ah, Si la

batería solar de nuestro ejemplo tiene un voltaje nominal de 12 Volts Y 130 Ah, la cantidad de energía que puede ser acumulada es de:

$$Wh = Voltaje nominal \times Ah \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$12V \times 130 Ah = 1560 Wh (1.56KWh)$$

E.- Ciclo de una batería: Se denomina ciclo de una batería a la sucesión de una descarga seguida de su posterior recarga hasta recuperar completamente la energía extraída. Las normas IEEE, DIN, BS, JIS, IEC, también definen la duración de ciclos batería de Plomo-Acido. Por la Norma IEC 60896. En la figura 2.11, se observar la diferencia de ciclos entre una batería de arranque automotriz y de tracción ciclo profundo.

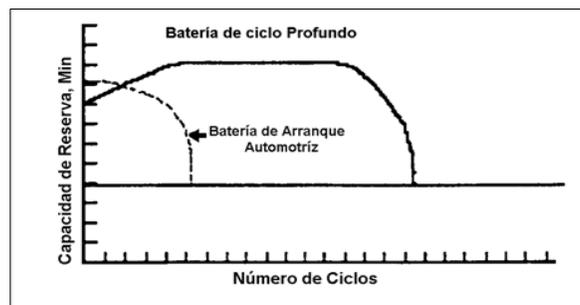


Figura 2.11. Capacidad de ciclos de batería automotriz y ciclo profundo (41).

La norma internacional más conocida en relación con baterías industriales de plomo-ácido es la IEC 896, también identificada como IEC 60896 y EN 60896. Recordamos que IEC es la sigla del International Electro technical Committee, con sede en Ginebra. “EN” son la siglas de European Norm, es decir que la Comunidad Europea ha adoptado a esta IEC como norma propia. La norma, a su vez, tiene dos partes: la primera, IEC 60896-1, se refiere a baterías de plomo-ácido abiertas o ventiladas y la IEC 60896-2 se refiere a baterías selladas.

A continuación mencionaremos brevemente los principales temas que abarcan las dos partes de esta norma:

IEC 60896-1: Requisitos generales y métodos de ensayo de baterías de plomo-ácido del tipo ventiladas. Es sumamente importante cuando se realizan ensayos de capacidad nominal, adaptación al funcionamiento a tensión de flote, ciclado, retención de carga, resistencia interna y corriente de corto-circuito.

IEC60896-2: Requisitos generales y métodos de ensayo de baterías de plomo-ácido del tipo VRLA. Al igual que la anterior es muy utilizada para la realización de ensayos

de desempeño en este tipo de productos (los ensayos son similares a los de la norma IEC 60896-1).

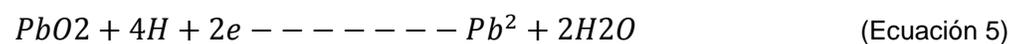
F.- Capacidad de reserva: Capacidad de reserva es el número de minutos que un acumulador nuevo, a plena carga, puede descargarse de manera continua y mantener un voltaje terminal igual o mayor de 1.75 voltios por celda.

2.5.1.3. Funcionamiento de las baterías

El tipo de acumulador más usado en el presente, dado su bajo costo, es la batería de plomo y ácido sulfúrico con electrolito líquido. En ella, los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. Llamándola batería Pb-ácido, usando el símbolo químico para el plomo (Pb). Cuando la batería está cargada, el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo y el negativo es plomo. Al descargarse, la reacción química que toma lugar hace que, tanto la placa positiva como la negativa, tengan un depósito de sulfato de plomo.

Como el proceso químico libera gases (hidrógeno y oxígeno) se necesita que el conjunto tenga ventilación al exterior. El diseño de las tapas de ventilación permite la evacuación de estos gases, restringiendo al máximo la posibilidad de un derrame del electrolito siendo las reacciones químicas en una batería de plomo-ácido como se muestran continuación:

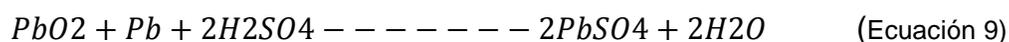
En la placa positiva:



En la placa negativa:



En la reacción global:



2.5.2. Motor eléctrico.

Es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.

2.5.2.1. Tipos de motores

Estos podemos encontrarlos en dos grupos diferentes en la ingeniería y diversos trabajos, cada uno de ellos tienen clasificación de sus propios motores, como se mencionan a continuación.

A. Motores de Corriente Continúa (CC) ó Corriente Directa (CD).

- Los motores de CC tienen algunas aplicaciones especiales en los motores lineales, cuando ejercen tracción sobre un riel.
- Los motores de imanes permanentes usados en la construcción de servomotores y motores paso a paso.
- Además existen motores de CD sin escobillas llamados brushless, utilizado en este proyecto de tesis.

B. Motores de Corriente Alterna (CA).

Existen tres tipos, siendo el primero y el último los más utilizados:

- Motor universal, puede trabajar tanto en CA como en CC.
- Motor asíncrono
- Motor síncrono

2.5.2.2. Funcionamiento del motor eléctrico

Cuando la corriente atraviesa los arrollamientos de las tres fases del motor, en el estator se origina un campo magnético que induce corriente en las barras del rotor, dicha corriente da origen a un flujo que al reaccionar con el flujo del campo magnético del estator, originará un par motor que pondrá en movimiento al rotor. El

movimiento es continuo, debido a las variaciones también continuas, de la corriente alterna trifásica.

Solo debe hacerse notar que el rotor no puede ir a la misma velocidad que la del campo magnético giratorio. Esto se debe a que a cada momento recibe impulsos del campo, pero al cesar el empuje, el rotor se retrasa. A este fenómeno se le llama deslizamiento.

Después de ese momento vendrá un nuevo empuje y un nuevo deslizamiento, y así sucesivamente. De esta manera se comprende que el rotor nunca logre alcanzar la misma velocidad del campo magnético giratorio.

2.5.3. Unidad de control electrónica

Este equipo en el vehículo se encarga de regular y transformar la alimentación eléctrica que es usada por el motor y sus accesorios.

Recibe la energía del banco de baterías de corriente continua y alimenta al motor eléctrico en corriente alterna de inducción, sirviendo como regulador de voltaje del circuito eléctrico y controlador de carga.

2.6. Vehículo Eléctrico Solar Fotovoltaico (VSF)

Se entiende por automóvil solar como aquel vehículo que es impulsado únicamente por celdas fotovoltaicas, estos automóviles solares en el transporte particular no son los que se estarán conduciendo en un futuro cercano, ya que en realidad no son nada prácticos, son excesivamente caros, complicados, frágiles y aún en el caso de que se lograran obtener celdas solares con 100 % de eficiencia, la energía que podría captar un vehículo de tamaño regular sería muy poca para cubrir las necesidades de transporte actuales, además de que la luz solar no siempre está presente.

En nuestras fechas la historia de los autos Solares se remonta a 1982, cuando un visionario aventurero australiano, de origen danés, Hans Tholstrup, y el piloto de carreras Larry Perkins, construyeron y manejaron el primer auto solar, el "BP Quiet Achiever" figura 1.5. Cruzaron Australia de oeste a este por un total de 4058 Kilómetros tomó 20 días con un promedio de velocidad de 23 km/h.

El propósito de este primer auto, fue el de mostrar al mundo tres cosas básicamente, que la energía solar era una fuente muy importante y suficientemente desarrollada para sustituir a los combustibles fósiles, que el transporte terrestre tiene alternativas

no contaminantes como el vehículo eléctrico, y crear el interés en el mundo científico por el desarrollo de ambas.

Un auto eléctrico cuando se apoya de módulos solares para su recarga eléctrica de las baterías, no solamente es una excelente propaganda para la eficiencia y el uso de la energía solar, sino también para la ingeniería como una verdadera opción de un recurso humano fundamental para el desarrollo industrial y económico de México y el Mundo, pensando en la reducción de contaminantes.

Conociendo las tecnologías donde se aplica el conocimiento de la ciencia como son las aplicaciones de las diferentes leyes de la física, química y mecánica, entre algunas mencionando la aportación de los grandes científicos, como (Isaac Newton y Michael Faraday).

La verdadera importancia de un automóvil solar no radica pues en un futuro transporte comercial, sino en lo siguiente:

2.6.1. Cómo funciona un auto solar

Su funcionamiento consiste en recibir directamente la radiación solar por los módulos sobre el techo del vehículo para luego ser almacenada la energía en un banco de baterías que están en el mismo y poder ser usada cuando sea necesaria o estar usándola instantáneamente si el vehículo se encuentra en movimiento, como se describe a continuación:

La energía del sol se convierte directamente en electricidad por las celdas solares, esta electricidad es almacenada en baterías y un controlador recibe la energía de las baterías que mueve un motor eléctrico por medio de la transmisión mueve las ruedas. El piloto dentro de la cabina tiene los elementos básicos que hay en cualquier otro auto, como son, volante, acelerador y freno. Lo único que no tiene es un "clutch" o embrague, ya que un auto solar no necesita caja de velocidades.

Un automóvil solar es un verdadero proyecto de investigación y desarrollo de adelantos tecnológicos en aerodinámica, materiales, módulos solares, electrónica, motores, baterías y llantas, que pueden ser posteriormente aplicados a los VE para hacerlos competitivos frente a los vehículos de combustión interna y acelerar así, su aceptación en el mercado. Se debe recordar que una gran parte de los avances tecnológicos incorporados hoy en los vehículos de combustión interna, que nos transportan cotidianamente, fueron desarrollados en prototipos para competencias automovilísticas.

Un automóvil solar, resalta los términos "eficiencia" y "energía solar" de una manera por demás atractiva, lo que ha provocado un efervescente interés por estos términos entre los ingenieros. El automóvil solar, es capaz de recorrer enormes distancias y viajar a una velocidad promedio de 70 km/h con una potencia menor a 1 kW, potencia equiparable a aquella que se podría encontrar en cualquier aparato electrodoméstico, como un secador de pelo.

2.7. Ventajas y Desventajas del VSF

En ocasiones, al mantener alguna conversación sobre temas relacionados con el coche eléctrico, es más o menos frecuente oír algún comentario acerca de la posibilidad de poner placas solares a este tipo de coches para que éstos se carguen simplemente de estar estacionados (o incluso circulando) bajo el sol.

Ojalá que en algún momento las cosas pudieran llegar a ser así de sencillas, pero por el momento esta opción está muy lejos de convertirse en algo viable para cargar un VE. La explicación es una simple cuestión de cuentas:

El rendimiento de los módulos solares actuales es muy bajo (del orden del 15%) y actualmente los vehículos eléctricos tienen requerimientos de potencia muy altos como uno de gasolina. Veámoslo con un ejemplo:

Un VE tiene una batería con una capacidad de unos 25 kWh y motores con potencias del orden de 100 kW. Tiene 1.5 m² de superficie disponible para instalar módulos solares, en el mejor de los casos. Utilizando unos módulos con un rendimiento del 15%, se podría obtener una potencia nominal de 225 W (radiación de 1000 W/m² * 1.5m² * 0.15%). Si comparamos estas cifras con la potencia habitual de los cargadores de abordaje utilizados por los vehículos eléctricos (con una potencia de, al menos, 3.3 kW) obtenemos un factor casi 14.6x, es decir, la placa solar tardaría 14.6 veces más tiempo que una "carga lenta" para recargar las baterías del vehículo (43).

Plantearse la opción de incluir módulos solares en el vehículo podría ser razonable en uno de los siguientes escenarios:

1. Se trata de un vehículo con una potencia muy limitada, de un orden de magnitud similar a la que puedan proporcionar los Módulos Solares.
2. Estamos ante un tipo de vehículo que, por sus características, dispone de una gran superficie en la que se instalen paneles fotovoltaicos.

Ya se encuentran vehículos con módulos solares figura 2.12 que solo obtienen una potencia muy reducida (4~5 kW) en una superficie disponible relativamente grande (considerando el tamaño del vehículo), en la que se pueden producir entre 200 y 400 W según las dimensiones de los paneles y espacio del Vehículo, como el Fisker Karma con paneles solares.



