

Implementación de vehículos eléctricos en transporte de carga

Juan Antonio Jiménez García

Centro Universitario de Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México

ORCID: Opcional ORCID 0000-0002-7303-1284

. jajimenezg@uaemex.mx

Rigoberto Torres Tovar

Centro Universitario de Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México

rtorrest@uaemex.mx

Víctor Manuel Lope Duran

Centro Universitario de Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México

vmduranl@uaemex.mx

RESUMEN

Se presenta la evaluación económica de la implementación de vehículos eléctricos en transporte de carga. Se presenta la metodología para la evaluación de proyectos de inversión considerando la evaluación económica a través de dos alternativas mutuamente exclusivas considerando que solo se conocen los gastos (Coss Bu, 2012). Para evaluar las dos alternativas de inversión a) Operar unidades de reparto Diesel y b) incorporar unidades de reparto Eléctricas. Para la evaluación, se parte del supuesto que ambas unidades de transporte realizan el mismo recorrido y transportan la misma carga, por lo que, con cualquiera de las dos unidades, son capaces de realizar el mismo trabajo. Se presentan los principales aspectos de la implementación de unidades de transporte de carga eléctricas y se realiza un análisis económico y ambiental de su implementación. Se encontró que la implementación de unidades eléctricas resulta económicamente más atractiva por su bajo costo de adquisición, prácticamente nulo gasto en mantenimiento y finalmente presenta un valor anual equivalente menor con respecto a la opción de unidades de reparto Diesel.

Palabras clave: Evaluación Económica, Valor anual equivalente, vehículos eléctricos.

Implementation of electric vehicles in freight transport

ABSTRACT

The economic evaluation of the implementation of electric vehicles in freight transportation is presented. The methodology for the evaluation of investment projects is presented considering the economic evaluation through two mutually exclusive alternatives considering that only the costs are known (Coss Bu, 2012). To evaluate the two investment alternatives a) operate Diesel delivery units and b) incorporate Electric delivery units. For the evaluation, it is assumed that both transport units perform the same route and transport the same load, so that, with either of the two units, they are able to perform the same work. The main aspects of the implementation of electric freight transport units are presented and an economic and environmental

analysis of their implementation is made. It was found that the implementation of electric units is economically more attractive due to its low acquisition cost, practically zero maintenance costs and finally, it presents a lower equivalent annual value with respect to the option of diesel delivery units.

Keywords: Economic evaluation, equivalent annual value, electric vehicles.

Implementação de veículos elétricos no transporte de cargas

RESUMO

Apresenta-se a avaliação econômica da implementação de veículos elétricos no transporte de cargas. A metodologia para avaliação de projetos de investimento é apresentada considerando a avaliação econômica por meio de duas alternativas mutuamente exclusivas, considerando que apenas os custos são conhecidos (Coss Bu, 2012). Para avaliar as duas alternativas de investimento a) operar unidades de entrega a Diesel y b) incorporar unidades de entrega Eléctricas. Para a avaliação, assume-se que ambas as unidades de transporte realizam a mesma rota e transportam a mesma carga, de modo que, com qualquer uma das duas unidades, sejam capazes de realizar o mesmo trabalho. São apresentados os principais aspectos da implementação de unidades eléctricas de transporte de cargas e é feita uma análise econômica e ambiental de sua implementação. Verificou-se que a implementação de unidades eléctricas é economicamente mais atrativa devido ao seu baixo custo de aquisição, custos de manutenção praticamente nulos e, finalmente, apresenta um menor valor anual equivalente em relação à opção de unidades de entrega a Diesel.

Palavras-chave: Avaliação econômica, valor anual equivalente, veículos elétricos.

