

Planta Piloto para la Producción de Vehículos Eléctricos Ligeros y Austeros con Autonomía Energética Solar

Abisai Jaime Resendiz Barrón¹, Segundo Autor², Tercer Autor³

¹Dpto. Metal Mecánica, TecNM-Querétaro

²Adscripción del Segundo Autor

³Adscripción del Tercer Autor

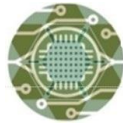
RESUMEN

Se presenta el diseño conceptual y propuesta de planta piloto para la producción de un vehículo eléctrico Vehículo Eléctrico, ligero y austero, concebido para entornos urbanos y rurales con limitados recursos energéticos. El vehículo integra motores de cubo traseros de corriente directa a 48 Volts y 2000 Watts cada uno, con freno regenerativo, carrocería de fibra de vidrio a tres piezas y chasis ligero a base de dos largueros estructurales, y plataforma de acero plano. El sistema energético incorpora cuatro paneles solares (53 por 97 cm, 12 Volts cada uno) tres en el toldo y uno en el cofre que, en conjunto, alimentan dos baterías solares de LiFePO4 de 48 Volts, garantizando autonomía energética total. El diseño busca maximizar eficiencia, reducir costos y facilitar manufactura en pequeña escala mediante una planta piloto adaptable a contextos de países en desarrollo. La planta piloto contempla seis procesos de manufactura: Fibra de vidrio, Soldadura, Ensamble, Electricidad y Pruebas. El prototipo a producir es de 2.60 por 1.60 metros, por lo que se propone que la planta piloto comprende tres áreas optimizadas para los seis procesos, haciendo un área mínima de cuatro por seis metros. El enfoque de la planta piloto es la producción de vehículos eléctricos austeros con miras hacia una producción sostenible, sustentable y redituable de acuerdo con principales ejes de la agenda gubernamental Mexicana.

Palabras clave: vehículo eléctrico, energía solar, planta piloto, movilidad sostenible, diseño austero

ABSTRACT

The conceptual design and pilot plant proposal for the production of an electric vehicle are presented. This lightweight, austere electric vehicle is designed for urban and rural environments with limited energy resources. The vehicle integrates 48-volt, 2000-watt direct current rear hub motors with regenerative braking, a three-piece fiberglass body, and a lightweight chassis based on two structural beams and a flat steel platform. The energy system incorporates four solar panels (54 x 97 cm, 12 volts each), three on the roof and one on the trunk. These panels together power two 48-volt LiFePO4 solar batteries, ensuring complete energy autonomy. The design seeks to maximize efficiency, reduce costs, and facilitate small-scale manufacturing through a pilot plant adaptable to developing country



contexts. The pilot plant includes six manufacturing processes: fiberglass, welding, assembly, electricity, and testing. The prototype to be produced measures 2.60 by 1.60 meters, so the pilot plant is proposed to comprise three areas optimized for the six processes, creating a minimum area of four by six meters. The pilot plant's focus is the production of austere electric vehicles with a view to sustainable, cost-effective production in accordance with the main axes of the Mexican government's agenda

Keywords: electric vehicle, solar energy, pilot plant, sustainable mobility, austere design

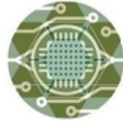
1. INTRODUCCIÓN

La transición hacia la movilidad sostenible se ha convertido en uno de los retos tecnológicos y sociales más relevantes del siglo XXI. El transporte basado en combustibles fósiles contribuye de manera significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero, representando alrededor del 24 % de las emisiones globales de CO₂ relacionadas con energía [1]. Ante este escenario, los vehículos eléctricos (VE) surgen como una alternativa viable para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia energética en entornos urbanos y rurales.

Sin embargo, a pesar del avance tecnológico en baterías, motores eléctricos y sistemas de gestión de energía, los VE comerciales aún presentan barreras que limitan su adopción masiva, especialmente en países en vías de desarrollo: altos costos de adquisición, dependencia de infraestructura de recarga y procesos de manufactura complejos [2]. Estas limitaciones han motivado la búsqueda de soluciones de movilidad austera, donde el diseño del vehículo se centra en la simplicidad, bajo costo y eficiencia, sin comprometer la seguridad estructural ni la autonomía operativa.