Figura 2.12. Fisker Karma (44)

El Fisker Karma es un sedán deportivo de lujo eléctrico de autonomía extendida o híbrido serie enchufable, comercializado por Fisker Automotive fabricado por Valmet Automotive en Finlandia entre 2011 y 2012. Los precios en los EE.UU. iban hasta los 116 000 USD, tiene 53 kilómetros de autonomía en modo eléctrico y tarda en cargarse 3 horas en un enchufe de 220 V.

Sus ventajas son muy limitadas actualmente en los autos eléctricos, pero desarrollando un Vehículo de baja potencia y bajas velocidades podremos obtener mejores beneficios a la sociedad con precios muy por debajo de Fisker Karma, más kilómetros recorridos con la Energía de módulos solares fotovoltaicos instalados sobre el techo.

2.8. Conclusiones

En este capítulo se revisaron las diferentes fuentes de energías, el efecto fotovoltaico y su aplicación en los módulos solares, así como la radiación que para nuestro estudio es de lo más importante ya que es la fuente de energía que se integrará para incrementar la autonomía del vehículo eléctrico.

Se incluyen conceptos de componentes y funcionamiento de los vehículos eléctricos y la clasificación de los mismos.

Se presentan ventajas y desventajas de los vehículos eléctricos para poder diseñar nuestro sistema autónomo fotovoltaico en este estudio.

Capítulo 3

Metodología

La metodología, se sustenta en el estudio de los ciclos de trabajo del vehículo eléctrico realizando la medición de voltajes en sus distancias recorridas, haciendo pruebas con los módulos solares conectados al sistema y desconectados, se evaluara bajo condiciones reales de trabajo considerando como parámetros fundamentales el peso, velocidad, tipo de terreno (planos, terracerías y pendientes), también en diferentes horarios del día para medir la radiación solar que recibirán los paneles instalados sobre el techo del Vehículo durante sus recorridos en las pruebas.

Para todo esto, es necesario obtener el conocimiento general del funcionamiento de los componentes, para nuestro estudio y así lograr instalar el sistema solar fotovoltaico autónomo necesario de acuerdo a los equipos existentes en el vehículo prototipo a evaluar, siendo este un diseño ya existente en el estado de Chiapas y funcionando en algunos municipios como Coita, Berriozábal, Jiquipilas, Tonalá, Tapachula, Tuxtla Gutiérrez, etc.

3.1. Introducción

En este trabajo se realiza el estudio y evaluación de un vehículo eléctrico moto-taxi del servicio público que se encuentra circulando en el municipio de Coita, Estado de Chiapas.

Se dan a conocer todos los componentes que trae el vehículo con su funcionamiento y características, mencionando las pruebas necesarias de campo a realizar bajo condiciones reales de trabajo para verificar los kilómetros que recorre el vehículo con una recarga de energía total de sus baterías con solo energía convencional, esto, nos servirá para comprobar los resultados que serán obtenidos del vehículo cuando se instale el sistema autónomo fotovoltaico.

En esta evaluación se instalarán los módulos solares fotovoltaicos en el techo del vehículo para poder recibir energía solar y darle un aporte energético a sus baterías de forma autónoma en horas de trabajo, con este Sistema podremos comprobar si la generación de Energía Solar con los módulos instalados sobre el techo del Vehículo nos pueda dar buenos resultados y hacer la aplicación de la energía solar fotovoltaica en un vehículo eléctrico.

También evaluaremos el sistema fotovoltaico sobre el vehículo. Si hay mejor rendimiento en distancias recorridas con los módulos instalados en el vehículo durante la jornada de trabajo con respecto al mismo vehículo sin módulos.

Con esto comprobaremos cuantos kilómetros puede desplazarse más, apoyando a nuestra sociedad, con estos vehículos eléctricos que no hacen ruido, en lo económico reduciendo el gasto en la compra de combustible fósil que cada día es más caro y disminuyendo la emisión de los gases contaminante ya que dejarían de circular las motos que consumen gasolina en diferentes municipios, ciudades y países, proponiendo este sistema de apoyo de recarga eléctrica autónomo a estos vehículos de transporte.

3.2. Estudio del vehículo eléctrico prototipo a evaluar

Para proceder con el estudio del vehículo eléctrico a evaluar, es necesario conocer ampliamente el funcionamiento técnico: mecánico, eléctrico y electrónico de todos los componentes que integran el vehículo.

En este apartado se determinan diferentes pruebas al vehículo eléctrico con recarga de energía convencional para diagnosticar su comportamiento de carga y descarga del banco de baterías.

Las pruebas realizadas en esta etapa servirán para tener un patrón de tiempo en la carga y descarga así como el máximo y mínimo del voltaje. Estos resultados servirán como base, en facilitar las pruebas al nuevo vehículo con el sistema solar fotovoltaico autónomo.

Y también obtendremos la velocidad óptima de trabajo, realizándola recarga de baterías con energía convencional para los diferentes recorridos y poder evaluar el sistema fotovoltaico del vehículo eléctrico.

3.2.1. Características técnicas del vehículo eléctrico

Estas características técnicas son del vehículo que se usara para la evaluación del proyecto, pero se realizan cambios en el vehículo que más adelante se mencionan y se explican las causas de sus modificaciones.

- Descripción: Vehículo eléctrico de 3 ruedas.
- Plazas: 3 pasajeros y el chofer.
- Dimensiones 1.98 m largo x 1.10 m de ancho x 1.90 m altura.
- Rueda del espacio ancho: 80 cm de eje a eje.
- Velocidad máxima 30 km/h
- Diámetro min de vuelta 3.5 m
- Pendiente máxima 15 grados (lo que equivale a un tope o bajada inclinada)
- Máxima masa total: 300 kg, (incluye 150 el peso de la batería).
- 5 baterías de ciclo profundo de 130 amperes por horas, cada batería genera 12 voltios y el motor funciona con 60 voltios
- Motor 1200 W 1.6 HP (caballos de fuerza)
- Material Fibra de vidrio, chasis (estructura metálica)
- Tiempo de carga baterías 8 a 10 horas carga normal
- Faros 1 delantero características adicionales.
- Acelerador manual-freno de pie y mano en el piso.
- Controles de encendido, direccionales y luces de señales
- Claxon en el manubrio
- Indicador de velocidad y carga
- Asientos acojinados
- Luces traseras
- Sonidos de alarma de claxon y dirección
- Llantas: 2 trasera, 1 delantera
- Revisión de batería cada semana y llenar con 2 litros de agua especial para batería.

La siguiente figura 3.1 muestra el vehículo eléctrico descrito anteriormente, es el que se usara en las pruebas también del sistema autónomo fotovoltaico pero haciéndole algunas modificaciones que se mencionan en el apartado 3.3.1.



Figura 3.1. Vehículo eléctrico convencional a evaluar

3.2.2. Evaluaciones del vehículo eléctrico

El estudio que se realiza en este punto, es para conocer el comportamiento de la descarga del banco de baterías con diferentes velocidades con un peso constante en diferentes terrenos (planos, terracerías y pendientes), también para conocer su funcionamiento y realizar el diseño correspondiente para la instalación del sistema solar fotovoltaico autónomo.

Se iniciara realizando la recarga y descarga de la energía total de las baterías del vehículo eléctrico, con las variantes mencionadas para encontrar parámetros que nos permitan llevar a cabo nuestro proyecto del vehículo autónomo solar.

El objetivo principal, es comparar la duración de descarga en las baterías y obtener la velocidad de trabajo para recorrer en las evaluaciones del diseño de nuestro sistema fotovoltaico autónomo.

3.3. Desarrollo del sistema autónomo solar fotovoltaico al vehículo eléctrico

Se inicia por definir como quedara instalado el sistema fotovoltaico y la capacidad que va tener sobre el vehículo eléctrico.

Se tomara en cuenta el área libre del vehículo sobre el techo para la instalación de los módulos y de acuerdo a esto tendremos la capacidad real del sistema.

A continuación vemos componentes los que se integran y modifican al vehículo Eléctrico prototipo, definiendo más adelante cada uno de los componentes para el desarrollo del sistema fotovoltaico.

Con todos estos elementos se lograra el acoplamiento del circuito eléctrico y electrónico que usaremos para la interconexión del sistema.

- Baterías de ciclo profundo.
- Motor eléctrico brushless de inducción
- Controlador de carga (MPPT).
- Inversor de corriente directa (ECU).
- Módulos solares fotovoltaicos poli cristalinos.

3.3.1. Dimensionado del sistema solar fotovoltaico autónomo

El vehículo trabaja con 4 baterías plomo acido, 130 Ah de 12 Volts, esto es $(130 \times 12 = 1560 \text{ W}) \times 4$ tenemos 6,240 W total del sistema, necesariamente se requiere un área de 42 m² con módulos de 135 W, no teniendo este espacio, solo se dimensionara con respecto al área que tenemos libre en el techo del vehículo para instalar los módulos.

No se puede hacer el diseño de acuerdo a la carga del vehículo porque es muy grande el consumo, como se pudo observar en el cálculo anterior.

El techo del vehículo tiene un espacio máximo de 1.92 m², pero los módulos que tenemos en existencia para este proyecto cubren 2.79 m², largo 2.04 metros y ancho 1.37 metros. Se instalaron 3 módulos de 135 W como se muestra en la figura 3.2 en el techo del vehículo para evaluar el proyecto.



Figura 3.2. Vehículo con módulos fotovoltaicos instalados

Las características técnicas de estos módulos fotovoltaicos que se instalaron para el sistema autónomo a evaluar en el vehículo se muestran en la figura 3.3, módulos fotovoltaicos policristalinos de alto rendimiento con 25 años de garantía.

La avanzada tecnología de solarever hacen posible estos módulos solares policristalinos que tienen una eficiencia de conversión de más del 15%.

A fin de proteger las condiciones ambientales más severas, las celdas se encuentran encapsuladas entre una cubierta frontal de vidrio templado y láminas de material plástico y una lámina de tedlar como cubierta posterior. La totalidad del laminado se encuentra dentro de un armazón de aluminio anodizado que asegura su resistencia estructural y facilidad de instalación.



SOLAREVER Photovoltaic Module	
Type	SE-P-36-135W
Peak Power (Pmax)	135W
Peak circuit voltage(Voc)	21.22V
Max power voltage(Vmp)	17.83V
Short-circuit current(Isc)	8.33A
Max power current(Imp)	7.58A
Power tolerance range	+0-3W
Maximum system voltageDC	1000V
Wind resistance	2400Pa
Weight	10.4Kg
Dimension	1370*670*35mm
Cells dimension	156*140mm
Application class	Class A
Test condition	1000w/m², AM1.5, 25 °C

UL LISTED IEC ISO

WEB: www.solarever.com.mx
A02-P-135W-210, Col. Polanco, México, D.F.

Figura 3.3. Ficha técnica del módulo de 135 W (45)

Los módulos fotovoltaicos que usamos en el proyecto, son 3 de 135 W obteniendo un total de 405 W conectados en serie. Cada módulo tiene 21.22 Volts (V_{oc}). Sumando un total de 63.66 Volts (V_{oc}) de salida y una corriente total máxima de 8.33 amperes (I_{sc}).

3.3.1.1. Conexión de los módulos fotovoltaicos

Se analizan las 2 conexiones de los módulos fotovoltaicos para el sistema del vehículo eléctrico mostrando las ventajas de cada circuito en paralelo figura 3.4 y serie figura 3.5. Así mismo el cálculo correspondiente para cada una de las conexiones.

1. La conexión en paralelo nos eleva la corriente y nos mantiene el voltaje como lo muestra el siguiente diagrama.

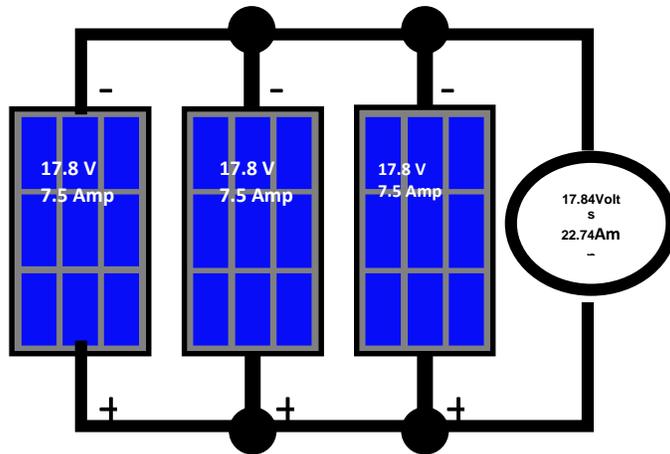


Figura 3.4. Conexión paralelo de módulos

En esta conexión el voltaje y corriente de salida queda de la siguiente forma.

