



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN ENERGÍA – SISTEMAS ENERGÉTICOS

ANÁLISIS TÉCNICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN  
DE PANELES SOLARES PARA LA ALIMENTACIÓN ENERGÉTICA DE  
VEHÍCULOS SEDÁN

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
SANDOVAL MÁRQUEZ JUAN CARLOS

TUTOR:  
DR. JUAN LUIS FRANCOIS LACOUTURE  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. SEPTIEMBRE 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DRA. MARTÍN DEL CAMPO MÁRQUEZ CECILIA

Secretario: DR. GONZÁLEZ OROPEZA ROGELIO

1 er. Vocal: DR. FRANCOIS LACOUTURE JUAN LUIS

2 do. Vocal: M. I. GONZÁLEZ PINEDA FRANCISCO

3 er. Vocal: M. I. OLIVERA VILLA BEATRIZ ADRIANA

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:  
C.U. UNAM, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO.

**TUTOR DE TESIS:**

DR. JUAN LUIS FRANCOIS LACOUTURE

---

**FIRMA**

# ANÁLISIS TÉCNICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES PARA LA ALIMENTACIÓN ENERGÉTICA DE VEHÍCULOS SEDÁN

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>OBJETIVOS</b> .....	5
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES</b> .....	8
1.1 Celdas y paneles solares.....	8
1.2 Vehículos solares .....	10
1.3 Panorama en México.....	13
1.4 Vehículo sedán .....	15
<b>CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO</b> .....	16
2.1 Especificaciones técnicas generales de paneles solares con presencia en México .....	16
2.2 Energía consumida en un vehículo sedán.....	21
2.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico .....	29
<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS AMBIENTAL</b> .....	34
3.1 Ciclo de vida del sistema .....	34
3.2 Ventajas ambientales del uso del sistema fotovoltaico.....	37
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	46
4.1 Costos generales de la implementación del panel solar al vehículo.....	46
4.2 Evaluación del proyecto .....	51
<b>CONCLUSIONES</b> .....	59
<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b> .....	62
<b>ANEXOS</b> .....	67
1. Ficha técnica panel solar EGE-370M-72.....	67
2. Ficha técnica batería L-31T/S-190M .....	69
3. Información técnica Chevrolet Aveo 2016.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Partes de un panel solar .....	9
Figura 1.2.	Vehículo Sion .....	11
Figura 1.3.	Vehículo solar mexicano Tonatiuh .....	13
Figura 1.4.	Prototipo EMIM ONE.....	14
Figura 1.5.	Vehículo Universitario Solar (VUS).....	14
Figura 1.6.	Diagramas de un vehículo sedán, familiares y hatchback .....	15
Figura 3.1.	Modelo del ciclo de vida del sistema panel FV-vehículo.....	34
Figura 3.2.	Necesidades energéticas de un vehículo con respecto a su combustible.....	38
Figura 4.1.	Módulo fotovoltaico EGE-370M-72.....	46
Figura 4.2.	Acumulador L-31T-S-190M.....	47
Figura 4.3.	Ejemplo de cable solar de 4mm .....	48
Figura 4.4.	Sistema de montaje ES2 .....	48
Figura 4.5.	Flujos de efectivo para el Caso 1 .....	56
Figura 4.6.	Flujos de efectivo para el Caso 2 .....	57
Figura 4.7.	Flujos de efectivo para el Caso 3 .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Ventajas y desventajas de las dos categorías principales de automóviles solares.....	12
Tabla 2.1.	Comparativa de distintos paneles solares .....	17
Tabla 2.2.	Coefficientes de rodadura para neumáticos de automóvil .....	22
Tabla 2.3.	Consumo de energía de los sistemas eléctricos auxiliares.....	28
Tabla 3.1.	Factores de emisión e incertidumbre para gasolinas .....	40
Tabla 3.2.	Resumen comparativo de las emisiones producidas por el vehículo y las emisiones generadas por los accesorios, en gramos por kilómetro recorrido .....	42
Tabla 3.3.	Comparativa en la disminución de emisiones contaminantes por el uso del sistema FV y las emisiones de CO2 generadas en distintos tipos de industrias en México.....	44
Tabla 4.1.	Dimensiones del Aveo 2016.....	47
Tabla 4.2.	Método de Peters-Timmerhaus.....	49
Tabla 4.3.	Costos e inversión total de capital para el sistema fotovoltaico.....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1.	Garantía de rendimiento lineal del módulo FV EGE-330P-72 .....	18
Gráfico 2.2.	Potencias máximas entregadas de cada modelo de panel solar.....	19
Gráfico 2.3.	Eficiencias alcanzadas en cada modelo de panel solar.....	19
Gráfico 2.4.	Costos unitarios por cada modelo de panel solar .....	20
Gráfico 2.5.	Potencia obtenida al variar ángulo de pendiente.....	25
Gráfico 2.6.	Potencia obtenida al variar aceleración del vehículo .....	25
Gráfico 2.7.	Potencia obtenida al variar velocidad del vehículo .....	26
Gráfico 3.1.	Porcentaje de elementos presentes en un vehículo de combustión interna.....	36
Gráfico 3.2.	Composición de los gases de escape en motores de gasolina .....	39

## **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis técnico, ambiental y económico de un proyecto que considera la implementación de paneles solares en vehículos de combustión interna, estimando así la viabilidad de usar esta tecnología en autos comerciales ya fabricados.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Elegir un panel solar adecuado para implementarlo en un vehículo sedán, comparando las características de distintos modelos, tales como la potencia máxima, vida útil, peso, dimensiones y costo.
2. Obtener la potencia necesaria para mover un vehículo sedán y la energía que demandan los sistemas eléctricos auxiliares.
3. Dimensionar el sistema fotovoltaico, utilizando el panel solar propuesto, para cubrir la demanda energética del vehículo.
4. Plantear, de manera breve, el ciclo de vida del proyecto para tener una idea del impacto ambiental que involucra el panel solar y el vehículo sedán.
5. Demostrar el beneficio ambiental que atraería la implementación del sistema fotovoltaico por medio del cálculo de los contaminantes que no se emitirían a la atmósfera.
6. Calcular los costos generales y ahorros estimados del proyecto.
7. Obtener el periodo de recuperación de la inversión para identificar la viabilidad económica.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, en el país y el mundo entero, se ha creado la necesidad de reducir las emisiones generadas por distintos sectores que provocan daños al medio ambiente y a la salud. Uno de estos sectores que tienen un papel importante en la emisión de gases de efecto invernadero es el sector transporte ya que, de los 37 millones de unidades que conforma el parque vehicular en el país, 36.8 millones son impulsados vía gasolina o diésel (INEGI, 2020).

Según la SENER, en su Reporte de Avances de Energías Limpias del primer semestre del 2018 (Secretaría de Energía, 2018), la energía derivada de combustibles fósiles representa el 75.88% del total de la generación energética del país.

Por lo anterior, resulta apremiante la búsqueda e implementación de sistemas que logren disminuir el impacto ambiental generado por la quema de combustibles fósiles. Si bien, dadas las estadísticas antes mencionadas, resulta complicado hacer un cambio total de tecnologías, el camino a seguir debería ser una transición paulatina hacia energías más limpias que coexistan junto a las energías convencionales y que se pueda traducir en una disminución considerable de gases de efecto invernadero (GEI).

Algunos ejemplos de estas tecnologías de transición son el uso de gas natural o biocombustibles en lugar de gasolina y diésel convencional, los autos híbridos que combinan la tecnología eléctrica y de combustión interna, la aplicación de celdas de hidrógeno y los vehículos eléctricos. En cualquiera de estos tipos de vehículos existe aún un grado de contaminación producida, del tipo directa o indirecta, por lo que el siguiente paso sería trabajar en la mejora de la eficiencia con miras ambientales.

El proyecto que aquí se presenta tiene por objetivo realizar un análisis de factibilidad de un sistema que utilice la energía generada por un panel solar fotovoltaico para aportar a la demanda eléctrica de un vehículo sedán ya fabricado, comercial y de combustión interna. El análisis aborda los aspectos técnicos, económicos y ambientales.

La estructura de esta tesis contempla cuatro capítulos. En el Capítulo 1 se presentan los antecedentes de los vehículos solares, conceptos básicos que aborda la tesis, el funcionamiento del panel solar y la definición de vehículo sedán.

El Capítulo 2 desarrolla la idea técnica del proyecto: la colocación de un panel solar en la parte superior del vehículo, su toldo, para aprovechar la energía solar. Para ello, se calcula

la potencia que requiere un vehículo sedán para moverse y se compara con la potencia máxima que puede suministrar el módulo solar. Al observarse que el panel no ofrece energía suficiente para aportar, considerablemente, al movimiento del vehículo, se obtiene la energía que demandan los sistemas eléctricos secundarios del automóvil para, posteriormente, realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

El análisis ambiental se efectúa en el Capítulo 3. Después de describir a grandes rasgos el ciclo de vida del sistema, se calcula la cantidad de gases de escape más importantes que se dejarían de emitir ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$  y HC), conociendo así el impacto positivo que dicha implementación lograría alcanzar.

Para el análisis económico, tema del Capítulo 4, se tienen en cuenta los costos de los equipos, estructuras, cables y costos adicionales. Además, se considera la posibilidad de financiamientos y apoyos del gobierno o instituciones por el uso de una energía limpia. Se anexan también los ahorros derivados de la reducción de combustible para, finalmente, obtener los periodos de recuperación considerando uno o más flujos de efectivo mencionados anteriormente.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

### *1.1 Celdas y paneles solares*

La conversión fotovoltaica (FV) es el proceso mediante el cual se convierte directamente la luz del sol en electricidad por medio de celdas solares.

El primer dispositivo FV fue desarrollado por el físico francés Edmond Becquerel en el año de 1839. En sus experimentos, Becquerel encontró que cuando ciertos materiales eran expuestos a la luz producían una diferencia de potencial y que, al conectarlos con una carga externa, se generaba una corriente eléctrica. A este fenómeno se le denominó el efecto fotovoltaico (Agredano, 2008).

La primera celda FV moderna se fabricó en 1941, con una eficiencia de conversión del 1%. La empresa americana Western Electric fue la primera en comercializar celdas FV en 1955, y las primeras aplicaciones prácticas de estos dispositivos se dieron en satélites artificiales, siendo una solución para la provisión de energía eléctrica por su alta relación de costo-peso (Agredano, 2008).

Las primeras aplicaciones terrestres de la tecnología fotovoltaica se dieron en productos de consumo (relojes, juguetes, calculadoras, etc.), los cuales, para su funcionamiento, sólo requieren del suministro de pocos watts. Conforme las eficiencias de las celdas desarrolladas aumentaron y sus costos disminuyeron considerablemente, comenzaron a aplicarse como energización de dispositivos de señalización, control y monitoreo de procesos, así como para electrificación rural.

Las celdas FV se fabrican con materiales semiconductores, los cuales actúan como aislantes a bajas temperaturas, pero también pueden ser conductores cuando son expuestos al calor o a la energía lumínica.

El material más usado para la fabricación de celdas solares es el silicio, sin embargo, requiere un proceso de refinación que es costoso y altamente demandante de energía. Por ello se han desarrollado celdas con otros materiales, como por ejemplo módulos de capa delgada de cobre, indio y selenio (CIS) o de cobre, indio, galio y selenio (CIGS) y módulos de capa delgada a base de cadmio y telurio (CdTe). En los últimos años se ha usado el mineral Perovskite, primera vez descrito en 1839, que no es tóxico y conocido como semiconductor desde hace años y que está produciendo eficiencias que pueden ir del 25% al 30% (Delta Volt, 2010).

Retomando las eficiencias, en este año se han logrado en laboratorio eficiencias que han sobrepasado el 45% usando celdas combinadas de varias capas o de concentración (NREL, 2018), sin embargo, falta todavía tiempo para que estas tecnologías puedan salir al mercado por sus altos costos.

Un panel solar es el sistema base de una aplicación de generación de energía general. Estos componentes están conformados por:

- Marco de aluminio.
- Celda solar.
- Material encapsulante.
- Recubrimientos anterior y posterior.
- Conexiones eléctricas.

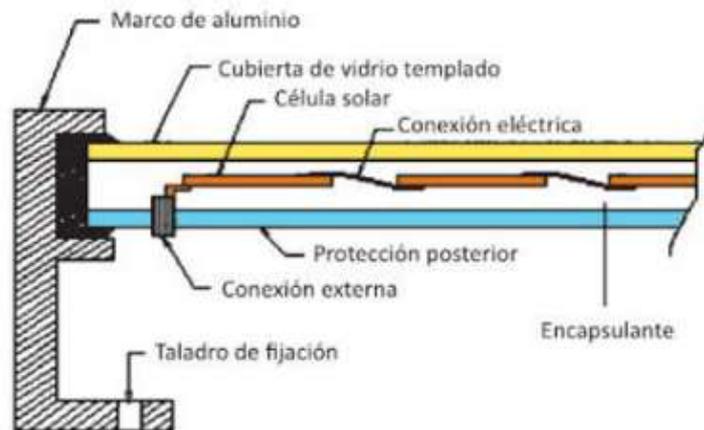


Figura 1.1. Partes de un panel solar.

*Fuente: Roldán, 2013.*

Las actividades en nuestro país relacionadas con la tecnología fotovoltaica (FV) se iniciaron a mediados de los setentas. En la década siguiente, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (IPN) construyó una planta piloto para fabricar módulos fotovoltaicos de silicio cristalino, con una capacidad de producción de 15 [kW] por año.

El mercado principal de la tecnología fotovoltaica en nuestro país es el de los sistemas autónomos (Agredano, 2008). La capacidad instalada en techos solares, por ejemplo, alcanzó los 817 [MW] en julio de 2019, según datos de la Asociación Mexicana de Energía Solar (ASOLMEX), representando ya el 1% de la capacidad nacional. 75% de dichos techos solares se encuentran en casas habitación y Jalisco presenta la mayor cantidad de instalaciones solares de este tipo con 17,097 (García, 2019).

## 1.2 Vehículos solares

Un vehículo solar es aquel auto eléctrico que usa una recarga de energía autónoma por medio de paneles solares fotovoltaicos. Esta definición difiere con el concepto de automóvil eléctrico convencional ya que estos requieren conectarse a la red eléctrica cada determinado tiempo de uso.

El primer auto solar fue el BP Quiet Achiever y fue construido en 1982 por el australiano de origen danés Hans Tholstrup y el piloto de carreras Larry Perkins. Luego de la construcción, lo condujeron desde Perth hasta Sidney, cruzando Australia en un recorrido de más de 4500 kilómetros que les tomó cerca de 20 días a una velocidad promedio de 20 [km/h] (Instituto Tecnológico de Canarias, 2007).

Tholstrup y Perkins se habían volcado a la idea de demostrar que la energía solar era muy importante para el desarrollo del futuro inmediato del ser humano, que la sustitución de combustibles fósiles era posible y que existían alternativas no contaminantes que podrían utilizarse no sólo en los automóviles, sino en otros tipos de transportes o para su uso en las distintas industrias.

La primera competencia mundial de autos solares se dio en 1985, gracias a la gestión del suizo Urs Muntwyler, en un evento llamado “Tour del Sol”, el mismo que atrajo la atención del mundo entero. Desde esa fecha, la competencia se desarrolla anualmente en Europa.

Cuando la General Motors ganó en 1987 el *World Solar Challenge* con un auto llamado Sunraycer (con un tiempo de 44 horas 54 minutos y una velocidad media de 67 [km/h]), comenzó la era de los diseños de las empresas con la esperanza de poder construir automóviles a fin de poder comercializarlos (Autos hoy, 2011).

En los últimos años se han desarrollado numerosos proyectos en vehículos con celdas fotovoltaicas que logran tener cada vez más velocidad, eficiencia, almacenamiento de energía y, en algunos casos, manejando costos con mayor alcance al público.

La empresa alemana Sono Motors ha desarrollado el primer vehículo solar comercial llamado Sion (Figura 1.2).

Las celdas solares en el cuerpo del automóvil, es decir, toldo, cofre y laterales, hacen que pueda cargar su batería fácilmente durante todo el día, llegando a generar hasta 34 kilómetros de alcance adicional. La batería tiene un alcance real de 255 kilómetros y también puede cargarse externamente.

Utiliza celdas de silicio monocristalinas altamente eficientes para los módulos solares. Un total de 330 celdas generan una potencia máxima de 1,204 Watts con una eficiencia del 24%.

Gracias a la tecnología de carga bidireccional, Sion puede extraer y almacenar energía y, además, compartirla. Se puede usar un enchufe eléctrico doméstico común para alimentar todos los dispositivos electrónicos comunes de hasta 3.7 [kW], e incluso alimentar otros autos eléctricos y dispositivos de servicio pesado con hasta 11 [kW].

El vehículo tiene un costo de 25,500 euros y salió al mercado en el año 2019 (Sono Motors, 2019).



Figura 1.2. Vehículo Sion.  
*Fuente: Sono Motors.*

Se considera que existen tres tipos de categorías de vehículos solares (Carreño, 2011):

1. Los que pueden funcionar prácticamente con el sol, sin requerir baterías.
2. Los que usan los paneles para acumular energía en una o varias baterías y el motor se alimenta de ellas. Los paneles aportan una parte de la energía que se requiere para su funcionamiento.
3. Los vehículos eléctricos que como mucho llevan algún pequeño panel a fin de mantener la batería, o efectuar pequeñas recargas, o no llevan ningún panel y básicamente se cargan de la red eléctrica.

En la Tabla 1.1 se muestra una comparativa de ventajas y desventajas de los automóviles solares, tanto aquellos que dependen completamente del sol para su completa movilidad, como de vehículos eléctricos que toman energía del sol de manera parcial para su funcionamiento.