En este contexto, los **vehículos eléctricos ultraligeros y autónomos energéticamente**, equipados con **motores de cubo traseros** y sistemas fotovoltaicos integrados, constituyen una alternativa de innovación tecnológica. El uso de carrocerías de fibra de vidrio, chasis simplificados y sistemas de suspensión de fácil manufactura puede reducir significativamente el peso del vehículo y los costos de producción [3]. De manera complementaria, la integración de paneles solares directamente en la carrocería ofrece la posibilidad de autonomía energética total, lo que representa una ventaja en regiones donde la red eléctrica es ineficiente o inexistente [4].

La experiencia internacional demuestra que el **desarrollo de VE austeros puede ser una estrategia nacional exitosa**. En China, la adopción inicial de vehículos eléctricos de bajo costo —particularmente en ciudades secundarias y rurales— fue un motor clave



para la creación de un ecosistema industrial que, en menos de dos décadas, transformó al país en el mayor productor mundial de vehículos eléctricos de lujo y alto rendimiento [5]. Inspirándose en este modelo, **México ha comenzado a delinear una política orientada a la movilidad austera**, basada en la producción de vehículos eléctricos ligeros y de bajo costo como primer paso hacia la consolidación de un sector automotriz eléctrico propio. Esta estrategia, alineada con una visión de soberanía tecnológica y energética, pretende sentar las bases para un desarrollo industrial sostenible y competitivo a nivel global.

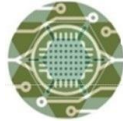
El presente trabajo tiene como objetivo mostrar el diseño conceptual y la propuesta de una **planta piloto para la producción de un vehículo eléctrico austero, ultraligero y con autonomía energética solar**, desarrollado a partir de principios de ingeniería mecánica, eléctrica y de materiales.

La evolución de **vehículos eléctricos ligeros** se ha estudiado desde diversas perspectivas, incluyendo eficiencia energética, manufactura de bajo costo y sistemas de propulsión alternativos. Una de las tendencias más notables es el uso de **motores de cubo en rueda (hub motors)**, que eliminan la necesidad de transmisiones complejas, reducen el peso total del vehículo y mejoran la eficiencia en entornos urbanos [6]. Estos motores, además, permiten integrar sistemas de **frenado regenerativo**, optimizando el uso de la energía almacenada en las baterías.

En paralelo, la utilización de **paneles solares en vehículos eléctricos (solar EVs)** ha ganado interés en la última década. Aunque los paneles solares no siempre garantizan la recarga total en vehículos convencionales de gran tamaño, en vehículos ultraligeros sí es posible alcanzar **autonomía energética total**, especialmente en regiones con alta radiación solar [7]. Diversos proyectos piloto en Europa y Asia han mostrado la viabilidad técnica de integrar módulos fotovoltaicos en toldos y cofres de automóviles, aportando cargas adicionales que prolongan la autonomía sin requerir infraestructura externa [8].

En cuanto a **materiales de construcción**, la **fibra de vidrio y los polímeros reforzados** han sido empleados en la industria automotriz ligera debido a su bajo peso, resistencia a la corrosión y facilidad de manufactura en plantas piloto. Esto contrasta con el uso tradicional de acero, que aunque económico, limita la eficiencia de vehículos de baja potencia [9].

Finalmente, el establecimiento de **plantas piloto de producción de VE austeros** representa un paso intermedio estratégico entre la investigación académica y la industrialización a gran escala. Estas plantas permiten validar procesos de diseño, ensamble y control de calidad con bajo costo, reduciendo el riesgo tecnológico antes de expandir la producción. Países como China e India han demostrado que las plantas piloto, enfocadas en movilidad austera, pueden catalizar la transición hacia la fabricación masiva de VE [10].



2. DESARROLLO

La metodología para el desarrollo del vehículo eléctrico austero ultraligero con autonomía energética solar se estructuró en tres ejes principales: **(i) diseño del vehículo**, **(ii) integración del sistema energético solar**, y **(iii) conceptualización de la planta piloto de producción**.