Potencia en 1 módulo: $17.8 \text{ V (V}_{mp}) \times 7.58 \text{ amperes (I}_{mp}) = 135 \text{ W}$.

Corriente: $7.58 \text{ A} \times 3 \text{ módulos} = 22.74 \text{ amperes total}$

Voltaje de salida: 17.84 volts

$(22.74 \text{ Amp})(17.84) = 405 \text{ W en total en el sistema.}$

En el circuito se muestra la conexión de todos los puntos positivos juntos y los bornes negativos por otro lado de la misma forma, haciendo esto que se eleve la corriente como se muestra en el cálculo.

2. La conexión en serie del circuito se muestra en el siguiente diagrama y el voltaje se suma manteniendo la corriente del módulo.

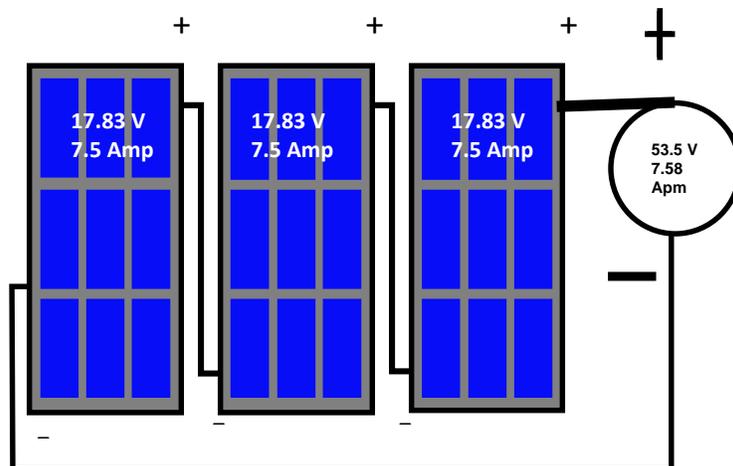


Figura 3.5. Conexión serie de módulos

El voltaje y corriente de salida queda de la siguiente forma.

Potencia en 1 módulo = $17.84 \text{ Volts} \times 7.58 \text{ amperes} = 135 \text{ W}$.

Voltaje total: $17.83 \text{ Volts} \times 3 \text{ módulos} = 53.5 \text{ Volts}$.

Corriente de salida 7.58 amperes.

$(53.5 \text{ v})(7.58 \text{ Amp}) = 405 \text{ W}$ en total en el sistema.

Se observa que en las dos conexiones son 405 W. Pero se tomara el circuito en serie en nuestro sistema porque necesitamos alto voltaje para estabilizar la conexión con el banco de baterías.

3.3.1.2. Conexión de las baterías

La demanda de carga que usa el motor eléctrico del vehículo, con respecto al número de módulos a instalar serian demasiados, se cambia el motor de 1200 W por uno más pequeño de 800 W para tener menos consumo de energía, con esto evitaremos la descarga rápida de las baterías, detalles del motor en el 3.3.3

Un motor eléctrico de 1200 W puede mover hasta 250 kilos, actualmente algunos VE traen este tipo de motor usándolos para el transporte público. Se pretende evaluar el VE para desplazar cargas de poco peso y a bajas velocidades, tomando en cuenta que el VE autónomo fotovoltaico se evaluara para saber si es factible en el servicio de transporte público y otras aplicaciones que se han necesarias en la sociedad.

Conociendo el total de módulos a instalar y el voltaje de salida, sequita una batería para evaluar solo con 4, este cambio también nos beneficia para disminuir el peso en el VE y el costo del banco de baterías en el nuevo rediseño.

Evaluaremos con baterías de 12 Volts, 130 Ah, de 30 kilogramos cada una, este cambio de baterías es con la finalidad que nos permita realizar las evaluaciones y comprobar la eficiencia del sistema autónomo. Como se explica más adelante en el 4.2.2 y se define en la figura 3.6 que las conexiones del banco de baterías deben estar conectadas en serie como se muestra en la siguiente figura para el desarrollo del sistema fotovoltaico.

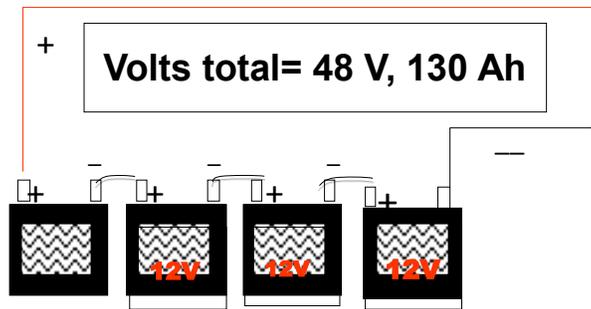


Figura 3.6. Arreglo de baterías en serie del vehículo eléctrico

Se realiza la conexión en serie del arreglo del banco de baterías, porque el motor tiene alimentación de 48 Volts para su funcionamiento y esto sirve para lograr la conexión de los módulos hacia las baterías, ya que con las 5 baterías no se puede hacer la conexión de los 3 módulos con el sistema eléctrico y en el 3.3.5 se explica a detalle la necesidad para conectar solo 4 baterías.

3.3.2. Caracterizar la radiación solar del lugar

Se observa en la siguiente figura 3.7, la cantidad de radiación promedio durante dos días diferentes Agosto y Diciembre del 2014, con estas variaciones de radiación se realizan las pruebas de campo.

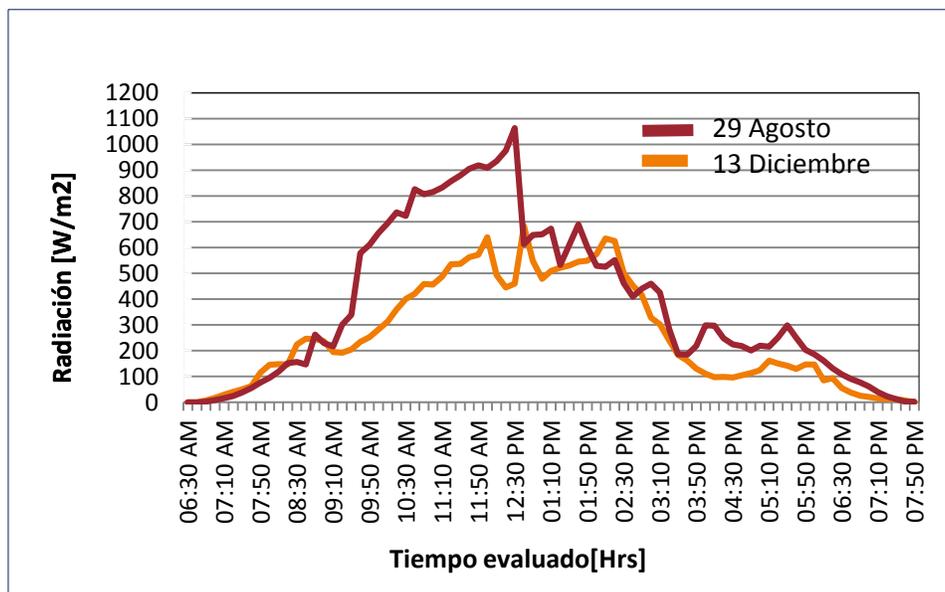


Figura 3.7. Radiación obtenida de la estación meteorológica del Centro de Energías Unicach

Se presenta la radiación solar en la siguiente

Tabla IV, obtenida en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, en kW. INEGI 2014.

Tabla IV. Radiación solar en Tuxtla Gutiérrez de diferente meses del año, INEGI 2014.

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min.	Max.	Media
Tuxtla Gtz	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7

Esta tabla muestra la radiación solar que tiene Tuxtla Gutiérrez, para ser aprovechada por los módulos solares en el sistema fotovoltaico que se instala para llevar a cabo nuestra evaluación de nuestro proyecto.

3.3.3. Selección de los equipos eléctricos y electrónicos

Se muestran las características técnicas del sistema eléctrico del vehículo, que energizará el sistema, así mismo, el funcionamiento de cada componente.

- A. Motor eléctrico
- B. Controlador de voltaje.
- C. Regulador de carga.

A.- El Motor eléctrico, que se utiliza en el prototipo se muestra en la figura 3.8, es seleccionado sin escobillas o motor brushless, los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos rozantes. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.

Los primeros motores sin escobillas fueron los motores de corriente alterna asíncronos. Hoy en día, gracias a la electrónica, se muestran muy ventajosos, ya que son más baratos de fabricar, pesan menos y requieren menos mantenimiento, pero su control era mucho más complejo. Esta complejidad prácticamente se ha eliminado con los controles electrónicos (46).

La capacidad del motor eléctrico instalado en el vehículo eléctrico es de 800 watts, tensión de 48 volts corriente directa y es alimentado por un controlador de voltaje (Unidad de Control Electrónica, ECU) que se explica más adelante.

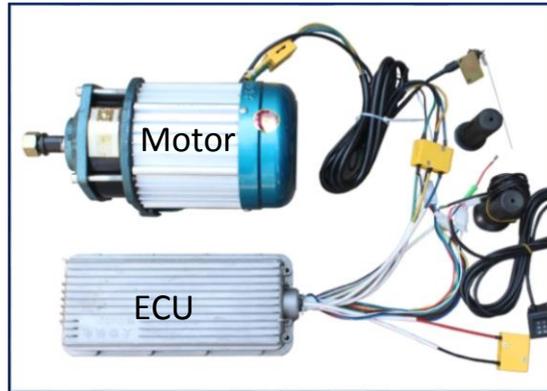


Figura 3.8. Motor del vehículo eléctrico y unidad electrónica

Características técnicas del motor de engranajes Brushless corriente continua de imán permanente trifásico, síncrono

- Potencia de 800 W.
- Tensión del Motor a 48 Volts.
- Corriente nominal 20 Amperes, límite máximo 50 amperes.
- Bajo Voltaje 37.5 +/- 0.5 Volts.
- Velocidad nominal de 600 a 700 rpm.
- Par nominal de 50 N.m.
- Carga máxima 1000 Kilogramos.
- Velocidad máxima de 30 km/h.
- Escala de grados entre 20 y 30.

B.- Unidad de control electrónica (ECU) o controlador de voltaje, con tensión de entrada de 45 a 60 volts en CD del banco de baterías y salida trifásica para el motor eléctrico Brushless, se muestra en la figura 3.8

Para conseguir un funcionamiento en un rango de velocidades, debemos variar el valor medio de la corriente del motor. Para ello, se dispone, entre las baterías y el motor, un montaje de semiconductores que actúan modificando de forma periódica las conexiones entre la fuente de tensión continua y el motor. Este montaje se denomina chopper o regulador.

La ECU debe regular la corriente continua, en alterna de otra frecuencia. Por este motivo, estos motores de corriente alterna se pueden usar en aplicaciones de

corriente continua, con un rendimiento mucho mayor que un motor de corriente continua con escobillas.

C.- Regulador de carga, En la siguiente figura 3.9, se muestra un regulador de carga que tiene un algoritmo innovador para seguimiento del punto máximo de potencia (MPPT) de FLEXmax, es continuo y activo, aumenta el rendimiento de la energía del conjunto fotovoltaico hasta un 30%, permitiendo que el voltaje de los Módulos se establezcan en la interconexión con el banco de baterías que están conectadas en serie con 48 volts. (47).



Figura 3.9. Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

El voltaje de salida puede variar en los módulos dependiendo la radiación del día, el máximo voltaje sería de 53.49 y el mínimo 33.6 (V_{mp}), con este mínimo voltaje se mantiene encendido el MPPT, para mantener alimentando la energía solar fotovoltaica a las baterías y el sistema eléctrico, el MPPT regula la salida del voltaje al banco de baterías, identificando electrónicamente el arreglo de 48 Volts, y mantiene siempre el voltaje de los Módulos como si fuera constante, esto lo hace para proteger al banco de baterías, evitándole un sobre voltaje que las dañaría severamente, igual que las partes eléctricas del sistema.

