



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

LIER

Hacia un transporte sustentable en  
Pueblos Mágicos: Integración  
fotovoltaica y mototaxis eléctricos

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero en Energías Renovables

PRESENTA:

Jose Luis Perea Arenas

DIRECTOR DE TESIS:

J. Antonio del Río Portilla



**IER**

Instituto de Energías Renovables Temixco, Morelos., a 8 de enero de 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Agradecimientos

*Esta tesis muestra el fin de una etapa a la cual no hubiese sido posible llegar sin la invaluable ayuda de mi familia, en especial de mis padres y de mi tío Ángel Perea. Quiero agradecer a mi tutor, el Dr. J. Antonio del Río Portilla, pues sin su tiempo y disposición este proyecto no se hubiera concluido.*

*Al Dr. Miguel Roblez Pérez, el cual siempre estuvo a mi lado durante mi estancia académica, brindándome todo su apoyo, tanto en lo académico como en lo personal.*

*Al Dr. Aaron Sánchez, por brindarme su tiempo para la realización de los cálculos fotovoltaicos, los cuales fueron imprescindibles para que este proyecto fuera viable.*

*A la Dra. María Eugenia Hernández por permitirme trabajar en su oficina y apoyarme en todas mis dudas, pero sobre todo por su gran amistad.*

*Finalmente agradezco tanto al programa de becas del estado de Morelos y al de la UNAM, así como a todos mis amigos, los cuales llenaron de gratas experiencias esta etapa que fue un buen reto personal al llevar tanto mi carrera deportiva como la académica de la mano .*

# Índice general

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2. Situación de la movilidad actual con motocicletas</b>                              | <b>11</b> |
| 2.1. Reseña histórica de las Motocicletas . . . . .                                      | 11        |
| 2.2. Patrones de motorización - Desarrollo de transporte . . . . .                       | 13        |
| 2.3. Uso de las motocicletas en los Pueblos Mágicos . . . . .                            | 13        |
| 2.3.1. Motores cíclicos Otto . . . . .   | 14        |
| <b>3. Motocicletas eléctricas</b>  | <b>17</b> |
| 3.1. Ventajas de una motocicleta eléctrica . . . . .                                     | 18        |
| 3.2. Baterías . . . . .  | 19        |
| <b>4. Consumo del vehículo con batería eléctrica</b>                                     | <b>20</b> |
| 4.1. Emisiones de generación de energía . . . . .  | 20        |
| 4.2. Cálculo basado en la mezcla de generación de energía . . . . .                      | 21        |
| <b>5. Análisis y propuesta de transporte eléctrico mototaxi</b>                          | <b>22</b> |
| 5.1. El uso de motocicletas eléctricas como mototaxi en los Pueblos Mágicos . . . . .    | 22        |
| 5.2. Especificaciones de la moto eléctrica . . . . .                                     | 27        |
| 5.3. Uso de módulos FV en vehículos . . . . .  | 28        |
| 5.4. Instalación del módulo en el toldo del remolque . . . . .                           | 28        |
| 5.4.1. Aproximaciones para cargar el VE usando el FV . . . . .                           | 29        |
| 5.4.2. Carga de la red fotovoltaica . . . . .  | 29        |
| <b>6. Requerimientos del sistema fotovoltaico</b>  | <b>30</b> |
| 6.1. Búsqueda del módulo fotovoltaico para mototaxi . . . . .                            | 30        |
| 6.2. Estimación de la potencia de entrada y salida para el módulo fotovoltaico . . . . . | 32        |
| 6.2.1. Datos Energéticos . . . . .   | 34        |
| 6.2.2. Integración a la motocicleta . . . . .  | 36        |
| 6.3. Estación de carga FV interconectada a la red . . . . .                              | 38        |
| <b>7. Análisis Económico</b>   | <b>42</b> |
| 7.1. Parámetros económicos . . . . .   | 42        |
| 7.2. Elementos considerados para el análisis . . . . .                                   | 43        |
| 7.3. Tarifas eléctricas . . . . .  | 44        |
| 7.3.1. Tarifa seleccionada . . . . .   | 44        |
| 7.4. Resultados del análisis económico. . . . .  | 45        |

|   |    |
|---|----|
| 8. Conclusiones                             | 48 |
| Apéndice A. Tablas para cálculos económicos | 50 |
| Apéndice B. Glosario                        | 52 |
| Bibliografía                                |    |

# Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Ciclos real e ideal en motores de encendido por chispa y sus diagramas P-V . . . . . | 14 |
| 6.1. Esquema conceptual del mototaxi eléctrico fotovoltaico. . . . .                      | 31 |
| 6.2. Vista trasera del mototaxi eléctrico fotovoltaico . . . . .                          | 31 |
| 6.3. Curva de I-V Solartec S36PC . . . . .  | 33 |
| 6.4. Temperaturas Temixco . . . . .   | 34 |
| 6.5. Diagrama unifilar de módulos en el toldo del mototaxi eléctrico. . . . .             | 38 |
| 6.6. Estación de carga FV interconectada a la red . . . . .                               | 38 |
| 6.7. Diagrama unifilar de la estación de carga FV interconectada a la red. . . . .        | 41 |

# Índice de cuadros

|  |    |
|--|----|
| 5.1. Comparación de motocicletas a gasolina utilizadas para el mototaxismo . . . . .                               | 23 |
| 5.2. Comparación de motocicletas eléctricas en el mercado . . . . .  | 25 |
| 5.3. Comparativa de motocicleta eléctrica contra motocicleta a gasolina. . . . .                                   | 26 |
| 5.4. Especificaciones motocicleta Tork T6X . . . . .   | 27 |
| 6.1. Especificaciones Solartec Policristalino 155 W . . . . .  | 32 |
| 6.2. Especificaciones técnicas del Módulo Solar con celdas de 156 mm de Silicio Policristalino . . . . .           | 32 |
| 6.3. Coeficientes de Temperatura Solartec Policristalino S 36PC y S60PC . . . . .                                  | 33 |
| 6.4. Corrección de potencia por temperatura . . . . .  | 34 |
| 6.5. Especificaciones eléctricas del Controlador de carga Xantrex C-40 . . . . .                                   | 37 |
| 6.6. Especificaciones Solartec Policristalino 260 Wp . . . . .   | 39 |
| 6.7. Especificaciones técnicas del Módulo Solar de 260 Wp con celdas de 156 mm de Silicio Policristalino . . . . . | 39 |
| 6.8. Ficha técnica de Microinversor APsystems YC1000-3 . . . . .   | 40 |
| 7.1. Conceptos evaluados. . . . .  | 43 |
| 7.2. Precios . . . . .   | 44 |
| 7.3. Tarifa 2 baja tensión CFE . . . . .   | 45 |
| 7.4. Comparativa de parámetros económicos . . . . .  | 45 |
| A.1. Tabla de cálculos económicos en hoja de cálculo para Mototaxi eléctrico con módulos                           | 50 |
| A.2. Tabla de cálculos económicos en hoja de cálculo para Mototaxi eléctrico con estación de carga FV . . . . .    | 51 |
| A.3. Tabla de cálculos económicos en hoja de cálculo para motocicleta a gasolina . . . . .                         | 51 |

# Capítulo 1

## Introducción

La necesidad de la concientización sobre la protección ambiental y la existencia de un calentamiento global antropogénico debe ser abordado hoy en día. La aplicación de fuentes renovables como la solar fotovoltaica (SF) para cargar motocicletas eléctricas es una opción interesante que ofrece numerosas oportunidades técnicas y económicas. Combinando dichas motocicletas libres de emisiones con la carga de sus baterías por medio de la generación de energía con módulos fotovoltaicos (MF), se pueden reducir los problemas relacionados con la emisión distribuida de gases de efecto invernadero debidos a los motores de combustión interna.[1]

No se sabe con precisión cuando se establecieron en el país, pero las mototaxis son una opción de transporte terrestre con un costo económico accesible para la población; además de ser una fuente de trabajo [2]. Se calcula que en el estado de México circulan un aproximado de 2000 mototaxis [3]. La adopción de las mototaxis en las localidades turísticas “Pueblos Mágicos” como medio de transporte puede ser una opción viable, al ser un un vehículo pequeño, lo cual ayuda a preservar las condiciones originales de la localidad.

Es por ello que el desarrollo de mototaxis eléctricos con la implementación de módulos fotovoltaicos tiene beneficios para el medio ambiente y beneficios económicos. Esta situación nos motiva a realizar un estudio sobre el desarrollo de una mototaxi eléctrica (MTE) con la integración de módulos fotovoltaicos como medio de transporte para su uso en Pueblos Mágicos.

“Un Pueblo Mágico es una localidad que tiene atributos simbólicos, leyendas, historia, hechos trascendentes, cotidianidad, en fin magia que te emanan en cada una de sus manifestaciones socio-culturales, y que significan hoy día una gran oportunidad para el aprovechamiento turístico.”[4]

“El Programa Pueblos Mágicos contribuye a revalorar a un conjunto de poblaciones del país que siempre han estado en el imaginario colectivo de la nación en su conjunto y que representan alternativas frescas y diferentes para los visitantes nacionales y extranjeros.”[4]

En nuestro país contamos con 111 pueblos mágicos, en varios de ellos se ha desarrollado un sistema de movilidad basada en furgonetas, taxis y en motocicletas modificadas para movilizar a dos o tres pasajeros[5]. Estas regiones podrían ser impulsadas con la promoción del uso de motocicletas eléctricas para sustituir a las de combustión interna.

La elección del uso de las motocicletas como método de transporte en los pueblos, se debe a que en su mayoría son localidades que no fueron planeadas para una gran urbanización, además de que deben de ser preservadas, por lo cual se debe de adecuar una alternativa de transporte que no altere la anatomía de dichos lugares y que sean de gran ayuda para movilizar a todos los habitantes y turistas.

La modalidad del mototaxismo es una manera de trabajo informal, en la que los propietarios de motocicletas brindan un servicio de transporte público individual de pasajeros de bajo costo. Esto surge debido a la carencia de un sistema de transporte público eficiente. En la actualidad el uso de mototaxis ha tenido una tendencia a la alza en todo el mundo. Muchos países han adoptado este sistema de transporte, debido a que permiten el fácil acceso a zonas que son difíciles de transitar por otros medios. [6].

En Colombia el uso de mototaxis, es la forma de transporte informal más utilizado por las poblaciones del país, en donde 26 Departamentos hacen uso de este medio de transporte. Su uso se está convirtiendo en una problemática social, al no tener una legislación apropiada y debido a que el aumento de motocicletas dedicadas a esta labor en las vías de tránsito genera un riesgo en la seguridad para quienes proveen y utilizan este servicio.

Por otra parte un estudio realizado en Cartagena, Colombia identificó riesgos como el aumento de la exposición a ruido y accidentes viales, presencia de enfermedades de proceso irritativo y lesiones cutáneas en los conductores. Además, los operadores del mototaxi deben enfrentar diariamente el problema de la contaminación, que les produce enfermedades respiratorias debido a partículas suspendidas y a los gases que expulsan los tubos de escape en el aire. [6].

Al sustituir las mototaxis convencionales por mototaxis eléctricos se tendrán beneficios ya que las motocicletas eléctricas son menos ruidosas, no arrojan gases de la combustión a los pasajeros, a las personas o vehículos que están en la parte posterior, ni contribuyen a incrementar la temperatura de la isla de calor en las localidades. Con estos beneficios se podrán atraer más personas a los Pueblos Mágicos y será un atractivo más el disfrutar de un paseo en un sistema eléctrico. [7]

Por otro lado, las perspectivas ambientales, técnicas y económicas del vehículo eléctrico, han iniciado la integración de la energía eléctrica en los sistemas de transporte de una manera concebible. El principal vínculo entre los dos sectores es la carga de las baterías de la fuente de alimentación para lograr un desplazamiento autónomo del vehículo eléctrico.

Sin embargo, la carga de los vehículos a través de la red eléctrica impone un costo adicional, en particular este puede ser alto durante la demanda pico [8]. El uso de las fuentes de energía renovables como la SF puede reducir los impactos ambientales y mejorar la eficiencia general del sistema de carga [9]. Con una continua tendencia a la baja en los precios de los módulos fotovoltaicos, la energía solar es cada vez más reconocida como una fuente de energía competitiva [10]. Además, el sistema fotovoltaico es prácticamente libre de mantenimiento, tanto en términos de combustible como de mano de obra [10].

La incorporación de módulos fotovoltaicos en los vehículos ya se ha realizado en competencias de coches solares desde 1983 [11] recorriendo Australia de este a oeste con el propósito de aumentar la conciencia pública. Los coches solares son básicamente automóviles eléctricos que utilizan energía generada por módulos fotovoltaicos, sin emplear un sistema de almacenamiento electroquímico. De acuerdo con el trabajo de Giannouli [12], la instalación de los módulos fotovoltaicos en vehículos híbridos brinda un aumento en la autonomía siempre y cuando se incluya la batería.

La aplicación de módulos fotovoltaicos para cargar los vehículos eléctricos es decir, la carga Solar Fotovoltaica - Vehículo eléctrico (SF-VE) es una opción que se ha beneficiado por el avance en las tecnologías de conversión de energía, sistemas de gestión de baterías, mejores prácticas de instalación y estándares de diseño. En un gran número de casos, particularmente durante el día, el VE está continuamente bajo la exposición al sol. Esto da lugar a una oportunidad para cargar el VE directamente [13]. Por ejemplo, mediante la instalación de un techo fotovoltaico sobre la mototaxi o en sitios de espera, el VE se puede cargar convenientemente mientras el propietario del mototaxi brinda el servicio o espera la solicitud del servicio. Esto conlleva a beneficios debido a

que la carga se lleva a cabo durante el día, donde la demanda está en su apogeo. Además, requiere un costo mínimo de combustible y exhibe una emisión de CO<sub>2</sub> muy baja. Estructuralmente, las instalaciones de cubiertas fotovoltaicas (FV) proporcionan refugios libres del sol y de la lluvia, que es una característica favorable.

Diferentes métodos de carga SF-VE pueden ser planteados, aquí sólo analizaremos dos enfoques: (1) Una estación de carga fotovoltaica interconectada a la red eléctrica nacional, es decir, combinando la potencia fotovoltaica y la red eléctrica ; y (2) el SF-independiente, el cual utiliza los módulos fotovoltaicos como la fuente de energía para cargar directamente las baterías del vehículo eléctrico. Utiliza la energía fotovoltaica siempre que sea posible, pero conmuta a la red eléctrica cuando la energía fotovoltaica no es suficiente. Para el SF-independiente, la carga se realiza sin interconexión con la red eléctrica. Es por ello que se aborda con los métodos planteados la viabilidad de integrar ambas tecnologías para un sistema de transporte (mototaxi) sustentable. [13]

Actualmente los vehículos facilitan la movilidad tanto de personas como de bienes, al estar ligados con sectores provechosos como el comercio, la energía, industria e infraestructura lo cual ha provocado que se incremente la planta vehicular. Sin embargo, en la literatura se menciona que si se siguen con las mismas tendencias del desarrollo, sin limitaciones, se puede amenazar tanto la economía como el bienestar ambiental, debido al calentamiento global. En el artículo de Rivas et al. [14] se menciona que “A nivel mundial se necesita estimular el uso del transporte público” mediante cambios drásticos como mejorar la eficiencia y organización del servicio de transporte masivo. En el mismo artículo se menciona que los países dentro de la unión Europea están trabajando para “realizar un cambio significativo en la distribución de los distintos medios de transporte, hacia un modo de transporte sustentable”.

Hay varias maneras de definir un sistema de transporte sustentable, ya que la sustentabilidad puede ser abordada desde varios puntos de vista, como ambiental, económico y social [15]. Un sistema de transporte sustentable debe ser respetuoso con el medio ambiente. Entre los efectos ambientales negativos producidos por el sector del transporte, la contaminación atmosférica es uno de los problemas más graves, porque afecta directamente a la salud humana [16].