2.1 Diseño del vehículo

El diseño conceptual y detallado del vehículo se realizó mediante software **SolidWorks**, desarrollando cada componente estructural y de carrocería de manera individual para su posterior ensamble virtual y análisis de comportamiento estructural mediante **Análisis de Elementos Finitos (FEA)**.

El **chasis** se diseñó como una estructura ligera a base de **dos largueros principales**, reforzados con travesaños, integrando un **piso plano de lámina tipo plataforma**, en el cual se realizaron únicamente las hendiduras necesarias para el montaje de amortiguadores y ruedas. Esta configuración permite simplicidad en la manufactura, bajo costo y rigidez estructural adecuada para soportar la carga de los ocupantes y componentes mecánicos.

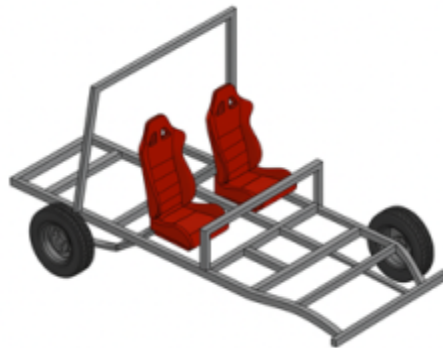


Figura 1. Diseño de chasis de VE.

La **carrocería** está construida con **fibra de vidrio**, un material que ofrece bajo peso y facilidad de moldeo en una planta piloto. El diseño contempla la posibilidad de no incluir puertas (versión básica) o bien integrar dos puertas delanteras pequeñas en versiones posteriores. Los elementos acrílicos —parabrisas, medallón y ventanas— fueron seleccionados como alternativa ligera y de fácil manufactura en comparación con el vidrio automotriz.

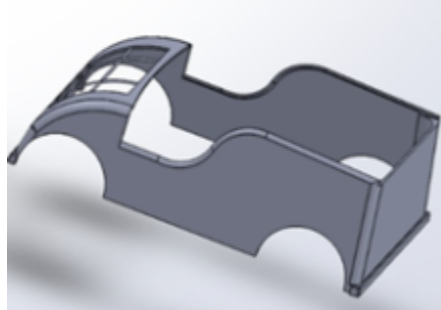
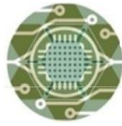


Figura 2. Diseño de carrocería de VE.

Los **sistemas de suspensión** fueron seleccionados bajo criterios de simplicidad y disponibilidad comercial: **Suspensión trasera:** horquilla longitudinal con amortiguador y resorte; **Suspensión delantera:** tipo MacPherson con horquilla lateral.

El conjunto de **componentes comerciales de origen chino** incluye motores de cubo, controladores, amortiguadores, resortes, sistema de dirección, luces, bocina, llantas, tornillería y asientos de espuma. Estos elementos permiten reducir costos de desarrollo e incrementar la confiabilidad, al estar basados en tecnologías ya probadas.

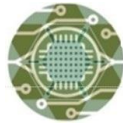


Figura 3. Kit de suspensión y sistema de dirección comerciales.

En términos de propulsión, se emplean **dos motores de cubo traseros** de 2000 W y 48 V cada uno (peso aproximado de 20 kg por unidad), equipados con **sistema de freno regenerativo** para maximizar la recuperación energética en desaceleración. La alimentación se realiza mediante **dos baterías LiFePO₄** de 48 V (20 kg c/u), seleccionadas por su densidad energética, seguridad térmica y durabilidad en ciclos de carga.



Figura 4. Motores de cubo y adaptadores



2.2 Integración del sistema energético solar

El sistema de generación fotovoltaica se diseñó para garantizar **autonomía energética total** del vehículo. Se integraron **cuatro paneles solares de 12 V** (dimensiones: 54×97 cm, espesor de 3 mm) distribuidos de la siguiente forma. **Toldo:** superficie cóncava de $120 \text{ cm} \times 165 \text{ cm}$, tipo retícula estructural, diseñada para soportar tres paneles (dos en disposición horizontal y uno transversal); **Cofre:** superficie cóncava longitudinal y transversal, tipo retícula, que soporta un panel adicional de 54×97 cm.