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Autonomía solar total</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No requiere hacer paradas para suministro de energía.</li> <li>-No se tienen costos por consumo de energía.</li> <li>-Posibilidad de eliminar costos de baterías.</li> <li>-Menor impacto ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Depende en gran medida de las condiciones climáticas.</li> <li>-Potencia y velocidad oscilan de manera paralela a la cantidad de radiación solar.</li> <li>-Su uso puede limitarse a solo ciertas regiones con condiciones adecuadas.</li> </ul>
<b>Autonomía solar parcial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No depende del clima ni de la hora del día.</li> <li>-Las características de potencia y velocidad del vehículo permanecen constantes.</li> <li>-Se podría usar en cualquier lugar con acceso a corriente eléctrica.</li> <li>-Las distancias a recorrer pueden ser mayores que en vehículos eléctricos.</li> <li>-Impacto ambiental bajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se tienen costos adicionales por carga eléctrica y baterías.</li> <li>-Depende de una estación de carga, aunque en menor grado que un auto eléctrico.</li> </ul>

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de las dos categorías principales de automóviles solares.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 1.3 Panorama en México

El primer auto solar mexicano se desarrolló en 1994 y se nombró Tonatiuh (Figura 1.3). Fue ideado, diseñado y construido totalmente en México, por profesionistas mexicanos y financiado por importantes empresas e instituciones como IUSA, SEP, II-UNAM, CONAE, AT&T, Malaysia Air Lines, entre otros. Su costo aproximado fue de \$350,000 USD.

Tiene siete baterías de plomo ácido de 19 [kg], 56 [Ah] y 12 [V] cada una, conectadas en serie, módulo solar de silicio policristalino, grado terrestre de 13% de eficiencia y 100 [cm<sup>2</sup>], un substrato curvo orientable de 4 [m] de largo por 2.12 de ancho con un área total de 8.5 [m<sup>2</sup>] de potencia máxima con 900 [W] y un largo total de 5.90 [m] (Espinosa, 2015).



Figura 1.3. Vehículo solar mexicano Tonatiuh.  
Fuente: [www.ecotopia.com](http://www.ecotopia.com)

Un ejemplo más reciente en México es un automóvil eléctrico capaz de transitar de cinco a seis horas continuas con una recarga de tres horas y media. El prototipo Emim One (Figura 1.4) obtuvo el primer lugar del premio nacional sobre transporte urbano y movilidad 2011 convocado por la Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM).

Emim One es un automóvil creado por alumnos del IPN, con un peso de 170 kilogramos y una longitud de 1.90 metros por 1.30 metros, al cual se le adaptaron paneles con celdas solares de silicio y platino a través de los cuales se genera una diferencia del potencial que produce energía eléctrica mediante un circuito externo (Espinosa, 2015).



Figura 1.4. Prototipo EMIM ONE.  
*Fuente: Tesis de Espinosa Chanona.*

Otro prototipo más es el denominado Vehículo Universitario Solar (VUS), el cual fue desarrollado con recursos propios de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) (Ver Figura 1.5), y funciona completamente con energía solar para mover al motor eléctrico. Alcanza una velocidad máxima de 30 kilómetros por hora, puede recorrer de 60 a 70 kilómetros y llevar hasta tres personas (BUAP, 2014).

Una característica adicional importante del vehículo es su funcionamiento con energía mecánica, además de la solar, ya que dispone de pedales para generar movimiento, sirviendo de mecanismo de reserva en caso de terminarse la energía solar, por lo que podría ser considerado también una bicicleta solar.



Figura 1.5. Vehículo Universitario Solar (VUS).  
*Fuente: CEEA BUAP.*

#### 1.4 Vehículo sedán

Un sedán es un vehículo automotor de dos ejes y cuatro llantas, de estructura integral, con capacidad de cinco pasajeros incluyendo el conductor (SCT, 2008). Contienen tres volúmenes separados, es decir, zona del motor, habitáculo y cajuela, mostrados en la Figura 1.6 como A, B y C. Esta característica hace que se diferencien de los vehículos hatchback, donde su cajuela y habitáculo se encuentran en la misma zona del vehículo.

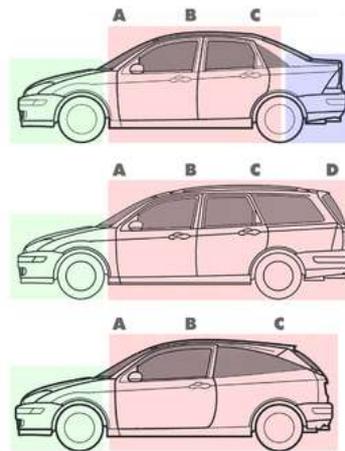


Figura 1.6. Diagramas de un vehículo sedán (esquema superior), familiares (segundo esquema) y hatchback (esquema inferior).

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sed%C3%A1n#/media/File:Three\\_body\\_styles\\_with\\_pillars\\_and\\_boxes.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Sed%C3%A1n#/media/File:Three_body_styles_with_pillars_and_boxes.png)

Las dimensiones del toldo pueden variar de acuerdo con el modelo; como referencia para esta investigación se utilizarán las medidas obtenidas de un Chevrolet Aveo: 1600 x 1100 [mm].

El auto sedán es el tipo de automóvil más vendido en el país (INEGI, 2019), siendo así la categoría en circulación más común en México. Por esta razón es que se elige este vehículo como modelo base para este proyecto.

## CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO

El análisis técnico del proyecto es el desarrollo medular de la investigación ya que, de este apartado, se delimitan las posibilidades de aprovechar la energía generada de un panel solar en un vehículo sedán.

De esta manera, este capítulo comprende el análisis de las partes más importantes del sistema a desarrollar, es decir, el panel solar y el vehículo, para posteriormente teorizar la interacción que deberían tener ambas partes para hacer uso de la energía solar.

### *2.1 Especificaciones técnicas generales de paneles solares con presencia en México*

Las características generales a considerar para realizar una comparación de modelos de paneles solares, y con ello seleccionar la mejor opción, se observa en la siguiente lista:

1. Potencia máxima entregada: Propiedad importante en el funcionamiento técnico del panel. Mientras más potencia se logre en el sistema fotovoltaico, se tendrá un mayor aprovechamiento de energía, materiales y recursos.
2. Eficiencia del módulo: El crecimiento de la eficiencia es de suma importancia para la mejora en la explotación del recurso solar. En 1978 las celdas solares monocristalinas apenas llegaban al 14% de eficiencia, actualmente se ha alcanzado más del 26% (NREL, 2018).
3. Tipo de celdas: El crecimiento de cierto tipo de tecnologías hará más sustentable su ciclo de vida, en particular la disposición final. Por ejemplo, el uso de silicio es más dañino que el desarrollo de las celdas a base de carbón.
4. Tiempo de vida útil. También llamado tiempo de rendimiento óptimo o garantía de potencia lineal. Indica cuánto tiempo durará el panel solar en funcionamiento antes de que tenga caídas importantes de potencia entregada y se tenga que desechar.
5. Costo por panel: Este indicador económico brinda información de la accesibilidad en la adquisición de estos productos, tanto para empresas como para público en general.
6. Dimensiones y peso: Estos datos son relevantes para el uso que se le desea dar al panel solar: su colocación en el toldo de un vehículo. De esta manera se asegura que el sistema no afectará considerablemente al automóvil.

Una característica inherente más que se consideró para este proyecto fue su disponibilidad en el país, debido a que resultaría más costoso tomar en cuenta módulos a los que aún hay que agregar conceptos de importación, aranceles y demás factores que involucra la compra de un bien del extranjero.

A continuación, se genera una tabla comparativa de marcas de paneles solares comerciales, con distribución en México.

<b>MODELO</b>	<b>EGE-330P-72</b>	<b>EGE-370M-72</b>	<b>YL345D-36B</b>
<b>MARCA</b>	Eco Green Energy	Eco Green Energy	Yingli Solar
<b>TIPO DE CELDA</b>	Policristalino	Monocristlina	Monocristalina
<b>POTENCIA MÁX [W]</b>	330	370	345
<b>EFICIENCIA [%]</b>	17.01	18.81	17.7
<b>VIDA ÚTIL [años]</b>	25	25	25
<b>DIMENSIONES [mm]</b>	1956 x 992 x 40	1956 x 992 x 40	1960 x 992 x 40
<b>PESO [kg]</b>	22.8	22.8	22
<b>COSTO EN DÓLARES</b>	\$103.95	\$129.50	\$120.75

<b>MODELO</b>	<b>YL365D-36B</b>	<b>YL330P12B-35B</b>	<b>JKM370M-72-V</b>	<b>JKM385M-72-V</b>
<b>MARCA</b>	Yingli Solar	Yingli Solar	Jinko Solar	Jinko Solar
<b>TIPO DE CELDA</b>	Monocristalina	Policristalina	Monocrsitalina	Monocristalina
<b>POTENCIA MÁX [W]</b>	365	330	370	385
<b>EFICIENCIA [%]</b>	18.8	17.0	19.07	19.58
<b>VIDA ÚTIL [años]</b>	25	25	25	25
<b>DIMENSIONES [mm]</b>	1960 x 992 x 40	1960 x 992 x 40	1956 x 992 x 40	1956 x 992 x 40
<b>PESO [kg]</b>	22	22	22.5	22.5
<b>COSTO EN DÓLARES</b>	\$146.00	\$108.90	\$159.10	\$179.03

Tabla 2.1. Comparativa de distintos paneles solares.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de cada proveedor.

Los datos que se observan en la Tabla 2.1 marcan tendencias importantes. Una de ellas es que, en la actualidad, el mercado está ampliamente dominado por celdas de silicio ya sea policristalina o monocristalina. Ambientalmente no es una buena noticia debido a que el silicio no se degrada con facilidad, sin embargo, se espera que esto cambie paulatinamente en los próximos años.

De igual manera, se nota que la tecnología ha desarrollado módulos con una vida útil estándar de 25 años de potencia lineal, es decir, los fabricantes garantizan que sus productos tendrán una potencia que disminuirá linealmente hasta alcanzar el 80% en ese periodo de tiempo (ver gráfico 2.1); posterior a ello se prevén caídas más pronunciadas en su rendimiento. Esto marca un avance en el ramo, no solo en lo que se traduce en tiempo de producción de energía, sino también brinda un mejor panorama para aprovechar por más tiempo dichos materiales antes de ser desechados.

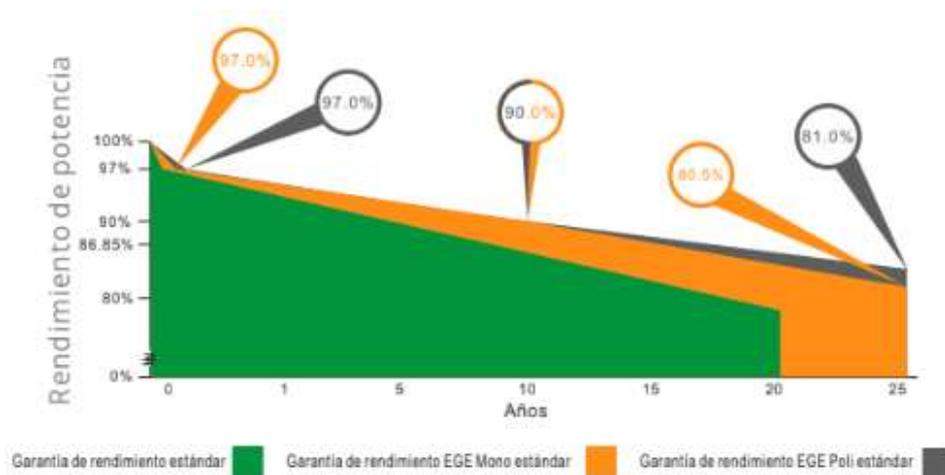


Gráfico 2.1. Garantía de rendimiento lineal del módulo FV EGE-330P-72.

*Fuente: Eco Green Energy, 2018.*

Las dimensiones actuales de los paneles más solicitados también se han convertido en una tendencia que cumplen la mayoría de los fabricantes. Para fines del proyecto, esta homologación de medidas ayuda a identificar un posible modelo a seleccionar de acuerdo con el espacio disponible en los vehículos. Las dimensiones que se presentan en los paneles de la tabla superan por poco, 30 [cm] aproximadamente, la longitud que se puede encontrar en toldos sedanes, pero la dimensión transversal es adecuada para los mismos fines.

Los datos de potencias y eficiencias entregadas tienen una tendencia lineal: conforme la eficiencia aumenta, la potencia también lo hace. Esta tendencia puede ser observada en los gráficos 2.2 y 2.3 donde, al compararlos, notamos que son las mismas gráficas visualmente hablando. Lo anterior podría ser un indicador de que el avance en la tecnología solar comercial se está centrando en una sola configuración general predeterminada y a ella se le hacen mejoras de eficiencia, mas no en buscar más materiales o sistemas diferentes que entreguen más potencia.



Gráfico 2.2. Potencias máximas entregadas de cada modelo de panel solar.  
Fuente: *Elaboración propia.*



Gráfico 2.3. Eficiencias alcanzadas en cada modelo de panel solar.  
Fuente: *Elaboración propia.*

Finalmente se tiene el tema de costos. En el gráfico 2.4 se puede ver que el módulo Jinko de 385 [W] es el más costoso, mientras que el Eco Green de 330 [W] es el de menor precio. Eso resulta lógico dadas las potencias que entrega cada panel, a pesar de ello, en este tema juega un papel importante las empresas y marcas fabricantes. Un fabricante puede ser más caro que otro basándose en que sus materiales son mejores bajo ciertos criterios, en el diseño o hasta en el renombre mismo de su marca. Ejemplo de ello se ve al comparar los

paneles Eco Green de 370 [W] y el Jinko de 370 [W]: se entrega la misma potencia, sus eficiencias no difieren por mucho, pero el costo del panel Jinko es casi 20% mayor que el Eco Green.



Gráfico 2.4. Costos unitarios por cada modelo de panel solar.

*Fuente: Elaboración propia.*

Con la información analizada, se concluye que el panel más adecuado para el proyecto es el EGE-370M-72, dado que involucra las siguientes características:

- La potencia que entrega es la segunda más alta de los módulos estudiados, es decir, 370 [W].
- El costo por unidad de este modelo es el valor medio; \$129.50 dólares.
- Tiene la tercera mejor eficiencia con 18.81%.
- Sus dimensiones son las mismas que los modelos en comparativa.
- El peso es el único inconveniente dado que es mayor que el resto de los paneles. A pesar de esta situación, solo se habla de una diferencia menor a un kilogramo, por lo que no es mucho el impacto negativo para la toma de decisión.

Cabe destacar que la obtención de costos y algunas otras características técnicas de los módulos está muy limitada para investigadores y público en general. Es necesario ser proyectista o implementador para poder hacer uso de esta información. Esto podría ocasionar limitantes en la expansión del mercado de paneles solares y, sobre todo, representó una limitante importante en el desarrollo de este trabajo.

## 2.2 Energía consumida en un vehículo sedán

La energía de un vehículo la podemos dividir en dos grandes secciones. Por un lado, aquella energía requerida para que el vehículo avance y, por el otro, la energía consumida por los accesorios comunes en un automóvil. A continuación, se desarrolla el cálculo y obtención de cada uno de estos apartados.

### 2.2.1 Energía requerida para el movimiento

La energía requerida para mover un vehículo está en función de las fuerzas de restricción presentes y de la velocidad del vehículo (Salazar, 2016). Las fuerzas que se consideran en el cálculo de la potencia son la fuerza por pendiente ( $F_p$ ), por fricción o rodadura ( $F_f$ ), por efectos aerodinámicos ( $F_a$ ) y la fuerza de tracción ( $F_t$ ). Todas las fuerzas antes mencionadas generan resistencia al movimiento salvo la fuerza de tracción, por lo que, la segunda ley de Newton ( $\Sigma F = ma$ ) quedaría expresada como:

$$F_t - F_p - F_f - F_a = ma \dots (\text{Ec. 2.1})$$

$$F_t = F_p + F_f + F_a + ma \dots (\text{Ec. 2.2})$$

Por otro lado, la potencia que se requiere para mover el vehículo está dada por:

$$\dot{W} = F_t V \dots (\text{Ec. 2.3})$$

Así, juntando la Ecuación 2.2 y 2.3, tenemos:

$$\dot{W} = (F_p + F_f + F_a + ma) V \dots (\text{Ec. 2.4})$$

- Fuerza por pendiente

Cuando un vehículo se enfrenta a una pendiente de ángulo  $\theta$ , el motor debe hacer un esfuerzo adicional para poder superar la fuerza de gravedad que ejerce la posición en la que se encuentra el vehículo debido a su peso  $W$ . De esta manera, la fuerza por pendiente se determina por la siguiente expresión.

$$F_p = W \text{sen} \theta \dots (\text{Ec. 2.5})$$

- Fuerza por rodadura

Esta fuerza está relacionada con el efecto resistivo debido a la deformación existente entre la llanta y la superficie de apoyo, es decir, se vincula directamente con la fricción y, por lo tanto, requiere de un coeficiente que involucre las dos superficies de contacto. A este coeficiente se le llamará coeficiente de rodadura ( $C_r$ ).

$$F_f = C_r W \cos\theta \dots (\text{Ec. 2.6})$$

En la siguiente tabla se muestran algunos coeficientes de rodadura para diferentes superficies y neumáticos de automóvil.

Coeficiente $C_r$	Superficies de contacto
0.01 a 0.0154	Neumáticos sobre hormigón
0.02	Neumáticos sobre losas de piedra
0.03 a 0.035	Neumáticos sobre alquitrán o asfalto
0.055 a 0.065	Neumáticos sobre hierba, barro y arena

Tabla 2.2. Coeficientes de rodadura para neumáticos de automóvil.

*Fuente: Salazar Edgar, 2016.*

- Fuerza por efectos aerodinámicos

Es la fuerza del viento que se opone al movimiento del vehículo. Depende de la geometría del cuerpo, en específico su sección transversal  $S$ , el coeficiente de penetración correspondiente  $K_a$ , la densidad del aire del lugar  $\rho$  y de la velocidad del viento  $V_a$ .

$$F_a = \frac{1}{2} \rho S K_a V_a^2 \dots (\text{Ec. 2.7})$$

- Ecuación de la potencia total requerida para el movimiento del vehículo

Definidas todas fuerzas de restricción y sustituyéndolas en la Ecuación 2.4, la potencia requerida para el movimiento del vehículo quedará determinada por:

$$\dot{W} = (W \sin\theta + C_r W \cos\theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V_a^2 + ma) V \dots (\text{Ec. 2.8})$$

El peso  $W$  del vehículo varía de acuerdo con cada tipo, marca, modelo, versión, así como de una amplia gama de factores y adaptaciones hechas al mismo. Por ello, y para poder

brindarle un solo valor de masa a nuestra expresión 2.8, se optó por tomar como referencia la masa de un Aveo, modelo 2016 y paquete E con transmisión automática.