Es por todo lo anterior que el objetivo principal de esta tesis es proponer una posible estrategia para satisfacer las necesidades básicas de transporte en los Pueblos Mágicos con movilidad eléctrica. Así, la propuesta a analizar es un sistema de mototaxis eléctricos para sustituir los ya conocidos mototaxis a gasolina de las localidades en México. En concreto, se pretende cambiar las motocicletas con motor de combustión interna por motocicletas eléctricas que cumplan con las necesidades de la demanda diaria en movilidad, seguridad, autonomía, durabilidad, sustentabilidad. Se analizan los costos y estrategias para incentivar a que los transportistas opten por el cambio a un transporte limpio. Además, se analizará la integración a la motocicleta un conjunto de módulos fotovoltaicos para así poder aumentar la autonomía en su trayectoria y se hará el estudio de factibilidad económica. Se propone también el diseño de un punto de recarga totalmente fotovoltaico interconectado a la red eléctrica nacional, lo cual nos dará un medio de transporte totalmente cero emisiones.

# Capítulo 2

## Situación de la movilidad actual con motocicletas

En esta sección se inicia con una breve historia de las motocicletas, para comprender cómo se fue dando el camino para el desarrollo y la reciente implementación de las motocicletas eléctricas en el mercado. También se aborda el tema del transporte en Latinoamérica y en especial en México, para concientizar al lector de qué es lo que ocurre comúnmente con los sistemas de transporte en la actualidad y de esa forma ver una posible solución de transporte urbano con las mototaxis eléctricas.

### 2.1. Reseña histórica de las Motocicletas

La primer motocicleta fue una combinación entre la bicicleta y el automóvil. Fue construida con madera, portando un motor de 4 tiempos de tan solo medio caballo, permitiendo una velocidad de 18 km /h. Su primera aparición fue en 1885 junto a su creador el ingeniero Gottlieb Daimler. La primera motocicleta en producción fue fabricada en 1894 por Hildebrand Wolfmuller, una compañía Alemana. La motocicleta contaba con un motor bicilíndrico enfriado por agua brindando una velocidad máxima de 40 km/h.

A principios del pasado siglo, fue inventada la bujía, y al poco tiempo el ingeniero Robert Bosch, creó un sistema de alta tensión para producir una chispa controlada que permitiera encender el combustible en la cámara de combustión exactamente al mismo tiempo. Este sistema de encendido entre la bobina y la bujía fue adoptado por los principales fabricantes y actualmente sigue siendo la base de todos los sistemas de encendido en las motocicletas de combustión interna. En el año de 1913 la marca Estadounidense Indian producía el mayor número de motocicletas, con un total de 31,950 motos al año [17] , con más de 3,000 empleados sobre líneas de montaje en serie.

Al término de la segunda guerra mundial, muchas de las marcas tanto Europeas como Americanas terminaron en bancarrota. Fabricantes de componentes, como motores de dos tiempos y cajas de cambios, estaban vendiendo sus productos a distintas compañías tanto Alemanas, Inglesas y Polacas, produciendo un ejército de motocicletas de baja cilindrada. La revolución en el mundo de las motocicletas llegó en 1948, cuando Soichiro Honda fundó la primera fábrica de motocicletas Japonesas. La marca Honda unida a otras marcas japonesas como Suzuki y Yamaha comenzaron a dominar el mercado de las motocicletas ligeras a nivel mundial y a mediados de 1970 su producción había alcanzado las 4.5 millones de unidades producidas anualmente, superando notablemente a los italianos con su producción de 800,000 motos y a los Ingleses con una producción de 40,000

motos.

El éxito japonés continuó con su industrialización en la década de los 80. Honda, Kawasaki, Suzuki y Yamaha fueron las empresas más publicitadas y compradas, y constituyeron el aspecto y el diseño de la era. En los 90 las motocicletas volvieron a establecerse como objetos de diseño y coleccionismo. Diseños de super deportivas como la Ducati M900, que en periodos anteriores nunca podría haberse planteado, estaban en la línea de montaje. Así a final de siglo hubo señales de recuperación por parte de constructores fuera de Japón. En el Reino Unido, donde sólo se habían fabricado 70000 unidades en los 60, hubo una escasez de motos hasta el relanzamiento de la marca Triumph en 1992. En América Harley Davidson después de sus severos problemas económicos volvía a su estabilidad. La marca Alemana, BMW que había afrontado crisis tras crisis en el periodo de posguerra, ahora emerge como el único superviviente importante en el país en que había nacido la motocicleta.

Con más de un siglo de historia a sus espaldas, y todo tipo de diversificación en sus productos, es lógico que la industria de la motocicleta convencional (combustión interna) se pueda considerar como un mercado maduro. Actualmente la motocicleta ha dejado de ser un medio de transporte utilitario llegando a tener una gran cantidad de aplicaciones, tanto en ciudades como en localidades rurales, lo cual hace que cada vez sea mas grande el número de usuarios [18].

Los vehículos eléctricos son más antiguos de lo que la gente, en general, piensa y en la actualidad su uso como medio de transporte se ha incrementado . El primer vehículo eléctrico conocido fue un pequeño modelo construido por el Profesor Siberandus Stratingh, en la ciudad alemana de Groninberg, en 1835. Pero los primeros utilitarios fueron construidos por Thomas Davenport en los Estados Unidos y por Robert Davison en Edimburgo en 1842[19]. Al principio se tuvieron que usar baterías no recargables, por lo que el vehículo eléctrico no llegó a ser en una opción viable hasta que se inventó la batería recargable, hacia 1881. Actualmente los motores eléctricos pueden conseguir eficiencias del 90 % ya que la mecánica asociada, al ir directamente acoplada a las ruedas, simplifica enormemente los cambios y transmisiones, reduciendo las consiguientes pérdidas [18].

Extendiendo el concepto de vehículo eléctrico, se puede considerar a aquellos que son impulsados, al menos en parte, por electricidad. Las configuraciones de un vehículo eléctrico incluyen a los vehículos de batería eléctrica, que son impulsados al 100 % por energía eléctrica, como es el caso de los coches eléctricos de la marca Tesla. Actualmente uno de sus modelos reportó una autonomía de mas de 900 km [20]. Este es un ejemplo tecnológico actual sobre el desarrollo de las baterías en los vehículos eléctricos, lo cual puede servir de inspiración para el desarrollo de motocicletas eléctricas de larga autonomía, por lo que la marca de motocicletas ZERO ha logrado una autonomía en ciudad de 325 kilómetros[21]. Otra configuración que se encuentran son los vehículos eléctricos híbridos los cuales combinan un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos junto con una batería. Actualmente una motocicleta deportiva de la marca Furion la cual utiliza un doble motor de combustión interna tipo Wankel junto con un motor eléctrico, los cuales en conjunto dan 180 caballos de fuerza [22]. Por ultimo se encuentran los vehículos híbridos eléctricos enchufables, los cuales utilizan una batería de larga autonomía que se puede recargar directamente a la red eléctrica junto con un motor de combustión interna, los cuales están integrados entre ellos mecánicamente para proveer simultáneamente la energía. Esta tecnología ya es utilizada en scooters de la marca Piaggio los cuales puede recorrer hasta 60 km/litro [23]

Como bien se ha mencionado anteriormente, es notable ver en las grandes ciudades las implementaciones hacia un desarrollo del transporte en las que se tiene acceso a una gran infraestructura para movilizar a personas, que se trasladan, ya sea para su trabajo, escuelas o hogares. Sin embargo, se está dejando a un lado las comunidades rurales, en las que las situaciones son distintas al no tener una gran infraestructura ni largas avenidas que recorrer, ni los mismos patrones de mo-

torización ya que cada localidad tiene distintas necesidades. Es por ello que antes de implementar una mejora en el sistema de transporte, es necesario identificar si tiene verdaderos beneficios a la comunidad.

## 2.2. Patrones de motorización - Desarrollo de transporte

La opción de transporte por defecto para muchas personas en el mundo en desarrollo era moverse a pie o en bicicleta y el transporte público en forma de para-tránsito. Es ampliamente visto que la proporción entre caminar y andar en bicicleta respecto al transporte motorizado en general, está disminuyendo. Esto es, en parte el resultado de las múltiples alternativas en forma de transporte público o de vehículos de bajo costo.

Para muchos, la decisión de dejar de caminar para trasladarse no es una decisión voluntaria, sino influenciada por las distancias cada vez mayores a lugares de trabajo o educación, así como por la disminución del atractivo y la seguridad de los peatones y ciclistas. Sin embargo, muchas personas carecen de recursos para poder costear el transporte público, y mucho menos para poder comprar una motocicleta o un automóvil [24]. Para muchas personas en los países en desarrollo, su primer y principal contacto con el transporte público es a través del para-tránsito que viene en muchas formas. Ejemplos incluyen los *rickshaws* motorizados de tres ruedas en el sur de Asia y los *tuk-tuks* [25] en Tailandia y las mini-furgonetas colectivas en América Latina, entre otras.

El para-tránsito, al igual que los transportes no motorizados, a menudo opera en el sector informal. Está fragmentado en términos de propiedad y subcapitalizado, lo que dificulta la introducción de operaciones más eficientes y/o tecnologías más limpias. Los países y las ciudades del mundo en desarrollo están luchando por definir el papel que el para-tránsito puede (o debería) desempeñar en la modernización de los sistemas de transporte. Ya que en general, la oferta de transporte público formal no puede mantenerse al día con la demanda, ya que la tendencia para los sistemas formales de transporte público ha sido que los números de viajes en autobús y ferrocarril (tren ligero o metro) son insuficientes. [24]

Las grandes ciudades en Latinoamérica actualmente enfrentan un círculo vicioso del transporte, ya que la creciente demanda en el transporte, ha desatado un incremento en la motorización lo cual provoca un aumento en la congestión y un deterioro en el transporte público. Este deterioro en el transporte público, se debe a que al reducir su demanda se ve reflejado un aumento en el costo por pasaje, o lo que es más común un deterioro del servicio. En vista de que el transporte público cada día es menos atractivo para el usuario al tener un mayor precio y menor comodidad, se estimula a la tendencia negativa del transporte individual y a la creciente motorización, potenciando un círculo vicioso en el transporte urbano. [26] Una forma de terminar con ese círculo vicioso es hacer una reestructuración integral del transporte público al mejorarlo. Como ejemplo en México se ha reorganizado con éxito un sector del transporte público en la ciudad por medio de autobuses de alta capacidad siguiendo una vía exclusiva, como es el caso del Metrobús.

## 2.3. Uso de las motocicletas en los Pueblos Mágicos

Las mototaxis convencionales, que se usan en algunos Pueblos Mágicos, usan motores de cuatro tiempos de combustión interna. Un motor de combustión interna es cualquier tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, que es su parte principal. Normalmente se utilizan motores de combustión interna de cuatro tipos: el motor cíclico Otto, el motor diésel, el motor

rotatorio y la turbina de combustión. En la mayoría de las máquinas de encendido por chispa el émbolo ejecuta cuatro tiempos completos (dos ciclos mecánicos) dentro del cilindro y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. Estas máquinas son llamadas máquinas de combustión interna de cuatro tiempos.

### 2.3.1. Motores cíclicos Otto

El motor convencional del tipo Otto es de cuatro tiempos, es decir, que el ciclo completo del pistón tiene cuatro fases, dos hacia la parte alta del cilindro y dos hacia abajo. Durante la primera fase del ciclo el pistón se mueve hacia abajo mientras se abre la válvula de admisión. El movimiento del pistón durante esta fase aspira hacia dentro de la cámara la cantidad necesaria de la mezcla de combustible y aire. Durante la siguiente fase, el pistón se mueve hacia la cabeza del cilindro y comprime la mezcla de combustible contenida en la cámara. Cuando el pistón llega hasta el final de esta fase y el volumen de la cámara de combustión es mínimo, en la bujía se produce una chispa y la mezcla arde, expandiéndose y creando dentro del cilindro la presión que hace que el pistón se aleje; ésta es la tercera fase. En la fase final, se abre la válvula de escape y el pistón se mueve hacia la cabeza del cilindro para expulsar los gases, quedando preparado para empezar un nuevo ciclo.

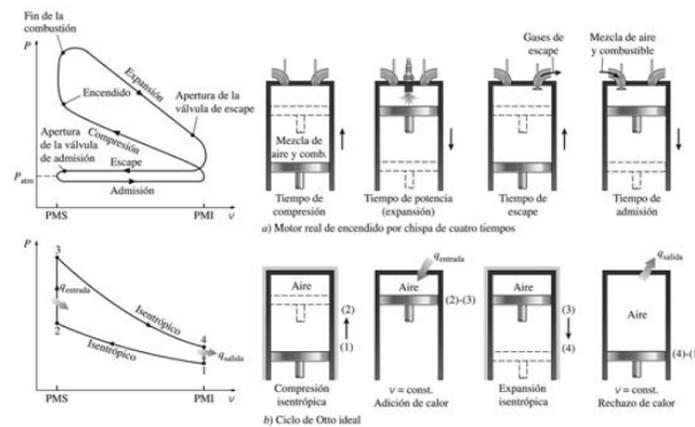


Figura 2.1: Ciclos real e ideal en motores de encendido por chispa y sus diagramas P-V (Tomado de [27])

Como se muestra en el diagrama esquemático 2.3.1 “inicialmente, tanto la válvula de admisión como la de escape están cerradas y el émbolo se encuentra en su posición más baja (PMI). Durante la carrera de compresión, el émbolo se mueve hacia arriba y comprime la mezcla de aire y combustible. Un poco antes de que el émbolo alcance su posición más alta (PMS), la bujía produce una chispa y la mezcla se enciende, con lo cual aumenta la presión y la temperatura del sistema. Los gases de alta presión impulsan al émbolo hacia abajo, el cual a su vez obliga a rotar al cigüeñal, lo que produce una salida de trabajo útil durante la carrera de expansión o carrera de potencia. Al final de esta carrera, el émbolo se encuentra en su posición más baja (la terminación del primer ciclo mecánico) y el cilindro se llena con los productos de la combustión. Después el émbolo se mueve hacia arriba una vez más y evacua los gases de escape por la válvula de escape (carrera de escape), para descender por segunda vez extrayendo una mezcla fresca de aire y combustible a través de la válvula de admisión (carrera de admisión)”[27].

La eficiencia de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción, refrigeración y forma de manejo. En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende de la relación de compresión, la proporción entre los volúmenes máximo y mínimo de la cámara de combustión. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25 % [28] : sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica y las principales pérdidas se dan en fricción y refrigeración.

## **Amenazas de la motocicleta convencional**

El sector de las motocicletas, y el de los vehículos en general, se enfrenta a importantes retos que pueden suponer una transformación profunda en el funcionamiento de la industria. Situaciones como el alza del petróleo, la preocupación por el cambio climático, y las estrictas regulaciones centradas en materia medioambiental en los países más industrializados que por ejemplo a partir del 2017 la mayor parte de las motocicletas comercializadas a nivel mundial deben de cumplir con la norma Euro 4 de contaminación y ruido. Si bien esto no es tan reciente, es cierto que a diferencia de pasados periodos, ya se dispone de alternativas a corto y medio plazo que pueden llegar a ser una amenaza para el modelo de negocio convencional. El mercado puede evolucionar más en unos cuantos años que lo hecho en las últimas décadas, como es el caso de los vehículos autotripulados y de vehículos eléctricos con altas autonomías. [18]

Las motocicletas, como el resto de vehículos de combustión interna son fuentes móviles de gases contaminantes. A diferencia de los otros vehículos, donde se pueden encontrar motores de gasolina y diesel, en las motocicletas sólo se utilizan los motores de dos o cuatro tiempos, siendo estos últimos los más utilizados por un mayor respeto medioambiental. Los motores de combustión de las motocicletas emiten diversos contaminantes tóxicos al aire y gases de efecto invernadero. También las emisiones de evaporación y del sistema de alimentación son consideradas perjudiciales. Los principales contaminantes regulados asociados al uso de motocicletas son los siguientes:

- Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>): Se forma a elevadas temperaturas y presiones. Junto con los problemas de salud, fundamentalmente respiratorios, que puede llevar acarreado, es precursor de la lluvia ácida, colabora en el calentamiento global y en la presencia del smog, la niebla que se provoca por la permanencia de los contaminantes en las capas inferiores de la atmósfera debido a una mayor densidad.
- Partículas en suspensión (PM): Se producen en el proceso de combustión de la gasolina. Están compuestas por hollín, hidrocarburos y compuestos de azufre. Su tamaño puede variar estando su diámetro en el orden de magnitud de micrómetro aunque puede llegar a nanómetros para las ultrafinas. Las partículas provocan efectos nocivos ambientales debido a la capacidad de influir en la temperatura atmosférica, absorber o dispersar radiación y ayudar al proceso de ciertas reacciones químicas. Desde el punto de vista sanitario son el contaminante más importante por los efectos que tiene sobre la población.
- Hidrocarburos (HC): Se producen por una combustión incompleta. Los más importantes son los compuestos orgánicos volátiles (COVs) aunque también existen otros como los hidrocarburos aromáticos y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPS). Reaccionan con la luz solar produciendo ozono a nivel del suelo y fomentado la niebla fotoquímica.