3.3.4. Ubicación del área en el vehículo para los equipos eléctricos

El área que se ocupa para los componentes eléctricos, se muestra en la figura 3.10, debajo de sillón del pasajero las 4 baterías, en el cajón trasero se ubican el motor eléctrico y la unidad de control electrónica por arriba del sistema de tracción.

Todo este arreglo se realizó para hacer las conexiones que se muestran en la figura 3.11 y llevar a cabo las pruebas pertinentes de este proyecto.

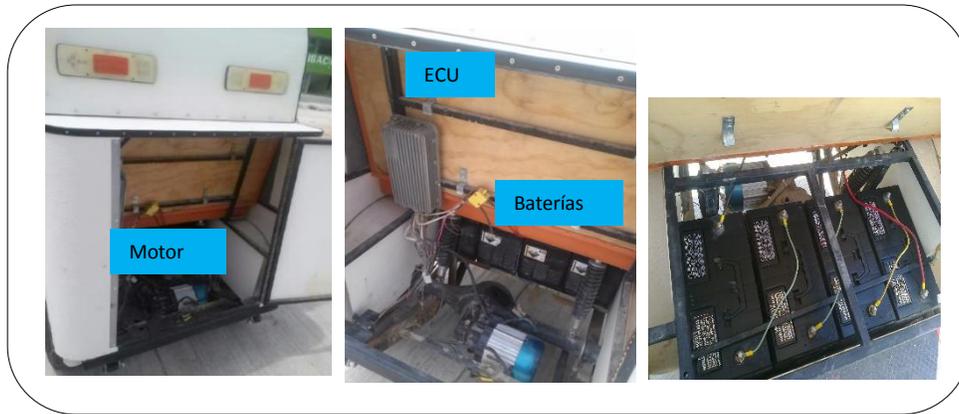


Figura 3.10. Ubicación de ECU, motor eléctrico y baterías

En la siguiente figura 3.11 se muestra como se realizaron las pruebas y las conexiones de módulos, baterías y el MPPT, para obtener resultados reales en campo.

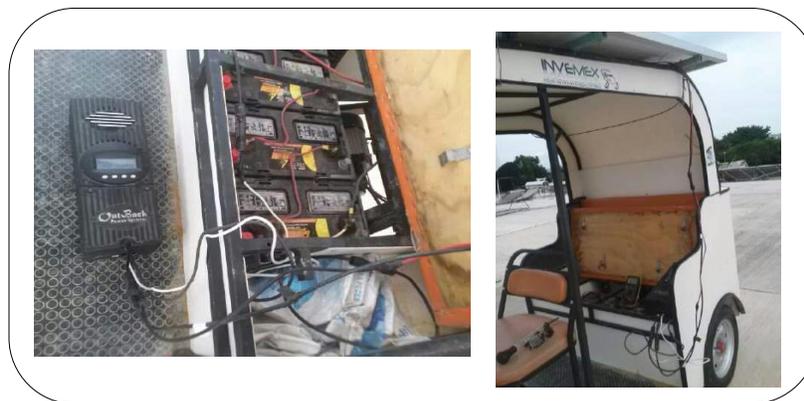


Figura 3.15. Conexión del MPPT con módulos y baterías

3.3.5. Conexión del sistema eléctrico y SFV autónomo

El sistema eléctrico del VE, según se muestra en la figura 3.12, es un sistema de conversión de la energía. Los módulos solares del vehículo captan la energía solar disponible en el momento convirtiéndola, con cierta eficiencia, en energía eléctrica. Para transferir de forma óptima la potencia, así captada al resto del sistema eléctrico del vehículo, se utiliza un dispositivo de Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT por sus siglas en inglés) figura 3.9 para traspassarla a un enlace de corriente continua, el cual a su vez tiene conectado en paralelo el inversor y el banco de baterías.

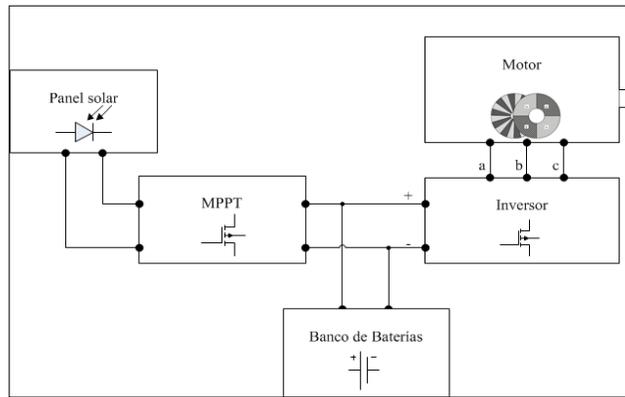


Figura 3.12. Esquema general del sistema eléctrico del vehículo

Las baterías almacena energía eléctrica entre sus bornes, siendo capaz de aportarla o recibirla hacia o desde el motor y las celdas solares para su uso inmediato o posterior, respectivamente. El dispositivo encargado de convertir la potencia eléctrica en mecánica es el motor, el cual es controlado por un inversor de tres salidas.

De esta forma como se muestra en la figura 3.13 se conecta el sistema eléctrico para aportarle energía eléctrica solar fotovoltaica al vehículo durante el día así sea que este caminando o estacionado.

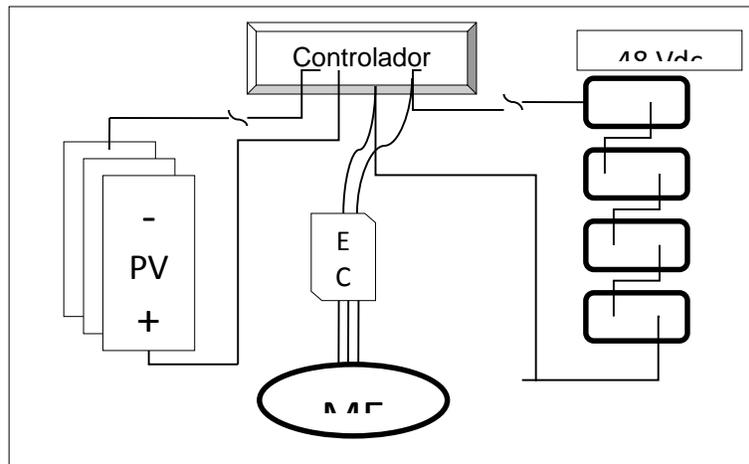


Figura 3.13. Conexión eléctrica del MPPT de 57 Vcd y componentes eléctricos.

Se muestra como están interconectados los componentes eléctricos cada uno de ellos, las baterías en serie, así como los módulos fotovoltaicos hacia el MPPT y saliendo la alimentación eléctrica de ahí a la ECU, para alimentar directamente el motor eléctrico.

3.4. Técnicas de evaluación al VE con el sistema autónomo solar fotovoltaico

3.4.1. Evaluar las características técnicas de los módulos instalados.

Se evaluará el sistema integral del vehículo, instalados los componentes se realizan pruebas con circuito abierto y circuito cerrado de los módulos fotovoltaicos, para conocer la cantidad de energía que se logra obtener realizando diversos recorridos en orografías de terreno planos y pendientes, esto mostrará resultados para definir si se procede con la instalación del sistema fotovoltaico porque sabremos la cantidad de energía que nos pueden dar los módulos a la hora del trabajo.

3.4.2. Evaluación de las características técnicas del rendimiento al vehículo con el sistema solar fotovoltaico con diferentes pesos

Para realizar las pruebas en el vehículo, se evalúa la recarga necesaria que debe tener el banco de batería para tener una constante de medición y lograr establecer la recarga óptima y la carga mínima de voltaje para no deteriorar las baterías por sobrecarga y descarga.

Otra constante de trabajo a tomar en cuenta, es medir el tiempo de recarga con energía convencional que se lleva a cabo para tener el banco de baterías con energía y poder iniciar a trabajar el vehículo, e inmediatamente al amanecer cuando los primeros rayos de sol estén sobre el techo del mismo, estaremos iniciando la recarga de energía solar autónoma hacia el sistema, llevándose este procedimiento en todas las evaluaciones que se realicen.

El objetivo es disminuir la recarga de energía convencional en los vehículos eléctricos, actualmente tardan conectados a la red de 8 a 12 horas para tener suficiente energía, y no terminan su jornada del día completa por que se descargan rápido las baterías.

Actualmente, están usando vehículos eléctricos con baterías de 150 Ah, obteniendo buenos resultados, porque les dura la recarga muy bien para todo el día, pero cabe mencionar que usan energía convencional y estas requieren más energía para su recarga total elevando el precio del recibo de luz, también se toma en cuenta el costo de las mismas ahorrándose un 25% en cada batería en comparación de las de 130 Ah que se usan en esta evaluación.

Capítulo 4

Capítulo 4

Resultados

4.1. Resultados del vehículo eléctrico prototipo

Los primeros resultados obtenidos antes de instalar el sistema fotovoltaico al vehículo eléctrico, sirvieron para tener los patrones de parámetros que usaremos en diferentes pruebas que se llevaran a cabo.

Recarga eléctrica de baterías

La recarga de las baterías se realiza a 66 volts, con un tiempo estimado de 200 minutos. En las pruebas realizadas se observó una temperatura constante de 35 °C, el voltaje consumido por las baterías en el transcurso del tiempo, se aprecia en la figura 4.1, y se usa un cargador de 66 Volts corriente directa para cargar estas baterías con una alimentación de 110 Volts CA.

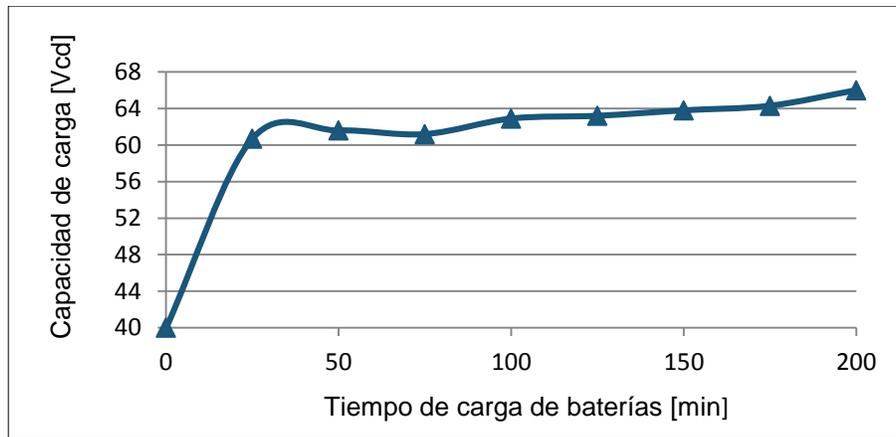


Figura 4.1. Comportamiento de recarga de 5 baterías del vehículo eléctrico, iniciando con las baterías totalmente descargadas.

También en la figura 4.1, se puede apreciar las tres principales etapas de recarga, las cuales son: modo de carga principal en los primeros 40 minutos, modo de carga de absorción de los 40 a 150 minutos y modo de almacenamiento o flote de los 150 a los 200 minutos. También se observa que en la primera etapa existe un incremento de voltaje drástico, en la segunda etapa se estabiliza y el incremento de voltaje es más lento, y al llegar a la tercera etapa la carga alcanza su punto más alto a flote del voltaje, es de gran importancia el contemplar como carga máxima de 66 volts, debido a que a mayores voltajes en el interior de la batería comienza a tener reacciones químicas en el electrolito, disminuyendo su tiempo de vida útil.

La prueba se realizó con el VE operando con un motor de pulsos de 60 V y una potencia de 1200 W, se puso a prueba en un terreno de geografía plana, con un voltaje inicial de 66 V, una velocidad de 10, 20 y 30 km/h y un peso constante de carga de 210 Kg (la cual representa aproximadamente el peso de tres personas de género masculino).

En la figura 4.2, se observa el voltaje máximo que el banco de baterías debe tener (66 V), lo cual indica un promedio de 13.2 V por batería, a rangos más altos de voltaje pueden ser dañados los acumuladores debido a las reacciones químicas que ocurren en ellas, todo ello provoca el envejecimiento de las baterías, al igual se observa que el voltaje mínimo al que opera el VE es de 40 volts un promedio de 8 volts por batería, esto indica un riesgo de deterioro de las baterías debido a que abajo del 30% de carga de las baterías se puede provocar la sulfatación de las mismas y el voltaje demandado por el motor eléctrico no es satisfecho, esto provoca una desaceleración en la velocidad.