La configuración eléctrica de los paneles solares permite su conexión en serie para la alimentación directa de la batería de 48 V. Adicionalmente, se integró un **sistema de gestión de carga (BMS)** para balancear el flujo energético y proteger las baterías frente a sobrecarga o descarga profunda.

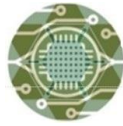


Figura 5. Diseño de VE, con adaptación para panel solar en cofre

2.3 Planta piloto de producción

La propuesta de **planta piloto** considera procesos simplificados de manufactura y ensamble, optimizados para baja escala y costo reducido. Se realizan cinco procesos de fabricación: Fibra de vidrio, Soldadura, Ensamble, Electricidad y Pruebas. El prototipo a producir es de 2.60 por 1.60 metros, por lo que se propone que la planta piloto comprenda cuatro áreas optimizadas para los cinco procesos, haciendo un área mínima de cinco por seis metros. Los procesos se optimizan en cuatro áreas, que se describen a continuación en orden cronológico de producción:

Área de soldadura y armado de chasis, basada en perfiles metálicos rectangulares, y chapa de acero. Esto se conforma dos chapas de acero, (lamina negra comercial de 2.44m por 1.22 cm), con hendiduras para los amortiguadores y para las llantas. Por el lado de abajo dos largueros (perfil tubular rectangular R-250), donde se soportan las horquillas en forma longitudinal traseras, y las horquillas laterales delanteras, también se soportan los postes verticales para el parabrisas y soporte central para el toldo. El esqueleto del toldo y cofre se realizan de forma de red para soportar los paneles solares mencionados con



material comercial (perfil tubular rectangular R-150), todo esto con el proceso de soldadura conforme a plano figura 6. Se requiere una área de 3 m por 2 m, previa habilitación del material.

Área de ensamble de fibra de vidrio e integración fotovoltaica, con moldes modulares para carrocerías. Se contemplan 3 piezas de fibra de vidrio, dos laterales y una frontal a ensamblar sobre la chapa de acero y postes del chasis. Se ensamblan los paneles solares conectados a batería. Se considera una área de 3m por 2 m.

Área de ensamble de sistemas mecánicos, ergonómicos, eléctricos, y pruebas. Aquí se integran componentes comerciales (motores, suspensiones, dirección, frenos, iluminación). Por otro lado, se cablea sistema eléctrico, se instalan asientos, parabrisas, medallón vidrios de ventana, puertas (opcional), ambientación. Finalmente se hacen las pruebas de funcionamiento y operación. Se considera una área de 3m por 2m.

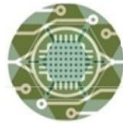
Área de habilitación de material y herramientas. En esta área se almacena material y se habilita, aquí se considera una prensa para el conformado de la chapa de acero, y el corte de los largueros y postes del chasis. También se considera la preparación de las piezas de fibra de vidrio en moldes prefabricados. Esta sección requiere de una área de 2 m por 6 m. Los trabajos en esta área se dividen en tres partes, habilitado de material para soldadura y ensamble de chasis. Habilitado de piezas de fibra de vidrio, y habilitado de accesorios.

Las áreas se distribuyen de acuerdo al Layout de la siguiente figura.



Figura 6. Layout de distribución de áreas para los procesos de fabricación.

Este enfoque metodológico permite validar el diseño y los procesos de integración antes de una eventual escalabilidad industrial, alineándose con el modelo de transición de plantas piloto a producción masiva adoptado en países emergentes [10].



3. RESULTADOS

A continuación se presentan las métricas estimadas del prototipo optimizado para mantenerse dentro del objetivo de masa 250 ± 10 kg, junto con proyecciones de desempeño y autonomía en escenarios parametrizados.

3.1 Peso y desglose de componentes

En la siguiente tabla se presenta la masa estimada de los componentes del vehículo, para determinar su peso aproximado.