El Aveo, de la marca Chevrolet, es uno de los automóviles que más se ha vendido en los últimos años. Incluso, en 2019, se colocó en el segundo puesto de ventas con 62,922 unidades (Sánchez, 2020), convirtiéndolo así en un vehículo sedán característico en el país. También se opta por seleccionar un modelo actual, del 2010 en adelante, ya que el parque vehicular en la Ciudad de México ha sufrido una actualización importante derivada, principalmente, por las reglas recientes de circulación estipuladas en el Programa de Verificación Vehicular (SEDEMA, 2020).

En la información técnica, dentro del manual del automóvil anteriormente mencionado, se encuentra, como dato, 1,577 [kg] de peso bruto del vehículo (PBV o GVWR, por sus siglas en inglés). El PBV es la masa máxima admisible  $m$  que el vehículo puede llevar e incluye la masa de la carrocería, los pasajeros y la carga. Dado que el PBV en realidad nos da masa, para obtener el peso es necesario multiplicar por la constante de la gravedad, en este caso considerada como  $9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ . Así, el valor de  $W$  será considerado de  $15,470.37 \text{ [N]}$ .

El coeficiente de rodadura se toma como 0.03, valor que pertenece a neumáticos sobre asfalto (véase tabla 2.2), ya que este material es el predominante en las vialidades de la Ciudad de México.

Para definir el coeficiente de penetración aerodinámico y la sección transversal del vehículo se utilizó el método de volúmenes finitos desarrollado por Latacunga (Latacunga, 2016). Los resultados que él obtuvo para un vehículo Aveo fueron de 0.555 para el  $K_a$  y de  $1.818 \text{ [m}^2\text{]}$  para  $S$ .

La velocidad del aire de la Ciudad de México varía de 6.4 a 8.6 [km/h] (Weather Spark, 2020). Para efectos del cálculo se decidió utilizar el promedio de ambas cifras, es decir,  $2.083 \text{ [m/s]}$ .

En el caso del cálculo de la densidad del aire, se utilizó una herramienta diseñada por el Centro Nacional de Metrología donde, con los datos de temperatura, presión y humedad relativa del lugar de estudio, es posible obtener la densidad de su aire (CENAM, 2008). Así, tomando en cuenta la temperatura promedio de  $16 \text{ [}^\circ\text{C]}$  de la Ciudad de México según datos del sitio Cuéntame (INEGI, s.f.), una presión atmosférica de  $76,418 \text{ [Pa]}$  obtenidos del promedio de datos de la base del portal de Calidad del Aire de la Ciudad de México (Calidad del aire, 2020), una humedad relativa de 57% (Weather Atlas, 2020) e incertidumbres de  $15 \text{ [}^\circ\text{C]}$ ,  $300 \text{ [Pa]}$  y 15%, la densidad del aire presente en la capital del país es de  $0.916 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ .

Los ángulos  $\theta$  a utilizar serán definidos como las pendientes que el vehículo tienen que sortear durante un trayecto cualquiera. Frecuentemente, cuando se habla de pendientes, se utiliza un porcentaje en vez de un ángulo. De esta manera, la pendiente es el cociente entre la variación vertical y horizontal multiplicado por 100, por lo que 0% representa  $0^\circ$  mientras que el 100% serán  $45^\circ$  de pendiente. De acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas de Lima (Chávez, 2005), las pendientes máximas a considerar en una vía no sobrepasan el 10%, sin embargo, no siempre se respeta esta reglamentación, por lo que Salazar propone utilizar rangos de  $0^\circ$  a  $10^\circ$  para la Ecuación 2.8.

La aceleración máxima se especifica en el manual del vehículo indicando que tarda 12.20 [s] para llegar de 0 a 100 [km/h]. Realizando la conversión y división necesaria, la aceleración máxima alcanzada por el vehículo es de 2.277 [m/s<sup>2</sup>].

De igual manera, la velocidad máxima alcanzada por el automóvil se especifica en su propio manual de usuario, dando como dato 171 [km/h], lo que se traduce a 47.5 [m/s].

- Resultados obtenidos de la ecuación de potencia

Dado que existen muchos valores que pueden variar de acuerdo con las condiciones propias de la conducción del vehículo, las climatológicas, la carga, la zona donde se transita, entre otras, la potencia puede arrojar varios resultados. Por tal motivo, se optó por fijar algunas variables como masa y peso del vehículo, densidad del aire, los coeficientes de rodadura y penetración aerodinámica, así como la sección transversal del vehículo definidas anteriormente.

En esta primera sección de resultados (Véase Gráfico 2.5), los datos de pendiente varían de  $0^\circ$  a  $10^\circ$ , mientras que los demás valores permanecen constantes. Para el caso de la velocidad del vehículo, se utilizó la velocidad media de la Ciudad de México, 14 [km/h] (El Universal, 2019), equivalente a 3.889 [m/s]; misma que permanecerá constante, por lo que el valor de la aceleración es cero.

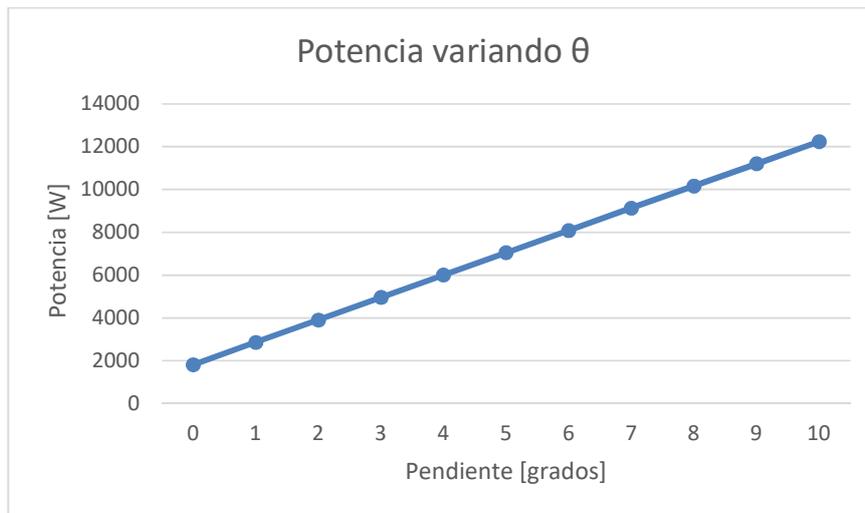


Gráfico 2.5. Potencia obtenida al variar ángulo de pendiente.  
Fuente: *Elaboración propia.*

La segunda serie de resultados obtenidos se pueden observar en el Gráfico 2.6. Los valores de potencia resultantes se generaron a partir del mismo promedio de velocidad en la Ciudad de México y una pendiente de  $0^\circ$ . Se toma una pendiente nula debido a que en la ciudad se encuentran pendientes tanto positivas como negativas, pendientes que generan un esfuerzo adicional y otras que reducen dicho esfuerzo, por lo que se considera que ambas se anulan. Los valores de aceleración van de cero a la máxima registrada por el manual del vehículo.

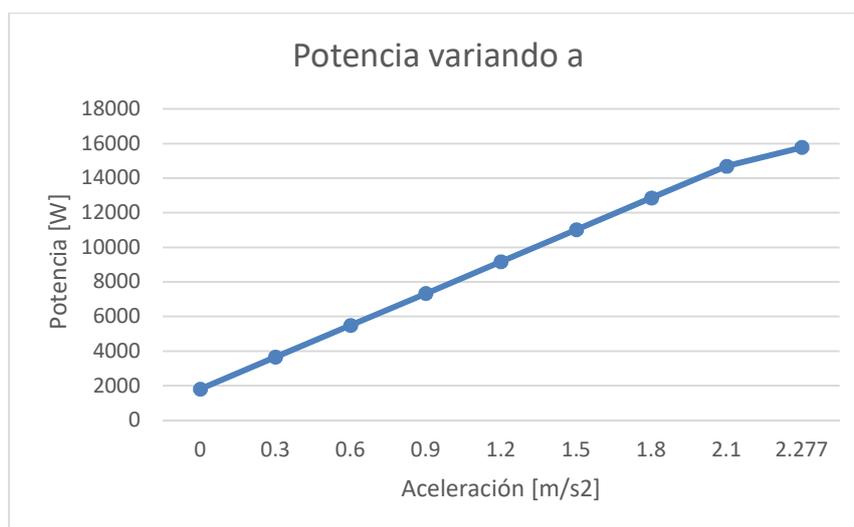


Gráfico 2.6. Potencia obtenida al variar aceleración del vehículo.  
Fuente: *Elaboración propia.*

El Gráfico 2.7 muestra el comportamiento de la potencia del vehículo cuando varía su velocidad, con valores que van de los 14 km/h a la máxima que se registra en el manual del vehículo. Los valores de aceleración y pendientes permanecieron constantes e igual a cero.

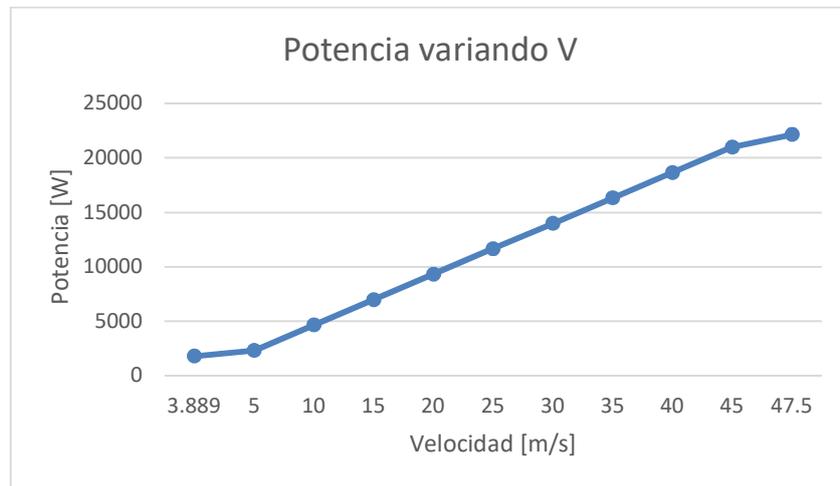


Gráfico 2.7. Potencia obtenida al variar velocidad del vehículo.  
Fuente: Elaboración propia.

También fue posible obtener el valor de la potencia máxima que requeriría el automóvil en condiciones extremas ( $\dot{W}_{m\acute{a}x}$ ), es decir, utilizando los valores de velocidad, pendiente y aceleración máximas ( $V=47.5$  [m/s],  $\theta=10^\circ$ ,  $a= 2.277$  [m/s<sup>2</sup>]). La potencia con dichos valores es de 319,974.05 [W]. Si bien es un valor válido ya que los datos de la ecuación son correctos, dicha potencia no es representativa debido a que difícilmente se presentarán todas las condiciones máximas juntas. Incluso se puede observar que el rango del valor máximo está muy por arriba de los valores obtenidos en las gráficas anteriormente mostradas. Así, se opta por descartar la potencia máxima para cálculos posteriores.

Retomando nuevamente los resultados obtenidos de las Gráficas 2.5 a 2.7, es posible rescatar el valor de potencia de 1,812.726 [W]. Este valor se repite en cada una de las gráficas debido a que es el obtenido cuando la pendiente y aceleración es nula y la velocidad corresponde a la media de la Ciudad de México, es decir, bajo condiciones que podrían llamarse ideales. Por ello, se decidió llamar potencia ideal ( $P_i$ ) a este valor. Al igual que la potencia máxima obtenida, este valor no es representativo en condiciones normales de conducción, sin embargo, puede ser un dato muy útil si se desea crear un prototipo de lo desarrollado en esta tesis.

Un caso más cercano a la realidad y, por ende, más representativo es el de utilizar una velocidad y aceleración media del vehículo ( $V=23.75$  [m/s],  $a= 1.1385$  [m/s<sup>2</sup>]). Con estos valores promedio más la misma consideración de una pendiente cero, la potencia media ( $P_m$ ) da como resultado  $53,711.35$  [W].

Por último, el propio manual del vehículo define la potencia máxima del motor ( $P_{max}$ ) como  $76$  [kW]. Si bien no se indica más información sobre este valor ni de cómo se obtuvo, se demuestra que se está en lo correcto en descartar la primera potencia máxima obtenida con la Ecuación 2.8,  $W_{máx}$ , ya que ni las mismas especificaciones técnicas consideran una potencia tan grande para la propulsión del vehículo.

### 2.2.2 Energía requerida para el funcionamiento de los accesorios

Si bien la energía que consume el motor para poder mover el vehículo representa la gran mayoría del gasto energético, los sistemas eléctricos auxiliares también representan una carga a considerar. Según información del Departamento de Energía y la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos, dichas cargas solo representan menos del 5% de la energía total que consume un vehículo a gasolina. Sin embargo, considerando el poco aporte energético que nos brinda un solo panel solar, resulta relevante obtener la carga derivada de los accesorios para conocer si el panel cumpliría en su totalidad dicha carga.

Los accesorios que se tomaron en cuenta para el cálculo total de los sistemas eléctricos auxiliares fueron todas las luces y faros presentes en el vehículo, el estéreo considerando las bocinas, el claxon, aire acondicionado, vidrios eléctricos, limpiaparabrisas y el ventilador que se utiliza para el sistema de refrigeración.

Una vez investigada la carga de cada uno de los accesorios mencionados en el párrafo anterior, se dio paso a la obtención del consumo. Dicho consumo individual de cada accesorio tuvo como base un viaje promedio de dos horas por día, que es el tiempo promedio de uso diario del vehículo según la Encuesta Origen-Destino 2017 del INEGI. De esta manera, se hicieron suposiciones del uso de cada accesorio, en horas, siendo dos horas el tiempo máximo a considerar. El resultado final de este proceso se puede observar en la Tabla 2.3.

Accesorio	Potencia [W]	Cantidad	Tiempo de uso por día [h]	Consumo total [W*h]	Tiempo en minutos
Faro (bajo)	55	2	1.00	110.00	60
Luz lateral delantera	28	2	1.00	56.00	60
Luz de niebla	55	2	0.00	0.00	0
Luz direccional	21	2	0.08	3.50	5
Luz trasera	21	2	1.00	42.00	60
Luz de reversa	16	2	0.03	1.07	2
Luz de placa	5	2	1.00	10.00	60
Luz de frenado	21	4	0.50	42.00	30
Luz interior de domo	10	1	0.02	0.17	1
Estéreo (Bocinas)	20	4	2.00	160.00	120
A/C (compresor)	5220	1	0.16	835.20	10
Claxon	42	1	0.03	1.26	2
Ventilador	32.4	1	1.00	32.40	60
Limpiaparabrisas (motor)	72	1	0.16	11.52	10
Vidrios eléctricos (motor)	72	4	0.02	5.76	1
<b>TOTAL</b>				<b>5690.4</b>	<b>1310.87</b>

Tabla 2.3. Consumo de energía de los sistemas eléctricos auxiliares.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El dimensionamiento fotovoltaico nos da un panorama de la cantidad de energía solar que se requiere para satisfacer un sistema basándose en las cargas y el consumo de energía. La metodología que se utilizó estima la cantidad de paneles solares a usar, número de baterías, así como la potencia del inversor. Este último punto no se desarrolló debido a que, en un vehículo, sus cargas consideran una corriente directa, por lo que el inversor no tiene la función que sí proporciona en una aplicación que se conecta a la red eléctrica: transformar corriente directa a corriente alterna.

La metodología que a continuación se describe fue utilizada por la M.I. Beatriz Olivera Villa en el curso de Introducción a las Energías Renovables del plan de estudios de la Maestría en Ingeniería en Energía de la UNAM, y por Miguel Alonso Abella del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) de España, entre otros investigadores para sus proyectos de dimensionamiento fotovoltaico.

Al igual que se realizó en el capítulo 2.2, se ha decidido dividir en dos partes el proceso de dimensionamiento. En la primera parte el dimensionamiento fotovoltaico se concentrará solo en el movimiento del vehículo, esto con respecto a los datos de carga que se obtuvieron en el tema anterior. Posteriormente, la segunda parte, desarrolla el dimensionamiento considerando solo los sistemas eléctricos auxiliares.

#### 2.3.1 Dimensionamiento fotovoltaico para el movimiento del vehículo

El primer paso para el dimensionamiento fotovoltaico es obtener el consumo total de energía del sistema, en este caso la energía que se requiere para mover el vehículo sedán. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_b} + \frac{E_{AC}}{\eta_i \eta_b} \dots \text{(Ec. 2.9)}$$

Donde  $E_T$  representa el consumo total de energía,  $E_{DC}$  el consumo por corriente directa,  $E_{AC}$  el consumo por corriente alterna,  $\eta_b$  la eficiencia de la batería y  $\eta_i$  la eficiencia del inversor.

Como se habló al principio del subcapítulo, el sistema del vehículo solo considera energía por corriente directa y no se toma en cuenta la participación de un inversor. Estas consideraciones hacen que la ecuación 2.9 quede de la siguiente manera:

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_b} \dots \text{(Ec. 2.10)}$$

Además, se cuentan con tres casos iniciales de acuerdo con lo visto en la sección 2.2.1, por lo que se tendrán tres valores de dimensionamiento distintos. Estos casos son:

Caso 1: Potencia ideal	$P_i = 1812.73 \text{ [W]}$
Caso 2: Potencia media	$P_m = 53711.35 \text{ [W]}$
Caso 3: Potencia máxima	$P_{\text{máx}} = 76000 \text{ [W]}$

Para obtener consumos de energía, es imperante multiplicar las potencias por un valor de tiempo. Como se vio en la sección 2.2.2, el promedio de uso diario de un vehículo en la Ciudad de México es de dos horas por ello, las potencias de los tres casos se multiplicaron por dos.

Caso 1: Potencia ideal	$E_{DC} = 3625.45 \text{ [Wh]}$
Caso 2: Potencia media	$E_{DC} = 107422.70 \text{ [Wh]}$
Caso 3: Potencia máxima	$E_{DC} = 152000 \text{ [Wh]}$

La eficiencia de la mayoría de las baterías nuevas es de 95%, así que el consumo total de cada caso es:

Caso 1: Potencia ideal	$E_T = 3816.26 \text{ [Wh]}$
Caso 2: Potencia media	$E_T = 113076.53 \text{ [Wh]}$
Caso 3: Potencia máxima	$E_T = 160000 \text{ [Wh]}$

Teniendo los consumos totales, la siguiente tarea es obtener el número de paneles solares necesarios para satisfacer cada uno de los casos de estudios. El número de paneles solares  $N_T$  se define con ayuda del consumo total  $E_T$ , la potencia pico del módulo  $P_p$ , la radiación del lugar  $G_B$  y el factor global de pérdidas  $P_G$ .

$$N_T = \frac{E_T}{P_p G_B P_G} \dots \text{ (Ec. 2.11)}$$

$P_p$  se toma de la ficha técnica del panel seleccionado en la sección 2.1, es decir, 370  $[\text{Wm}^2/\text{kW}]$ . El dato de 5.4  $[\text{kWh}/\text{m}^2\text{día}]$  de radiación de la Ciudad de México se obtiene del portal de Smartbitt México.