- Monóxido de carbono (CO): Al igual que los hidrocarburos, su emisión está relacionada con una combustión incompleta. Contribuye al calentamiento por ser un precursor de CO<sub>2</sub> y el ozono.
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): Es el principal gas de efecto invernadero que provoca el calentamiento global del planeta. Cuanto mayor es la concentración atmosférica de este gas, mayor es la cantidad de energía proveniente desde el sol que queda atrapada en la atmósfera en forma de calor.

El uso de motores de combustión interna es una práctica que se lleva desde el inicio del uso de las motocicletas. Sin embargo, como se dijo anteriormente puede tener muchos prejuicios al medio ambiente, además de que su funcionamiento requiere de un desarrollo ingenieril muy alto, al tener numerosas piezas en movimiento. Podríamos decir que si se desea desarrollar cada pieza de dicho motor resultaría muy tardado y costoso, es por ello que los grandes fabricantes de motocicletas prefieren continuar usando su desarrollos tecnológicos ya que ellos esperan sacarle su máximo a cada vehículo durante varios años y no le dan el impulso necesario a las motocicletas eléctricas. Esto ha dado pie a que surjan nuevos fabricante enfocados a ensamblar motocicletas eléctricas, debido a que un motor eléctrico de corriente alterna tiene un mínimo de piezas en movimiento simplificando su construcción. De todo esto se hablará en el siguiente capítulo.

# Capítulo 3

## Motocicletas eléctricas

La motocicleta es un vehículo con las características de ser móvil, rápido, cómodo y económico, adecuado para el transporte de corta distancia. Las motocicletas eléctricas son propulsadas por uno o más motores eléctricos, los cuales transforman la energía eléctrica almacenada en una batería a energía mecánica.

Los vehículos de energía eléctrica tienen la característica de diversidad y cero contaminación. Se consideran uno de los métodos más eficaces para abordar el problema de la contaminación atmosférica. A fin de eliminar los contaminantes emitidos por las motocicletas convencionales, todos los fabricantes de motocicletas eléctricas se han enfrentado a una serie de problemas comunes, entre ellos la insuficiencia de rango de crucero, baja velocidad terminal y pocas estaciones de carga. Un punto importante para la mejora es el desarrollo de la capacidad para almacenar energía en la batería y su tecnología de recarga, siendo puntos clave para proporcionar mayor practicidad al usuario. [29]

El motor eléctrico es una máquina que transforma la energía eléctrica en mecánica por medio de campos magnéticos variables. 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 motocicletas se está empezando a utilizar estas ventajas de los tipos de motores para utilizarlos también como frenos regenerativos.

Los motores de corriente continua sin escobillas (BLCD), tienen la característica de realizar electrónicamente la conmutación para la transferencia de energía. Esta propiedad elimina el gran problema que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas que es el rozamiento, disminuyendo el rendimiento del motor, generando calor y ruido. Además, requieren de una sustitución periódica y por lo tanto, un mantenimiento frecuente [30]. Además, la relación par motor-tamaño es mucho mayor, siendo favorable al tener una mayor fuerza de arrastre, lo cual ayuda a forzar menos el motor, lo que implica que se pueda emplear en aplicaciones donde se trabaje con un espacio reducido siendo favorable para su aplicación en motocicletas.

En relación a las eficiencias y pérdidas de un motor eléctrico en comparación al motor de combustión interna, el primero es más eficiente, ya que tiene menos pérdidas caloríficas. Además aprovecha el torque y la potencia por un mayor rango de revoluciones.

Las pérdidas de un motor pueden dividirse en:

- Pérdidas por efecto Joule en el estator: Son las pérdidas originadas por la circulación de corrientes por los devanados estatóricos.

- Pérdidas por efecto Joule en el rotor: Las pérdidas en el circuito de inducido están originadas por el paso de las corrientes por los devanados del inducido y por los elementos conectados en serie con él.
- Pérdidas Mecánicas: Pérdidas por ventilación, pérdidas por rozamiento, pérdidas constantes o de vacío, pérdidas que dependen de la carga de la máquina.

### 3.1. Ventajas de una motocicleta eléctrica

El vehículo eléctrico tiene mayores ventajas que uno de combustión interna. Apoyados en un estudio realizado por la Asociación Española para la promoción de vehículos eléctricos en el año 2006, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- Contaminación atmosférica

-No emite ni humo, ni partículas, ni emisión de CO<sub>2</sub>, HC o NO<sub>x</sub>

- Contaminación acústica

-El vehículo es silencioso.

- Independencia energética

-La posibilidad que ofrece la electricidad de ser generada a través de fuentes de energías renovables, permite una mayor independencia energética de los usuarios, factor totalmente aprovechable en países como México por su alto recurso solar.

- Ahorro energético

-No consume energía en las fases de ralentí comparado con un motor de combustión interna cuando está en su fase mínima de revoluciones al estar prendido.

-Las baterías se recargan en las fases de desaceleración y de frenado.

- Fiabilidad

-Tiene menos componentes que el vehículo de combustión interna por lo que los gastos de mantenimiento se reducen, teniendo así un menor número de descomposturas.[31]

Otro de los beneficios ocultos de los vehículos eléctricos mencionado en un artículo del 2015 [32], es que emiten mucho menos calor que un vehículo convencional dentro de un mismo kilometraje. El reemplazo puede mitigar el efecto de la isla de calor urbano para reducir el gasto de energía de los aires acondicionados, lo cual podría beneficiar a los climas locales y globales.

Los motores eléctricos tienen muchos beneficios para su aplicación en el transporte, como es el caso de no emitir gases de combustión, reducir la temperatura de en una isla, su fácil incorporación con el uso de energías renovables y su mantenimiento casi nulo. Sin embargo los motores eléctricos en motocicletas necesitan de una fuente de energía que se pueda trasportar junto con la motocicleta para así poder tener cierta autonomía de traslado. Actualmente la energía es almacenada en sistemas electroquímicos de alta tecnología para brindar una larga autonomía con el menor peso.

## 3.2. Baterías

Las baterías constituyen un elemento principal en un vehículo eléctrico, debido a que son las encargadas de almacenar la energía que el vehículo consumirá durante las horas de operación. Se han desarrollado numerosas tecnologías para el almacenamiento de la energía, sin embargo en este capítulo solo se mencionan las tecnologías que hasta la fecha son utilizadas para los vehículos eléctricos. Las baterías son sistemas electro-químicos cuyo objetivo es almacenar energía. Se pueden clasificar en dos tipos, las baterías de arranque y las baterías de tracción. Las baterías de arranque son las más conocidas hasta la actualidad, ya que son las utilizadas en los vehículos convencionales (de motor de combustión interna), las cuales deben aportar mucha energía de golpe durante una corta duración (el arranque). La tecnología más usada en las baterías de arranque se basa en electrodos de plomo, siendo la más extendida equipando a numerosos ciclomotores, bicicletas y vehículos eléctricos particulares y utilitarios. Existen distintos tipos de baterías de plomo:

- Plomo-Ácido: Son utilizadas sobre todo en los automóviles convencionales como baterías de arranque.
- Plomo-Gel: Sin necesidad de mantenimiento, se utilizan mucho en los vehículos eléctricos.
- Plomo-Silicona: Comienzan a hacer su aparición en el mercado, ofrecen más durabilidad que las baterías tradicionales.

Las baterías de plomo tienen como principal ventaja su bajo costo, pero sus inconvenientes son su elevado peso y su baja densidad energética lo cual las hace poco convenientes para su uso en motocicletas eléctricas. Es por ello que en la actualidad se están utilizando las baterías de tracción, ya que logran soportar ciclos constantes e importantes de carga-descarga, además de una alta densidad energética y un bajo peso. Dentro de las baterías de tracción utilizadas en las motocicletas eléctricas, existen los siguientes tipos:

- Baterías de Ion-Litio: Su utilización se extendió con el uso de las computadoras portátiles y los teléfonos celulares. Ahora esta tecnología se está utilizando en los vehículos eléctricos debido a su tamaño y a su peso. Su descarga es muy limitada en el tiempo y no tiene efecto memoria. Ofrece una densidad energética importante, del orden de 110 a 160 Wh/kg pero su precio es aún muy alto.
- Baterías de Li-Po (Litio-Polímero): Utilizadas en numerosos prototipos, ésta tecnología se instalará en los vehículos del mañana. Su densidad energética es del orden de 100-110 Wh/kg y su durabilidad puede superar con facilidad los 1000 ciclos. Esta tecnología, a diferencia de la Litio- Ion es que el electrolito se substituye por un gel.
- Baterías de Ni-MH(Nickel Metal- Hidruro): Se comercializaron a partir de 1990 y se utilizaron en un inicio en los vehículos eléctricos. Tienen una duración de aproximadamente 500 ciclos, estas baterías se usan mucho en las bicicletas eléctricas de alta gama y también se usan en distintos vehículos híbridos. Su ventaja es que no tiene efecto memoria, es decir, no se producen cristales en su interior producto de cargas incompletas.

# Capítulo 4

## Consumo del vehículo con batería eléctrica

El consumo de energía en un vehículo eléctrico se mide en kWh por 100 km y estas dependen del perfil de conducción asumido, a diferencia del vehículo convencional (VC), el consumo de un vehículo eléctrico por 100 km es la más baja para la conducción urbana, algo más alta para la conducción extra urbana, y más alto a altas velocidades constantes. Esto se debe al bajo consumo al parar y al volver a avanzar, ya que a diferencia de los vehículos de combustión interna, el parar por completo y volver a avanzar son factores que afectan negativamente el consumo.

Cuando se carga un vehículo eléctrico, se producen ciertas pérdidas de carga, es decir, no toda la energía suministrada es almacenada en la batería, ya que una parte se convierte en calor y se disipa. En un artículo de Jurgen Gabriel et al[33], muestran una compilación de estudios en donde dos autores suponen una pérdida del 15 % , en otro se estima un 10 %. Dos estudios mas no dan un valor exacto con un rango de 5-40 % [34]. Este último estudio también señala el gran impacto potencial que una tecnología ineficiente de un vehículo eléctrico a batería tiene sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>. .

### 4.1. Emisiones de generación de energía

Análogamente a una observación desde la obtención del combustible a la rueda para un vehículo de combustión interna, las emisiones que ocurrieron durante la producción de energía deben incluirse en el caso del vehículo eléctrico. Para calcular las emisiones por *km*, hay que investigar cuánto gas de efecto invernadero se emitió para producir la cantidad necesaria de electricidad. De hecho, el factor de emisión de la generación de electricidad (medido en gramos de CO<sub>2</sub> equivalente por kWh de energía eléctrica) es el factor determinante para la emisión de vehículos eléctricos. El cálculo suele hacerse teniendo en cuenta las cadenas de suministro específicas, es decir, la provisión y conversión de fuentes de energía primaria y la transmisión de electricidad, sino también las emisiones proporcionales desde la construcción de las respectivas centrales eléctricas. Esto explica por qué incluso para la energía eólica se asume una cierta cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>. En la mayoría de los casos, los vehículos eléctricos se cargan de la red eléctrica general. Para determinar las emisiones relacionadas, existen diferentes enfoques metodológicos que pueden dar estimaciones significativamente diferentes por lo cual para el caso de México se toman los valores del factor de emisión eléctrico por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales[33].

## 4.2. Cálculo basado en la mezcla de generación de energía

La opción más simple considera las emisiones de CO<sub>2</sub> por kWh de acuerdo con el promedio de electricidad en el año correspondiente. Para México, esta cifra se publica regularmente por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En 2004 esta cifra fue a 454 g / kWh [35]. Además, algunos estudios evalúan otras opciones hipotéticas, como una mezcla energética puramente fósil, una mezcla renovable o una mezcla de sistemas combinados de calefacción y suministro eléctrico (CHP), con factores de emisión específicos.

Con el consumo típico del VE y las emisiones en los vehículos de combustión derivadas de los estudios, ahora es posible comparar las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes por km para diferentes factores de emisión de generación de energía.

Se puede demostrar que las emisiones del VE comparado con un vehículo de combustión del mismo tamaño, cuando se carga con electricidad, representando la central eléctrica marginal por la noche producen entre 25 y 30 % menos emisiones. Considerando electricidad producida por centrales de gas, las emisiones del VE son de 50 % del vehículo de combustión [33].

Frente a las importantes emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la electricidad generada en la actualidad, la utilización de energía renovable es la única forma de conseguir una electro movilidad virtualmente libre de emisiones. El desafío clave es garantizar una producción adicional de electricidad renovable, en lugar de requerir sólo una de la producción renovable existente es por ello que se propone el uso de módulos fotovoltaicos en las mototaxis eléctricos como principal fuente de energía. [33]

En el siguiente capítulo se analiza el actual sistema de transporte mototaxi y se propone la implementación de mototaxis eléctricos con el uso de módulos fotovoltaicos. Para nuestro caso se utilizan cifras de consumo mediante los datos del fabricante, de tal forma que nuestros estudios del mototaxi eléctrico serán de forma teórica.

# Capítulo 5

## Análisis y propuesta de transporte eléctrico mototaxi

El uso de mototaxis eléctricos en Pueblos Mágicos resulta ser una propuesta interesante y para ello es necesario realizar una recolección de datos de las motocicletas de combustión interna usadas actualmente y los perfiles de uso, para así realizar una búsqueda de una motocicleta eléctrica que se adecue a las necesidades actuales de uso y que a su vez su electrónica nos sea de fácil adecuación para la instalación de un sistema fotovoltaico.

### 5.1. El uso de motocicletas eléctricas como mototaxi en los Pueblos Mágicos

Como ya se había planteado con anterioridad, un Pueblo Mágico es una localidad que debe de preservar su originalidad. Son localidades muy atractivas para el turismo al sentir una historia en cada lugar. Esto lleva a buscar una forma de transporte que se adecue a la naturaleza de dichos lugares.

Es por ello que se decidió tomar un modelo base con las ya conocidas mototaxis, las cuales utilizan motocicletas de combustión interna, actualmente con motores cuatro tiempos de cilindradas entre los  $90\text{ cm}^3$  hasta  $150\text{ cm}^3$ , en las que remolcan una unidad para poder movilizar desde una persona hasta 5 dependiendo del diseño de dicho remolque.