Con estos resultados se estableció un promedio de carga y descarga de las baterías, este es un máximo de 66 V y un mínimo de 47.8 V.

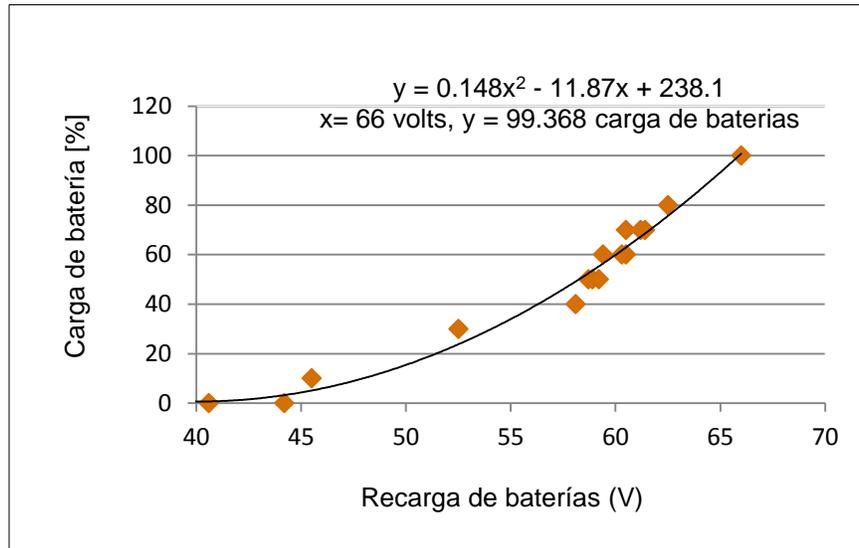


Figura 4.2. Variación del voltaje en la recarga de las baterías

En el gráfico puede observarse una ecuación la cual representa el comportamiento de la descarga de la batería donde [X] es la tensión del banco de baterías en el transcurso del tiempo (V) y [Y] es el porcentaje de carga de la batería (%).

$$y = 0.148x^2 - 11.87x + 238.1 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Es importante tomar en cuenta el intervalo de valores (40 a 66V) que puede considerarse para la variable [X] de la ecuación, ya que si se considera un valor inferior a los 40V tendrá un comportamiento práctico, es decir si tomamos el valor del voltaje nulo, el porcentaje de carga es de 238.16%, tal comportamiento no es como sucede en casos reales.

Dicho comportamiento extraño se debe a que la ecuación es una hipérbola, es decir alcanza un mínimo y éste valor corresponde alrededor de los 40V, y por tanto para los valores inferiores al mínimo existe un incremento en la función. Así pues solo debe considerarse el intervalo de operación del motor (40 a 66V).

La literatura muestra la siguiente tabla del nivel o porcentaje de carga respecto al voltaje de las baterías, el cual se toma como referencia en las pruebas de descarga del banco de baterías contenidas en el vehículo.

Tabla V. Variación del voltaje con respecto a la carga de las 5 baterías

VOLTIOS	% CARGA	CONDICIÓN
66	100	Cargada
62,5	80	Normal
55,0	60	Normal
50,5	40	Poca cargada
45,0	30	Descargada
42,5	20	Totalmente descargada
40,0	10	Totalmente descargada

Analizando los datos de la tabla anterior, se puede establecer los porcentajes de carga y descarga del banco de baterías, todo esto fue para obtener los resultados que se presentan en el 4.1.2.

4.1.2. Distancias recorridas del vehículo eléctrico

Aquí se evalúa el Vehículo para observar el comportamiento real del voltaje en su descarga de las baterías durante los recorridos en diferentes Velocidades.

Esta prueba se realiza con el vehículo eléctrico en un terreno de geografía plana, con un voltaje inicial de 66 V, con las diferentes velocidades de 10,20 y 30 km/h con un peso de carga constante de 210 Kg.

Obteniendo los resultados que se muestran en el siguiente gráfico.

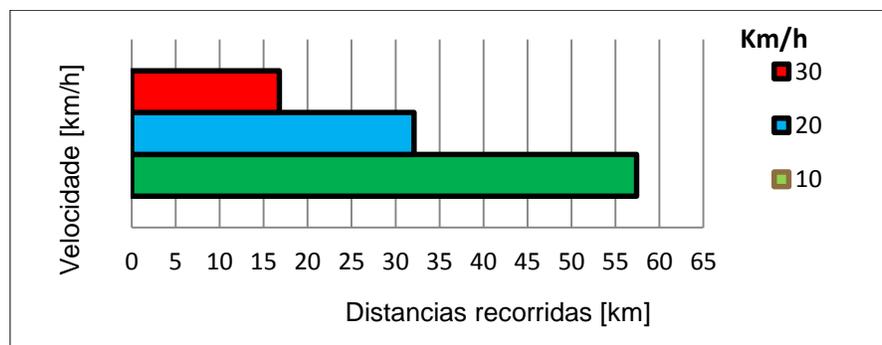


Figura 4.3. Distancias máximas alcanzadas a diferentes velocidades con el mismo peso.

Como puede observarse en la figura 4.3, el vehículo recorre más distancias a menor velocidad y con el mismo peso de carga.

Estos resultados en las pruebas, se observa que deben ser las velocidades entre 10 a 20 Km/h. Debido a que ambas velocidades son seguras para los pasajeros, también se contempla mejor la duración de Energía en las baterías, mostrándose que recorren más kilómetros.

Definiendo nuestra velocidad óptima para las pruebas en el vehículo eléctrico con el Sistema fotovoltaico Instalado de 20 Km/hora.

4.2. Resultados del vehículo eléctrico con el sistema autónomo solar fotovoltaico

En los resultados obtenidos hacemos la referencia que en la recarga de las baterías siempre fue de forma convencional durante 5 horas para iniciar a trabajar cada prueba con 4 baterías instaladas, observándose en estos resultados que los módulos solares fotovoltaicos abastecen energía para lograr recorrer más kilómetros de lo normal de un día comparando resultados obtenidos sin módulos, como se observa a continuación en cada prueba.

4.2.1. Resultados de evaluación a módulos fotovoltaicos

Se midió el voltaje de los 3 módulos instalados en circuito abierto, registrándose una lectura de 57 a 60.3 volts instantáneos. Desplazando el VE se observa que hay variaciones de lectura por las diferentes posiciones que toma el techo al estar en movimiento, el voltaje real de los 3 módulos es de 63 V a circuito abierto, se desprecia el margen de la lectura registrada por qué se logra mantener el voltaje en el rango para lograr su capacidad de potencia que servirá al realizar el diseño.

Otra prueba es la medición del voltaje de los módulos conectado al MPPT y las baterías (circuito cerrado), registrándose la lectura de 51 a 53.5 volts con las mismas condiciones del vehículo en movimiento.

Esta prueba nos muestra, que la radiación es normal como si los módulos estuvieran fijos, no afectándole el movimiento por ser baja velocidad.- Se observa en la Figura 4.4, los W registrados por el MPPT en la prueba del día 1 de Marzo del 2014, en su recorrido del Vehículo a 20 km/h con baterías de 130 Ah.

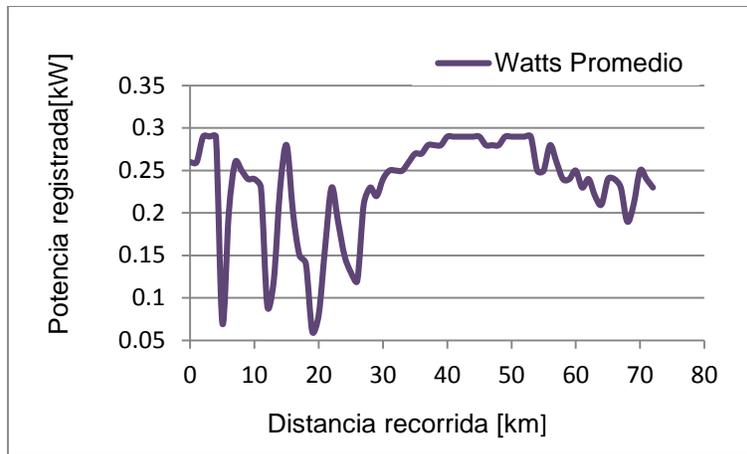


Figura 4.4. Potencia 245 Watts promedio, el 1 de Marzo/ 2014, suministrada al vehículo durante la descarga de baterías

Esta potencia registrada es realmente la que se suministra en la entrada del sistema eléctrico del vehículo.

Se realizaron varias pruebas, haciendo mediciones en diferentes días y meses como se muestra en la figura 4.5, donde se registraron lecturas muy parecidas en el MPPT con la figura 4.4 de un solo día, como se muestra en el siguiente promedio de resultados.

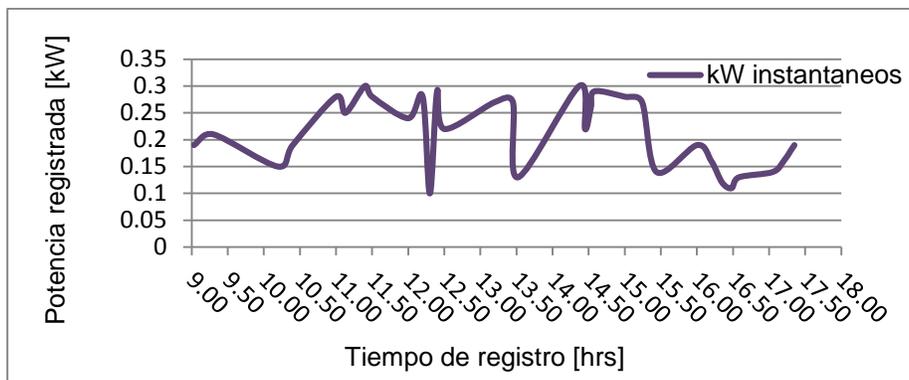


Figura 4.5. Potencia de 212 Watts promedio proporcionados al vehículo con módulos.

En la figura anterior se muestra el comportamiento de la potencia suministrada al vehículo eléctrico, obtenida a través de los módulos fotovoltaicos instalados en el vehículo, este resultado es el promedio de 15 días evaluados (los 3 primeros domingos de cada mes comenzando por enero, febrero, marzo, abril y mayo del 2014). Esto muestra la energía útil diaria que puede aprovechar el vehículo eléctrico.

Por otro lado, el techo con módulos solares proporcionará al vehículo cantidades variables de energía en función de factores diversos, tales como la ubicación de los

módulos con respecto al movimiento del automóvil, las condiciones climáticas, la época del año y el sombreado local.

Cabe mencionar que la potencia suministrada por los módulos puede ser directamente aprovechado por el motor cuando este se encuentra funcionando y si él VE está parado, la energía suministrada se almacena en el banco de baterías.

Prueba de carga a baterías con solo módulos solares fotovoltaicos durante 4 horas

A continuación se muestra el resultado de la descarga de energía en las baterías obtenida durante 4 horas con módulos fotovoltaicos, mientras el vehículo permanecía parado a la intemperie, La prueba es para conocer si los módulos realmente están metiendo energía al banco de baterías y saber cuántos kilómetros alcanzan a recorrer con pura carga de energía solar, esta evaluación se llevó a cabo los días (14 y 15 de Junio, 19 y 20 de Julio del 2014).

La figura 4.6 muestra el promedio de las 4 pruebas realizadas, en 4 horas de carga de baterías con pura energía solar.

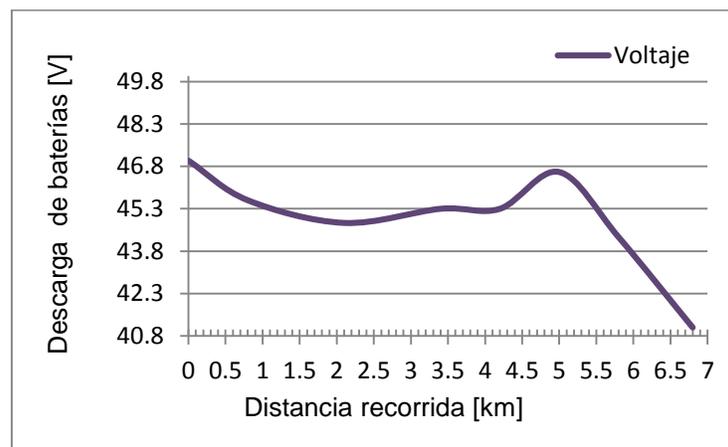


Figura 4.6. Distancia recorrida del VE con 4 horas de carga de energía solar, 6.8 km con la velocidad a 20 km/h.