El factor global de pérdidas  $P_G$  contempla las pérdidas por conexión, dispersión de parámetros, al punto de trabajo del sistema y la disminución de potencia entre la nominal y la real. Es igual a la unidad menos las pérdidas del generador. Considerando que dichas pérdidas del generador son de al menos el 25% (Alonso, 2005), el  $P_G$  que se considera es del 75%.

Así, el número de paneles por cada caso de estudio resultó:

Caso 1: Potencia ideal	$N_T = 3$
Caso 2: Potencia media	$N_T = 76$
Caso 3: Potencia máxima	$N_T = 107$

Al tener espacio en el toldo del vehículo solo para un panel solar, se decidió tomar en consideración dos casos más de análisis. Uno de ellos, el caso 4, se realizó para tener una perspectiva del porcentaje de energía que satisface un solo panel EGE-370M-72 en cada uno de los primeros tres casos. Para ello se realizó el despeje del consumo total de la Ecuación 2.11, ahora llamado  $E_1$  para poder diferenciar, y se comparó con el consumo de los tres casos iniciales de potencia.

$$E_1 = N_T P_p G_B P_G \dots \text{(Ec. 2.12)}$$

$$\text{Aporte} = \frac{E_1}{E_T} (100) \dots \text{(Ec. 2.13)}$$

De esta manera, el aporte energético que nos brinda un solo panel Eco Green es:

- Para caso 1: 39.27%
- Para caso 2: 1.33%
- Para caso 3: 0.94%

El segundo análisis adicional, caso 5, ofrece un panorama de la cantidad de energía que necesitaría aportar un solo panel para poder satisfacer la demanda de cada uno de los tres casos iniciales de potencia, considerando las mismas dimensiones que el panel Eco Green. Es decir, se da la potencia pico que requeriría un panel solar para poder mover el vehículo en los casos ideal, media y máxima, por lo que se requirió realizar el despeje oportuno en la Ecuación 2.11.

$$P_p = \frac{E_T}{N_T G_B P_G} \dots \text{(Ec. 2.13)}$$

Generando los siguientes resultados:

- Para caso 1: 943 [W]
- Para caso 2: 27921 [W]
- Para caso 3: 39507 [W]

### 2.3.2 Dimensionamiento fotovoltaico para el funcionamiento de los accesorios

Al igual que en el apartado 2.3.1, lo primero fue encontrar el consumo total asociado a la eficiencia de la batería, por lo que de nuevo se utiliza la Ecuación 2.10, una eficiencia de batería del 95% y el consumo resultante de la suma de los accesorios (Véase Tabla 2.3). Es así como se obtiene un consumo total  $E_T$  de 1379.87 [Wh].

Con este consumo, se recurre a la Ecuación 2.11 para conocer el número de paneles que se requiere utilizar, dando como resultado que se necesita de un solo panel para satisfacer la demanda energética producto de los accesorios eléctricos.

El siguiente paso para dimensionar el sistema fotovoltaico es el tema de la batería. Primero es necesario conocer la capacidad de dicha batería  $C_{n1}$ , por lo que se usará la siguiente ecuación:

$$C_{n1} = \frac{E_T N_{da}}{P_{Dmax}} \dots \text{(Ec. 2.14)}$$

Donde  $N_{da}$  se define como el número de días de autonomía que se desea en el sistema y  $P_{Dmáx}$  es la máxima profundidad de descarga que representa el porcentaje de la capacidad total de la batería que se usa durante un ciclo de carga o un ciclo descarga.

Para los cálculos se decidió utilizar medio día de autonomía, ya que es el tiempo aproximado en que el sol se oculta y deja de aportar energía al sistema. Todo ello considerando que la otra mitad del día puede seguir cargando la batería y, si es necesario salir de noche, el auto tenga la posibilidad de usar sus sistemas eléctricos auxiliares.

La máxima profundidad de descarga oscila entre el 60% y 80%, esto según la empresa SunFields, así que para fines prácticos se optó por utilizar el valor medio de 70%.

Con los valores mencionados en los párrafos anteriores, la capacidad requerida de la batería es de 985.62 [Wh]. Sin embargo, al hablar de baterías es más útil el valor de la capacidad en amperios hora, por lo que es necesario utilizar una segunda expresión que considere el voltaje de la batería  $V_b$  para hacer el cambio de unidades.

$$C_{n2} = \frac{C_{n1}}{V_b} \dots \text{(Ec. 2.15)}$$

La empresa Sol Energy informa que se debe usar una batería de 12 [V] cuando se tiene presente una potencia menor a los 1000 [W], situación en la que entra el sistema que se

desarrolla en esta tesis ya que el mismo panel a utilizar proporciona 370 [W]. Además, este dato de 12 [V] coincide con lo que se puede encontrar en las baterías comunes de un automóvil sedán de combustión interna.

De esta manera, la capacidad de la batería es de 82.13 [Ah].

Por último, utilizando la capacidad de la batería  $C_{n2}$  y la capacidad de la batería comercial de elección, es posible saber el número de acumuladores que se necesitarán para el sistema.

$$N_b = \frac{C_{n2}}{C_b} \dots \text{(Ec. 2.16)}$$

La batería comercial elegida para el sistema es L-31T/S-190M de LTH. La marca LTH es una de las marcas más usadas en vehículos de combustión y la batería L-31T/S posee ciclado profundo, es para aplicaciones solares, es de 12 [V] y tiene un costo de \$3,588 MXN, costo no tan elevado comparado con otros modelos con especificaciones similares. Este acumulador tiene una capacidad de 115 [Ah] de acuerdo con las características proporcionadas en el sitio de venta consultado (Mercado Libre, 2020).

Así, el número de baterías que se requerirían para el desarrollo del proyecto sería tan solo de una unidad.

Un caso final que se analizó fue la capacidad máxima de autonomía que podría tener la batería bajo las mismas condiciones de uso, para lo cual se homologaron las Ecuaciones 2.14, 2.15 y 2.16 para obtener la siguiente expresión:

$$N_b = \frac{E_T N_{da}}{C_b V_b P_{Dmax}} \dots \text{(Ec. 2.17)}$$

Para posteriormente despejar la variable  $N_{da}$ .

$$N_{da} = \frac{N_b C_b V_b P_{Dmax}}{E_T} \dots \text{(Ec. 2.18)}$$

La Ecuación 2.18 da como resultado 0.7 días, lo que nos dice que el sistema será capaz de ser autónomo durante 16.8 horas.

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS AMBIENTAL

### 3.1 Ciclo de vida del sistema

El análisis del ciclo de vida, ACV o LCA por sus siglas en inglés, es un estudio del impacto ambiental potencial durante la vida de un producto o servicio, desde la adquisición de sus insumos hasta su producción, uso y su disposición al final de su vida útil. El análisis consiste en tres conceptos complementarios: inventario, impacto y mejora. El proceso de LCA se apoya en la ingeniería para definir un balance de energía y materiales de cada proceso relevante, contabilizando la entrada de material y energía, las salidas deseadas y las no deseadas; estas últimas serán las repercusiones al medio ambiente (Hendrickson et al., 2006).

Para generar el diagrama que muestre el ciclo de vida de un panel solar en conjunto con un vehículo en el cual será posicionado, es necesario considerar el origen de las materias primas, la fabricación de los equipos y partes que involucran ambos sistemas, la instalación del panel, sus etapas de funcionamiento, el mantenimiento del vehículo y la disposición de ambos conceptos. Con estos principios, la representación gráfica del ciclo se muestra en la figura 3.1.

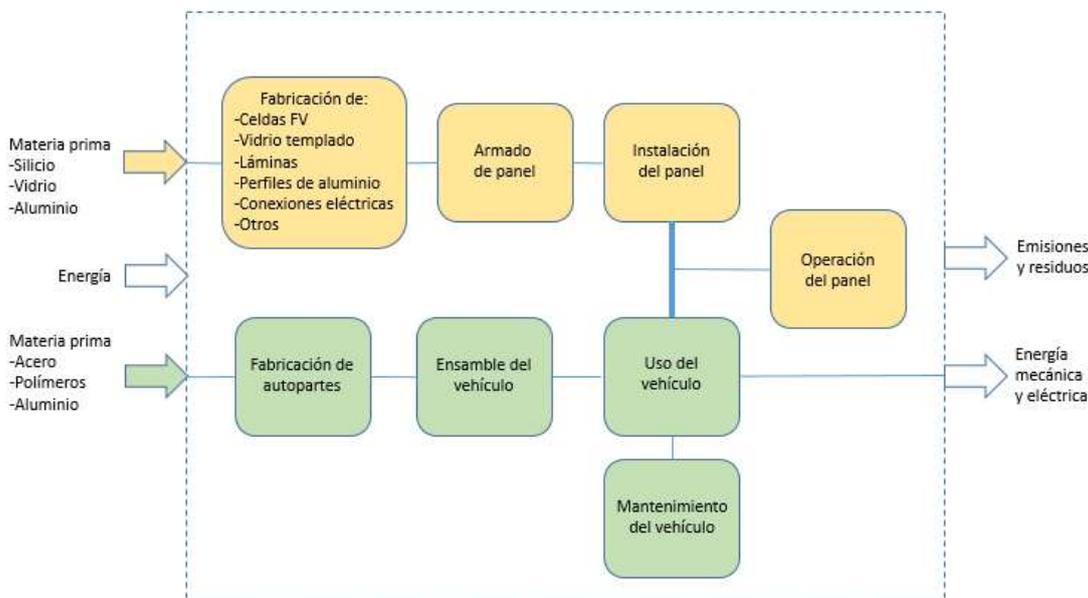


Figura 3.1. Modelo del ciclo de vida del sistema panel FV-vehículo.

Fuente: *Elaboración propia.*

En la actualidad, el mercado de paneles solares está ampliamente gobernado por celdas de silicio ya que es el material que ha dado mejores resultados actuales en eficiencia-costo, además de que el silicio es un material muy abundante haciendo que sea relativamente fácil la obtención de la materia prima y dándole un cierto grado de sustentabilidad. Si bien se han desarrollado nuevos proyectos que involucran nuevos materiales como las celdas de perovskite o las celdas orgánicas, estas se encuentran en procesos de prueba de laboratorio, presentan costos muy elevados o no poseen una eficiencia óptima para su comercialización (NREL, 2018).

El silicio común no es adecuado para su uso en celdas, por lo que es necesario la obtención de silicio de grado solar. Existen muchos procesos para lograr un silicio solar, muchos dependen del tipo de celda y condiciones que tendrá que cumplir. Un ejemplo de este tipo de procesos es el utilizado por la *Union Carbide Corporation* que consiste en la hidrogenación del silicio a 500 [°C] y 3.5 [MPa] con un catalizador y una serie de destilaciones que eliminan las impurezas (Enríquez, 2008).

Además del silicio empleado en las celdas, el armado del panel involucra vidrio templado transparente, láminas de etileno-vinil acetato, láminas plásticas multicapas, perfiles de aluminio como enmarque y las conexiones eléctricas, todas ellas con especificaciones y tratamientos especiales para uso solar.

En el tema de instalación generalmente se requieren tres tipos de materiales (Mounting Systems, 2019):

- Aluminio (EN AW 5754) para soportes laterales y de sujeción.
- Aluminio extruido (EN AW 6063 T66) para perfiles de apoyo.
- Acero inoxidable (V2A) para piezas menores.

Durante el uso del panel, no se tiene más inventario salvo el necesario para su mantenimiento, es decir, la limpieza. Frecuentemente el fabricante brinda instrucciones para su mantenimiento e incluso opciones de líquidos especiales. Sin embargo, se suele recomendar de manera genérica el uso de agua potable no dura, jabón usualmente de lavavajillas, esponja, microfibra o franela suave. Por lo anterior, este proceso se considera el más sustentable de todo el ciclo de vida.

La disposición final es uno de los temas más discutidos de la energía solar. Al final de la vida útil de los paneles, que ronda los 25 años a un 80% de su eficiencia (IUSASOL, 2019), toneladas de desperdicios suelen ir a depósitos de basura en México sin previa gestión, teniendo un impacto ambiental muy considerable. Es aquí donde se debe trabajar más en el tema ambiental y sustentable. Actualmente, los planes básicos de reciclaje solo se enfocan

en el vidrio y aluminio mientras que el resto se desecha por la falta de rentabilidad en su reutilización. A pesar de ello, ya se cuenta con tecnologías innovadoras y en desarrollo en el mundo que permitirán reciclar más del 90% de un panel solar (Tahiri, 2014).

En el caso de un vehículo a gasolina o diésel, el inicio de su ciclo de vida viene también representado por los materiales a usar para sus autopartes. Dichos materiales son predominantemente componentes metálicos tal y como se muestra en el siguiente gráfico.

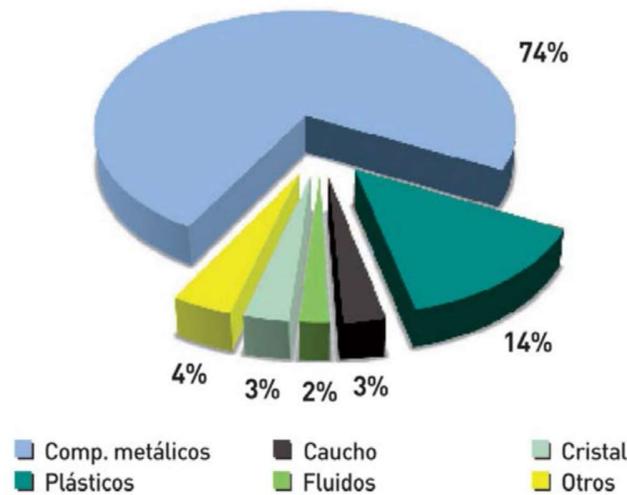


Gráfico 3.1. Porcentaje de elementos presentes en un vehículo de combustión interna.  
Fuente: Mas Alique, et.al., UCAV.

De esta manera, los elementos con más presencia de acuerdo con su peso son:

- Acero de baja aleación y de refuerzo con 807 [kg].
- Polietileno, HDPE y granulado con 134 [kg].
- Aleación de aluminio con 87 [kg].
- Polipropileno con 65 [kg].
- Vidrio con 38 [kg].
- Caucho sintético con 26 [kg].
- Polivinilo con 21 [kg].
- Etileno con 11 [kg].
- Plomo con 8 [kg].
- Cobre con 6 [kg].

En la fase de operación del vehículo se tienen las emisiones más considerables, principalmente CO<sub>2</sub>, resultado de la combustión de la fuente fósil. También existe presencia de CO, NO<sub>x</sub>, HC, Pb y SO<sub>2</sub>.

Para el bloque de mantenimiento del vehículo, sus especificaciones pueden ser muy variadas ya que depende de muchos factores: kilómetros recorridos, vialidades utilizadas, tipo de combustible utilizado, frecuencia de revisión de niveles, seguimiento de agendas de servicios, carga soportada por el vehículo, entre otras. Según Gonzalo Iglesias (Iglesias, 2017), una consideración aceptable sería considerar la sustitución del 20% de acero y chapa, 10% del aluminio y cinco cambios de llanta durante una suposición de vida útil del vehículo de 250,000 [km].

La disposición final se centra en la capacidad de reciclar la gran mayoría de elementos que componen un vehículo. Los materiales ferrosos suelen venderse como chatarra, como autopartes aún aprovechables o como material que posteriormente puede ir a fundición para rehacer otros elementos. Para los materiales secundarios, tenemos los procesos de reciclado de plásticos, incineración, el tratamiento de baterías y trituración.

Cabe mencionar que muchas empresas automotrices realizan, a partir de la década de los 90 y principios del 2000, sus análisis de ciclo de vida con el objetivo de mejorar sus diseños y productos. Ejemplo de ello tenemos a Ford, General Motors, Honda, Nissan, entre otros (Vivancos, 2003).

La unidad funcional a considerar en este proyecto serán los kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente generado por el vehículo durante un kilómetro de recorrido.

$$\frac{kgCO_2e}{km}$$

### *3.2 Ventajas ambientales del uso del sistema fotovoltaico*

El fin ambiental ideal del sistema fotovoltaico en el vehículo sedán sería que los paneles fueran la única fuente de energía para mover el automóvil y, con él, todos los accesorios eléctricos que lo contiene. Sin embargo, esto no es por el momento posible, quedando demostrado en el desarrollo técnico del capítulo 2. Por ellos, este trabajo solo toma en cuenta las ventajas y aportes que tendría el panel como suministrador de energía para los accesorios eléctricos.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos informa que, para vehículos de combustión interna, sólo del 12 al 30 % de la energía del combustible es utilizada para moverlo, dependiendo del ciclo de manejo. El resto de la energía del combustible se pierde en ineficiencias del motor o en el uso de accesorios.