Las motocicletas que se usan actualmente son seleccionadas por su accesible costo, capacidad de carga, además de que son diseñadas para resistir en distintos terrenos, ya que en las localidades que son utilizadas comúnmente se enfrentan a caminos sin asfaltar, calles diseñadas de piedra, pendientes largas, lugares de difícil acceso y caminos estrechos. Es por ello que los conductores seleccionan las motocicletas que se muestran a continuación en la tabla 5.1 :

Cuadro 5.1: Comparación de motocicletas a gasolina utilizadas para el mototaxismo

|                                   | Mototaxi de Xoxocotla, Morremolcado por: Honda CG 150 | Mototaxi de Chiconcuac, Mor remolcado por: Suzuki EN125 | Bajaj Discovery 125 ST. Sin datos de operación. | Italika FT 150 GTI. Sin datos de operación. |
|-----------------------------------|---|---|---|---|
| <b>Cilindraje de la moto</b>      | 150 cc  | 125 cc  | 125 cc  | 150 cc                                      |
| <b>km recorridos</b>              | 120/ día  | 70/ día   | -   | -   |
| <b>Horas de uso</b>               | 12 horas/ día   | 10 horas/día  | -   | -   |
| <b>Velocidad promedio</b>         | 50 km/h   | 40 km/ h  | -   | -   |
| <b>Capacidad de carga</b>         | 4 personas + chófer                                   | 5 personas+ chófer                                      | 2 personas                                      | 2 personas                                  |
| <b>Mantenimiento</b>              | 15 días hábiles                                       | 15 días hábiles para 3 años de vida útil                | Cada 1000 km                                    | Cada 1000 km                                |
| <b>Costo del vehículo (Pesos)</b> | 27490.00 (moto) + 5000 (jaula) =31000.00              | 28590.00 (moto) + 8000.00 (jaula)= 33000.00             | 25500.00  | 23300.00                                    |
| <b>Gasolina/km</b>                | 55 km/l   | 40 km/l   | 60 km/l   | 30 km/l                                     |
| <b>Peso del vehículo</b>          | 128 kg + 70 kg remolque                               | 122 kg + 70 Remolque                                    | 119.2 kg  | -   |
| <b>Potencia</b>                   | 11.2 Hp / 7000 rpm                                    | 12 Hp / 9500 rpm  | 13 Hp / 9000 rpm                                | 14.4 Hp / 8500 rpm                          |
| <b>Torque</b>                     | 11.9 Nm/ 5000rpm                                      | 8.33 Nm / 8500 rpm                                      | 10.79 Nm a 6500 rpm                             | 13 Nm a 7500 rpm                            |
| <b>Cap. Tanque (litros)</b>       | 14.3  | 14  | 10  | 12  |
| <b>km/peso</b>                    | 0.29  | 0.39  | 0.26  | 0.53  |

Para conocer las características de las mototaxis que usan se tomaron los datos de los usuarios en las localidades de Xoxocotla y Chiconcuac, Morelos. En estas localidades se colectaron datos como la marca de motocicleta, capacidad del motor, los kilómetros recorridos por día, las horas de uso, velocidad promedio, horas de trabajo, capacidad de carga, mantenimiento de la motocicleta, costo del vehículo, tarifa para los usuarios, autonomía, rodada de las llantas, el peso del vehículo y la ficha técnica de cada motocicleta.

El servicio de las mototaxis cuenta con un horario amplio de trabajo, los operadores llegan a ofrecer los servicios desde las seis de la mañana hasta las nueve de la noche, tomando descansos para la horarios de comida. La velocidad promedio de la motocicleta va de los 30 km/ hora a los 50 km/h, transportando en promedio a más de 50 personas por día, a los cuales se les cobra una tarifa de 6 pesos los primeros 3 km y al exceder 4 km recorridos la tarifa aumenta a 10 pesos. Un mototaxi tiene la capacidad de transportar desde 1 persona hasta 4 personas a la vez por viaje. Las mototaxis requieren para movilizarse al día en promedio de 3 a 4 litros de gasolina por día, pagando con las tarifas actuales promedio de combustible en México de 48 pesos a 64 pesos por día [36]. El servicio no lleva una ruta fija, lo cual quiere decir que a comparación de las furgonetas o peseros, el cliente puede elegir la mejor ruta a su lugar de destino, ayudando a disminuir los tiempo de traslado de un lugar a otro.

Con los datos recabados en las localidades de Morelos, se tenía que encontrar una motocicleta eléctrica que nos permitiera tener una autonomía de entre 70 a 120 kilómetros por recarga y que reuniera las cualidades necesarias para poder brindar el mejor servicio.

Por los parámetros actuales de uso, se realizó una búsqueda de motocicletas eléctricas con las cuales se busca reemplazar y mejorar las motocicletas actuales que existen en el mercado en las que se determinaron los siguiente parámetros: autonomía de la batería, durabilidad de la motocicleta, soporte de refacciones, suspensiones diseñadas para todo tipo de terrenos, capacidad para remolcar, alcance de frenado y posición cómoda de conducción.

En dicha búsqueda se encontraron una gran variedad de marcas y modelos de motocicletas eléctricas; desde las motocicletas premium que tienen una rápida aceleración junto con una gran velocidad de punta incorporando componentes premium como baterías de primera generación, chasis de aluminio, cubiertas de bajo peso como la fibra de carbono y el Titanio. Hasta las motocicletas utilitarias de trabajo las cuales se encuentran con una baja potencia, una baja energía almacenada, pero con un bajo costo al público y un costo por kilómetro muy bajo. En la tabla 5.2 se muestran los resultados de la búsqueda.

Cuadro 5.2: Comparación de motocicletas eléctricas en el mercado

| Marca                           | Tork T6X                           | Vectrix VX-3             | Zero DS 2014                                | Zero Fx                                    | Zero S                     | Zero XU                    | Honda E-NEO                                    | Watts cargo 4000               |
|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|--|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|
| <b>Potencia Cv</b>              | 8.04 Cv                            | 28 Cv                    | 54 Cv                                       | 27 Cv                                      | 54 Cv                      | 27 Cv                      | 1.34 Cv  | 5Cv                            |
| <b>Potencia kW/rpm</b>          | 6 kW/Continuos.<br>27 Nm of torque | 21 kW/ rpm               | 40@4.300 kW/rpm                             | 20@ 3,700 kW/rpm                           | 40@4,300 kW/rpm            | 20@4,000 kW/rpm            | .58@50000 kW/rpm                               | 4 kW/rpm                       |
| <b>Autonomía Ciudad</b>         | 100 km                             | 128 km                   | 152 km                                      | 56 km                                      | 166 km                     | 61 km                      | 34 km  | 70 km                          |
| <b>Motor Eléctrico</b>          | Brushless CC 6kW (Pico)            | Eléctrico                | Z-Force™ 75-7 refrigeración por aire pasiva | Z-Force 75-7 refrigeración por aire pasiva | Z-Force 75-7 refrigeración | Z-Force 75-7 refrigeración | sincronizado CA AF71M Sin escobillas de imanes | Brushless sin escobillas 4000W |
| <b>Tiempo de carga-descarg.</b> | 1 Hr                               | 6 Hrs                    | 6 Hrs                                       | 4.1 Hrs                                    | 6 Hrs                      | 4 Hrs                      | 3.5 Hrs  | 3.5 Hrs                        |
| <b>Energía Almacenada kW/h</b>  | 3.45 kWh                           | 5.4 kWh                  | 8.5 kWh                                     | 2.8 kWh                                    | 8.5 kWh                    | 2.8 kWh                    | 0.87 kWh                                       | -                              |
| <b>Peso</b>                     | 130 kg                             | 238 Kg                   | 169 Kg                                      | 108 Kg                                     | 161 Kg                     | 102 kg                     | 106 kg   | 115 Kg                         |
| <b>Tecnología de la Batería</b> | LiFePO <sub>4</sub> 72V 90Ah       | LiFePO <sub>4</sub> 128V | Ion Litio                                   | Ion Litio                                  | Ion Litio                  | Ion Litio modular          | Ion Litio 72V12,64h                            | Litio 72V 50Ah                 |
| <b>Tensión de Carga</b>         | 220 v                              | 220 V                    | 220 V                                       | 220 V                                      | 220 V                      | 220 V                      | 100V-200 V                                     | 220V - 220V-15A                |
| <b>Rodada</b>                   | 17'                                | 14 y 13                  | 19 y17                                      | 21 y 18                                    | 17'                        | 19 y 16                    | 12   | 12                             |
| <b>Precio (pesos)</b>           | \$42,200.00                        | \$ 221,944.00            | \$ 283, 408.00                              | \$210,248.00                               | \$300,892.00               | \$171,892.00               | \$ 86,000.00                                   | \$ 107,392.00                  |
| <b>(km/\$) DAC</b>              | 0.12                               | 0.14                     | 0.19  | 0.17                                       | 0.17                       | 0.15                       | 0.087  | -                              |

Cuadro 5.3: Comparativa de motocicleta eléctrica contra motocicleta a gasolina.

| Moto electrica<br>Tork T6X            | VS             | Moto a gasolina<br>Suzuki EN 125              |
|---------------------------------------|----------------|---|
| 8.04                                  | Potencia(Cv)   | 11.2  |
| 27                                    | Torque (Nm)    | 11.9  |
| 130                                   | Peso (Kg)      | 122   |
| 100                                   | Autonomia (Km) | 560   |
| 17'                                   | Rodada         | 18'   |
| Disco en ambas<br>ruedas              | Frenado        | Disco y tambor                                |
| Horquilla telescopica<br>y Mono Shock | Suspensiones   | Horquilla telescopica<br>y doble amortiguador |
| 0.12                                  | Km/ pesos      | 0.39  |
| 42,200.00                             | Precio (pesos) | 28,590.00                                     |

Las autonomías mostradas en las fichas técnicas de las motocicletas eléctricas Tabla. 5.2 son estimadas en su mayoría bajo condiciones de operación óptimas, en la que nos referimos a un manejo bajo una velocidad baja y constante, un solo usuario por unidad, probadas en planicies y claro esta con sus baterías y motores eléctricos sin perder capacidades con el uso.

Es importante tomar en cuenta que los pueblos mágicos son localidades en lugares de distintos relieves y que la motocicleta no solo transportará al conductor, si no a varias personas con ayuda de un remolque lo cual se refleja en peso extra para la motocicleta. Esto nos lleva a que los parámetros de eficiencia se van a ver disminuidos con respecto a la ficha técnica con un calculo estimado de un 31 % en las motocicletas a gasolina, sin embargo como no se tiene información del efecto de arrastre en una motocicleta eléctrica se toma el valor de la ficha técnica, por lo cual se seleccionó como modelo basado en la motocicleta de la marca Tork, modelo T6X, a la cual se le compara con una motocicleta de combustión interna en la tabla5.3. Esta moto cuenta con una autonomía en ciudad de 100 kilómetros, materiales de buena calidad que permitirá tener una larga vida útil de la motocicleta, suspensiones de largo recorrido para lograr buena estabilidad al vehículo, aún y cuando esté remolcando pasajeros, frenos de disco de buen tamaño los cuales dará un buen frenado para mantener a los usuarios seguros en cualquier emergencia y con un motor eléctrico capaz de mover a la motocicleta con todo y usuarios aun y teniendo grandes pendientes en el camino por su torque constante.e

Es por eso que se proponen 2 casos para aumentar su autonomía mediante el uso de energías limpias.

- En el primero de los casos, se analiza la implementación de módulos fotovoltaicos sobre el remolque del mototaxi para aumentar su autonomía y así pueda cumplir las necesidades diarias .
- El segundo caso describe el uso de una estación de carga fotovoltaica interconectada a la red en las terminales de las mototaxis a las cuales los distintos mototaxis eléctricos podrán recargar sus baterías al esperar que los usuarios los soliciten o durante las horas de descanso.

## 5.2. Especificaciones de la moto eléctrica

Una vez realizados los labores de campo para identificar qué especificaciones son las necesarias para implementar una moto eléctrica, se obtiene que la motocicleta que mejor se adecua por lo cual se selecciona la motocicleta TORK, gracias a sus componentes y su bajo costo, los cuales se resumen en la tabla 5.4.

Cuadro 5.4: Especificaciones motocicleta Tork T6X

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Motor y desempeño     | Tipo de motor: Brushless CC 6kW<br>Autonomía: 100 km por carga<br>Autonomía por efectos de arrastre: 68.96 km por carga<br>Torque máximo: 27 Nm<br>Velocidad máxima: Fabricada para 100 kmph<br>Transmisión: Una velocidad<br>Frenado regenerativo: Si |
| Bateria               | Tipo: Ion Lithium<br>Tiempo estimado de carga (80 %): 60 min<br>Caja de la batería: Aluminio fundido IP 67<br>Seguridad: Sistema de gestión de baterías avanzado.  |
| Frenado               | Freno delantero: Disco de 267 mm<br>Freno trasero: Disco de 220 mm   |
| Rodada de las llantas | Llanta delantera: 80/100-17<br>Llanta trasera: 110/80/17   |
| Chasis y suspensión   | Suspension delantera: Horquilla telescópica<br>Suspensión trasera: Sistema de resorte hidráulico recargado<br>Cuadro: Tubos triangulares de acero.   |
| Eléctrico             | Vida de la batería: 1000 ciclos<br>Lampara trasera: LED<br>Direccionales: LED<br>Faro delantero: 12 V-35/35W<br>Tensión: 48 V  |
| Dimensiones           | Base de la rueda: 1336 mm<br>Longitud: 1960 mm<br>Anchura: 784 mm<br>Altura: 1085 mm<br>Altura del asiento: 785 mm<br>Peso: 130 Kg   |

En la tabla 5.4 se muestran los componentes electrónicos de información y control, que permitirán visualizar la velocidad, el estado de carga de la batería, luces en general. Esta información podrá ser observada en una pantalla o mediante un teléfono Smartphone, puesto que la motocicleta cuenta con un dispositivo Wi-Fi de alta tecnología.

El chasis de la moto se fabrica con un chasis metálico del mismo tipo que las motocicletas de gasolina utilizadas, lo cual funciona para la adecuación del remolque en el que se va a transportar a los usuarios. Luego, se procede a revisar los componentes de la batería, la cual cuenta con una vida útil de aproximadamente 3 años, bajo las condiciones de uso diario de los mototaxis en Morelos. La motocicleta cuenta con un motor Brushless de corriente directa, el cual transforma la energía

eléctrica en mecánica, y mediante la relación de piñones-cadena, permite el movimiento de la rueda trasera de la motocicleta. Las suspensiones de la motocicleta cumplen con lo requerido al tener un mono shock trasero con precarga ajustable y un sub-chasis capaz de resistir el peso del remolque. Finalmente, se procede al sistema de frenos delanteros y traseros en los cuales cuenta con freno de disco tanto delantero como trasero.

### 5.3. Uso de módulos FV en vehículos

La incorporación de sistemas fotovoltaicos en el exterior de las superficies de vehículos eléctricos nos brinda energía la cual será utilizada para el funcionamiento del motor eléctrico, la energía obtenida por medio de módulos FV será conservada en una batería lo cual nos brindara una mayor autonomía [12], además de que ayudará a reducir la cantidad de energía tomada de la red eléctrica nacional. En adición, los sistemas fotovoltaicos son ligeros, sin ruido y trabajan continuamente incluso cuando el vehículo no está en movimiento. De esta manera, el flujo de energía proporcionado por la radiación solar se utiliza para reemplazar, al menos parcialmente, la necesidad de consumir electricidad de la red eléctrica. Hasta ahora, la única razón para no usar la energía fotovoltaica fue su alto costo. Sin embargo, su precio ha disminuido considerablemente durante la última década y se espera que disminuya aún más en el futuro. El rápido aumento del costo de los combustibles fósiles combinado con la reducción del precio de la fotovoltaica hacen su uso rentable.

### 5.4. Instalación del módulo en el toldo del remolque

La autonomía de los vehículos eléctricos ligeros con movilidad limitada puede mejorarse mediante la asistencia a las fuentes de energía a bordo, como la batería y los super capacitores, mediante la energía solar. Se puede integrar un módulo fotovoltaico en la parte superior de nuestro remolque del mototaxi. Se considera que la topología del controlador de carga de impulso CC-CC se interconecta con la batería del vehículo eléctrico. [37]

El aprovechamiento de la energía solar mediante un módulo fotovoltaico a bordo para vehículos eléctricos tiene una limitación debido a la superficie de instalación y la baja eficiencia del módulo. La energía solar puede utilizarse para ayudar a fuentes de energía como la batería. El objetivo de la integración de módulos fotovoltaicos es ayudar incrementar la autonomía del mototaxi, inyectando la energía a las baterías a bordo.

Con la superficie limitada del techo del remolque, la baja tensión de las terminales del módulo fotovoltaico considerado requiere una topología de conversión de CC a CC más escalonada, lo que puede lograrse a través de topologías aisladas o no aisladas para adecuar los niveles de la tensión a los valores requeridos por el sistema. Los convertidores aislados tienen la corriente pulsada en los canales de entrada y requieren condensadores de entrada muy grandes para absorber ondulaciones y evitar ondulaciones de corriente en la fuente. Además, requieren un mayor número de componentes, lo que resulta en mayor complejidad y costo. Es por ello que es de suma importancia saber la tensión de operación de la motocicleta, ya que así nos podemos ahorrar componentes electrónicos bajando los costos. Con una buena configuración de los módulos y seleccionando el módulo fotovoltaico adecuado, se puede lograr tener una tensión de carga adecuado para la batería y así poder ahorrar la instalación de los convertidores de carga al solo integrar un controlador de carga.