Tabla 1 — Desglose de masa estimada.

Componente	Masa (kg)	Costo (\$)
Perfil tubular R-250 cal 18 (17 m)	33.7	1 250
2 Lámina piso 0.91×2.44 m cal 20	15.3	540
Tubular R-150 (toldo / cofre, 9 m)	8.4	290
Carrocería fibra de vidrio (3 piezas, layup optimizado)	9.0	2 000
2 Motores de cubo (20 kg c/u)	40.0	24 000
2 Baterías LiFePO ₄ (20 kg c/u)	40.0	24 000
2 Controladores y electrónica	3.0	2 000
4 ruedas R13 (rines de aluminio optimizados)	38.0	8 000
Suspensión (amortiguadores + resortes)	8.0	7 000
Sistema de dirección	7.0	3 000
4 paneles solares 53×97 cm (optimizado)	11.2	6 000
Acrílicos (parabrisas, medallón, ventanas)	10.0	2 500
Cableado, luces, bocina	7.0	2 000
Asientos espuma	6.0	2 500
Tornillería y fijaciones	3.0	800
Misceláneos / soportes / brackets	5.0	1 500
Total estimado	≈244.6	87 830

Rango de incertidumbre plausible: 240 – 255 kg según variaciones de proveedor y nivel de optimización adoptado.

3.2 Reparto aproximado de masas y observaciones

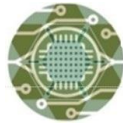
Masa propulsión + baterías (masa fija por diseño): ≈ 80 kg (32 % del total).

Estructura metálica + piso: ≈ 57 kg (23 %).

Rodado y suspensiones: ≈ 46 kg (19 %).

Carrocería y elementos ligeros (fibra, acrílicos, paneles): ≈ 30 kg (12 %).

Observación: el centro de gravedad debe verificarse en el modelo SolidWorks; la ubicación de las baterías (bajo piso preferentemente) permite mejorar estabilidad y reparto axilar.



3.3 Estimaciones de desempeño y autonomía (modelo paramétrico)

Dado que la autonomía depende directamente de la **capacidad energética de las baterías** (Wh) y del consumo del tren motriz (Wh/km), se presenta una **fórmula general** y dos **escenarios ejemplo** (conservador y optimista) para adaptar los cálculos cuando se tenga la capacidad nominal exacta de las baterías.

Fórmula general:

$$Km = (E_{bat} * \eta) / C_{veh} \dots (1)$$

donde:

- E_{bat} = energía usable de la batería en Wh (capacidad nominal $\times$ profundidad de descarga usable).
- η = eficiencia global del tren motriz (incluye controladores, pérdidas motor; típicamente 0.75–0.9).
- C_{veh} = consumo energético del vehículo en Wh/km (depende de velocidad, resistencia aerodinámica y peso; para VEs ultraligeros típicos: 40–120 Wh/km).

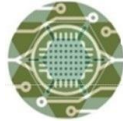
Escenario	C_{veh}	Autonomía con 4320 Wh
Conservador	90Wh/km	$\times 0.8/90 = 38.4$ km
Optimista	55Wh/km	$\times 0.8/55 = 62.9$ km

Producción energética solar diaria (estimación simple para aporte de paneles integrados):

Paneles: $4 \times (0.54 \times 0.97) \approx 1.62$ m² de área total de panel. Asumiendo rendimiento práctico promedio del sistema (irradiancia media diaria 4.5 kWh/m²·día en zonas soleadas; eficiencia real y pérdidas de sistema) y que los paneles son pequeños — se espera que la energía generada por día aporte del orden de **0.5 – 1.5 kWh/día** útil al sistema en condiciones favorables. Esto se traduce en **aprox. 6–20 km adicionales/día** de autonomía según consumo (varía mucho con radiación y pérdidas). **Nota:** estos valores son orientativos; calcular exacto requiere datos locales de irradiancia y especificaciones reales de panel.

3.4 Velocidad máxima y potencia útil (estimación rápida)

- Potencia nominal combinada: 2×2 kW = 4 kW (48 V).
- Potencia disponible en rodamiento y pérdida: asumiendo 70–80 % utilizable para movimiento continuo $\rightarrow \approx 2.8 - 3.2$ kW.