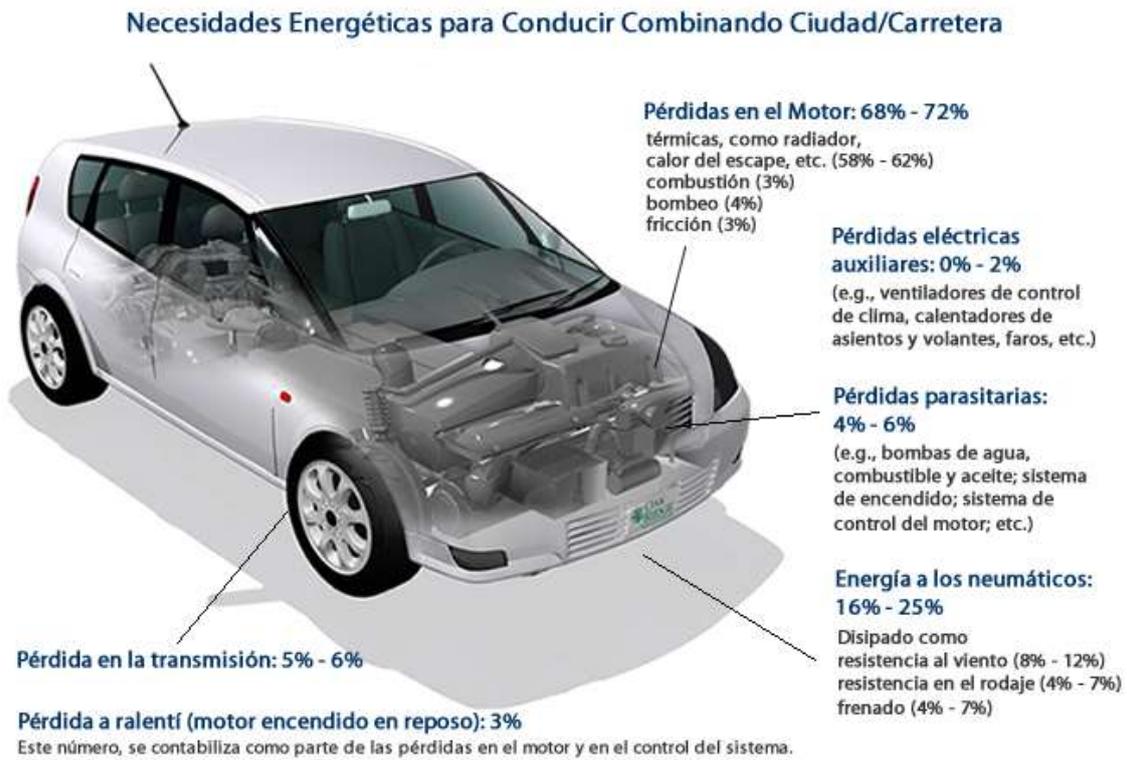


Figura 3.2. Necesidades energéticas de un vehículo con respecto a su combustible.  
 Fuente: Departamento de Energía de los Estados Unidos  
 (<https://www.fueleconomy.gov/feg/esatv.shtml>).

Los sistemas eléctricos auxiliares del vehículo representan el 2% del combustible utilizado en el vehículo, como se aprecia en la Figura 3.2. Esto quiere decir que, si el tanque del automóvil Aveo que se ha usado como base en el proyecto tiene una capacidad de 45 litros, 0.9 litros de gasolina son dedicados a los accesorios.

Si el panel Eco Energy satisface toda la demanda de los accesorios significa que se estaría dejando de usar casi un litro de gasolina por cada tanque de combustible lleno.

La principal ventaja ambiental del uso del sistema fotovoltaico es la reducción de emisiones provocadas por la combustión, por lo que, al ahorrar gasolina, se evita la emisión proporcional de la quema de dicho combustible.

Recordando lo mencionado en la sección 3.1, los gases de escape se conforman por diversos compuestos químicos que pueden o no dañar la salud o aportar al cambio climático. Para tener una idea general de cómo se conforman estos gases de escape, se presenta a continuación una gráfica con los porcentajes aproximados de sus componentes principales.

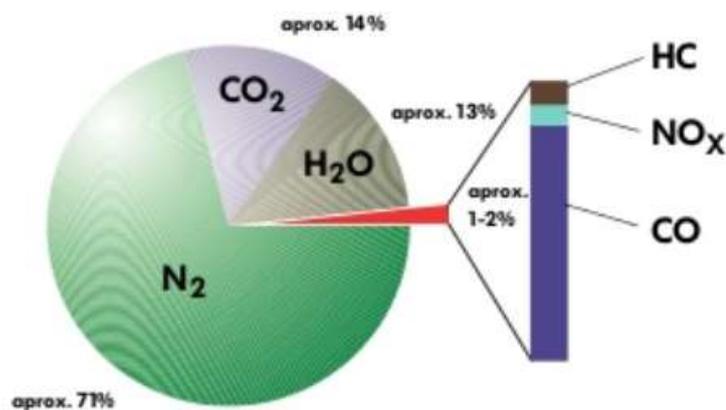


Gráfico 3.2. Composición de los gases de escape en motores de gasolina.  
Fuente: Programa autodidáctico 230 de Volkswagen, 2013.

Como se puede observar en el Gráfico 3.2, la mayoría de los compuestos presentes en los gases de escape corresponden al nitrógeno (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O) generalmente presente como vapor. En menor medida se encuentran los hidrocarburos (HC), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), este último en cantidades tan pequeñas que ya no se representó en el gráfico.

El nitrógeno y el vapor de agua no se consideran como emisiones contaminantes, por lo que dichos componentes quedaron fuera del análisis ambiental. De igual manera, el SO<sub>2</sub> no se tomó en cuenta debido a su poca presencia en la composición total de los gases de escape.

### 3.2.1 Emisiones de CO<sub>2</sub>

El compuesto contaminante con mayor presencia en la combustión de gasolinas es el dióxido de carbono. Si bien el CO<sub>2</sub> no es un gas que atente contra la salud, comparándolo con otros compuestos del análisis, sí tiene una participación importante en el efecto invernadero, contribuyendo seriamente en el calentamiento global (INECC, 2009).

A continuación, se muestra una tabla de los factores de emisión para las gasolinas presentes en el país. Dicha tabla fue generada por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) con el respaldo de la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT) y el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

Muestra	Densidad	Contenido de carbono	PCN	Contenido de carbono	Factores de emisión		
	kg/litro	% Peso	MJ/kg	kg C/GJ	kgCO <sub>2</sub> /TJ	kgCO <sub>2</sub> / kg comb.	kgCO <sub>2</sub> / l comb.
MAGNA RP VERACRUZ	0.740	86.21	42.72	20.18	73,943.26	3.159	2.338
MAGNA RP VILLAHERMOSA	0.740	86.13	42.83	20.11	73,684.91	3.156	2.334
MAGNA ZMVM	0.723	85.52	39.53	21.63	79,270.77	3.134	2.265
MAGNA RP LEÓN	0.742	86.22	42.45	20.31	74,422.20	3.159	2.344
MAGNA ZMG	0.742	86.07	42.47	20.27	74,257.74	3.154	2.341
MAGNA RP LAGOS DE MORENO	0.743	86.04	42.49	20.25	74,196.92	3.153	2.343
MAGNA ZMM 1	0.795	85.48	43.04	19.86	72,772.02	3.132	2.489
MAGNA ZMM 2	0.727	85.45	43.98	19.43	71,191.65	3.131	2.275
MAGNA RP TAMPICO	0.750	85.39	43.18	19.78	72,459.71	3.129	2.346
PREMIUM RP VERACRUZ	0.731	86.22	42.23	20.42	74,809.91	3.159	2.309
PREMIUM RP VILLAHERMOSA	0.738	86.14	42.02	20.50	75,114.02	3.156	2.329
PREMIUM ZMVM	0.729	83.41	40.89	20.40	74,743.46	3.056	2.229
PREMIUM RP LEON	0.730	86.16	42.24	20.40	74,740.15	3.157	2.304
PREMIUM ZMG 1	0.733	86.05	42.71	20.15	73,823.31	3.153	2.310
PREMIUM ZMG 2	0.736	86.09	42.85	20.09	73,616.32	3.154	2.321
PREMIUM ZMM 1	0.749	85.21	43.49	19.59	71,791.55	3.122	2.338
PREMIUM ZMM 2	0.735	85.18	43.65	19.51	71,503.22	3.121	2.295
PREMIUM RP TAMPICO	0.729	85.26	43.45	19.62	71,899.81	3.124	2.277
Promedio	0.739	75.72	42.57	20.14	73,791.164	3.139	2.322
Desviación estándar	0.016	0.58	1.03	0.50	1,844.661	0.025	0.053
Incertidumbre 95% Confianza	0.009	0.65	0.61	0.30	1,086.977	0.015	0.031
% Incertidumbre 95%Confianza	1.25	0.86	1.43	1.47	1.47	0.47	1.35
# Muestras % deseado incert.	2	1	2	2	2	1	2

Tabla 3.1. Factores de emisión e incertidumbre para gasolinas.

Fuente: INECC, 2014.

Gracias a la Tabla 3.1 se puede observar que no existe demasiada variación en los valores de las emisiones generadas por los distintos tipos de gasolinas que se comercializan en el país; oscilando de los 2.229 a los 2.489 [kg] de dióxido de carbono por cada litro de combustible, independientemente si se habla de gasolina Magna o Premium.

Así, utilizando el promedio nacional de 2.322 [kgCO<sub>2</sub>/l], la mitigación de emisiones que se logra en el sistema de estudio es de 2.09 [kgCO<sub>2</sub>] por cada tanque lleno de combustible. Lo que se traduce a 0.046 [kg] de CO<sub>2</sub> no emitidos por cada litro de gasolina utilizado.

Para sacar la relación de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido se consideró un rendimiento combinado (carretera y ciudad) de 15.77 [km/l] del Aveo 2016 automático (Eco Vehículos,

2020). Con ese dato, se obtiene el consumo de 0.063 litros por cada kilómetro recorrido. De esta manera, el Aveo emite 0.147 [kg] de CO<sub>2</sub> por cada kilómetro que avanza, pero al tener el panel que alimente a los accesorios, se dejarán de emitir 2.945 gramos de CO<sub>2</sub> por cada kilómetro recorrido. Este último resultado fue producto del factor de emisión de 0.046 [kgCO<sub>2</sub>/l] y el consumo de 0.063 [l/km].

### 3.2.2 Emisiones de NO<sub>x</sub>

Los óxidos de nitrógeno se forman gracias a las condiciones de alta temperatura y presión que se presentan en el motor. Son precursores de ozono, contribuyen al fenómeno de la lluvia ácida y su exposición prolongada puede incrementar las enfermedades respiratorias y disminuir las defensas contra infecciones respiratorias (INECC, 2009). Dentro de estos contaminantes se encuentra el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) que es un gas tóxico que impulsa la creación de ácidos y potencia los niveles de las PM 2.5, partículas de 2.5 micras de diámetro. (Chuet-Missé, 2017)

De acuerdo con datos proporcionados por el Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares (Eco Vehículos, 2020), las emisiones de NO<sub>x</sub> en un Aveo 2016 es de 50 [g] por cada 1000 [km] recorridos, es decir, 0.05 [g/km].

Para obtener las emisiones de óxidos de nitrógeno asociadas al uso de los servicios eléctricos auxiliares se utilizó el mismo porcentaje relacionado al consumo de gasolina: 2%. El dato resultante fue de 0.001 [gNO<sub>x</sub>/km]; cantidad que se dejaría de emitir a la atmósfera con el sistema fotovoltaico propuesto.

### 3.2.3 Emisiones de CO

El monóxido de carbono es un producto de la combustión incompleta y ocurre cuando el carbono en el combustible se oxida sólo parcialmente. El monóxido de carbono se adhiere con facilidad a la hemoglobina de la sangre y reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo ocasionando alteraciones en los sistemas nervioso y cardiovascular (INECC, 2009).

La Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México permite en los vehículos Aveo, modelo 2016, un CO presente de 0.02% del total de las emisiones que se registra en los Centros de Verificación. A su vez, el límite permitido de CO<sub>2</sub> es de 15.3%. Con estos porcentajes y el valor de los CO<sub>2</sub> emitidos por los accesorios por kilómetro recorrido, se calcula que el aporte de monóxido de carbono emitido por los accesorios por kilómetro recorrido es de 0.004 [g].

### 3.2.4 Emisiones de HC

Las emisiones de hidrocarburos resultan cuando no se quema completamente el combustible en el motor. Existe una gran variedad de hidrocarburos emitidos a la atmósfera y de ellos los de mayor interés, por sus impactos en la salud y el ambiente, son los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos compuestos son precursores del ozono y algunos de ellos, como el benceno, formaldehído y acetaldehído, tienen una alta toxicidad para el ser humano (INECC, 2009).

En general, se suele hacer un conteo de hidrocarburos por partículas por millón (ppm). Una de las instancias que más utiliza esta unidad son los verificentros. A pesar de ello, y para que el análisis ambiental tenga concordancia en unidades, se obtuvo el dato de [gHC/km].

Como se puede observar en el Gráfico 3.2, las emisiones de HC y NO<sub>x</sub> representan porcentajes muy similares en la composición de los gases de escape. Basándose en esa conjetura, la razón de gramos por kilómetro de HC serán los mismos que los obtenidos para los NO<sub>x</sub>: 0.001.

### 3.2.5 Total de emisiones reducidas

Contaminante	Emisiones [g/km]	Ahorro en emisiones [g/km]
CO <sub>2</sub>	147	2.945
CO	0.192	0.004
NO <sub>x</sub>	0.05	0.001
HC	0.05	0.001
TOTAL	147.292	2.951

Tabla 3.2. Resumen comparativo de las emisiones producidas por el vehículo y las emisiones generadas por los accesorios, en gramos por kilómetro recorrido.

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a la Tabla 3.2, el total de emisiones no generadas sería de 2.95 [g/km]. En esa cifra se incluyen las partículas de dióxido y monóxido de carbono, así como los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Si bien esta cifra parece muy pequeña, cabe destacar el impacto que podría tener de manera anual e incluso, si se considera no sólo usar la propuesta del panel en un único vehículo, sino contemplar la utilización de este sistema en todos los vehículos de la Ciudad de México, o incluso a nivel nacional.

La distancia promedio recorrida de manera anual en la Ciudad de México es de 13,905 [km] para autos de uso particular (INECC, 2018). Considerando ese dato, un automóvil con uso del panel solar dejaría de emitir 41 [kg] de contaminantes al año.

El parque vehicular nacional registrado a marzo del 2020 es de 45,226,443 de los cuales 32,462,239 corresponden a automóviles particulares (INEGI, 2020). Se considera que la Ciudad de México aporta el 17.13% de vehículos al registro nacional (Portal Automotriz, 2019), es decir, 5,560,782 de autos para uso particular. Si dichos vehículos utilizaran el panel solar, por medio de alguna política de apoyo o programa similar, la Ciudad de México dejaría de producir 16,408 kilogramo por kilómetro recorrido. Paralelamente, el país no emitiría 95,786 [kg/km].

Involucrando ambos panoramas, tanto el cálculo anual como el cálculo por parque vehicular, la reducción de emisiones en la Ciudad de México sería de 228,154,576 [kg/año] y de 1,331,900,509 [kg/año] a nivel nacional.

La reducción total de emisiones mencionada consideraría una gran ventaja en la calidad del aire del país, reduciendo así los grandes problemas de salud y ambientales provenientes de la contaminación vehicular. En la Ciudad de México, por ejemplo, la Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) reportó que en 2016 se emitieron 1.1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (Valdez, 2018).

### 3.2.6 Comparativa con las emisiones generadas en la industria

Para poder dimensionar el impacto positivo en el medio ambiente debido a la cantidad de contaminantes no emitidos gracias al sistema fotovoltaico, se realizó una comparativa con las emisiones de CO<sub>2</sub> que producen algunas plantas representativas de distintos sectores industriales del país. Con dicha información se generó la Tabla 3.3 donde se especifica el nombre o ubicación de la planta, el sector al que pertenece y las emisiones que genera al año (CCUS México, 2018).

Tipo de industria	Planta / Ubicación	Emisiones de CO2 [kg/año]	Comparativa CDMX [%]	Comparativa nacional [%]
Automotriz	García, NL	297,345,520	76.73	22.32
Generación electricidad	C.T. Valle de México	1,164,039,320	19.60	87.40
Agropecuaria	San Juan del Río, Qro	231,287,060	98.65	17.37
Alimenticia	Tuxtepec, Oaxaca	129,410,000	56.72	9.72
Cemento y cal	Cuautinchán, Puebla	1,077,856,000	21.17	80.93
Vidrio	San Luis Potosí, SLP	212,198,000	93.01	15.93
Metalúrgica	San Nicolás de los Garza, NL	1,343,079,230	16.99	99.17
Manufactura	Iztapalapa, CDMX	2,462,740,660	9.26	54.08
Minería	Hermosillo, Sonora	188,055,750	82.42	14.12
Hidrocarburos	Refinería de Salamanca, Gto	1,592,075,000	14.33	83.66

Tabla 3.3. Comparativa en la disminución de emisiones contaminantes por el uso del sistema FV y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en distintos tipos de industrias en México.

*Fuente: Elaboración propia con datos del CCUS México, 2016.*

Las últimas dos columnas de la Tabla 3.3 muestran el porcentaje de ahorro de emisiones, a nivel Ciudad de México y país, con respecto a las emisiones que genera la planta industrial. Si la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> de la planta es mayor a alguno de los datos de ahorro de emisiones del sistema FV, el porcentaje aparece de color rojo, lo que significa que dicho ahorro representa sólo una parte de los contaminantes que emite la planta. Caso contrario, si el porcentaje se encuentra de color negro, la cifra de dióxido de carbono emitido por la planta es menor al total de contaminantes que no serían emitidos gracias al sistema propuesto.

De esta manera, la disminución de contaminantes en la Ciudad de México, considerando la conversión del total del parque vehicular particular, representarían el 76.73% del total de CO<sub>2</sub> que emite la planta automotriz ubicada en Nuevo León, el 19.60% de emisiones de la Central Termoeléctrica del Valle de México y casi el total de emisiones de dióxido de carbono que genera la industria agropecuaria en San Juan del Río; por mencionar sólo algunos.

Así mismo, el total del gas de efecto invernadero emitido por la industria alimenticia en Tuxtepec equivale al 56.72% del ahorro de contaminantes resultado del sistema FV. Viéndolo desde otras perspectivas, significa que la cantidad de gases de escape no emitidos en la Ciudad de México corresponderían a casi dos veces la cantidad de CO<sub>2</sub> que emite la planta de Oaxaca o que si el 56.72% de los vehículos de la ciudad utilizan el panel solar se estarían dejando de emitir una cantidad semejante de contaminantes a la generada por la misma planta.

Paralelamente, para el ámbito nacional, la disminución de emisiones para el supuesto de la conversión total del parque vehicular particular representaría el 54.08% del dióxido de carbono generado por la industria manufacturera en Iztapalapa, el 83.66% de lo emitido por la refinería de Salamanca y prácticamente la misma cifra de emisiones que la planta metalúrgica en San Nicolás de los Garza.

Si se realizara la conversión del 87.40% de los vehículos particulares en circulación del país, se estarían dejando de emitir una cantidad de CO<sub>2</sub> similar a la derivada por la generación de electricidad de la central que provee al Valle de México. Incluso, si dicha conversión de vehículos al sistema FV fuera de únicamente el 14.12%, se dejarían de emitir una cantidad de gas de efecto invernadero equivalente a lo generado por la mina de la capital de Sonora o, si el 100% de los vehículos particulares tuvieran este sistema, significaría que la atmósfera dejaría de recibir una cantidad de gases de escape similar a la generada por casi siete minas del mismo tipo y tamaño.