### 5.4.1. Aproximaciones para cargar el VE usando el FV

Existen dos posibles aproximaciones para cargar el VE usando el FV, es decir, el FV-conectado a la red y el FV-autónomo. La carga de la red fotovoltaica conectado a la red tiene la ventaja de que durante una irradiación solar insuficiente, la carga puede realizarse utilizando la red. También es más flexible porque en ausencia del VE (a cargarse), la potencia fotovoltaica se puede inyectar a la red para obtener ganancias monetarias.

La configuración típica para el sistema de carga de un sistema fotovoltaico interconectado a la red tiene tres componentes principales, a saber (1) Un inversor (es decir, un convertidor CC-CA), (2) Un medidor bidireccional y (3) Un tablero CA.

Con estos componentes la estación de carga puede interconectarse a la red eléctrica y así los propietarios de mototaxis pueden recargar sus baterías a cualquier hora y con las ventajas del uso de módulos fotovoltaicos.

Por otro lado, el FV-autónomo es más beneficioso en las zonas remotas donde el suministro de servicios públicos no está disponible o demasiado costoso . Su configuración es más sencilla debido a las etapas de conversión de menos potencia necesarias[13].

### 5.4.2. Carga de la red fotovoltaica

La carga del vehículo eléctrico impone una carga adicional a la red eléctrica, ya que la corriente extraída de la red, especialmente para la carga rápida, puede ser muy grande .

Además, si el cobro se realiza durante las horas pico, el propietario tiene que pagar una prima alta por la tarifa. Para compensar esta carga, la disponibilidad de energía fotovoltaica reduce la reserva de capacidad y mejora la estabilidad de la red [13]. Además, durante la ausencia del vehículo, la electricidad generada por los módulos fotovoltaicos puede ser exportada a la red para obtener ganancias monetarias.

# Capítulo 6

## Requerimientos del sistema fotovoltaico

Ahora bien, sabiendo la cantidad de energía que se necesita para brindar un día completo de servicio en la mototaxi eléctrico, se hace una búsqueda del módulo fotovoltaico que sea ideal para su implementación en la mototaxi en donde se realizan los cálculos necesarios para su integración a la moto y los cálculos para un segundo caso en el que use una estación de carga fotovoltaica interconectada a la red para la carga de la motocicleta.

Se han utilizado las bases de datos de la estación meteorológica y solarimétrica del Instituto de Energías Renovables [38] para estimar la irradiación promedio anual ( $\text{kWh/m}^2$ ), sobre una superficie horizontal en Temixco, Morelos. Los datos tomados de la base de datos muestra que la insolación en Temixco máxima es de:  $6.52 \text{ kWh/m}^2$  en el mes de abril y mínima  $4.4 \text{ kWh/m}^2$  en diciembre con una insolación anual promedio en la superficie horizontal igual a  $5.46 \text{ kWh/m}^2$ .

### 6.1. Búsqueda del módulo fotovoltaico para mototaxi

Para seleccionar el tamaño del módulo se tomaron las medidas de las mototaxis ubicados en Xoxocotla Morelos, la cual es una localidad en donde su mayor medio de transporte es el uso del mototaxi. Por otra parte Xoxocotla es el lugar más cercano del Instituto de Energías Renovables, en donde se encuentran operando. Ahí se le tomaron las medidas de la cubierta del remolque a un mototaxi, las cuales fueron de 98 cm de ancho y 145 cm de largo. Medidas óptimas al hacer la configuración adecuada tanto para el remolque como en la parte superior de la motocicleta, ya que los módulos de silicio policristalino de 155 W con 36 celdas tienen una superficie de 67 cm de ancho por 148 cm de largo.

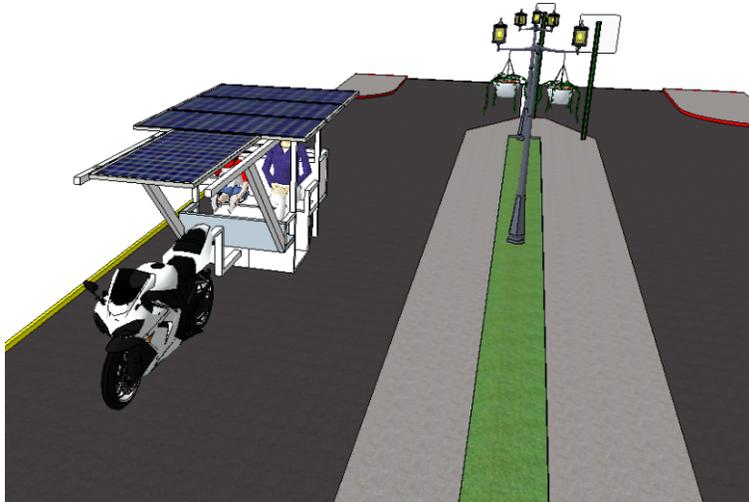


Figura 6.1: Esquema conceptual del mototaxi eléctrico fotovoltaico.

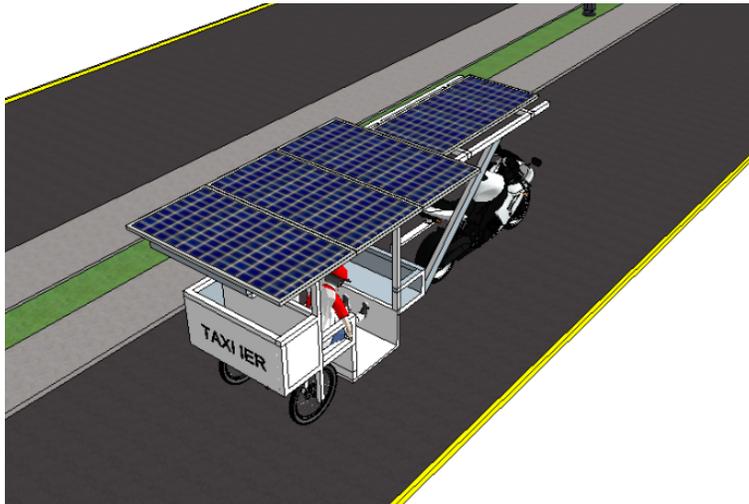


Figura 6.2: Vista trasera del mototaxi eléctrico fotovoltaico

Los módulos de silicio policristalino, se encuentran muy fácilmente en el mercado, ya que presentan una buena eficiencia a un bajo costo, además de que es bien recibido por los ambientalistas al no estar fabricado de materiales que dejen residuos altamente contaminantes al final de su ciclo de vida debido a que el silicio es uno de los materiales que más se encuentran en nuestro planeta.

Es por ello que se decidió por utilizar en la motocicleta 4 módulos conectados en serie de 36 celdas de Silicio policristalino de la marca Solartec S36PC con una potencia máxima de  $P_{max}$ : 155 W. Y una tensión de circuito abierto  $V_{oc}$ : 22.00 Volt con una corriente en el punto de máxima potencia de  $I_{mpp}$ : 8.34 A y una eficiencia del módulo de 15.63 %

## 6.2. Estimación de la potencia de entrada y salida para el módulo fotovoltaico

Se ha utilizado un módulo fotovoltaico policristalino S36PC de 36 celdas, de la empresa Solartec. Las especificaciones se enumeran en las tablas 6.1 y 6.2. Las condiciones de medición con una temperatura estándar de 25 °C y una irradiancia igual a 1000 W /m<sup>2</sup> y una masa de aire de 1.5. La potencia de entrada y salida del módulo fotovoltaico de acuerdo con la radiación disponible, se indican en la figura 6.3 para el módulo utilizado en la motocicleta y en la estación de carga.

Cuadro 6.1: Especificaciones Solartec Policristalino 155 W

| Especificaciones               |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Tipo de celda                  | Policristalina                  |
| Dimensiones de celda           | 156 x156 mm                     |
| Numero de celdas               | 36 (6 x 9)                      |
| Peso                           | 11.5 Kg                         |
| Dimensiones de modulo          | 1480mm x 670 mm x35 mm          |
| Longitud del cable             | 900 mm fotovoltaico             |
| Caja de conexiones IP          | IP65 / IP67                     |
| Numero de diodos de derivación | 2                               |
| Conectores                     | MC4 Compatible                  |
| Hoja trasera                   | Blanca                          |
| Marco                          | Aluminio anodizado (15 $\mu$ m) |
| Clasificación de Flama         | Clase C                         |
| Aplicación de acuerdo a IEC    | Clase A                         |
| Configuración de Empacado      | 30 piezas                       |

Cuadro 6.2: Especificaciones técnicas del Módulo Solar con celdas de 156 mm de Silicio Policristalino

| Modelo S36PC-155                                       |         |         |
|--|---------|---------|
| Condiciones de Medición                                | STC     | NOCT    |
| Tensión de circuito abierto( $V_{oc}$ )                | 22.00 V | 21.94 V |
| Tensión al punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ )      | 18.60 V | 18.54 V |
| Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ )               | 8.84 A  | 7.09 A  |
| Corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ) | 8.34 A  | 6.69 A  |
| Potencia máxima ( $P_{max}$ )                          | 155 W   | 123 W   |
| Eficiencia del módulo                                  | 15.63 % |         |

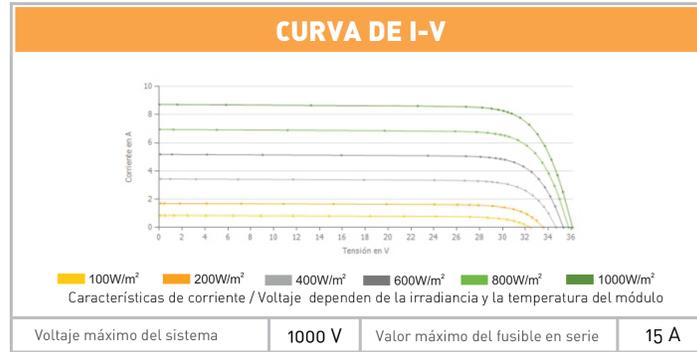


Figura 6.3: Curva de I-V Solartec S36PC

En la figura 6.3 se muestra la curva I-V de nuestro módulo fotovoltaico, de acuerdo con la radiación disponible.

Como la radiación media anual disponible en una superficie horizontal en Temixco, Morelos es de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>-día y la superficie efectiva del módulo es de 0.99 m<sup>2</sup>, la configuración de los módulos pueden suministrar una energía media de 852.5 (5.5 h(155 W)) Wh por día. Las corrientes de cortocircuito  $I_{sc}$  para los dos casos se reducen proporcionalmente a la irradiancia disponible con respecto a los valores reportados en la figura 6.3. Como el coeficiente de temperatura para la corriente FV es muy pequeño, por cada 1°C que aumente su temperatura el módulo en operación aumenta 0.01 % / °C la corriente  $I_{sc}$  ( $\alpha$ ). Los coeficientes térmicos son dados por la ficha técnica del fabricante mostrados en la tabla. 6.3. Estos valores se toman para calcular tanto la corriente  $I_{sc}$  como la tensión de circuito abierto y potencia de pico son  $\beta = -0.31\% / ^\circ C$  y  $\gamma = -0.50\% / ^\circ C$ , respectivamente. Para calcular la corriente de corto circuito se toma el coeficiente térmico,

$$\Delta_T = (25^\circ C - 68^\circ C) = 43^\circ C, \tag{6.1}$$

$$43^\circ C(0,01\%) = 43\%. \tag{6.2}$$

Este valor quiere decir que aumenta un 0,43 % la corriente por la temperatura de operación por lo tanto la variación de  $I_{sc}$  con la temperatura incrementan a 8.87 A. Como se muestra en la tabla de la corrección de los coeficientes por temperatura, Tabla6.4. La temperatura máxima en Temixco es de 36.5 ° C mostrado en la imagen 6.2 donde solo se toma la máxima ya que es la que afecta al rendimiento de los módulos, por lo que la tensión de circuito abierto  $V_{oc}$  para Mayo permanecerá como se indica en la Tabla6.3, es decir, 19.08 V. La potencia máxima del módulo de 155 W en el mes de mayo tendrá a disminuir a 131.86 W, mencionado anteriormente por los coeficientes de temperatura. Por lo tanto se tomará un rendimiento térmico del módulo SOLARTEC S36PC de 0.85 o del 85 %

Cuadro 6.3: Coeficientes de Temperatura Solartec Policristalino S 36PC y S60PC

| Coeficientes de Temperatura |              |                         |               |                           |               |
|-----------------------------|--------------|-------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| de $I_{sc}$ ( $\alpha$ )    | + 0.1 % / °C | de $V_{oc}$ ( $\beta$ ) | - 0.31 % / °C | de $P_{max}$ ( $\gamma$ ) | - 0.50 % / °C |

Cuadro 6.4: Corrección de potencia por temperatura  
Modelo S36PC

|  |         |          |
|--|---------|----------|
| Condiciones de Medición                  | STC     | PTC      |
| Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ) | 8.84 A  | 8.87 A   |
| Tensión de circuito abierto( $V_{oc}$ )  | 22.00 V | 19.08 V  |
| Potencia máxima ( $P_{max}$ )            | 155 W   | 121.86 W |
| Temperatura del módulo 67.75             |         |          |

Máxima

| Año           | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  | Media Anual |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| 1990          | -    | -    | 33.4 | 33.1 | 33.2 | 30.7 | 29.2 | 30.5 | 29.1 | 29.0 | 28.9 | 28.4 | 30.6        |
| 1996          | 27.6 | 31.3 | 30.4 | 32.5 | 32.4 | 28.3 | 28.6 | 27.9 | 29.1 | 28.9 | 28.8 | 27.3 | 29.4        |
| 2000          | 29.2 | 31.4 | 33.8 | 34.8 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 32.3        |
| 2001          | -    | -    | 31.5 | 32.5 | 31.7 | 28.1 | 28.6 | 29.3 | 28.2 | 28.7 | 28.0 | 27.8 | 29.4        |
| 2002          | 28.1 | 29.3 | 33.2 | 33.7 | 33.0 | 29.8 | -    | -    | -    | 28.5 | 26.2 | 26.3 | 29.8        |
| 2003          | 27.1 | 30.2 | 32.0 | 34.2 | 33.4 | 29.0 | 29.7 | 29.2 | 27.9 | 28.0 | 27.9 | 25.8 | 29.5        |
| 2004          | 26.6 | 29.1 | 30.6 | 31.9 | 31.2 | 29.1 | 28.5 | 29.2 | 28.0 | 28.0 | 28.1 | 26.5 | 28.9        |
| 2005          | 26.8 | 29.6 | 31.7 | 31.9 | 33.1 | 32.7 | 28.7 | 28.8 | 28.0 | 28.2 | 28.6 | 28.0 | 29.7        |
| 2006          | 28.1 | 29.7 | 31.7 | 33.6 | 30.7 | 30.1 | 30.1 | 28.9 | 28.7 | 28.8 | 26.7 | 27.6 | 29.6        |
| 2007          | 28.3 | 29.5 | 31.8 | 32.9 | -    | -    | 28.5 | 29.3 | 28.5 | 28.1 | 28.3 | 28.2 | 29.3        |
| 2008          | 29.3 | 31.1 | 32.2 | 34.3 | 31.0 | 30.0 | 26.7 | 27.3 | 26.9 | 27.1 | 26.8 | 26.2 | 29.1        |
| 2009          | 31.5 | 29.7 | -    | -    | 30.2 | 29.6 | 28.2 | 28.4 | 30.1 | 29.0 | -    | 26.1 | 29.2        |
| 2010          | 29.9 | 29.2 | 33.2 | 34.7 | 36.5 | 36.5 | 31.6 | 30.2 | 29.4 | 30.7 | 29.9 | 28.2 | 31.6        |
| 2011          | 30.0 | 32.5 | 34.3 | 35.0 | 36.0 | 33.1 | 30.4 | 30.7 | 29.6 | 29.3 | 30.5 | 29.6 | 31.7        |
| 2012          | 30.4 | 31.6 | 32.9 | 34.5 | 35.0 | 33.4 | 30.5 | 29.8 | 30.3 | 30.4 | 30.2 | 30.7 | 31.6        |
| Media mensual | 28.7 | 30.3 | 32.3 | 33.5 | 32.9 | 30.8 | 29.2 | 29.2 | 28.7 | 28.8 | 28.4 | 27.6 | 30.1        |