- Velocidad máxima estimada (plano, sin limitaciones aerodinámicas): para un VE ultraligero con baja resistencia, con 3 kW útiles es razonable esperar **40–60 km/h**; en subida pronunciada o con carga máxima la velocidad será menor. (Se recomienda estimación más precisa por balance de potencias: $P = F_{res} \cdot v$).

3.5 Validación prevista

- Verificación de masa y reparto en SolidWorks (incluir ubicación exacta de las baterías para CG).
- FEA del chasis con cargas estáticas (ocupantes, cargas puntuales de suspensión, impactos de baches).
- Simulación dinámica simplificada para estimar comportamiento en frenado regenerativo y respuestas de suspensión con masas optimizadas.
- Ensayos en banco (dinamómetro) y pruebas en pista urbana para validar consumo real y autonomía.

CONCLUSIONES

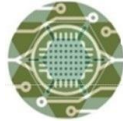
La implementación de la **planta piloto** para el desarrollo de un vehículo eléctrico ligero y austero permitió validar la factibilidad de los procesos de diseño, manufactura y ensamble bajo un esquema de **optimización de recursos y peso**, alcanzando un rango aproximado de **250 ± 10 kg** en el conjunto estructural y funcional. Esta etapa experimental confirmó que es posible integrar **componentes de bajo costo y disponibilidad comercial** con un chasis diseñado y fabricado localmente, sin comprometer la capacidad de transporte de **dos a tres ocupantes** en un entorno urbano.

La planta piloto evidenció que la estrategia de **producción modular y escalable** facilita no solo el ajuste de peso y resistencia estructural, sino también la incorporación de elementos de eficiencia energética, como motores de cubo y paneles solares auxiliares. El enfoque aplicado contribuye a la formación de una **cadena de valor nacional en electromovilidad**, con potencial de impacto tanto tecnológico como socioeconómico.

En conclusión, la planta piloto constituye un **primer paso hacia la industrialización local de vehículos eléctricos urbanos**, ofreciendo un laboratorio real para mejorar procesos, capacitar personal y evaluar tecnologías complementarias (seguridad, gestión térmica, aerodinámica). Este enfoque no solo valida la viabilidad técnica del diseño, sino que sienta las bases para la **escalabilidad hacia una producción nacional sostenible y competitiva** en el sector de la electromovilidad.

REFERENCIAS

[1] IEA, *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights 2023*, International Energy Agency, Paris, 2023. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>



- [2] B. Nykvist and M. Nilsson, "Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles," *Nature Climate Change*, vol. 5, no. 4, pp. 329–332, 2015.
- [3] L. Barelli, G. Bidini, and A. Ottaviano, "Hybridization of solar photovoltaic and electric vehicles: Synergies and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1411–1422, 2016.
- [4] D. Hossain, M. Mahmud, and J. Ravishankar, "Solar photovoltaic powered electric vehicles: Current state and future challenges," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 463–469, 2020.
- [5] Y. Zhang and C. Qin, "China's electric vehicle industry development: Policy, market and technology," *Energy Policy*, vol. 151, p. 112150, 2021.
- [6] A. Chauhan, S. Bansal, and A. R. Saxena, "Design and performance of in-wheel hub motor drive for electric vehicles," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, p. 123103, 2020.
- [7] A. M. de Souza, J. C. D. Silva, and F. L. Tofoli, "Solar-powered electric vehicles: A review of technical aspects," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 127893–127911, 2021.
- [8] H. K. Lam and J. Bauer, "Photovoltaic integration into vehicles: A review of challenges and opportunities," *Applied Energy*, vol. 285, p. 116425, 2021.
- [9] S. R. Dharmadhikari and A. M. Patil, "Composite materials in automobile engineering: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 43, pp. 200–205, 2021.
- [10] K. Sharma and P. Raj, "Electric mobility in developing countries: Role of pilot projects and demonstration plants," *Energy for Sustainable Development*, vol. 59, pp. 90–99, 2020.