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

### *4.1 Costos generales de la implementación del panel solar al vehículo*

Los costos principales para el proyecto se resumen en cuatro equipos o materiales: el panel solar, la batería, el cable de tipo solar, así como la estructura de soporte. A continuación, se desarrolla el precio de cada uno de estos componentes.

El panel solar es el componente más importante dentro del sistema fotovoltaico. El panel EGE-370M-72 de Eco Green (Véase Figura 4.1) tiene un precio de lista de \$129.50 dólares más IVA (Sunnergy, 2019). Si bien los costos podrían manejarse en dólares para evitar las fluctuaciones en el mercado de divisas, en este análisis se decidió cambiar a peso mexicano cualquier cifra en dólares para tener una mejor perspectiva. Así, se opta por utilizar la conversión: 1 USD = 20 MXN.



Figura 4.1. Módulo fotovoltaico EGE-370M-72.  
*Fuente: Ficha técnica Eco Green, 2018.*

Definido el tipo de cambio a utilizar y considerando el IVA nacional de 16%, el panel solar utilizado en el proyecto tiene un costo total de \$3,004.40 MXN.

La batería L-31T-S-190M, marca LTH, seleccionada en el capítulo 2, tiene un precio de \$3,588 MXN con el proveedor Battery Boss Puebla (Mercado Libre, 2020).



Figura 4.2. Acumulador L-31T-S-190M.  
Fuente: Ficha técnica LTH, 2020.

Para la conexión entre los dos equipos anteriores es necesario utilizar un cable del tipo solar. La longitud requerida variará según dónde se planea colocar la batería. Para evitar estar limitados en este dato, se consideró que la batería podría quedar completamente en el extremo opuesto de la conexión con el panel, es decir, en la longitud, altura y anchura contraria a la salida del módulo solar. Por ello, la longitud del cable resultó de la suma de las dimensiones del vehículo proporcionadas en el Manual de Usuario.

Longitud [m]	4.31
Ancho [m]	1.71
Altura [m]	1.505
TOTAL	7.525

Tabla 4.1. Dimensiones del Aveo 2016.  
Fuente: Manual de Usuario Chevrolet Aveo 2016.

Para conocer la sección, o calibre del cable en milímetros, se utilizó la siguiente expresión (AutoSolar, 2020)

$$Sección = \frac{2 i l}{56 C_v} \dots \text{(Ec. 4.1)}$$

La intensidad o capacidad de corriente  $i$  en el panel es de 9 [A] (Eco Green Energy, 2018), la longitud  $l$  del cable es de 7.5 [m] por redondeo y con un porcentaje de caída de voltaje  $C_v$  de 0.5%, la sección del cable nos resulta en 4.8 [mm], pero al no haber un cable de ese calibre, se considerará una sección de 4 [mm].

El cable de 4 [mm], como el que se muestra en la Figura 4.3, tiene un costo de \$0.90 USD por metro más IVA (Sunnergy, 2019). Por lo tanto, con una longitud de 7.5 [m], un cambio de divisa de \$20 y el 16% de IVA, el costo del cable es de \$156.60 MXN.



Figura 4.3. Ejemplo de cable solar de 4mm.  
*Fuente: AutoSolar, 2020.*

Lo siguiente a considerar es la estructura metálica que soportará y unirá el panel con el toldo. Generalmente estas estructuras son hechas de aluminio y se venden fijas, móviles, triangulares, con ajuste de altura, entre muchos otros modelos. Sin embargo, dichos soportes son, en su mayoría, para fijar el panel a piso o a techos de casas, edificios o estacionamientos; no hay estructuras comerciales para colocar en el toldo de un vehículo. Esto significa que se requeriría hacer una estructura a la medida con las condiciones necesarias para el vehículo.

Aunque existen empresas que se dedican exclusivamente a la soportería solar o que venden paneles solares y que podrían realizar la estructura requerida, resulta complicado que expidan una cotización si no se demuestra que se trabaja como proveedor del servicio, proyectista, empresario y/o que el proyecto a desarrollar considere producción en masa. Con esta limitante se decidió considerar el costo de un soporte prefabricado.

El sistema de montaje elegido es un soporte sencillo ajustable de 15° a 30° modelo ES2 del proveedor Sunnergy (Véase Figura 4.4). El sistema cuenta con un riel de 4.20 [m], 6 clemas, 2 grapas para puesta a tierra de paneles, 1 terminal para puesta a tierra de estructura y 4 soportes sencillos ajustables. El precio de lista es de \$43.54 USD más IVA; \$1,010.13 MXN.



Figura 4.4. Sistema de montaje ES2.  
*Fuente: Lista de precios Sunnergy, 2019.*

Así, el costo en equipos principales es de \$7,759.13. Agregando un 15% por gastos de envío, resulta en un total de \$8,923.00.

Ahora bien, sumado a estos equipos, se pueden tener otros costos que no son tan relevantes ni tan fáciles de puntualizar, pero que sí es posible contabilizar gracias al Método de Peters-Timmerhaus (Clemente, 2019).

		Sólidos	
COSTOS DIRECTOS	<b>Compra de equipo principal</b>	<b>100</b>	<b>22.0%</b>
	Instalación de equipo comprado	45	10.0%
	Instrumentación y control	18	4.0%
	Tuberías	16	3.0%
	Sistemas eléctricos	10	2.0%
	Edificios	25	5.0%
	Mejoramiento de Terreno	15	3.0%
	Instalaciones de Servicios	40	9.0%
	<b>Costos Directos Totales</b>	<b>269</b>	<b>58.0%</b>
COSTOS INDIRECTOS	Ingeniería y supervisión	33	7.0%
	Gastos de construcción	39	8.0%
	Gastos Legales	4	1.0%
	Pago de contratistas	17	4.0%
	Contingencias	35	7.0%
	<b>Costos Indirectos Totales</b>	<b>128</b>	<b>27.0%</b>
<b>INVERSIÓN FIJA DE CAPITAL</b>		<b>397</b>	<b>85.0%</b>
CAPITAL DE TRABAJO (15% IFC)		70	15.0%
<b>INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL</b>		<b>467</b>	<b>100.0%</b>

Tabla 4.2. Método de Peters-Timmerhaus.  
Fuente: Abel Clemente Reyes, 2019.

El método Peters-Timmerhaus brinda una idea de los porcentajes de aporte, en cuanto a costos se refiere, que tienen cada una de las disciplinas o categorías involucradas en un proyecto en general.

Lo que se muestra representado en la Tabla 4.2 está más enfocado a proyectos de sistemas de mayor magnitud. No obstante, es posible utilizar sus referencias con la premisa de que no todas las categorías incluidas en la tabla entrarán en el sistema fotovoltaico desarrollado. Todos esos costos se considerarían si el sistema fotovoltaico se produjera en masa.

Para ajustar el método a las necesidades del proyecto de investigación se opta por sumar los porcentajes de aquellas categorías que no tienen participación al porcentaje del equipo

principal. Esto aplica para el capital de trabajo, los costos directos de tuberías, edificios, mejoramiento del terreno e instalación de servicios, así como los costos indirectos.

El capital de trabajo no se considera tal cual debido a que no se tiene una plantilla o producción formalmente hablando, solo se hablaría de fondos para el inventario que, se traduce, en los costos de los equipos principales.

Los costos indirectos tampoco se considerarán porque estas categorías se encuentran presentes en proyectos grandes. Si se deseara hacer a gran escala y contar con ingresos de capital por el desarrollo del proyecto, entonces sí se tomarían en cuenta varias o todas las categorías de los costos indirectos.

Los costos directos que se mantienen en la metodología es la instalación del equipo dado que algunas empresas proveedoras de paneles proporcionan ese servicio para garantizar la correcta instalación de su producto, instrumentación y control por los componentes de esta área que se puedan requerir en el sistema, y los sistemas eléctricos que, si bien ya se consideró el cableado principal, seguramente se requerirán otros elementos para sistemas secundarios.

Con todos estos ajustes y consideraciones se generó la Tabla 4.3 con las aportaciones de cada uno de los costos y la inversión total de capital.

Concepto del costo	Aporte al capital %	Costo en MXN
Equipo principal	84	\$8,923.00
Instalación de equipo	10	\$1,062.26
Instrumentación y control	4	\$424.90
Sistemas eléctricos	2	\$212.45
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>\$10,622.62</b>

Tabla 4.3. Costos e inversión total de capital para el sistema fotovoltaico.  
Fuente: *Elaboración propia.*

## 4.2 Evaluación del proyecto

La evaluación de un proyecto consiste en recopilar, crear y analizar en forma sistémica un conjunto de antecedentes para determinar cuantitativa y cualitativamente las ventajas y desventajas de una inversión (Rodiles, 2018). Una evaluación puede ser muy elaborada, o muy sencilla, dependiendo de la magnitud del proyecto, las variables que se deseen contabilizar, la precisión que se requiera en el análisis, entre otros factores. En el caso del sistema fotovoltaico desarrollado se considera que es un proyecto pequeño, ya que solamente se considerará la colocación y puesta en marcha de un solo vehículo con panel solar. Si se deseara darle el enfoque para producción en masa, requeriría tener en mente otros criterios, variables y consideraciones que lo acercaran más a un proyecto empresarial formal.

Uno de los pasos primordiales para comenzar la evaluación de un proyecto es conocer los ingresos y gastos que tendrá el sistema FV. Los gastos y costos ya se definieron en el capítulo 4.1. Incluso los costos generales desarrollados en la sección anterior ya son considerados un análisis básico y, en algunos casos, suficiente para proyectos pequeños. Sin embargo, los alcances de este trabajo pretenden llegar un poco más de ese análisis con el fin de tener una mejor perspectiva económica y de inversión.

Cabe aclarar que, a partir de este momento, todas las cifras monetarias que se expresen estarán dadas en pesos mexicanos (MXN).

### 4.2.1 Ahorro en combustible

En un proyecto es fundamental definir los ingresos generados por su implementación. Estos ingresos frecuentemente se definen como las ventas que aportará la puesta en marcha del proyecto. No obstante, no es la única forma de representar los ingresos, también el ahorro de insumos e inventario, reducción en los costos de servicios, disminución o eliminación de pagos de impuestos o aranceles, y ser acreedor a incentivos de instancias públicas o privadas son algunos de los conceptos que se pueden considerar como ganancias.

El proyecto del sistema FV contaría con ingresos por ventas si se le diera el enfoque empresarial, sin embargo, y como se definió en párrafos anteriores, sólo se considera el análisis para un solo vehículo con panel. Esto conlleva a que los ingresos no se contabilicen por ventas, sino por los ahorros que genere.

El ahorro más importante que hay que considerar es el combustible. En el capítulo 3 se especificó que los servicios eléctricos auxiliares de un vehículo ( $C_{sa}$ ) consumen hasta el 2%

de gasolina, que el rendimiento del Aveo ( $r_a$ ) es de 15.77 [km/l] y que la distancia promedio anual recorrida en la Ciudad de México ( $d_{prom}$ ) oscila en los 13,905 [km].

$$A_{comb} = \frac{C_{sa} d_{prom}}{100 r_a} \dots \text{(Ec. 4.1)}$$

Con los datos de consumo, rendimiento y distancia, más la Ecuación 4.1, se puede definir el ahorro de combustible anual  $A_{comb}$  en 17.63 litros. Al fijar el costo de la gasolina a \$20.00 el litro y tomando los 25 años de garantía de potencia lineal del panel, es decir, la vida útil del panel, se obtiene un ahorro monetario anual de \$352.69 y total de \$8,817.37.

Es importante destacar que el precio de la gasolina es un valor que oscila mucho, lo que puede hacer que la cantidad de ahorro también varíe de acuerdo con el mercado internacional de combustibles. Por ejemplo, si la tendencia al alza del precio de las gasolinas continúa y alcanza los \$25.00, el ahorro podría ser más significativo: \$11,021.72.

#### 4.2.2 Incentivos y apoyos económicos

Un inconveniente del proyecto es que, al ser algo novedoso en el país, instancias públicas o particulares no consideran este tipo de sistema como tal, como candidato a apoyos económicos. Así que, estrictamente hablando, no existe ningún incentivo específico para este uso de la tecnología solar. Es más, el gobierno federal en turno no se ha pronunciado claramente sobre los apoyos y promoción del uso de energías renovables, incluso, en algunos casos, ha tomado una postura que pareciera ir en contra de ellas, como las medidas que publicó el CENACE, en mayo del 2020, donde suspendía las pruebas para nuevos proyectos de generación de energía eólica y solar (Nava, 2020).

A pesar de este panorama negativo, es posible mencionar algunos apoyos a los cuales el proyecto podría aspirar, siempre que se exponga como un caso particular, se realicen algunas adecuaciones al programa y/o sigan vigentes o se les dé continuidad. Esto último en el caso de los programas que se plantearon en sexenios anteriores.

- Verificación vehicular

Actualmente la SEDEMA exenta a vehículos eléctricos e híbridos del programa de verificación vehicular. Si el vehículo con el sistema FV pudiera entrar en la categoría de híbrido, como mínimo en su categoría II, sería acreedor a una constancia que lo eximiría del proceso de verificación por ocho años (SEDEMA, 2020). Si el costo por la constancia de verificación es de \$567.00 (SEDEMA, 2020) y la verificación se debe realizar cada

semestre, el ahorro por los ocho años sería de \$9,072.00. Lo anterior considerando los pagos que debe realizar un vehículo a gasolina cualquiera.

Sin embargo, la definición actual de vehículo híbrido categoría II dice “Vehículo con dos fuentes de energía (eléctrica y gasolina), en el cual la energía eléctrica permite la propulsión sin combustión, en periodos de operación en los que no se requiere máxima potencia” (SEDEMA, 2020), por lo que no se cumple cabalmente con la definición y se podría enfrentar a un rechazo por parte de la institución. Esto podría solucionarse modificando el sistema FV de tal manera que su aporte energético sea para la propulsión del vehículo, por mínimo que fuera, pero esto haría que ya no se aportara energía directamente a los accesorios.

Considerando que no validen el vehículo como auto híbrido tipo II, existe una segunda opción de encontrar un apoyo en el tema de la verificación vehicular y es optar por la calcomanía 00 por medio de entrar a la categoría III de vehículo híbrido. Esta categoría, también llamada *mild hybrid*, MHEV o híbrido ligero, considera que los sistemas eléctricos del vehículo, el encendido y el arranque aún dependen de la combustión (Uribe, 2020). Obtener la calcomanía 00 implica que en dos años no se realizaría la verificación y existiría la posibilidad de una segunda prórroga por otros dos años, es decir, cuatro años (López, 2019). Esa cantidad de tiempo involucraría un ahorro de \$4,536.00. La problemática más importante aquí, sería la condición que la SEDEMA impone para entregar esta calcomanía: el vehículo debe ser nuevo.

En cualquiera de las alternativas antes mencionadas se tendría como opción proponerle a la SEDEMA un cambio legal para ampliar o modificar la definición de alguna de las categorías de vehículo híbrido o, incluso, para integrar una nueva categoría que considere al sistema fotovoltaico en cuestión como un sistema auxiliar limpio, demostrando las acciones a favor del ambiente asociadas a la puesta en marcha del sistema, y así poder ser candidato a beneficios en el Programa de Verificación Vehicular.

Por último, la reducción de emisiones analizadas en el capítulo 3, podría dar pie a obtener la calcomanía 0, incluso a vehículos que anteriormente no podían alcanzarla debido a un pequeño exceso de emisiones. Esta ventaja no implicaría un ahorro económico, pero sí un beneficio para el conductor al poder circular todos los días.

- FOTEASE

El Fondo para la Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) es un instrumento de política pública de la Secretaría de Energía cuyo objetivo es instrumentar acciones que sirvan para contribuir al cumplimiento de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, promoviendo la utilización, el desarrollo y la inversión de las energías renovables y la eficiencia energética (Secretaría de Energía, 2020).

El Fondo está conformado por diversas instancias del gobierno, tal como la SENER, SEMARNAT, CFE, CONUEE, entre otros. Dichas instancias acuerdan la utilización de recursos no recuperables a proyectos que cumplan con los objetivos de la Estrategia para la Transición Energética.

Proyectos como la Sustitución de Focos por Lámparas Ahorradoras, Apoyo a la Generación Distribuida y Programa de Instalación de Celdas Fotovoltaicas en Escuelas de Educación Básica han sido beneficiadas con este apoyo de la SENER.

De acuerdo con los documentos que se pueden encontrar en la página del FOTEASE, el proyecto sería candidato para ese fideicomiso, esto debido a que cumple con los objetivos descritos en la sección tercera de las Reglas de Operación: “Los recursos se destinarán a beneficiar en el territorio nacional los Proyectos aprobados por el Comité que se ajusten a los fines del Fideicomiso y a los parámetros de la Estrategia que encabeza la SENER cuyo objetivo primordial es establecer las metas de energías limpias y de aprovechamiento sustentable de la energía, así como la mejora en la productividad energética, a fomentar la reducción de emisiones contaminantes y reducir la dependencia de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía en el país...”.

Una condición importante para adquirir este apoyo sería que el proyecto no podría ser sólo para un vehículo, se tendría que plantear la producción en masa para poder convencer al Comité de los beneficios propios del proyecto y con ello buscar su aprobación.

El inconveniente más importante es que dicho Fondo no esté aportando más apoyos actualmente. Si bien la página de internet de la SENER consultada tiene fecha de publicación del 13 de enero del 2020, los informes que ahí se presentan sólo llegan a la versión 2018, lo que da a entender que desde ese año no se ha dado seguimiento a los programas ni recursos disponibles. Además, en el Presupuesto de Egresos de la Federación (SHCP, 2020), en el Tomo VIII Programas y Proyectos de Inversión, en el Ramo 18 referente a la Energía, no se definen recursos específicos para dicho fondo.

- Ventajas fiscales en instrumentos jurídicos

La Guía de Programas de Fomento a la Generación de Energía con Recursos Renovables (SEMARNAT, 2015), en su apartado sobre los incentivos de fomento a la producción de energía con recursos renovables, establece dos instrumentos jurídicos que sirven como ventajas fiscales a generadores por fuentes renovables.