Minima

| Año           | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  | Media Anual |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| 1990          | -    | -    | 20.1 | 20.8 | 21.8 | 21.1 | 19.9 | 20.0 | 19.9 | 19.0 | 17.0 | 16.0 | 19.5        |
| 1996          | 11.8 | 15.8 | 15.5 | 18.5 | 19.8 | 18.4 | 17.9 | 17.7 | 17.5 | 16.8 | 14.0 | 14.5 | 16.5        |
| 2000          | 13.7 | 15.1 | 17.4 | 19.2 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 16.4        |
| 2001          | -    | -    | 16.5 | 18.6 | 16.8 | 15.2 | 14.5 | 17.6 | 17.8 | 15.7 | 13.9 | 14.3 | 16.1        |
| 2002          | 13.6 | 15.7 | 17.7 | 19.4 | 20.0 | 18.4 | -    | -    | -    | 15.2 | 12.3 | 12.2 | 16.1        |
| 2003          | 13.2 | 14.5 | 15.3 | 18.3 | 18.2 | 16.1 | 14.8 | 17.4 | 18.0 | 17.3 | 16.2 | 11.8 | 15.9        |
| 2004          | 13.8 | 13.9 | 17.0 | 17.9 | 18.5 | 17.7 | 17.1 | 18.0 | 17.8 | 17.3 | 14.8 | 13.1 | 16.4        |
| 2005          | 13.0 | 16.2 | 17.2 | 17.9 | 19.8 | 20.8 | 17.1 | 17.9 | 17.8 | 17.7 | 15.1 | 14.5 | 17.1        |
| 2006          | 13.6 | 15.8 | 17.0 | 19.2 | 18.0 | 18.6 | 18.0 | 17.2 | 17.8 | 17.6 | 14.1 | 13.0 | 16.7        |
| 2007          | 15.1 | 15.5 | 17.1 | 19.1 | -    | -    | 16.7 | 17.9 | 16.7 | 16.3 | 14.2 | 14.7 | 16.3        |
| 2008          | 13.5 | 15.3 | 16.7 | 19.3 | 20.9 | 18.4 | 18.1 | 17.7 | 18.1 | 15.8 | 16.3 | 15.8 | 17.2        |
| 2009          | 15.3 | 16.5 | -    | -    | 18.8 | 19.0 | 17.1 | 19.5 | 18.1 | 18.8 | -    | 13.7 | 17.4        |
| 2010          | 11.0 | 11.0 | 13.6 | 16.9 | 16.0 | 17.7 | 16.6 | 17.0 | 15.1 | 12.8 | 8.0  | 9.4  | 13.8        |
| 2011          | 11.5 | 13.3 | 13.8 | 16.8 | 17.5 | -    | 16.8 | 16.9 | 13.4 | 11.4 | 10.9 | 10.7 | 13.9        |
| 2012          | 10.8 | 13.9 | 15.0 | 16.1 | 17.0 | 16.1 | 15.9 | 17.0 | 13.9 | 12.1 | 11.4 | 12.8 | 14.3        |
| Media mensual | 13.1 | 14.8 | 16.4 | 18.4 | 18.7 | 18.1 | 16.9 | 17.8 | 17.1 | 16.0 | 13.7 | 13.3 | 16.2        |

Figura 6.4: Temperaturas Temixco [38]

### 6.2.1. Datos Energéticos

Tenemos un motor corriente directa que opera a una tensión de 48 Volts que es suministrada por un banco de baterías  $\text{LiFePo}_4$  con una capacidad de 72 Ah, que da una energía almacenada de

$$E_c(\text{motor}) = 48V \times 72Ah = 3450Wh. \quad (6.3)$$

El tiempo de carga de una toma de corriente de la red eléctrica es de 1.25 h al 100 % con el cargador de la motocicleta.

Lo que proporciona una tasa de carga o la cantidad de corriente que se le tiene que meter en 1.25 h a 72 Ah es de 57.6 A

Si se desea cargar al 100 % el banco de baterías con un sistema fotovoltaico en un día, entonces para el caso del poblado de Xoxocotla, Morelos, con un recurso solar de (se está considerando el recurso solar promedio diario anual para Temixco, tomado de la estación meteorológica del IER UNAM ) 5.5 Kwh/m<sup>2</sup> o 5.5 horas solares pico, entonces para tener disponibles 72 Ah el arreglo fotovoltaico debe producir:

$$72Ah \div 5,5h = 13,09A. \quad (6.4)$$

Entonces el dimensionamiento FV, para un sistema autónomo con baterías mediante el balance energético nos lleva a establecer la siguiente relación:

$$E_g(AFV) = E_{CT}(motor), \quad (6.5)$$

ya que

$$E_g(AFV) = P_p(AFV) \times R_S \times R_T; \quad (6.6)$$

además

$$E_{TC}(motor) = \frac{E_C(motor)}{\eta_{ET}}, \quad (6.7)$$

nos proporciona

$$P_P(AFV) = \frac{E_C}{R_S \times R_T \times \eta_{ET}}, \quad (6.8)$$

sustituyendo

$$P_P(AFV) = \frac{3450Wh}{(5,5)(0,85)(0,93)} = 793,5W. \quad (6.9)$$

Debido a que la batería tiene una tensión nominal de 48 V, esta debe acoplarse a un arreglo fotovoltaico con una tensión nominal de 48 V.

Ya que los módulos fotovoltaicos de 36 celdas tienen asignados una tensión nominal de 12 Volts, al ser diseñados para cargar baterías de 12 V, entonces se requiere de 4 módulos conectados en serie.

Se propone usar el módulo fotovoltaico de silicio policristalino de la marca Solartec S36 PC con una potencia pico de

$$P_P(mfv) = 155W. \quad (6.10)$$

Ya que se requiere una potencia pico del arreglo fotovoltaico de 793.5W para cargar el banco de baterías durante un día solar, entonces el número de módulos totales puede ser inferido de la siguiente relación

$$N_{MT} \sim \frac{793,5}{155} = 5,11. \quad (6.11)$$

Sin embargo como requerimos 4 módulos en serie para proveer la tensión de carga, entonces tomaremos a  $N_{MT}$  como

$$N_{MT} = 8, \quad (6.12)$$

de esta manera se satisface la condición mínima de módulos (6.11) la condición de la comercialización de los módulos. Para un sistema fotovoltaico fijo en cualquier sitio, se requiere de 8 módulos de 155 w configurados como

$$4S \times 2P \quad (6.13)$$

y el controlador de carga debe de ser 48 V y por lo menos 16.6 A

En este caso es para cargar al 100 % nuestra batería de la motocicleta directamente de un arreglo fotovoltaico utilizando un controlador de carga se necesitan 5.11 módulos, este número de módulos nos lleva a un diseño de 4 módulos en serie es para acoplar la tensión de la batería y dos en paralelo para la corriente. Sin embargo con este arreglo se tiene un sobre dimensionamiento al entregar durante las 5.5 horas solares un 150 % de la capacidad de la batería. Es por ello que este caso de tener una estación de carga con 8 módulos y una batería extra para estar en carga durante el día, lo cual no resulta viable ya que el precio de la batería se estima en un 37 % sobre el valor de la motocicleta de acuerdo a estimaciones realizadas en el MIT Technology [39].

Es por ello que se sugiere una integración a la motocicleta con un arreglo fotovoltaico con un menor numero de módulos fotovoltaicos, explicado en la sección para la integración a la motocicleta.

## 6.2.2. Integración a la motocicleta

Ya que se desea integrar el módulo fotovoltaico al sistema de transporte y dadas las dimensiones del módulo fotovoltaico elegido y las dimensiones del carrito y moto, solo se pueden integrar 4 piezas.

Entonces se sugiere usar el MF Solartec S36PC de 155 W, teniendo las dimensiones óptimas para la integración en el toldo de la mototaxi, en consecuencia se tendrá otro sistema móvil que proporciona durante el día energía al sistema de transporte como se muestra en el diagrama 6.5. La configuración será

$$4S \times 1P. \quad (6.14)$$

Al utilizar 4 módulos de 155 w, los cuales me dan 620 w de potencia pico a condiciones estándar de medición (STC), procediendo a calcular la energía generada del arreglo fotovoltaico.

$$E_g = P_p \times ((R_{Cableado})(R_{Controladordecarga})(H.SolaresPico)(R_{Termico})), \quad (6.15)$$

$$E_g = (620W)(0,98)(0,95)(5,5horas)(0,8), \quad (6.16)$$

$$E_g = 2540Wh. \quad (6.17)$$

Para saber la corriente que va inyectada a la batería durante todo el día ocupamos la formula de la potencia es igual al voltaje por la corriente , lo cual nos ayuda a conocer si nuestro controlador de carga tiene los parámetros de corriente necesitada.

$$\frac{2540Wh}{48V} = 53Ah. \quad (6.18)$$

Esta es la corriente que nos va a entregar nuestro arreglo fotovoltaico y para conocer cuanto corriente nos va a inyectar nuestro controlador de carga Xantrex C-40 (Tabla.6.5) a la batería por hora se hacen los cálculos siguientes.

$$\frac{2540Wh}{5,5h} = 461,8 \quad (6.19)$$

y al dividir entre el voltaje de operación de nuestra batería, obtenemos

$$\frac{461,8}{48} = 9,62Ah. \quad (6.20)$$

Cuadro 6.5: Especificaciones eléctricas del Controlador de carga Xantrex C-40

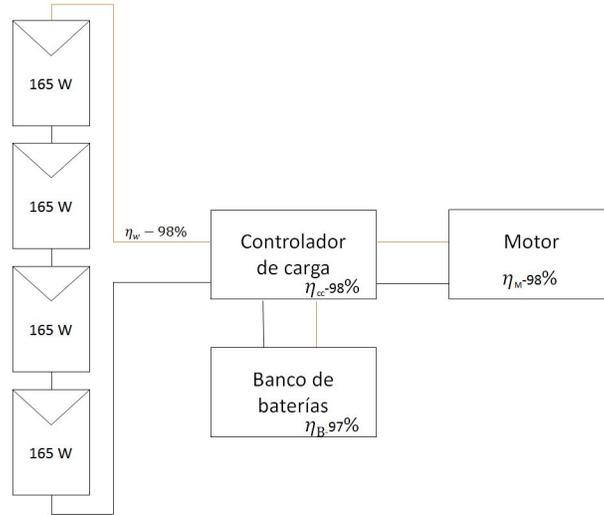
|  |                            |
|--|----------------------------|
| Especificaciones eléctricas                      |                            |
| Modelo   | C40                        |
| Configuraciones de Tensión                       | 12, 24, 48 V <sub>sc</sub> |
| Tensión max. del conjunto de circuito abierto FV | 125 V <sub>sc</sub>        |
| Carga/ Corriente de carga ( a 25 ° C )           | 40 A CC                    |
| Corriente pico max.                              | 85 A                       |
| Caída de tensión max. a través del controlador   | 0.30 V                     |
| Consumo normal en funcionamiento                 | 15 mA                      |
| Consumo normal en estado inactivo                | 3 mA                       |
| Tamaño de breaker recomendado                    | 50 A                       |
| Tamaño del cableado recomendado                  | #8 AWG                     |

Ahora para conocer que porcentaje de nuestra batería va a cargar nuestro sistema fotovoltaico instalado en el techo del mototaxi, se realizan los cálculos dividiendo la corriente que nos va a generar durante todo el día entre la la carga total de la batería

$$\frac{53Ah}{72Ah} = 73\%. \quad (6.21)$$

Este resultado quiere decir que con esta propuesta podemos obtener una autonomía de 73 km, por lo cual para cumplir las necesidades diarias se tiene que comprar el 27% de la electricidad restante a CFE.

Figura 6.5: Diagrama unifilar de módulos en el toldo del mototaxi eléctrico.



### 6.3. Estación de carga FV interconectada a la red

Se propone instalar un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica de uso convencional, para que durante todo el día, dicho sistema inyecte la energía necesaria a la red eléctrica nacional y así inyectar durante el día y extraer durante la noche para la carga de la batería del mototaxi. Se procede a calcular el dimensionamiento.

Se utilizan cuatro módulos fotovoltaicos policristalinos de 260 W de la marca Solartec modelo S60PC, con las especificaciones mostradas en las tablas 6.6 y 6.7 acondicionados con un micro inversor de 1000 watts .

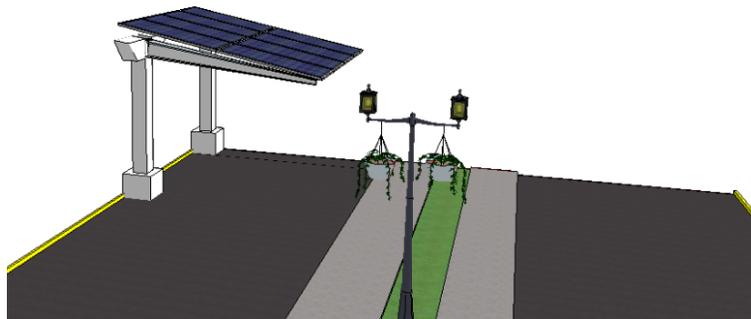


Figura 6.6: Estación de carga FV interconectada a la red

Cuadro 6.6: Especificaciones Solartec Policristalino 260 Wp

| Especificaciones               |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Tipo de celda                  | Policristalina                  |
| Dimensiones de celda           | 156 x156 mm                     |
| Número de celdas               | 60 (6 x 10)                     |
| Peso                           | 18.5 Kg                         |
| Dimensiones de modulo          | 1640mm x 992 mm x40 mm          |
| Longitud del cable             | 900 mm fotovoltaico             |
| Caja de conexiones IP          | IP65 / IP67                     |
| Número de diodos de derivación | 3/6                             |
| Conectores                     | MC4 Compatible                  |
| Hoja trasera                   | Blanca                          |
| Marco                          | Aluminio anodizado (15 $\mu$ m) |
| Clasificación de Flama         | Clase C                         |
| Aplicación de acuerdo a IEC    | Clase A                         |
| Configuración de Empacado      | 26 piezas                       |

Cuadro 6.7: Especificaciones técnicas del Módulo Solar de 260 Wp con celdas de 156 mm de Silicio Policristalino

| Modelo S36PC-155                                       |         |         |
|--|---------|---------|
| Condiciones de Medición                                | STC     | NOCT    |
| Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ )               | 36.70 V | 36.64 V |
| Tensión al punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ )      | 30.90 V | 30.84 V |
| Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ )               | 8.89 A  | 7.13 A  |
| Corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ) | 8.42 A  | 6.75 A  |
| Potencia máxima ( $P_{max}$ )                          | 260 Wp  | 208 Wp  |
| Eficiencia del módulo                                  | 16.01 % |         |

$$260W_{pf} \times 4módulos = 1040WPico, \quad (6.22)$$

$$P_{tc} = P_p \times (R_{Térmico})(\eta_{Inversor})(\eta_{Cableado}), \quad (6.23)$$

$$P_{tc} = 1040W \times (0,8)(0,95)(0,97), \quad (6.24)$$

Con lo que tenemos la potencia de todo el sistema

$$P_{TC} = 766,68W, \quad (6.25)$$

y con ello se obtiene el rendimiento del sistema

$$\frac{766,68}{1040} = 0,76\%. \quad (6.26)$$

El sistema fotovoltaico tiene una eficiencia del 76 % y ahora procedemos a calcular la energía que va a generar.

Con la potencia pico y con el recurso solar se obtiene la energía generada por el sistema FV durante un día despejado.

$$E_g = 766,68W \times 5,5h = 4216,74Wh. \quad (6.27)$$

Para interconectar a la red seleccionamos el sistema trifásico de 208 volts con una máxima extracción del microinversor de 900 W CA y una corriente nominal por fase de 2.5 A y una tensión de 120 V CA por fase, mostrados en la tabla 6.8.