Se observa en la figura anterior la distancia promedio recorrida en las pruebas de carga de baterías solo con módulos fotovoltaicos de 6.8 km a 20 km/h. esto muestra que el SFV está metiendo carga al banco de baterías.

Y el siguiente resultado en la figura 4.7, fue la medición de kilowatts instantáneos obtenidos por los módulos, registrados con el MPPT, estos datos se registraron mientras se recorrían los 6.8 kilómetros que regularmente tardaba una hora su descarga.

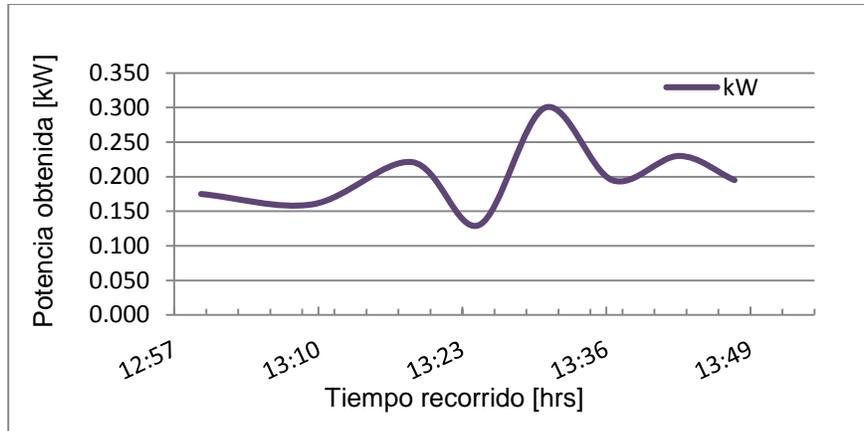


Figura 4.7. Potencia promedio instantáneos registrados durante las pruebas con 4 horas de carga de baterías.

4.2.2. Características y recarga del banco de baterías del sistema

Las baterías que se trabajan son 4 de ciclo profundo, 130 Ah de 12 volts, estas alimentaran el motor eléctrico brushless que trabaja con un rango entre 48 y 60 V. En la figura 4.9 se muestra el comportamiento de las baterías con respecto a su voltaje y el tiempo de recarga.

Usando un cargador de baterías como se muestra en la Figura 4.8, con salida de 48 volts de corriente directa con alimentación de corriente alterna de 220 Vca esta recarga siempre será necesaria para el inicio de cada prueba de trabajo del vehículo, como se explica en el capítulo 3.4.2



Figura 4.8. Cargador de alimentación 220 volts y salida a 48 Vcd

La tabla VI, muestra el máximo y mínimo voltaje de trabajo con respecto al porcentaje de carga, La recarga de las baterías con energía convencional se realizó a 52.8 V, con un tiempo estimado de 300 minutos conectado.

Tabla VI. Variación del voltaje con respecto a la carga de 4 baterías

Voltaje	% Carga	Condición
52.8	100	Carga optima
47.6	75	Normal
42.4	50	Poca carga
39.5	30	Descargada
37.2	25	Total descarga
32	10	Sin carga

En las pruebas realizadas, se observó una temperatura de 34 °C +/- 1, y el voltaje absorbido por las baterías a través del tiempo de su recarga como se observa.

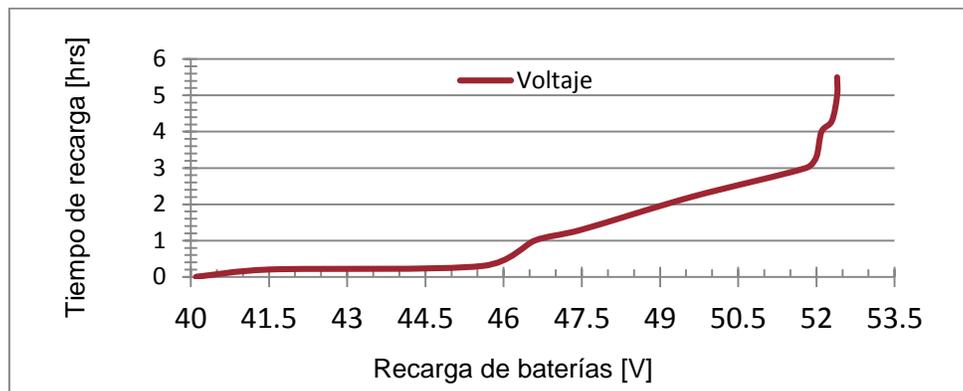


Figura 4.9. Recarga del banco de 4 baterías

En la figura 4.9, se puede apreciar las tres principales etapas de recarga, la primer etapa (modo de carga principal) en la primer hora se observa un incremento de voltaje muy rápido, y la segunda etapa (modo de carga de absorción) de la primera a la tercer hora hay un incremento de voltaje lento, y la tercera etapa (modo de almacenamiento o flote) de la tercera a la quinta hora, la carga alcanza su punto más alto de absorción de voltaje, manteniéndose con un aumento muy lento; también se observa el voltaje máximo de las batería 52.8 V, debido a que a rangos más altos de voltaje las baterías pueden ser dañadas a causa de las reacciones químicas que ocurren en ellas.

Como se indica en la tabla V, el voltaje mínimo de la celda es de 32 V debido a que el banco de baterías a ese nivel no logra satisfacer la demanda de energía al motor eléctrico del vehículo, cabe mencionar que para el buen funcionamiento del Sistema se permite hasta el 70% en la descarga del banco de baterías, que viene siendo 39.5 volts para su protección de las mismas o de su 30 % de carga para no deteriorarlas prematuramente.

4.2.3. Evaluación con 130 kilogramos de peso en terrenos planos

Se realiza la evaluación con recorridos en terrenos planos mostrándose en la figura 4.10 las distancias recorridas del vehículo con los módulos fotovoltaico conectados al Sistema eléctrico, posteriormente desconectados se realizan otras evaluaciones al vehículo, observando la diferencia de kilómetros que puede avanzar el Vehículo en las mismas condiciones del terreno.

La evaluación consiste en mantener el vehículo con una aceleración constante de 20 km/h. En diferentes horas de los días evaluados, para lograr obtener un resultado promedio.

Los horarios de las pruebas fueron entre las 8 de la mañana y 5 de la tarde, obteniendo resultados muy semejantes y mostrando en la siguiente figura el promedio de 5 pruebas realizadas con módulos conectados y 5 pruebas realizados con módulos desconectados, se observa a continuación la descarga del voltaje de baterías del vehículo eléctrico en las pruebas realizadas.

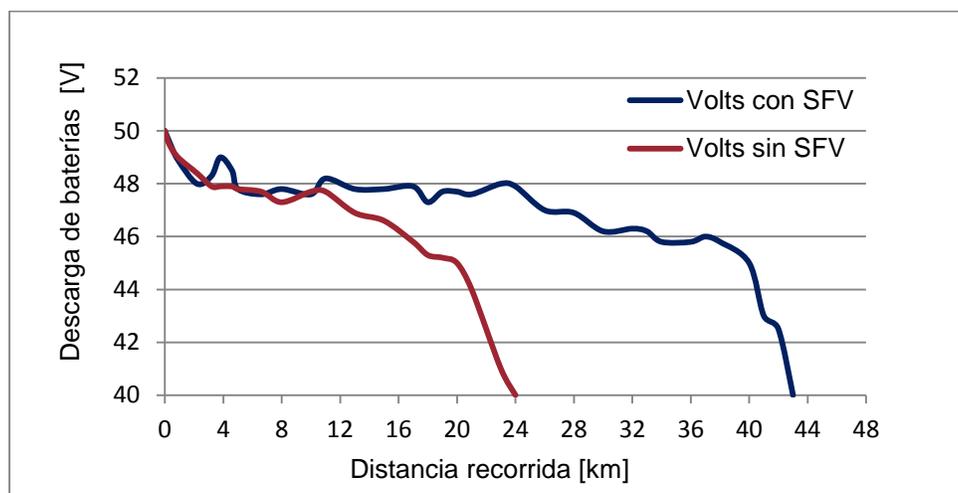


Figura 4.10. Distancias recorridas en terreno plano con 130 kilogramos a 20 km/hr

Se observa en el siguiente gráfico los resultados obtenidos del desplazamiento del vehículo eléctrico en terreno plano, indicando la línea roja el voltaje de descarga en baterías con módulos desconectados recorriendo 24 kilómetros y representando con la línea azul el voltaje con módulos conectados logrando recorrer 43 kilómetros, este resultado es un promedio de las 10 pruebas realizadas en campo con el peso y velocidad indicada, caracterizando los kilómetros en el eje de las [X] y el voltaje de descarga en el eje de la [Y].

Se observa como viene disminuyendo gradualmente la línea roja y la línea azul se mantiene hasta llegar a una distancia casi el doble de recorrido con módulos solares conectados. Aquí se observa que la radiación solar mantiene energizando a las baterías como estables durante el periodo del recorrido en kilómetros extra, hasta mantener el banco de baterías con energía. La siguiente tabla muestra los kilómetros recorridos con respecto al porcentaje de carga en las baterías.

Tabla VII. Voltajes de descarga de baterías con respecto a los kilómetros máximos recorridos

% de descarga de batería	Voltaje mínimo de batería	Kilómetros recorridos	
		Sin módulos	Con módulos
70%	45	20	40
85%	40	24	43

Este resultado muestra que recorriendo 40 kilómetros con el sistema conectado se descarga un 70% el banco de baterías, pudiendo recorrer más kilómetros como se observa en la Tabla VII, protegiendo la falla prematura de las baterías recomienda el fabricante de acumuladores de ciclo profundo dejarles 30% de carga para evitar daños.

4.2.4. Evaluación con 180 kilogramos de peso en terrenos planos

Se realizó el mismo procedimiento de evaluación cambiando el peso en el vehículo de 130 a 180 kilogramos, mostrando a continuación los resultados en distancias recorridas del vehículo con los módulos conectados y desconectados al Sistema eléctrico del vehículo, observando la diferencia de kilómetros en las mismas condiciones del terreno de prueba, mostrando la descarga del voltaje de baterías del vehículo en la siguiente figura.

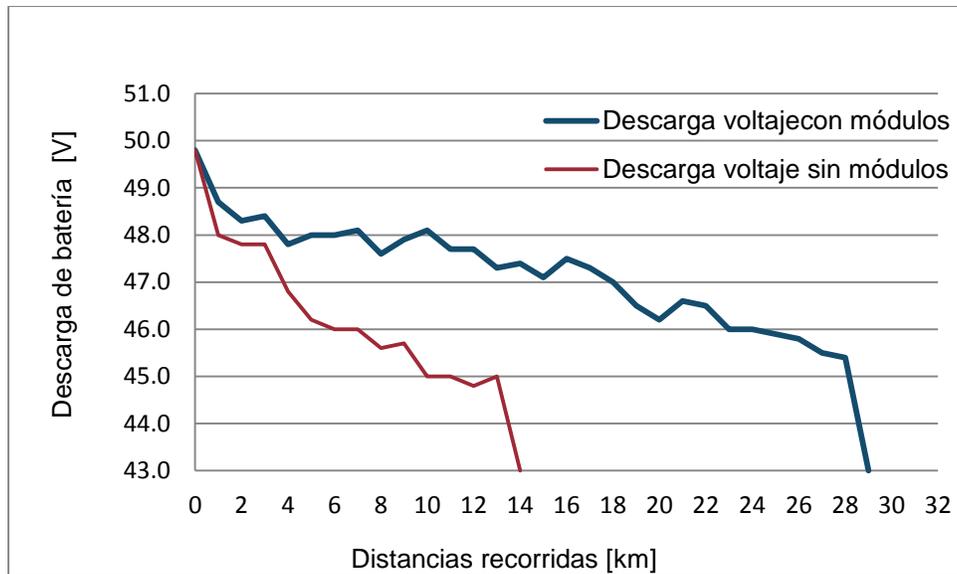


Figura 4.11. Distancias recorridas en terreno plano con 180 kilogramos a 20 km/h.