El primer instrumento se encuentra en la Ley de los Impuestos Generales de Importación y Exportación donde se establece que quedan exentos de pagos aquellos equipos anticontaminantes y sus partes, siempre y cuando las empresas se ajusten a los lineamientos de las Secretarías del Medio Ambiente y Economía. Este punto es útil cuando si se requieren ciertas partes o equipos que no se consigan con facilidad en el país, evitando así cargos extras por la importación.

El segundo instrumento lo define la Ley del Impuesto sobre la Renta donde se dispone que las inversiones únicamente se pueden deducir mediante la aplicación de los porcentajes máximos autorizados por la misma ley y sobre el monto original de dicha inversión, especificando que, para la maquinaria y equipos para la generación de energía por medio de fuentes renovables será de un 100%. En otras palabras, los equipos utilizados en el proyecto serán totalmente deducibles de impuestos.

- Fondo de Sustentabilidad Energética

El Fondo de Sustentabilidad Energética (FSE) se creó en 2008 para apoyar la eficiencia energética, la energía por fuentes renovables, el uso de las tecnologías limpias y la diversificación de fuentes primarias de energía. En su administración participa CONACYT, SENER y BANOBRAS y se financian proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico, innovación, registro nacional o internacional de propiedad intelectual, formación de recursos humanos especializados, becas, creación y fortalecimiento de grupos o cuerpos académicos o profesionales, divulgación e infraestructura, por medio de convocatorias públicas (SEMARNAT, 2015).

Para aprovechar este apoyo en el proyecto del sistema FV, será necesario esperar alguna convocatoria pública, contactar directamente con alguna de las dependencias, principalmente el CONACYT, o buscar el apoyo del Centro Mexicano de Innovación en Energía relacionada con la fuente solar, es decir, el CEMIE-SOL.

El CEMIE-SOL es un consorcio creado, en el 2014, por el Fondo CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética. Agrupa a instituciones y empresas del país con el objetivo de

realizar sinergias a favor del aprovechamiento de la energía solar. El Centro es coordinado por el Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM), por lo que también puede ser una instancia que apoye al proyecto.

#### 4.2.3 Periodo de recuperación

El periodo de recuperación es un método para evaluar proyectos que consiste en definir el tiempo que tiene que transcurrir para que la acumulación del flujo de efectivo esperado iguale la inversión inicial. Si bien este método no es una medida de rentabilidad, sí proporciona información valiosa para darse una idea de hasta qué año el proyecto generará ganancias.

Para el proyecto del sistema FV se obtendrán tres casos de periodo de recuperación. El primero solo toma en cuenta los ingresos generados por el ahorro de gasolina. El segundo caso, además del ahorro de combustible, considera que el vehículo consigue la exención de la verificación. Por último, un tercer caso, muestra el periodo de recuperación suponiendo los ahorros por el combustible y por la calcomanía 00. Todos los casos contemplan la inversión calculada al final del capítulo 4.1.

##### Caso 1: Combustible

Al tener un ahorro homogéneo por año de \$352.69, el periodo de recuperación se calcula simplemente por medio de una división de la inversión entre los ingresos anuales. Así, se espera que el ahorro iguale a la inversión en 30.12 años, es decir, poco más de 30 años y un mes.



Figura 4.5. Flujos de efectivo para el Caso 1.  
*Fuente: Elaboración propia.*

El periodo de recuperación resultante no es muy adecuado, más si se toma en cuenta que la vida útil del panel es de 25 años, provocando que, después de ese periodo, la potencia que suministraría el módulo iría en decadencia.

Si bien este caso nos da una buena idea del comportamiento de los ahorros de gasolina frente a los costos generales del sistema, es necesario detallar que los flujos de efectivo deberían ser ajustados año con año dependiendo de la variación del precio de los combustibles. Si los precios van al alza, el periodo de recuperación se acortaría; si los precios bajan, el periodo de recuperación sería mayor.

### Caso 2: Combustible y exención de verificación

El ahorro anual de combustible se mantiene igual que en el caso anterior, sin embargo, se toma ahora en cuenta el ahorro del costo de verificación durante los primeros ocho años; periodo de tiempo que dura la exención de verificación en el caso de vehículos híbridos. De esta manera, el flujo de efectivo durante los primeros ocho años será la suma del ahorro de gasolina más el costo de las dos verificaciones anuales: \$1,486.69. Posterior al octavo año, el ahorro anual solo involucrará el costo del combustible.



Figura 4.6. Flujos de efectivo para el Caso 2.  
Fuente: *Elaboración propia.*

El periodo de recuperación en el Caso 2 es de 7.15 años, equivalentes a siete años y dos meses. Cantidad cuatro veces menor que el Caso 1, haciendo esta opción más atractiva a la inversión.

Según la SEDEMA, es posible aplicar a una renovación del documento que exenta de verificación. Si el vehículo con el sistema FV entrara en esa renovación, los flujos de efectivo posteriores al octavo año incrementarían y, si bien no afectaría en nada el periodo de recuperación, el proyecto se volvería aún más atractivo.

### Caso 3: Combustible y calcomanía 00

Al igual que en el Caso 2, los flujos de efectivo se dividirán en dos. Los cuatro primeros años se ahorrará tanto combustible como verificación; considerando la renovación de la calcomanía 00. Después del cuarto año, el ahorro solamente consistirá en el tema de la gasolina.

Con esas consideraciones, el periodo de recuperación será de 17.26 años o 17 años con tres meses.



Figura 4.7. Flujos de efectivo para el Caso 3.  
Fuente: *Elaboración propia.*

El resultado es mayor al obtenido en el Caso 2. A pesar de ello es un buen resultado, pensando que el panel solar aún tendrá ocho años de vida útil después de haber recuperado la inversión.

Todos estos casos involucraron una o dos variables para definir los flujos de efectivo. Faltaría anexar la participación del FOTEASE, del FSE o de algún otro programa federal, regional o de instituciones particulares que pudieran apoyar al proyecto. Incluso es posible promover la creación de subsidios que consideren este sistema fotovoltaico y que promuevan su uso. Por ejemplo, bonos solares para este tipo de generación energética, créditos provenientes de instituciones bancarias o de los mismos proveedores de insumos solares, descuentos en trámites vehiculares, reducciones de impuestos, apoyos económicos a los dueños de vehículos con panel solar, entre muchas otras posibilidades.

La cooperación de alguna de estas instancias y programas reduciría indudablemente los tiempos de recuperación de la inversión ya calculados. Sin embargo, no se incorporaron al análisis porque no se tiene conocimiento de la cantidad monetaria que pudieran aportar al proyecto.

## CONCLUSIONES

El proyecto planteó la posibilidad de utilizar un panel solar para aportar energía a un vehículo de combustión interna de tipo sedán. El objetivo general de la tesis fue realizar tres tipos de análisis (técnico, ambiental y económico) que permitieran visualizar la viabilidad de este proyecto, situación que se logró y se fue desarrollando en cada uno de los capítulos de esta investigación.

Los primeros tres objetivos particulares de la tesis, referentes a la selección del panel, definición de potencias y dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se cumplieron cabalmente en el análisis técnico del Capítulo 2, arrojando como resultado que un panel, como el EGE-370M-72, brinda alrededor del 1% de la potencia que requiere un vehículo para su movimiento en condiciones comunes y máximas. Sin embargo, puede representar el 40% de la energía en situaciones ideales y controladas; situación que algunos investigadores aprovechan para diseñar varios prototipos solares, debido a que se tiene la capacidad de desplazar un vehículo de menores dimensiones y peso.

Para que un automóvil sedán pueda ser desplazado íntegramente por energía solar, se requiere una cantidad de entre 76 a 107 paneles solares, dependiendo de las condiciones de manejo, que equivalen a 28 y 39 [kW] de potencia, lo que hace actualmente imposible dicha tarea. No obstante, la energía producida por un solo panel es suficiente para cubrir la demanda derivada del funcionamiento de los sistemas eléctricos auxiliares.

El ciclo de vida y el beneficio ambiental, puntos contenidos en los objetivos particulares 4 y 5, fueron desarrollados en el Capítulo 3: Análisis ambiental. En este capítulo se demuestra que, pese a que se use sólo un panel, un vehículo puede dejar de emitir 41 [kg] de contaminantes por año. Para poder dimensionarlo, si el 87% del parque de vehículos particulares del país tuvieran esta tecnología, se dejaría de generar la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que emite la Central Termoeléctrica del Valle de México. Esto es un claro ejemplo de que aún acciones pequeñas a favor del medio ambiente pueden significar mucho si se emulan.

El análisis económico, Capítulo 4, contabilizó los costos y ahorros del proyecto, así como el cálculo del periodo de recuperación, temas mencionados en los últimos objetivos particulares de este trabajo. Se obtuvo una inversión total para realizar el proyecto de \$10,620 MXN aproximadamente, cantidad que sería amortizada entre siete y 17 años dependiendo del ahorro anual de la gasolina y del periodo de exención de la verificación

vehicular. Tiempo que incluso podría ser menor si se consiguiera un apoyo gubernamental adicional o de alguna entidad particular.

En resumen, y contando con todos los resultados antes mencionados, se puede concluir que el proyecto es técnicamente viable si y solo si se toma en cuenta la alimentación energética de los sistemas auxiliares, que sí hay un aporte positivo al medio ambiente, más si se realiza a mayor escala, y que también es económicamente viable si se tiene, como mínimo, el apoyo del programa de verificación.

Cabe mencionar que la metodología utilizada en el proyecto es teórica, que se enfoca en torno al tema de energía, que contempla consideraciones y datos aproximados, y además que su objetivo es dar un panorama técnico, ambiental y económico. Todo esto podría derivar a que el procedimiento físico de la implementación del panel al vehículo tenga algunas discrepancias con lo calculado en esta investigación. Algunas de estas diferencias pueden ser resultado de darle un enfoque eléctrico y electrónico al proyecto, que se tome una potencia del panel más real y no la potencia máxima, como se utilizó en esta metodología, o que se calcule la rentabilidad del proyecto con herramientas como el valor presente neto (VPN) o la tasa interna de retorno (TIR), para los cuales sería necesario tener una tasa de descuento o de interés proporcionada por los créditos o préstamos solicitados a instituciones bancarias o fideicomisos.

Si se considerara una metodología más compleja, se enfrentaría a inconvenientes importantes como tiempo excesivo para detallar cada cálculo, se acentuaría la falta de accesibilidad de información comercial de los paneles y la escasez de datos derivada del carácter innovador del proyecto, se tendrían complicaciones técnicas y económicas para realizar un prototipo, entre otras dificultades. Por ello, no se profundiza demasiado en ninguno de los análisis desarrollados, no obstante, es un excelente nicho de oportunidad para posibles trabajos futuros y hacer más precisos cada uno de los cálculos aquí expresados.

Algunas propuestas de trabajos futuros que pueden proceder de esta investigación son la puesta en marcha del proyecto en físico, primeramente, como prototipo y posteriormente direccionado a una producción en masa. También es posible realizar una investigación práctica para el cálculo de la cantidad de energía requerida por el vehículo y de los gases de escape no emitidos gracias al sistema fotovoltaico propuesto; realizando pruebas dinámicas en una muestra representativa de autos sedán, obteniendo datos de campo y usando equipos que brinden lecturas directas del motor y de los accesorios. Incluso el ciclo de vida puede significar un tema de tesis por sí solo, ya que es posible ampliar la investigación de cada una de las etapas del modelo del ciclo de vida representado en este trabajo, así como el uso

de un software especializado que simule el ciclo y arroje resultados sobre los impactos ambientales.

Por último, cabe mencionar que este proyecto puede derivar en trabajos paralelos de investigación. Es decir, este mismo análisis se puede realizar para vehículos a diésel, eléctricos, híbridos, hatchbacks, camionetas, camiones de carga, unidades de transporte público e incluso otros tipos de transporte. Aunado a eso, es posible retomar este proyecto en 10 años, o en un periodo de tiempo que se crea considerable, con el fin de tener una retroalimentación y actualización del avance tecnológico de las fuentes solares, observando cómo disminuye la brecha entre la potencia generada por un panel y la potencia que requiere un vehículo para desplazarse.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Agredano Díaz, Jaime (2008). Tecnología fotovoltaica. Boletín IIE Tendencias Tecnológicas. México. Disponible en: <https://www.ineel.mx/boletin022008/tenden02>
- Alkè (2020). ¿Cómo calculo la pendiente de una subida? Italia. Disponible en: <https://www.alkè.eu/es/como-calculo-pendiente-subida>
- Alonso, Miguel (2005). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Madrid, España.
- Auto hoy (2008). La historia de los autos solares. Disponible en: <http://www.autohoy.net/prototipos>
- AutoSolar (2020). Cables. Cálculo sección cable. Valencia, España. Disponible en: <https://autosolar.es/cables>
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP (2014). BUAP con investigación en pos de la eficiencia energética. Puebla, México. Disponible en: [http://emas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/wb/comunic](http://emas.siu.buap.mx/portal_pprd/wb/comunic)
- Calidad del aire (2020). Presión atmosférica. Gobierno de la Ciudad de México. México. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aKBhnmI=%27&opcion=bg==>
- Captura, Uso y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>, CCUS México (2018). Mapa dinámico. SENER. México. Disponible en: <https://dgel.energia.gob.mx/ccus/mapa.html?lang=es>
- Carreño Aguillón, Elsy (2011). Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar. Bogotá, Colombia.
- Centro Nacional de Metrología, CENAM (2008). Cálculo de la densidad del aire utilizando la fórmula del CIPM-2007. México. Disponible en: <http://www.cenam.mx/publicaciones/cdensidad.aspx>
- Chávez, Víctor (2005). Manual de diseño geométrico de vías urbanas – 2005 – VCHI. Instituto de la Construcción y Gerencia. Perú.
- Chevrolet (2016). Manual de usuario Aveo 2016.
- Chuet-Missé, Juan (2017). NO<sub>2</sub>, el peligroso contaminante que afecta la capacidad de atención de los niños. La Vanguardia. España. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20170226/42280025427/no2-dioxido-de-nitrogeno-peligroso.html>
- Clemente, Abel (2019). Elementos para el Diseño de Sistemas de Generación con Energías Limpias. Documento ACR-0119/31-1. Notas del semestre 2019-2. Facultad de Ingeniería, UNAM. México.
- Del Río, J. et al. (2008). Análisis del ciclo de vida de un panel solar fotovoltaico empleado para la alimentación eléctrica de instalaciones de riego, comparando las metodologías ECO-Indicador 99 y EPS-2000. Universidad de Valladolid. España.
- Delta Volt SAC (2010). Paneles Solares, Tipos y Eficiencias. Perú. Disponible en: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>
- Eco Green Energy (2018). Módulo Fotovoltaico EGE-330P-72. Ficha técnica. Jiangsu, China.

- Eco Green Energy (2018). Módulo Fotovoltaico EGE-370M-72. Ficha técnica. Jiangsu, China.
- Eco Vehículos (2020). Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. INECC. México. Disponible en: [http://www.ecovehiculos.gob.mx/ecoetiquetado.php?vehiculo\\_id=16738](http://www.ecovehiculos.gob.mx/ecoetiquetado.php?vehiculo_id=16738)
- El Universal (2019). CDMX es la cuarta ciudad más lenta del mundo y la primera a nivel nacional. México. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/cdmx-es-la-cuarta-ciudad-mas-lenta-del-mundo-y-la-primera-nivel-nacional>
- Enríquez, H. (2008). Análisis de ciclo de vida de un panel solar fotovoltaico policristalino. Universidad Europea Miguel de Cervantes. Valladolid, España.
- Espinosa Chanona, José (2015). Desarrollo de un vehículo eléctrico con sistema solar fotovoltaico autónomo. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- García, Karol (2019). México llega a 100,000 techos solares; capacidad instalada alcanza 817 megawatts. El Economista. México. Disponible en: <https://www.economista.com.mx/empresas/Mexico-llega-a-100000-techos-solares-capacidad-instalada-alcanza-817-megawatts--20190815-0050.html>
- Hendrickson, Chris et al. (2006). Environmental Life Cycle Assessment of Good and Services. An Input-Output Approach. Resources for the future. Washington, DC, Estados Unidos.
- Iglesias, Gonzalo (2017). Análisis del ciclo de vida (ACV) de automóviles con diferentes sistemas de propulsión. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.
- Inarquia (2019). ¿Sabes cómo se reciclan los paneles fotovoltaicos? España. Disponible en: <https://inarquia.es/paneles-fotovoltaicos-reciclar>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares. Los vehículos automotores como fuentes de emisión. México.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC (2014). Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Informe técnico. SEMARNAT. México.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC (2018). Elementos para inventario de fuentes móviles. Informe final preliminar. SEMARNAT. Ciudad de México, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2017). Encuesta origen-destino en hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México. Presentación de resultados. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2019). Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros. Venta de vehículos ligeros por marca, modelo, segmento y país de origen. México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2020). Vehículos de motor registrados en circulación (Datos estimados a nivel nacional). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/default.html#Tabulados>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. Cuéntame. Ciudad de México. Clima. México. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>
- Instituto Tecnológico de Canarias (2007). Guía didáctica de energía solar. Coche fotovoltaico. Canarias, España.
- IUSASOL, (2019). Visita guiada a planta de IUSASOL. Atlacomulco, Estado de México, México.
- Jinko Solar (2019). Eagle PERC 72 M-V 360-385 Watt. Ficha técnica. Shanghai, China.
- Latacunga, Fabián (2016). Aplicación del método de volúmenes finitos para determinar la influencia del ángulo de inclinación del parabrisas y capot de tres vehículos sedan en el comportamiento aerodinámico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- López, Jonás (2019). Holograma Doble Cero durará cuatro años en la Ciudad de México. Excelsior. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/holograma-doble-cero-durara-cuatro-anos-en-la-ciudad-de-mexico/1289333>
- LTH. LTH Ciclado Profundo – Aplicaciones Solares. L-31T/S-190M. Ficha técnica. Monterrey, México.
- Martínez, Elisa (2017). Análisis del ciclo de vida de una planta solar fotovoltaica en México. UNAM. Ciudad de México, México.
- Mercado Libre (2020). Acumulador Solar L-31t/s-190 Ciclado Profundo Marca Lth. Vendido por Battery Boss. Puebla, México. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-739897076-acumulador-solar-l-31ts-190-ciclado-profundo-marca-lth-\\_JM?quantity=1#position=4&type=item&tracking\\_id=ab0c1b52-76c8-4222-9197-a680b25824fb](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-739897076-acumulador-solar-l-31ts-190-ciclado-profundo-marca-lth-_JM?quantity=1#position=4&type=item&tracking_id=ab0c1b52-76c8-4222-9197-a680b25824fb)
- Motor.es (2020). Chevrolet Aveo. Disponible en: <https://www.motor.es/chevrolet/aveo/aveo/14-16v-100cv-ltz-7408.html>
- Mounting Systems, (2019). Trapeze ProLine. Ficha de datos del producto. Alemania. Traducción en México.
- National Renewable Energy Laboratory, NREL (2018). Best Research Cell Efficiencies. Estados Unidos. Disponible en: <https://www.nrel.gov/pv>
- Nava, Diana (2020). Freno de CENACE a energías renovables retrasará la puesta en marcha de 28 plantas eólicas y solares. El Financiero. México. Disponible en: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/freno-de-cenace-a-energias-renovables-retrasara-la-puesta-en-marcha-de-28-plantas-eolicas-y-solares>
- O'Keeffe, Jillian (2017). Especificaciones del peso bruto del vehículo. Puro Motores. Disponible en: <https://www.puromotores.com/13116115/especificaciones-del-peso-bruto-del-vehiculo>
- Otero, Alejandra (2019). ¿Cuánto consume el aire acondicionado de un coche? Motorpasión. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/cuanto-consume-aire-acondicionado-coche>