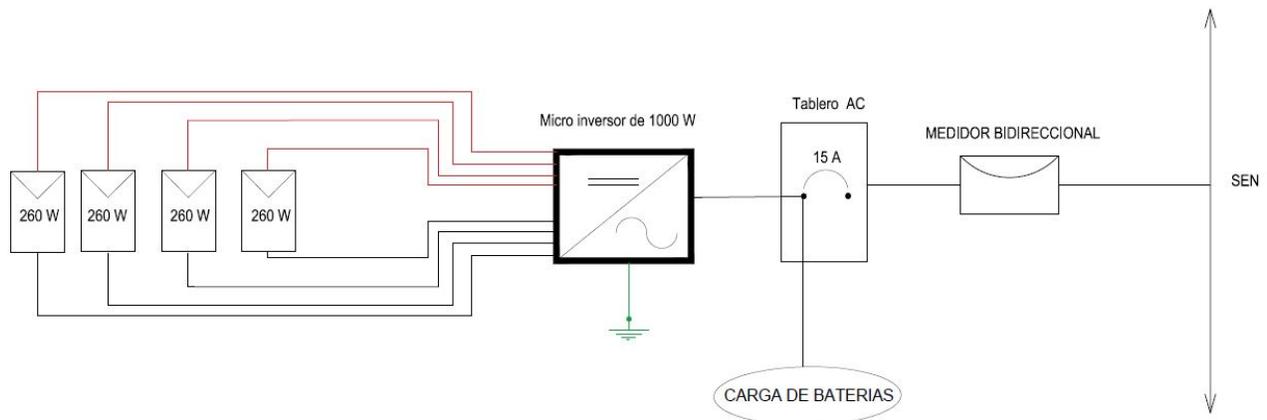
Cuadro 6.8: Ficha técnica de Microinversor APsystems YC1000-3

|                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| Datos de Entrada (CC)        |                                    |
| MPPT Rango de Tensión        | 16-55 V                            |
| Tensión máximo de entrada    | 60 V                               |
| Corriente máxima de entrada  | 14.8 x 4                           |
| Tensión de arranque          | 22 V                               |
| Datos de salida (CA)         |                                    |
| Potencia máxima de salida    | 900W                               |
| 3 - Configuración de la red  | 120Y /208 V                        |
| Corriente nominal de salida  | 2.50 A x3                          |
| Tensión nominal de salida    | 120 Y x 3                          |
| Frecuencia nominal de salida | 60 Hz/ 59.3-60.5 Hz                |
| Factor de potencia           | 0.99                               |
| Distorsión armónica total    | 3 %                                |
| Unidades maximas por rama    | 4 por 15Ax3<br>Interruptor de Polo |
| Eficiencia                   |                                    |
| Pico de eficiencia           | 95 %                               |
| CEC Eficiencia ponderada     | 94.5 %                             |
| Eficiencia nominal MPPT      | 99.9 %                             |

De acuerdo con el diagrama unifilar 6.3 y a la energía necesaria par cargar al 100 % nuestra batería de la motocicleta es necesario 4 módulos de 260 Wp conectados en paralelo al microinversor de 1000 W de la marca AP Systems Y1000-3. Una de sus características principales es que es trifásico y se interconecta a la red, además de que al ser trifásico la corriente es pequeña, ayudando a que el calibre del cable sea menor, teniendo menor pérdida de calor por el efecto Joule. En caso de que el sistema no cuente con una instalación trifásica hay microinversores que son bifásicos y estos no afectan a la estructura de la red eléctrica de la vivienda, en caso de instalarlo en casa del operador. Esta instalación FV va a generar un total de 4216.74 Wh, que va a generar durante todo el día y solo ocuparemos 3450 Wh para cargar la batería, teniendo un margen de 20 % en caso de que el clima sea irregular. En el mejor de los casos en donde tengamos sobrantes de energía generada por el sistema FV, ayudará a reducir el consumo de energía en el establecimiento, dando como resultado un cargo positivo en nuestro recibo de luz, ayudando a recuperar la inversión inicial del sistema FV .

Si junto las dos propuestas de tener mi estación de carga con cuatro módulos de 260 Wp nos dá 1040 W. A este resultado se le suma la energía generada en los módulos de la motocicleta 1040 W + (155 x 4 ) = 1660 W. Por lo tanto con 1660 W tengo una autonomía de 173 km, con lo cual puedo ir de la ciudad de México a Cuernavaca.

Figura 6.7: Diagrama unifilar de la estación de carga FV interconectada a la red.



Mediante los cálculos y resultados obtenidos del uso de módulos fotovoltaicos para la carga del mototaxi, es necesario realizar cálculos económicos para saber si el proyecto resulta ser viable para así poder implementarlo. Es por ello que en el siguiente capítulo se realiza un análisis económico de factibilidad.

# Capítulo 7

## Análisis Económico

El análisis económico diagnostica la capacidad que tiene un producto para generar beneficios y atender adecuadamente los compromisos de pagos, evaluar su viabilidad futura y facilita tomar decisiones encaminadas a reconducir y mejorar la gestión de los recursos de la empresa para lograr crear valor y así introducirse al mercado y continuar en el.

### 7.1. Parámetros económicos

Al evaluar la factibilidad económica de un proyecto existen diferentes parámetros de utilidad para realizar una comparación entre las opciones disponibles, tales como el valor presente neto, la razón costo beneficio y el tiempo de retorno de la inversión.

En lo que se refiere al valor presente neto (VPN) se debe hacer referencia a la suma algebraica de los ingresos y egresos futuros de un proyecto, evaluados en el presente e incluyendo en la suma la inversión inicial del proyecto. Se calcula de la siguiente forma:

$$VPN = VPN(B_A)_{1-n} - (C_I + VPN(C_A)_{1-n}), \quad (7.1)$$

donde  $B_A$  son los beneficios anuales,  $C_I$  los costos de inversión y  $C_A$  los costos anuales.

El valor presente acumulado para los costos anuales se obtiene en función de los costos de inversión de la manera:

$$VPN(C_A)_{1-n} = C_I \left\{ 1 + m \left[ \frac{(1+I)^n - 1}{I(1+I)^n} \right] \right\}, \quad (7.2)$$

siendo  $I$  la tasa de interés,  $m$  es el porcentaje del costo de inversión equivalente a los costos de operación y mantenimiento anuales y  $n$  el número de años a tomar en cuenta para el análisis.

Por otra parte, el valor presente neto de los beneficios anuales pueden calcularse siguiendo la ecuación:

$$VPN(B_A)_{1-n} = B_A \left[ \frac{(1+I)^n - 1}{I(1+I)^n} \right]. \quad (7.3)$$

La relación Costo Beneficio es la razón del valor presente neto acumulado de todos los beneficios anuales  $B_A$  entre los gastos, incluyendo el costo inicial de la inversión, esto es:

$$BCR = \frac{VPN(B_A)_{1-n}}{C_I + VPN(C_A)_{1-n}}. \quad (7.4)$$

El parámetro económico del tiempo de retorno de la inversión TRI indica el periodo de tiempo mínimo en el cual se recupera la inversión. Puede obtenerse siguiendo:

$$n = -\frac{\ln\left(1 - \frac{IC_I}{B_A - mC_I}\right)}{\ln(1 + I)}. \quad (7.5)$$

Esta ecuación es resultado del despeje del número de años  $n$  de la ecuación que se obtiene al sustituir (17) y (18) en (16).

## 7.2. Elementos considerados para el análisis

Para el análisis económico se consideran tres configuraciones, las cuales se muestran en la tabla 7.1 con el fin de identificar la influencia que tiene el cambio de una motocicleta de gasolina a una eléctrica y las dos modalidades de carga hacia nuestra motocicleta eléctrica. Como se había mencionado en el capítulo 7, no se consideran servicios para la motocicleta eléctrica ya que el motor eléctrico dentro de los 3 años evaluados no requiere ningún mantenimiento. Para el caso de la motocicleta eléctrica con módulos solo se considera la compra de electricidad a CFE del 27% del requerimiento por día.

Cuadro 7.1: Conceptos evaluados.

|  | <b>Inversión</b>   | <b>Costos Anuales de Operación y Mantenimiento</b> | <b>Ingresos Anuales</b> |
|--|--|--|-------------------------|
| Motocicleta a gasolina                         | Motocicleta a gasolina   | Gasolina<br>Servicios de motor a gasolina          | Pasaje                  |
| Motocicleta eléctrica con módulos              | Motocicleta eléctrica<br>4 Módulos 155 W<br>Regulador de Carga   | Electricidad comprada a CFE                        | Pasaje                  |
| Motocicleta eléctrica con estación de carga FV | Motocicleta eléctrica<br>4 Módulos 260 W<br>Micro inversor<br>Estructura<br>Tablero de protecciones<br>Contrato de interconexión | Servicios de Interconexión                         | Pasaje                  |

En la tabla 7.2 se muestran los costos utilizados para el análisis. Una de las grandes diferencia entre una motocicleta eléctrica a una motocicleta a gasolina, esta en los servicios de mantenimiento que se requieren para las motocicletas a gasolina. Por otra parte la inversión de una motocicleta eléctrica es mayor, debido al sistema de almacenamiento de energía, sin embargo la energía eléctrica tiene un costo menor a la gasolina.

Cuadro 7.2: Precios

| Concepto                           | Flujo de efectivo (MXN) |
|------------------------------------|-------------------------|
| Motocicleta eléctrica              | 42,200.00               |
| 4 Módulos de 155 W                 | 7,476.00                |
| Regulador de carga                 | 2,518.00                |
| kWh CFE (promedio)                 | 3.06                    |
| Motocicleta eléctrica              | 42,200.00               |
| Contrato de interconexión          | 850.00                  |
| 4 Módulos de 260 W                 | 10,275.00               |
| Microinversor                      | 5,421.00                |
| Tablero de protecciones            | 2,000.00                |
| Estructura para estación de carga  | 10,000.00               |
| Motocicleta a gasolina             | 27,490.00               |
| Litro de gasolina                  | 15.99                   |
| Servicios motor a gasolina (anual) | 2,084.00                |
| Pasaje diario                      | 300                     |

### 7.3. Tarifas eléctricas

La CFE es la empresa gubernamental encargada de la prestación de servicio público de la energía eléctrica la cual tiene el ejercicio exclusivo de generar, transportar, modificar, distribuir y abastecer el recurso eléctrico. El sector industrial representa más de la mitad de las ventas de CFE pese a que sólo equivalen 1% de los consumidores. El consumo doméstico constituye cerca de la cuarta parte de los ingresos clientelares de la CFE pese a que congrega a 88.41% de los compradores de la paraestatal.

La CFE divide sus tarifas en cinco grupos de clientes ( doméstico, agrícola, industrial, comercial y servicio) en la que la unidad de medida es el kilowatt-hora (kWh). En el caso de las tarifas destinadas a los hogares, estas se clasifican por el nivel de consumo en ocho rangos ( 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F Y DAC), de los cuales los 7 primeros están relacionados con la temperatura media en cada región; es decir, los precios son diferentes en las distintas entidades federativas debido a los subsidios aplicables en las regiones más cálidas del país, además existe una variación en los precios dependiendo de la época de verano o invierno. Por su parte la tarifa “Doméstica de Alto Consumo” (DAC) tiene relación con la demanda de utilización de electricidad, por lo que este cobro aplica cuando excede el límite establecido para la localidad del usuario en el consumo mensual promedio en el último año.

#### 7.3.1. Tarifa seleccionada

Se selecciono la tarifa general dos de baja tensión para los cálculos económicos de nuestras propuestas en las cuales se recarga la motocicleta tomando la energía de la red eléctrica nacional.

Cuadro 7.3: Tarifa 2 baja tensión CFE

| <i>Cargo por energía (\$/kWh)</i> |                  |             |             |             |             |             |             |                 |
|-----------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| <b>Rango (kWh)</b>                | <b>Dic./2016</b> | <b>Ene.</b> | <b>Feb.</b> | <b>Mar.</b> | <b>Abr.</b> | <b>May.</b> | <b>Jun.</b> | <b>Promedio</b> |
| <b>1 - 50</b>                     | 2.419            | 2.482       | 2.577       | 2.783       | 2.743       | 2.61        | 2.601       | 2.632           |
| <b>51 - 100</b>                   | 2.917            | 2.993       | 3.108       | 3.356       | 3.307       | 3.147       | 3.136       | 3.174           |
| <b>Adic.</b>                      | 3.215            | 3.299       | 3.425       | 3.699       | 3.645       | 3.469       | 3.457       | 3.499           |

## 7.4. Resultados del análisis económico.

Los parámetros económicos se calcularon utilizando una tasa de interés del 12 % [40], porcentaje utilizado en los lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión de la Secretaría de Gobernación. Para esto se tomó un período de tres años que es el tiempo de vida de la batería en la motocicleta eléctrica y coincide con el tiempo de remplazo de los mototaxis actualmente utilizados. El ingreso se considera un promedio de \$ 300.00 pesos al día, de los datos recabados en Xoxocotla, Mor.

A continuación se hace la comparación de la motocicleta a gasolina con los tres sistemas utilizando una motocicleta eléctrica.

Cuadro 7.4: Comparativa de parámetros económicos

|  | <b>Valor Presente Neto<br/>(pesos)</b> | <b>Balance<br/>Costo Beneficio</b> | <b>TRI<br/>(años)</b> | <b>Precio por km<br/>(pesos)</b> |
|--|--|------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Motocicleta a gasolina                         | 188,176.32                             | 3.51                               | 0.33                  | 0.68                             |
| Motocicleta eléctrica con módulos              | 208,686.89                             | 4.84                               | 0.52                  | 0.49                             |
| Motocicleta eléctrica con estación de carga FV | 191,533.97                             | 3.68                               | 0.71                  | 0.65                             |

De acuerdo a la comparativa de los parámetros económicos de los tres tipos de motocicletas, se selecciona el moto-taxi eléctrico con módulos fotovoltaicos debido a que el precio por kilómetro es de \$0.49 pesos siendo este el más bajo de la comparativa, con un tiempo de recuperación de la inversión (TRI) de 0.52 años, el costo beneficio es el mayor con 4.84 lo cual se obtuvo al dividir el valor actual de los ingresos totales netos entre el valor actual de los costos de inversión del proyecto.

Se observa que el valor presente neto es ligeramente mayor para la motocicleta eléctrica con módulos ya que los costos de operación son muy bajos al solo comprar el 27 % de la electricidad necesitada por día a CFE, además que los gastos de mantenimiento son nulos, ya que si se compara con una motocicleta a gasolina las cuales cada mes necesitan recurrir a servicio, los motores eléctricos están nulos de mantenimiento. Sin embargo la tasa de retorno de inversión en una motocicleta a gasolina es mucho menor, esto se debe a que la inversión inicial es la más baja de los 3 casos, al solo necesitar una motocicleta convencional.

En los tres casos el VPN es positivo, lo cual indica que los ingresos serán mayores a los egresos mostrando los proyectos financieramente viables. En esencia, el valor presente neto mide la

cantidad total de la ganancia o pérdida que un proyecto producirá, en comparación con la cantidad que se puede ganar simplemente guardando el dinero en un banco o invertirlo en alguna otra oportunidad que genera un rendimiento igual a la tasa de descuento. El proyecto con un mayor VPN, es el caso de la motocicleta eléctrica con módulos fotovoltaicos. Se espera que produzca más ingresos que lo que podría ser adquirido mediante una tasa de descuento.

Se puede observar que de acuerdo con la proporción de energía FV utilizada aumenta el VPN y el balance costo beneficio, siendo en este caso más conveniente usar la motocicleta eléctrica con módulos fotovoltaicos con una capacidad menor. Esto se puede deber a que en el caso de la motocicleta eléctrica con estación de carga FV la cual se cubre un 100 % la demanda eléctrica mediante fotovoltaico se tiene una mayor inversión inicial, además de que el proyecto está evaluado a 3 años, así que no se puede hacer un cálculo preciso ya que normalmente se le estima una vida útil a las estaciones de carga de 20 años, pudiendo cambiar el resultado de dicha manera.