Se observa en la figura 4.11, los resultados obtenidos en el terreno plano, indicando con línea roja la descarga del voltaje en las baterías con módulos desconectados recorriendo 14 kilómetros y con la línea azul el voltaje con los módulos conectados recorriendo 29 kilómetros, este resultado es el promedio de las 10 pruebas realizadas, caracterizando los kilómetros en el eje de las [X] y el voltaje de descarga en el eje de la [Y].

Observando cómo viene disminuyendo gradualmente la línea roja y la línea azul se mantiene hasta llegar a un punto que su caída de voltaje es muy drástico. Entendiendo que la radiación solar mantiene energizando a las baterías como estables durante se periodo del recorrido extra.

4.2.5. Evaluación con 130 kilogramos de peso en terrenos con pendientes

Se realizan pruebas en terrenos con pendientes de 3 hasta 8 grados, para conocer cuántos kilómetros recorre en estas condiciones el vehículo, se realizaron 5 pruebas con módulos conectados al sistema eléctrico y 5 pruebas con módulos desconectados, obteniendo el resultado promedio de 10 pruebas como se muestra en la figura 4.12, midiendo la descarga del voltaje de baterías con respecto a los kilómetros recorridos.

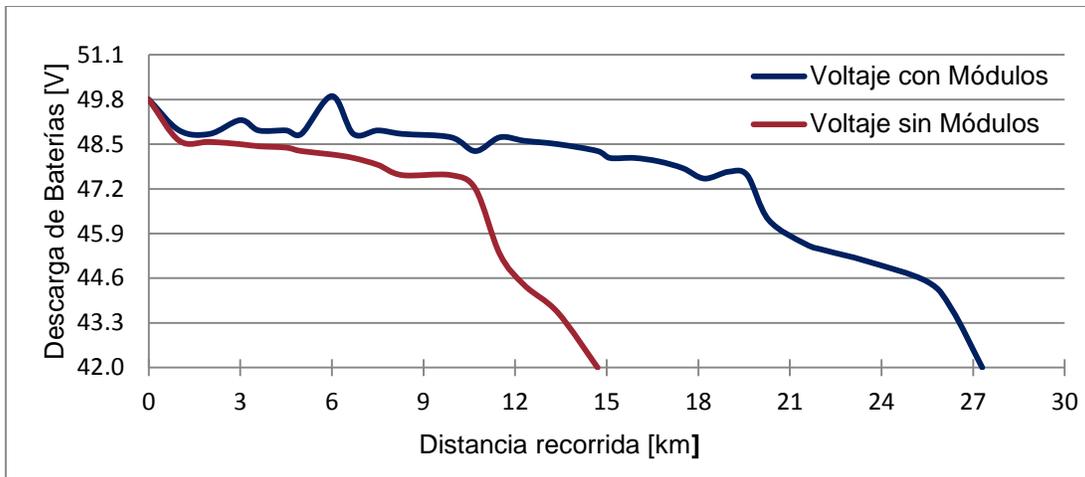


Figura 4.12. Distancias recorridas en terrenos con pendientes y terracerías a 20 km/h con peso de 130 kilogramos

Se muestran los resultados de las pruebas con módulos desconectados recorriendo 14.7 kilómetros y con módulos conectados 27.3 kilómetros, este promedio de resultados mostrados en la gráfica nos indica el comportamiento en un gran porcentaje favorable al uso de los módulos fotovoltaicos también con diferentes terrenos así sean planos o pendientes.

Se realizaron pruebas, utilizando 180 kilos de peso en terreno con pendientes medianamente suaves, en las mismas condiciones de prueba con los 130 kilos. Recorriendo 9 kilómetros con pura recarga de baterías y 17 kilómetros con el sistema fotovoltaico conectado, como se muestra en la siguiente tabla.

Se muestran los resultados de evaluación del vehículo en terreno plano y pendientes, con baterías de 130 Ah, y velocidad de 20 km/h, estos resultados se obtuvieron de las pruebas realizadas durante los procesos de evaluación.

Tabla VIII. Resultados de evaluación del vehículo con cargas diferentes

Resultados de las pruebas en el vehículo eléctrico solar a 20 km/h. con baterías de 130 Ah				
Pruebas en diferentes terrenos	Kilómetros recorridos con 130 kg		Kilómetros recorridos con 180 kg	
	Sin módulos	Con módulos	Sin módulos	Con módulos
1.-Plano	20	40	14	29
2.- Terracerías con Pendientes de 4 - 8 grados	14.7	27.3	9	17

La tabla VIII, presenta los resultados obtenidos en las pruebas con diferentes terrenos y cargas de 130 y 180 kilogramos, se puede apreciar que el vehículo es más eficiente por los kilómetros recorridos con velocidad de 20 km/h, y módulos

conectados en un vehículo con máximo 130 kilogramos de carga, con baterías de 130 Ah.

Por estas razones, se procede a evaluar la siguiente condición del vehículo cambiando las baterías con unas de menor y mayor capacidad, solo con 130 kilogramos de peso y en terreno combinado.

4.2.6. Resultados del vehículo solar fotovoltaico con baterías de diferentes capacidades

Las siguientes pruebas se realizan los recorridos en combinación de terrenos planos y pendientes entre 4 y 8 grados, con velocidad de 20 km/h y el peso de carga 130 kilogramos.

Prueba con baterías de 105 Ah; Realizando 4 pruebas con las condiciones mencionadas, se obtuvieron resultados muy parecidas dando un promedio como se muestra en la figura 4.13, midiendo la descarga del voltaje de baterías con respecto a los kilómetros recorridos.

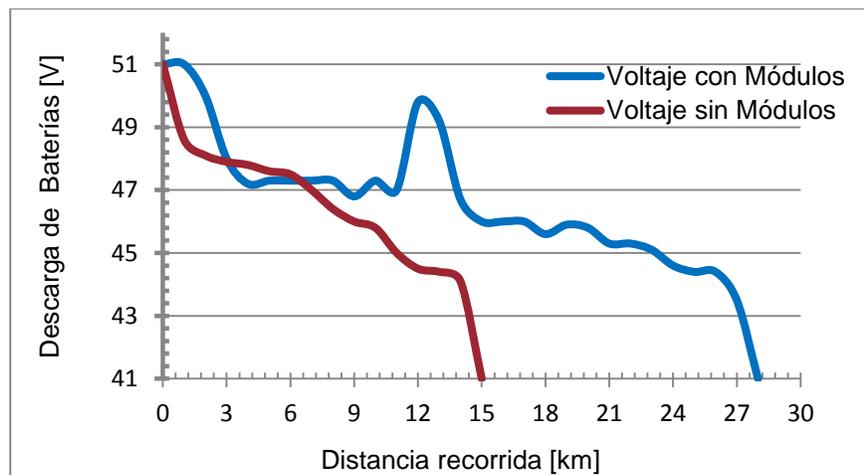


Figura 4.13. Distancias recorridas con batería de 105 Ah.

El resultado que se muestra en la figura 4.13, con la línea roja es la descarga del voltaje de baterías con módulos desconectados recorriendo 15 kilómetros y conectando los módulos fotovoltaico al sistema eléctrico, el vehículo recorrió 28 kilómetros.- observando que las baterías se mantienen un estado de absorción de voltaje mientras se mantiene una descarga lenta, hasta llegar a su porcentaje de trabajo.

Prueba con baterías de 150 Ah; se realizaron 4 pruebas con las mismas condiciones dadas para las baterías de 105 Ah, obteniendo los siguientes resultados

que se muestra en la figura 4.14, midiendo la descarga del voltaje de baterías con respecto a los kilómetros recorridos.

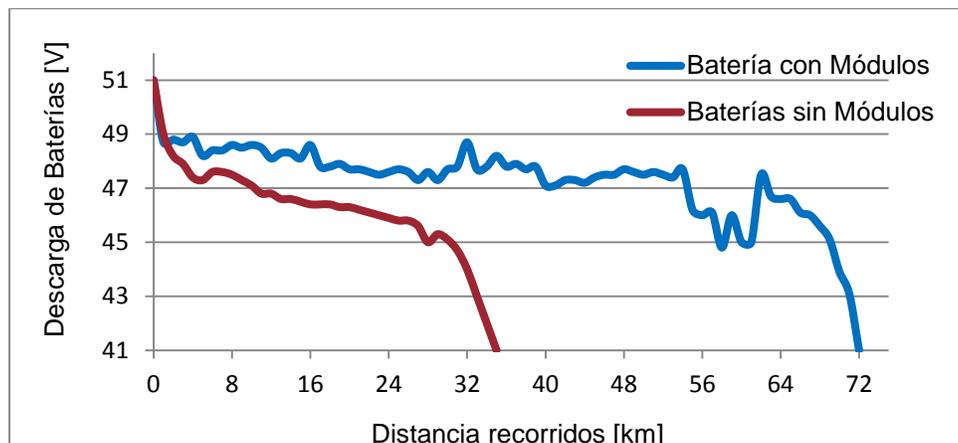


Figura 4.14. Distancias recorridas con batería de 150 Ah.

Los resultados que se muestran con línea roja son de la descarga de voltaje gradualmente de baterías con módulos desconectados recorriendo 35 kilómetros y la línea azul representa la descarga con módulos conectados al sistema eléctrico del vehículo recorriendo 72 kilómetros.

Siendo, este último el mejor resultado obtenido bajo las condiciones de pruebas dadas en nuestra evaluación. Observando que si la batería es de mayor capacidad tiende a durar más kilómetros en recorridos el vehículo.

Estos resultados muestran el aprovechamiento de la energía solar en un vehículo eléctrico de poca carga y baja velocidad.

El siguiente cuadro muestra el porcentaje de la autonomía en recorridos de acuerdo a la capacidad de las baterías con el peso de carga de 130 kilogramos y velocidad de 20 km /h.

El vehículo que se evaluó fue para conocer cuántos kilómetros más puede rendir con un sistema autonomía solar fotovoltaico instalado sobre el techo del mismo y comprobando que los resultados encontrados son muy buenos para vehículos de poco peso y baja velocidad, como se muestran a continuación.

Tabla IX. Autonomía en distancia recorrida por capacidad de baterías.

Capacidad de baterías en Ah	% de autonomía en recorridos	Distancias de kilómetros recorridos sin módulos	Distancias de kilómetros recorridos Con módulos
105 Amperes	76	14.7	25.8
130 Amperes	89	20	37.8
150 Amperes	105	35	72

Los resultados dependen de la capacidad de baterías y cantidad de módulos que puedan instalarse en el VE, en este caso se instalaron 3 módulos fotovoltaicos y se realizaron pruebas con 3 bancos de baterías de diferentes capacidades, esto muestro que la batería de poca capacidad recorre menos autonomía comparándola con la de mayor capacidad, como pueden observarse en el tabla IX.

Conclusiones

Conclusiones generales

El desarrollo del vehículo eléctrico con sistema solar fotovoltaico autónomo, complementa la recarga eléctrica convencional, por que logra aprovechar la radiación solar para generar energía, por lo que incrementa su autonomía al VE en esta evaluación un 76% con baterías de 105 Ah, el 89% con baterías de 130 Ah y hasta un 100% con las baterías de 150 Ah.

Estos datos técnicos que se muestran, cabe mencionar que puede variar de acuerdo al tipo de módulo por su potencia y dimensión libre en el techo del vehículo para instalar módulos. Por las características de tamaño del vehículo y por ser un transporte no contaminante, es viable para circular en Chiapas y cualquier ciudad de la república mexicana y el Mundo.

Este transporte vehicular es muy similar a la (moto taxi) que funciona en las comunidades de Chiapas y diversos lugares del mundo con gasolina, La diferencia que este vehículo utiliza energía eléctrica que se obtiene de la radiación solar fotovoltaica, aprovechando que en Chiapas hay una radiación superior a los 4.7 kWh/m²-día, siendo un promedio de radiación muy bueno para el vehículo eléctrico con el sistema solar fotovoltaico autónomo.

Por otra parte se logra la dependencia de la recarga eléctrica disminuyendo el tiempo conectado a la red pública, regularmente un VE tarda conectado entre 9 horas para su recarga total y con el SFV autónomo disminuimos la cantidad de baterías y el tiempo de recarga de las mismas. En las pruebas que se realizaron las baterías solo se recargaban con energía convencional durante 5 horas, suficiente tiempo para lograr su máxima recarga eléctrica.