- PortalAutomotriz.com (2019). Datos del parque vehicular en México. Melgar México. México. Disponible en: <https://www.portalautomotriz.com/noticias/estudios-de-mercado/datos-del-parque-vehicular-en-mexico>
- Riveros, Héctor et al. Emisiones vehiculares. Instituto de Física, UNAM. México.
- Rodiles, Fabiola (2018). Curso de evaluación de proyectos. Apuntes Eval Proy Energ\_II\_FRA. Facultad de Ingeniería, UNAM. México.
- Roldán, José (2013). Energías Renovables. Lo que hay que saber. Ediciones Paraninfo, S.A. España.
- Salazar, Edgar et al. (2016). Diseño y construcción de un vehículo solar híbrido. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Sánchez, Axel (2020). Los 10 autos más vendidos durante 2019. El Financiero. México. Disponible en: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/los-10-autos-mas-vendidos-durante-2019>
- Sandoval, Juan (2014). Actualización de los ciclos de manejo en el Valle de México para vehículos ligeros. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México, México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte, SCT (2008). Estadística Básica del Autotransporte Federal. Glosario. México. Disponible en: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST\\_BASICA/EST\\_BASICA\\_2008/EB2008-12-GLOSARIO.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST_BASICA/EST_BASICA_2008/EB2008-12-GLOSARIO.pdf)
- Secretaría de Energía (2018). Reporte de Avances de Energías Limpias. Primer Semestre 2018. México.
- Secretaría de Energía (2020). Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. México. Disponible en: <https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP (2020). Presupuesto de Egresos de la Federación. Ejercicio Fiscal 2020. México. Disponible en: <https://www.pef.hacienda.gob.mx/>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (2015). Guía de programas de fomento a la generación de energía con recursos renovables. México.
- Secretaría del Medio Ambiente, SEDEMA (2020). Verificación Vehicular. Ciudad de México. México. Disponible en: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/verificacion-vehicular>
- Smartbitt (2017). Radiación solar. Disponible en: <http://energiasolar.smartbitt.com/radiacion-solar/>
- Sol Energy (2018). Precios Baterías Solares o Acumuladores Solares. Tijuana, México. Disponible en: <https://www.solenergy.mx/es/principal/blog/precios-baterias-solares-o-acumuladores-solares>
- Sono Motors (2019). Sion. Munich, Alemania. Disponible en: <https://sonomotors.com>
- SunFields Europe (2020). Conceptos sobre baterías solares. España. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-fotovoltaicos-baterias-solares-parte-iii/>

- Sunnergy Energías Renovables (2019). Listado de precios 2019. Sistemas fotovoltaicos. Guadalajara, México.
- Tahiri, Hamza (2014). ¿Cómo se recicla un panel solar? Iona Consulting. Publicado por World Economic Forum.
- U.S. Department of Energy (2020). A dónde va la energía: vehículos de gasolina. Versión del portal en idioma español. Estados Unidos. Disponible en: <https://www.fueleconomy.gov/feg/esatv.shtml>
- Uribe, Bernardo (2020). Conoce qué autos híbridos ya no tendrán holograma exento. El Universal. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/que-autos-hibridos-ya-no-tendran-holograma-exento>
- Valdez, Ilich (2018). CdMx reportará emisiones por dióxido de carbono. Milenio. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.milenio.com/estados/cdmx-reportara-emisiones-por-dioxido-de-carbono>
- Vivancos, J. et al. (2003). Revisión de los estudios de análisis de ciclo de vida en la industria el automóvil. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Volkswagen (2013). Emisiones de gases de escape de vehículos. Programa autodidáctico 230.
- Weather Atlas (2020). Previsión meteorológica y clima mensual Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.weather-mx.com/es/mexico/ciudad-de-mexico-clima>
- Weather Spark (2020). El clima promedio en la Ciudad de México. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/5674/Clima-promedio-en-Ciudad-de-M%C3%A9xico-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Yingli Solar (2018). YLM 72 Cell series 2 multi-busbar. Ficha técnica. Baoding, China.
- Yingli Solar (2019). YLM 72 Cell. Ficha técnica. Baoding, China.

## ANEXOS

### 1. Ficha técnica panel solar EGE-370M-72

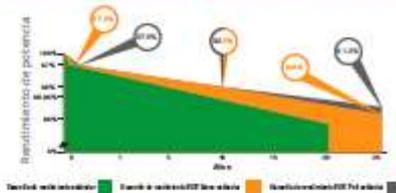


#### CERTIFICADOS

IEC 61215 / IEC 61730 / CE  
ISO 9001:2015

#### GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

10 años de garantía del producto - 25 años de garantía de potencia lineal



Los módulos fotovoltaicos de Eco Green Energy son fabricados solo con celdas grado A, con una alta eficiencia y garantía de 25 años de potencia.

#### KEY FEATURES



Celdas de 5 bus bars con una eficiencia hasta 19 %



Caja de control IP67 (3 diodos) con resistencia al agua para una larga durabilidad



Marco de aluminio de alta calidad, puede resistir carga hasta 5400 Pa y presión del viento hasta 2400 Pa



Vidrio templado de bajo hierro brindando alta transmisividad



Alto rendimiento en ambientes de poca luz



Doble prueba EL antes y después de laminación



**GARANTÍA DE POTENCIA LINEAL**



**GARANTÍA DEL PRODUCTO**



Eco Green Energy Group Ltd. 2018. Todos los derechos reservados.

## INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN STC\*

Potencia máxima (Pmax)	370 W
Tolerancia de potencia	0-+3 %
Eficiencia del módulo	19,07 %
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	39,66 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	9,33 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	47,45 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,71 A

\*Condiciones Estándar de Medida: Radiación: 1000 W/m<sup>2</sup> · Temperatura de las celdas: 25°C · AM: 1,5

## INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN NOCT\*

Potencia máxima de salida (Pmax)	275,88 W
Capacidad máxima de voltaje (Vmp)	37,18 V
Capacidad máxima de corriente (Imp)	7,41 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	44,00 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7,89 A

\*Temperatura Nominal de Operación de la Celda: Irradiación: 800W/m<sup>2</sup> · Temperatura ambiente: 20°C · AM: 1,5 · Velocidad del viento: 1 m/s

## CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

NOCT	45 °C ±2 °C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0,41%/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	+0,06%/°C

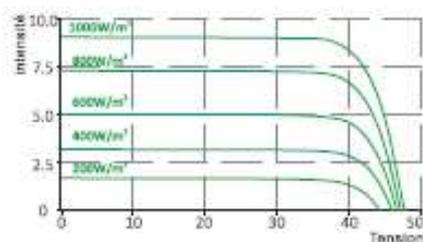
## RANGO MÁXIMO

Rango de temperatura de operación	-45°C → +85 °C
Máximo voltaje del sistema	1500 V
Rango máximo de capacidad del fusible	15 A
Máxima carga frontal (ejem. nieve)	5 400 Pa
Máxima carga posterior (ejem. viento)	2 400 Pa

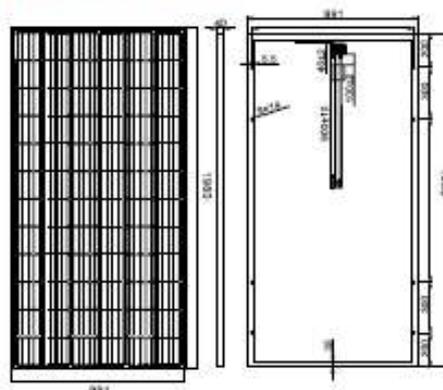
## CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipo de celdas	Monocristalino (156x156 mm)
Número de celdas	72
Dimensiones	1960x991x40 mm
Peso	22,8 kg
Vidrio	3,2 mm vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de control	IP65 o IP67
Cable	0,9 m
Conector	MC4 o MC4 compatible

## EGE-370M-36 / I-V CURVES



## DISEÑO DE INGENIERÍA



## EMBALAJE

Tipo	Pzas	Peso
Paleta	27 pzas	642 kg
Contenedor 20GP	310 pzas	7,8 t
Contenedor 40GP	672 pzas	15,6 t
Contenedor 40HQ	720 pzas	16,8 t



Eco Green Energy Group Ltd. 2016. All rights reserved.  
Add: 299 Xing Cheng Road, Cheng Chuan District, Nanjing,  
Jiangsu, China.  
Tel: +86 513 56690088 / E-mail: info@eco-greenenergy.com

Specifications included in this datasheet are subject to change  
without prior notice. Refer to our website for further informa-  
tion or contact one of our sales staff.  
www.eco-greenenergy.com

## 2. Ficha técnica batería L-31T/S-190M



Distribuido por 



**Especificaciones Técnicas**  
**L-31T/S-190M**

### LTH Ciclado Profundo - Aplicaciones Solares

Los acumuladores LTH para aplicaciones solares han sido diseñados para soportar un alto número de ciclos de vida sin afectar su desempeño.

Estos acumuladores son ideales para proveer energía a sistemas aislados de la red y alumbrado público.



### Especificaciones del Producto

BCI	Aplicación	Voltaje	Polaridad	Dimensiones			Peso (kgs)	Garantía (meses)	
				Largo	Ancho	Alto*		Sin Costo	Prorrata
31T	Ciclado Profundo	12	(+) / (-)	330	172	239	27.7	12	0

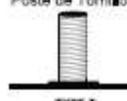
\*La altura máxima incluye el poste

Amperios / Hora				Descarga (Amperios)				Capacidad de Reserva (Minutos)			Energía (kWh)		
⊗ 5Hrs.	⊗ 10Hrs.	⊗ 20Hrs.	⊗ 100Hrs.	⊗ 5Hrs.	⊗ 10Hrs.	⊗ 20Hrs.	⊗ 100Hrs.	⊗ 25 Amps.	⊗ 50 Amps.	⊗ 75 Amps.	⊗ 5Hrs.	⊗ 20Hrs.	⊗ 100Hrs.
88	99	110	122	17.5	9.9	5.5	1.2	190	-	51	1.05	1.32	1.46

Voltaje del Sistema	Ajustes de Voltaje de Cargadores ( @25° C)					
	6V	12V	24V	36V	48V	60V
Carga Lenta	7,40	14,80	29,60	44,40	59,20	74,00
Carga Flotante	6,60	13,20	26,40	39,60	52,80	66,00
Carga de Nivelación	7,75	15,50	31,00	46,50	62,00	77,50

**Terminales**

Poste de Tornillo



TYPE T

**OTRAS APLICACIONES:**



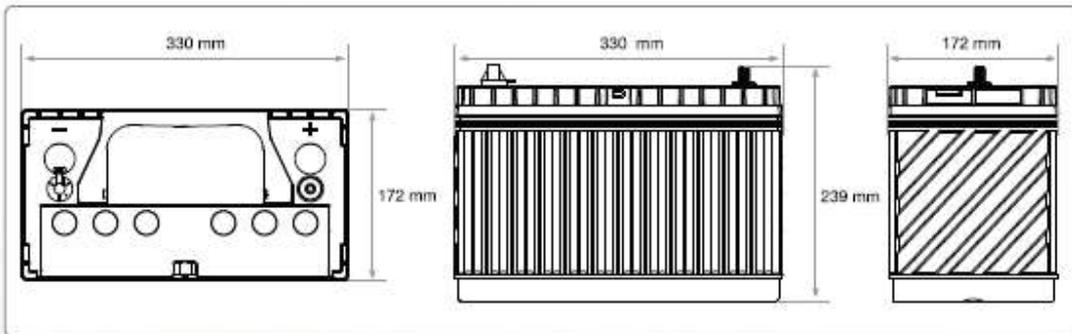


Distribuido por **BATTERY MART**



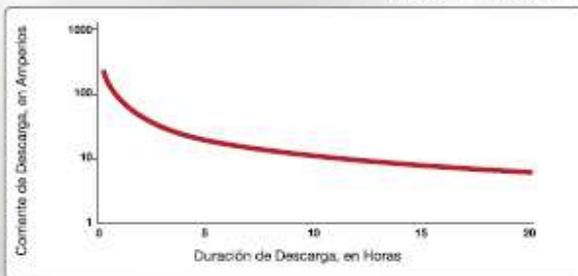
## Especificaciones Técnicas L-31T/S-190M

### MEDIDAS



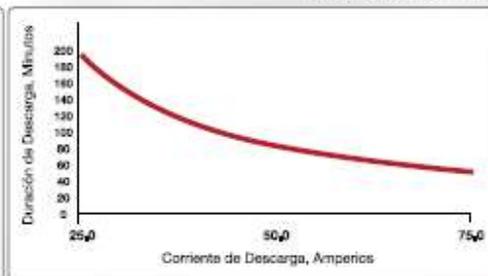
### DESCARGA (AMPERIOS) SEGÚN PERIODO DE HRS.

\*Para fines de estimación solamente



### CAPACIDAD DE RESERVA SEGÚN DESCARGA

\*Para fines de estimación solamente



### Recomendaciones sobre uso y mantenimiento

- Recargue la batería al término de la jornada. No la guarde descargada.
- Antes de recargar la batería, asegúrese que el nivel del electrolito es el correcto. Si necesita agregar agua, procure que ésta sea totalmente libre de minerales. Aún así es preferible agregarle agua potable a no agregarle.
- Mantenga la batería limpia y libre de humedad.
- Limpie las terminales de la batería, cables y accesorios.



Recicla tu  
acumulator usado

Mty (61) 1968-5071 Todo el País 01 800 110 110 1  
ventascorporativas@batterymart.com.mx

batterymart.com.mx  
@batterymartmx

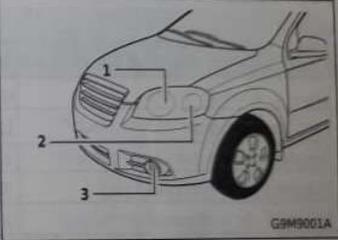
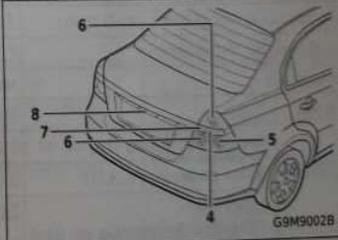
### 3. Información técnica Chevrolet Aveo 2016 (Manual de usuario)

INFORMACIÓN TÉCNICA 8-5

#### ESPECIFICACIÓN DE BULBOS

		Bulbos	Potencias x Cantidad	Observaciones
Delanteras	1	Faro (alto/bajo)	60/55W x 2	
	2	Luz de estacionamiento	28/8W x 2	
		Luz direccional		
		Lateral de indicación		
3	Luz de niebla	55W x 2		
Traseras	4	Luz direccional	21W x 2	
	5	Luz trasera	21/5W x 2	
	6	Luz de frenado	21W x 4	
	7	Luz de reversa	16W x 2	
8	Luz de placa de matrícula	5W x 2		
Interior		Luz de domo	10W x 1	

\* Las especificaciones de los bulbos en algunos modelos pueden ser diferentes de la tabla anterior. Vea la potencia impresa en el bulbo antes de reemplazar los bulbos fundidos.

8-6 INFORMACIÓN TÉCNICA

#### ESPECIFICACIONES DEL VEHÍCULO

##### MOTOR

Motor (1.6 DOHC)		
Tipo	4 cilindros/en línea	
Tren de válvulas	DOHC 16 válvulas	
Desplazamiento (cc) [in <sup>3</sup> ]	1,598 [97.5]	
Diámetro x carrera (mm) [in]	79.0 x 81.5 [3.11 x 3.21]	
Relación de compresión	9.5 : 1	
Potencia máx. (Kw/rpm) [hp/rpm]	76 / 5,800 [101.9 /	
Torque máx. (Nm/rpm) [lb-ft/rpm]	5,800] 145 / 3,600 [106.9	
Sistema de combustible	/ 3,600] Inyección	
Octanaje	multipunto RON 91	
Bujía	Tipo	BKR6E-11
	Separación (mm) [in]	1.0 ~ 1.1 [0.039 ~
Batería	Valor nominal (V-AH)	0.043] 12 - 55
	DINCCA (Amperes de arranque en frío)	255 (SAE 510 CCA)
Alternador (V-A)	12 - 85	
Motor de arranque (V-Kw)	12 - 1.2	

**CAPACIDADES**

Capacidades	
Tanque de combustible (L) [gal]	45.0 [11.9]
Aceite de motor (L) [cuarto]	3.75 [3.96] (incluyendo filtro de aceite)
Refrigerante (L) [cuarto]	6.3 [6.7]

**DIMENSIONES**

Dimensiones exteriores		
Longitud total (mm) [in]		4,310 [169.7]
Ancho total (mm) [in]		1,710 [67.3]
Altura total (mm) [in]		1,505 [59.3]
Base de la rueda (mm) [in]		2,480 [97.6]
Carril (mm) [in]	Delantero	1,450 [57.1]
	Trasero	1,430 [56.3]

**PESO**

PESO		
Peso del vehículo (Kg)[lb]	M/T	1,090 - 1,130 [2,403 - 2,491]
	A/T	1,125 - 1,140 [2,480 - 2,513]
Peso bruto del vehículo (Kg)[lb]	M/T	1,567 [3,454]
	A/T	1,577 [3,476]

**RENDIMIENTO**

Rendimiento			
Velocidad máxima (Km/h)	1.6 DOHC	M/T	177
		A/T	171