Por los mismos motivos el precio por kilómetro es menor para la motocicleta eléctrica con módulos fotovoltaicos, teniendo un ahorro significativo comparado con la motocicleta a gasolina. Para dicho cálculo se sumó la inversión más los costos de operación y mantenimiento tomado a valor presente neto y el resultado obtenido entre los kilómetros recorridos durante los 3 años de servicio. Podemos notar que el precio por kilómetro entre la motocicleta a gasolina y el caso de la motocicleta eléctrica con estación de carga FV, tienen un resultado casi igual, esto se debe a que en el caso de la motocicleta a gasolina tenemos una inversión mínima, sin embargo en los gastos de operación y mantenimiento, sus servicios más el alto costo del combustible hacen que se eleve mucho. Por otro lado la motocicleta eléctrica con estación de carga FV tiene una inversión inicial muy alta y un costo de operación y mantenimiento casi nulos, ocasionando tener resultados muy similares.

El único parámetro económico que presenta un comportamiento diferente a los ya mencionados es el tiempo de retorno de la inversión (TRI), el cual entre menor sea, es más beneficioso ya que la inversión se recupera más rápidamente, también se puede ver como el tiempo que le toma a la operación del proyecto generar el suficiente flujo de efectivo para compensar o cubrir la inversión realizada. La motocicleta a gasolina presenta una mayor ventaja en este aspecto, al tener la menor inversión inicial, sin embargo a partir de que se recupera toda la inversión, la motocicleta eléctrica con módulos brindará mayores beneficios económicos, al tener menores costos de operación y mantenimiento.

La combustión de combustibles sólidos (carbón), líquidos (gasolina, diésel) o gaseosos (gas natural), a una fracción significativa para fines de transporte, es el principal contribuyente a la Producción de CO<sub>2</sub> antropogénico [41].

La transportación ocupa el primer lugar con el 46.2 % del total de contaminantes a nivel mundial, teniendo a los vehículos ligeros con un 10 % de la producción, por lo que encontrar un nuevo sistema de movilidad mundial, que no produzca emanaciones nocivas para el medio ambiente se ha convertido en un gran reto global, en especial en el área automotriz.[42]

Los moto-taxis se han convertido en un medio de transporte cada vez más demandante en localidades de bajos recursos o de difícil acceso para vehículos de mayor tamaño. Es por ello que se ha calculado las cantidades de CO<sub>2</sub> emitidas por una motocicleta a gasolina, mediante el calculador de CO<sub>2</sub> de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) , en la cual se ha calculado mediante los litros de gasolina consumidos por día en un mototaxi, valor que es de tres litros por día emitiendo un total de 7.712 toneladas de CO<sub>2</sub> anual [43]. Mediante la implementación de los moto-taxis eléctricos con una recarga totalmente fotovoltaica interconectada a la red se

pueden evitar 7.67 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales comparado con las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por la motocicleta de combustión interna junto con las emisiones emitidas por los módulos fotovoltaicos en su ciclo de vida, valor obtenido en la NREL [44]. A un lado también se calculan las toneladas generadas al implementar la motocicleta eléctrica con módulos fotovoltaicos, en donde el cálculo toma en cuenta el porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> que es tomada de la red eléctrica nacional (CFE) [35], junto con la energía obtenida por medio de los módulos FV [44], con lo cual solo se emiten 0.255 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales.

# Capítulo 8

## Conclusiones

En este trabajo se propuso el uso de mototaxis como medio de transporte en pueblos mágicos debido a que la mayoría de ellos son localidades que no estaban planeadas para una gran urbanización, además de que deben ser preservadas. Para ello es necesario adaptar un transporte alternativo que no altere la anatomía de estos lugares y que sean de gran ayuda para la movilización. La adopción de mototaxis eléctricos con carga fotovoltaica es una forma económica y sustentable para el desplazamiento de turistas y residentes de la comunidad.

A través de los resultados económicos concluimos que el taxi de motocicleta con módulos fotovoltaicos en el techo es lo que generará un mayor beneficio económico y un menor costo de operación, lo cual hace que la implementación de un mototaxi eléctrico con módulos fotovoltaicos sea viable. Los beneficios ambientales en ambas propuestas con el uso de módulos fotovoltaicos consisten en la reducción de alrededor de 7 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales comparados con el uso de motocicletas convencionales .

La implementación de las mototaxis eléctricos puede ofrecer una mejora en la forma de transporte, al ser una alternativa económica, de baja contaminación y de bajo ruido. Se propone en un futuro que se desarrollen proyectos gubernamentales para que se promuevan e implementen medios de transporte que incorporen vehículos eléctricos, con un modelo en el que se regule, planifique y gestione el uso de las mototaxis. Es necesario mejorar la calidad del servicio a los usuarios como su seguridad por medio de remolques que cumplan normas de seguridad y comodidad. También se debe de llegar a una buena organización dentro de los grupos de mototaxistas para llegar a objetivos que beneficien a el usuario.

El mototaxismo actualmente cubre una necesidad a corto plazo al no tener las localidades medios de transporte que cumplan con las necesidades de las poblaciones, sin embargo si se sigue el modelo actual, puede llegar a ser un problema para las localidades al seguir teniendo un sistema de transporte desorganizado. Con los actuales avances en comunicación, puede resultar viable hacer una plataforma incorporada en las mototaxis eléctricos en los cuales se solicite el servicio por medio de dispositivos electrónicos, teniendo un calculador de tarifa y brindando toda la información sobre el viaje solicitado. Este modelo puede beneficiar al sistema de transporte, los usuarios y a las localidades, al tener un medio de transporte más organizado, seguro y regulado.

# Appendices

# Apéndice A

## Tablas para cálculos económicos

Cuadro A.1: Tabla de cálculos económicos en hoja de cálculo para Mototaxi eléctrico con módulos

| Inversión          |        | Costos de O y M |        | Ingresos     |         | VPN           | BCR           |
|--------------------|--------|-----------------|--------|--------------|---------|---------------|---------------|
| Moto eléctrica     | 42,200 | Electricidad    | 882.61 | Pasaje       | 109,500 | 208,686.63    | 4.84          |
| 4 módulos 155W     | 4,476  |                 |        |              |         |               | n. años       |
| Regulador de carga | 2,518  |                 |        |              |         |               | 0.52          |
| Total              | 52,194 | Total Anual     | 882.61 | Total Anual  | 109,500 | Km recorridos | Precio por Km |
|                    |        | VPN O y M       | 2,119  | VPN Ingresos | 263,000 | 109500        | 0.4960        |

Cuadro A.2: Tabla de cálculos económicos en hoja de cálculo para Mototaxi eléctrico con estación de carga FV

| Inversión   |        | Costos de O y M                             |         | Ingresos     |         | VPN           | BCR           |
|---|--------|---|---------|--------------|---------|---------------|---------------|
| Moto eléctrica  | 42,200 | Electricidad.<br>Servicios<br>interconexión | 300     | Pasaje       | 109,500 | 191,533       | 3.68          |
| 4 módulos<br>260W   | 10,275 |   |         |              |         |               | n. años       |
| Microinversor<br>Tablero<br>Estructura<br>Contrato<br>interconexión | 18,271 |   |         |              |         |               | 0.71          |
| Total   | 70,746 | Total Anual                                 | 300     | Total Anual  | 109,500 | Km recorridos | Precio por Km |
|   |        | VPN O y M                                   | 720.549 | VPN Ingresos | 263,000 | 109500        | 0.65          |

Cuadro A.3: Tabla de cálculos económicos en hoja de cálculo para motocicleta a gasolina

| Inversión            |       | Costos de O y M        |       | Ingresos     |        | VPN           | BCR           |
|----------------------|-------|------------------------|-------|--------------|--------|---------------|---------------|
| Moto Honda CG<br>150 | 27490 | Mantenimiento<br>anual | 2084  | Pasaje       | 109500 | 188176        | 3.51          |
| Mantenimiento 1      | 275   | Gasolina               | 17509 |              |        | n. años       | 0.33 años     |
| Total                | 27765 | Total                  | 19593 | Total        | 109500 | Km recorridos | Precio por Km |
|                      |       | VPN O y M              | 47059 | VPN Ingresos | 263000 | 109500        | 0.68          |

# Apéndice B

## Glosario

- SF: Solar fotovoltaica
- MF: Módulos fotovoltaicos
- MTE: Mototaxi eléctrica
- VE: Vehículo eléctrico
- FV: Fotovoltaicos
- PMI: Punto medio inferior
- PMS: Punto medio superior
- NOx: Óxidos de nitrógeno
- PM: Partículas en suspensión
- HC: Hidrocarburos
- COVs: Compuestos orgánicos volátiles
- HAPS: Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- CO: Monóxido de carbono
- CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono
- BLCD: Motores de corriente continua sin escobillas
- VC: Vehículo convencional
- CHP: Cogeneración
- STC: Condiciones de prueba estándar a  $1000 \text{ W/m}^2$  y condiciones de temperatura de operación de la celda a  $25^\circ \text{C}$
- NOCT: Condiciones de prueba estándar a  $800 \text{ W/m}^2$  y condiciones de temperatura de operación de la celda a  $45^\circ \text{C}$
- PTC: Proyecto de pruebas condiciones
- VPN: Valor presente neto
- BCR: Relación costo beneficio

# Bibliografía

- [1] Galus MD, Andersson G. Demand management of grid connected plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). In: Energy 2030 Conference, 2008. ENERGY 2008. IEEE. IEEE; 2008. p. 1–8.
- [2] Centeno Chacón F. El sistema de control del transporte urbano colectivo de Managua. Universidad Centroamericana; 2012.
- [3] El Universal. <http://wwwhttp://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/85300.html/>, 21 de Junio de 2017; 2007.
- [4] Pueblos Magicos de Mexico. <http://www.pueblosmexico.com.mx/>, 26 de Julio de 2016; 2016.
- [5] Castillo GH, Lara OH. Localidades con recursos turísticos y el Programa Pueblos Mágicos en medio del proceso de la nueva ruralidad. Los casos de Tepetzotlán y Valle de Bravo en el Estado de México. *Quivera*. 2008;10(2):111–130.
- [6] Castillo Avila IY, Galarza Herrera B, Palomino Gómez H. Work and health conditions in motorcycle taxi drivers Cartagena-Colombia. *Revista Salud Uninorte*. 2013;29(3):514–524.
- [7] Antonio del Rio Portilla. <http://delrioantonio.blogspot.mx/2016/01/es-posible-un-sector-prod> 8 de Agosto de 2016; 2016.
- [8] Lindgren J, Niemi R, Lund PD. Effectiveness of smart charging of electric vehicles under power limitations. *International Journal of Energy Research*. 2014;38(3):404–414.
- [9] De Schepper E, Van Passel S, Lizin S. Economic benefits of combining clean energy technologies: the case of solar photovoltaics and battery electric vehicles. *International Journal of Energy Research*. 2015;39(8):1109–1119.
- [10] Barker PP, Bing JM. Advances in solar photovoltaic technology: an applications perspective. In: Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE. IEEE; 2005. p. 1955–1960.
- [11] solarcarchallenge. <http://www.solarcarchallenge.org/challenge/history.shtml>, 13 de Diciembre de 2017; 2017.
- [12] Giannouli M, Yianoulis P. Study on the incorporation of photovoltaic systems as an auxiliary power source for hybrid and electric vehicles. *Solar Energy*. 2012;86(1):441–451.
- [13] Bhatti AR, Salam Z, Aziz MJBA, Yee KP. A critical review of electric vehicle charging using solar photovoltaic. *International Journal of Energy Research*. 2015;.

- [14] Rivas Tovar LA, Chávez Espejel JA, Maldonado Hernández B, Chávez A, Carmona Tapia S, Cienfuegos Sarabia ÉV, et al. Incentivos y desincentivos en los sistemas de transporte público en Londres, Madrid y Ciudad de México. *Innovar*. 2007;17(30):113–132.
- [15] Antonio del Rio Portilla. <http://delrioantonio.blogspot.mx/search?q=SOSTENIBLE+0+SUSTENTABLE>, 23 de Junio de 2017; 2012.
- [16] Mazzon M. Sustainable mobility: mitigation of traffic originated pollution. In: *Sustainable Development and Environmental Management*. Springer; 2008. p. 141–156.
- [17] indianmotocicletas. <https://www.indianmotorcycle.com/es-mx/history#1910>, 13 de Diciembre de 2017; 2017.
- [18] Guillén JGM. Mercado de la motocicleta de combustión interna y oportunidades de la industria de la motocicleta eléctrica. 2011;.
- [19] wiki. [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle), 13 de Diciembre de 2017; 2017.
- [20] Soy Motor. <http://soymotor.com/coches/noticias/record-tesla-900-kilometros-935857>, 22 de Junio de 2017; 2017.
- [21] xataka. <https://www.xataka.com/vehiculos/las-motos-electricas-zero-llegan-a-los-325-kilo>, 12 de Diciembre de 2017; 2017.
- [22] Furion motorcycles. <http://furion-motorcycles.com/eng>, 22 de Junio de 2017; 2017.
- [23] Hibridos y electricos. <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/motocicletas-electricas/p>, 22 de Junio de 2017; 2012.
- [24] Huizenga C, Leather J. Transport and Climate Policy in the Developing World–The Region that Matters Most. In: *Cars and Carbon*. Springer; 2012. p. 371–391.
- [25] wiki. <https://en.wikipedia.org/wiki/Rickshaw>, 13 de Diciembre de 2017; 2017.
- [26] Barbero J. Transporte urbano. Giugale, MM, Fretes-Cibils, V and JL Newman. 2006;p. 273–288.
- [27] Çengel YA, Boles MA. *Termodinámica* (8a. McGraw Hill Mexico; 2015).
- [28] Oocities. <http://www.oocities.org/mx/profrmarcos/ciclo-de-otto.htm>, 22 de Junio de 2017; 2017.
- [29] Hsu YY, Lu SY. Design and implementation of a hybrid electric motorcycle management system. *Applied Energy*. 2010;87(11):3546–3551.
- [30] wiki. [https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless\\_DC\\_electric\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor), 13 de Diciembre de 2017; 2017.
- [31] Pedrós Pérez G. Buenas prácticas en la publicidad en relación con el cambio climático y el consumo energético. 2007;.

- [32] Li C, Cao Y, Zhang M, Wang J, Liu J, Shi H, et al. Hidden benefits of electric vehicles for addressing climate change. *Scientific reports*. 2015;5:srep09213.
- [33] Gabriel J, Wellbrock P, Buchmann M. Assessment of CO<sub>2</sub>-Emissions from Electric Vehicles: State of the Scientific Debate. In: *Evolutionary Paths Towards the Mobility Patterns of the Future*. Springer; 2014. p. 225–241.
- [34] Helmers E. Bewertung der Umwelteffizienz moderner Autoantriebe—auf dem Weg vom Diesel-Pkw-Boom zu Elektroautos. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*. 2010;22(5):564–578.
- [35] Semarnat. <http://www.geimexico.org/image/2015/aviso-factor-de-emision-lectrico20201420Se>, 22 de Junio de 2017; 2015.
- [36] El Sol de Cuernavaca. <http://www.elsoldecuernavaca.com.mx/local/sube-gasolina-magna-14-2-y>, 12 de Julio de 2017; 2017.
- [37] Keshri R, Bertoluzzo M, Buja G. Integration of a photovoltaic panel with an electric city car. *Electric Power Components and Systems*. 2014;42(5):481–495.
- [38] ESOLMET-IER. <http://esolmet.ier.unam.mx/index.html>, 25 de Junio de 2017; 2017.
- [39] wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric{vehicle\\_batteryBattery\\_cost](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric{vehicle_batteryBattery_cost), 13 de Diciembre de 2017; 2017.
- [40] SEGOB. <http://www.dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=5254754fecha=272F042F2012>, 22 de Junio de 2017; 2012.
- [41] Lackner M, Seiner JM, Chenb WY. *Fuel Efficiency in Transportation Systems*. 2015;.
- [42] Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, et al. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *science*. 2003;301(5635):929–933.
- [43] Agencia de proteccion ambiental. <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-c>, 16 de Mayo de 2017; 2017.
- [44] NREL. <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>, 22 de Junio de 2017; 2017.