Trabajos futuros

Seguimos avivando el fuego de la quema de combustibles fósiles, generando más y más al cambio climático o apostamos por impulsar la transición hacia las energías renovables y protegiendo nuestros bosques, a la vez que salvamos el clima y a muchas regiones en las que las energías limpias son un aliado climático, pero también, económico y social. Todavía podemos evitar los peores impactos del cambio climático. Hay un futuro mejor que el que nos marca la tendencia actual, solo tenemos que elegir vivir en él". (48)

Se muestra el modelado en la figura 4.15 del vehículo eléctrico con módulos fotovoltaicos instalados en su parte superior.

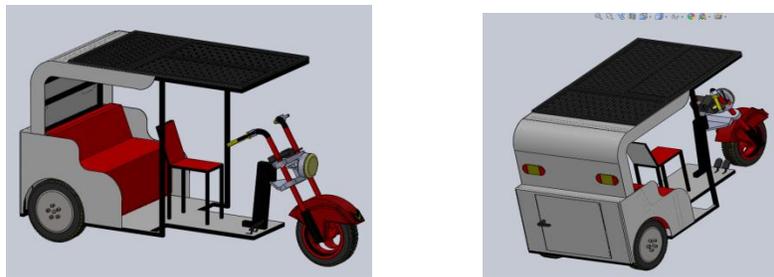


Figura 4.15. Modelado del vehículo eléctrico con módulos instalados.

En Chiapas, ya están en operación algunos VE de carga ligera y de poca velocidad y el vehículo que se muestra en la figura 4.15 con módulos en su parte superior puede ser adaptado a diferentes servicios por mencionar algunos:

Recolector de basura, seguridad privada, vigilancia policiaca, repartidores de medicamentos y comidas, servicios ambulantes como cafeterías ó taquerías, carritos en hospitales y estadios deportivos, transporte urbano para dos pasajeros así como diversos servicios particulares que se presentan.

Esta tesis es una primera etapa, pero consideramos de mucha importancia, la implementación directa de energías renovables en vehículos, pero hace falta rediseñar y buscar otras aplicaciones de los VE, de tal manera que sean una opción práctica y de uso masivo en la región y a nivel nacional e internacional.

También es importante continuar con un sistema de recarga con energías renovables, ya sea con una central fotovoltaica o un sistema híbrido que podría ser solar-fotovoltaico o, si hay potencial con un sistema microhidroeléctrico. Todas estas opciones pueden disminuir totalmente el uso de energía convencional que produce altos niveles de emisiones de CO₂.

Bibliografía

1. **IPPC, Intergubernamental del Cambio Climatico.** *Informe de ONU,IPPC.* 2013.
2. *Agency For toxic Substances and Disease Registry.* **ATSDR.** 1995.
3. **EPA.** *Agencia de Protección Ambiental, Informacion del Porcentaje del CO2.* 2013.
4. **PACCCH.** *Programa de Accion Ante el Cambio Climatico del Estado de Chiapas.* Tuxtla : s.n., 2011.
5. **Semarnat.** *Cambio climatico. Ciencia, evidencia y acciones, México.* México : ISBN, 2009.
6. *Organización Meteorológica, de gases efecto invernadero (GEI).* **OMM, Organización, Metereologica Mundial OMM.** 2013.
7. **HUSAIN.** *Igal. Electric And Hybrid Vehicles.* s.l. : Second Edition, 2011.
8. **Pellicer, Francisco Larrode Pellicer y Celso.** *Vehiculo Electrico.* s.l. : 1ra Edicion, 1997.
9. **Cernuschi, emiliano.** *cuatro siglos cuatro ruedas.* 2005.
10. **Navarro, Gustavo Ángel león.** *Obtencion de grado.* 2010.
11. **Automoción, Sociedad de Tecnicos.** *El Vehículo Eléctrico, Desafio Tecnológicos, Primera Edición.* Barcelona : Celia Pujals, 2011.
12. **TECMOVIA motor, diario.** <http://www.diariomotor.com/tecmovia/>. [En línea] 2014. [Citado el: 15 de junio de 2014.]
13. **westhillscollision.** www.westhillscollision.com/uperv.php?article=ev1. [En línea] 2012.
14. **Santiago, Sanz.** *Vehículos Híbridos y Eléctricos (Motores).* s.l. : EDITEX, 2011.
15. **Word Solar, Challenge.** www.worldsolarchallenge.org. [En línea] 2004.

16. **Grupo INTELY MEC, Dpto. de Ing. Electrom, Ingeniería del Centro.** Facultad de Ingen. Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires CIFICEN. [aut. libro] Dpto. de Ing. Electromecánica, Facultad de Ingeniería, UNCPBA (Olavarría, Buenos Aires, Argentina). Consejo Nacional de Inv Grupo INTELY MEC. 2014.
17. *Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.* **Chile, Unive.** 2014.
18. **Camexive, Lily Cohen Beatriz Padilla.** Camara Mexicana de la Industria de Vehículos Eléctricos. *Formula Sol.* 2014.
19. **Honda, Solar.** <http://www.gizmag.com/honda-solar-powered-ev-charging-station/17326/>. [En línea]
20. **Arsuaga Chabot, Pedro.** *Vehículos Eléctrico y Redes para su Recarga.* s.l. : RAMA, 2010.
21. **INVEMEX.** <http://www.invemex.org.mx/>. [En línea]
22. **Readers, Digest.** *El libro del Automovil.* Mexico : Edicion, 2013.
23. **D Agostino M, , Naddeo , Pisani C, Rizzo G.,** *Driver Intention Analysis for Through-the-Road Solar Hybridized Vehicle,SAE International .* 2013.
24. **Toyota.** <http://www.toyota.com.mx/especificaciones/hibridos/prius/>. [En línea]
25. *Fuente International Automóvil Ausstellung . Frankfurt, Main Germany.* 2011.
26. **W. Chan Quin, Renee Maubogme.** *The Blue OceanStrategy.* Boston Massachusetts : Harvard Business School, 2005.
27. **Gstriatum.com, Energía Solar.**
www.Gstriatum.com/energiasolar/blog/category/coches-electricos/. [En línea]
28. **Paredes, Miriam.** Zilent de México. *Excélsior.* 2011.
29. **INA.** Industria Nacional de Autopartes, A.C., . *Carreras de carros E/fx.* Mexico : s.n., 2015.
30. **Barrera Aguilar, Lima Gutierrez, Montiel Campos, Luis, Horacio, Héctor.** *Estrategía de Electro Movilidad Fotovoltaica para autos Eléctricos e híbridos en México.* 2010.
31. **Salin, Adame y.** Contaminacion Ambiental. s.l. : Trillas, Mexico, 2006.

32. **INE, Instituto Nacional de Emisiones.** *Estudio de Emisiones y Características Vehiculares en ciudades Mexicanas.* Mexico : s.n., 2011.
33. **Tonda, Juan.** *El Oro Solar y Otras Fuentes de Energía.* Mexico : Mexico, 1998.
34. **Ortega Rodriguez, Mariano.** *Energías Renovables.* s.l. : Parainfo, 2003.
35. **Moreira, joel.** *Sistemas Solares Fotovoltaicos.* 1996.
36. **Joel, Moreira.** *Sistemas Solares Fotovoltaicos.* 1996.
37. **Drake, Thomás Alfaro.** *La victoria del Sol.* s.l. : Palabra S.A., 2000.
38. **De Strahler, Davis.** *Climatic Geomorphology.* 1965.
39. **Olgay, Víctor.** *Arquitectura y Clima, Manual de Diseño Bioclimático para arquitectos y urbanistas.* Barcelona : Gustavo Gili, 1998.
40. **Kalogirou, S.** *Solar Energy engineering: Processes and systems, Academic Press .* s.l. : Elsevier Science, 2009.
41. **Valentín Labarta, José Luis.** *Instalaciones Solares Fotovoltaicas.* España : Donostiarra, 2012.
42. **Tena Sánchez, José Guillermo.** *Sistema de carga y Arranque.* España : Paraninfo, 2011.
43. **Rizzo, G.** *Automotive Applications of Solar Energy.* Munich : IFAC Symp, 2010.
44. **Revista, Car.** <http://cincodias.com/car/>. [En línea] [Citado el: 24 de Septiembre de 2012.]
45. **Solarever.** <http://www.solarever.com.mx>. [En línea]
46. **Hanselman, D.** *Brushless Permanent-Magnet Motor Design.* s.l. : McGraw Hill, 1994.
47. **Drivetek, MPPT-Race.** www.drivetek.ch. [En línea] 2012.
48. **Greenpeace.** *Propuesta de Greenpeace:Solar Fotovoltaica.* diciembre, 2002.
49. **Energía, Alternativa.** <http://jalopnik.com/tag/alternative-energy>. [En línea] 16 de noviembre de 2007.

Glosario de términos técnicos

Debido a la diversidad de especialidades técnicas que se utilizan en la presente tesis, es necesario dar una lista de definiciones que ayudarán a comprender mejor al lector los términos técnicos utilizados.

1. Arreglo solar: Conjunto de módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente e instalados.
2. Caja de conexión: Caja a donde se llevan los cables para realizar las conexiones.
3. Carga: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que ésta ópera.
4. Celda solar o celda fotovoltaica: Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.
5. Celdas de película delgada: Celdas fabricadas de películas del orden de los micrones de material sensible a la radiación solar.
6. Condiciones de prueba estándar: Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 KWh/m² de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1.5)
7. Conexión a la red: Sistema de generación conectado a la red pública de electricidad.
8. Conexión en paralelo: Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.
9. Conexión en serie: Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

10. Conductor eléctrico: Todo material capaz de conducir la corriente eléctrica. Para transportar la energía eléctrica se utilizan “hilos” fabricados generalmente de cobre o aluminio.
11. Consumo eléctrico: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (KWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.
12. Constante solar: Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1 m² por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente 1.36 KW/m².
13. Corriente continua: La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.
14. Corriente de corto circuito: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.
15. Corriente de máxima potencia: Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.
16. Cortocircuito: Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.
17. Curva I-V: Característica Intensidad vs. Voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.
18. Diodo de bloqueo: Dispositivo conectado en serie entre el módulo y la batería para prevenir el flujo de electricidad de la batería hacia los módulos.
19. Diodo de bypass: Dispositivo conectado en paralelo a los módulos para desviar el flujo a través suyo cuando sobre el módulo hay sombras o falla alguna celda.
20. Eficiencia de la celda: Relación entre la potencia que entrega una celda solar (expuesta a pleno sol) a la potencia solar incidente sobre ella.

21. Factor de llenado: Razón entre la máximo potencia y el producto de la corriente de corto circuito por el voltaje de circuito abierto. Mide la desviación de la curva I-V de la forma rectangular ideal de esta curva.
22. Amperios Hora = Ah
23. Giga watt: Mil millones de watts (1 GW = 1 000 000 000 W)
24. Mega watt: Un millón de watts (1 MW = 1 000 000 W)
25. Kilowatt: Mil watts (1 KW = 1 000 W)
26. Horas de sol pico: Número equivalente de horas a 1 KWh/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.
27. Instalación eléctrica: Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación de la energía eléctrica.
28. Intensidad eléctrica: Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)
29. Interruptor: Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.
30. Masa de aire: Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.
31. Módulo o módulo solar fotovoltaico: Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.
32. NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m² de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s, cuando la celda está en circuito abierto.
33. Potencia eléctrica: Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (kW) o el Mega watts (MW)
34. Punto de máxima potencia: Punto de la curva I-V en donde el producto I * V (potencia) tiene su valor máximo.

35. Radiación difusa: Radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.
36. Regulador de carga: También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobre descargas.
37. Tensión eléctrica: Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V)
38. Termocupla: Dispositivo compuesto de dos alambres metálicos diferentes que sirve para medir temperatura, mediante una corriente eléctrica proporcional a la temperatura leída.
39. Tierra (Grounding): Conexión que se hace en la tierra para emplearla como retorno en un circuito eléctrico y arbitrariamente como punto de potencial cero.
40. Voltaje de circuito abierto: Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.
41. Voltaje de máxima potencia: Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.
42. Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m², 25°C y 1.5 de masa de aire)