INTRODUCCIÓN

La implementación de vehículos eléctricos en el transporte de carga representa una transición fundamental hacia un sistema de transporte más sostenible y eficiente. En un contexto global marcado por la preocupación por el cambio climático y la reducción de emisiones contaminantes, los vehículos eléctricos emergen como una solución prometedora para mitigar los impactos ambientales asociados al transporte de carga en las grandes urbes a fin de salvaguardar la calidad del aire que respiran las personas en las grandes ciudades. En este trabajo se proporciona un análisis económico de la evaluación de dos alternativas mutuamente exclusivas considerando que solo se conocen los gastos y que ambas unidades del análisis realizan el mismo trabajo y recorrido diario en su ruta de transporte.

Elementos principales de las Unidades de Reparto Eléctricas

Motor Eléctrico

La unidad de reparto eléctrica estará equipada con uno o más motores eléctricos que proporcionan la potencia necesaria para la propulsión del vehículo. Un motor eléctrico se define como un dispositivo electromecánico que convierte la energía eléctrica en energía mecánica mediante la interacción de campos magnéticos

Baterías

Las baterías son una parte fundamental de la configuración. Almacenan la energía eléctrica necesaria para alimentar el motor o los motores eléctricos. Estas baterías pueden variar en tamaño y capacidad, dependiendo de la autonomía y la carga útil requerida. Cuenta con un sistema de gestión para la carga y descarga con lo que se garantiza su densidad de energía, ciclo de vida y seguridad.

Existen diversos tipos de baterías para vehículos eléctricos. Entre las que se encuentran:

- Plomo Acido (PB-acido). Es la más antigua y la más usada en vehículos convencionales. Suelen tener entre 6 y 12 volts, una autonomía de 100 km y se emplean fundamentalmente para funciones de arranque del vehículo, iluminación o soporte eléctrico. Sus ciclos de vida son limitados a 500 y 800 ciclos de carga- descarga, con densidad de 30 – 40 WH/Kg.
- Níquel-cadmio (NiCd). Son muy utilizadas en la industria del automóvil, a pesar de su alto coste y su efecto memoria, algo que no las hace la mejor solución como batería de un vehículo eléctrico, tiene una vida de 1500 a 2000 ciclos de carga – descarga y una densidad de carga de 40-60 Wh/Kg.
- Níquel-hidruro metálico (NiMh), estas tienen un ciclo de vida un poco limitado entre los 300 y 500 ciclos de carga y descarga, y una densidad de 30-80 Wh/Kg y un elevado mantenimiento.
- Ion-litio (LiCoO_2) Un tipo de batería de reciente creación con el doble de densidad energética que las de níquel-cadmio, a pesar de tener un tercio de su tamaño. Posee entre 400 y 1300 ciclos de carga- descarga y una densidad de carga de entre 100- 250 Wh/ Kg y no necesita mantenimiento.
- Ion litio con cátodo de LiFePO_4 . Esta batería no utiliza cobalto, lo que les da mayor seguridad al ofrecer una mayor estabilidad por su gran cantidad de hierro, ciclo de vida mayor a 2000 cargas-descargas, densidad de 90 -100 Wh/Kg y no ocupa mantenimiento.
- Polímero de litio (LiPo). Es un tipo de batería variación de la de ion- litio cuenta con una gran densidad energética y potencia. Tiene un ciclo de vida de alrededor de los 1000 ciclos de carga-descarga y una densidad energética de 300 Wh/Kg y no ocupa mantenimiento.

Sistema de Carga y potencia

Para cargar las baterías, se necesita un sistema de carga. Esto puede incluir un cargador a bordo para cargar en una toma eléctrica estándar o cargadores de alta capacidad para carga rápida en estaciones de carga.

En el extenso dominio de la movilidad eléctrica, los sistemas de carga en el transporte constituyen la infraestructura y las tecnologías específicamente concebidas para proveer de energía y recargar las baterías de los vehículos eléctricos. Su función primordial consiste en establecer puntos de recarga accesibles y eficientes, promoviendo de este modo la adopción de tecnologías más sostenibles en el ámbito del transporte. Estos sistemas abarcan diversas categorías, desde la carga residencial, que se integra en hogares para recargar vehículos durante la noche, hasta la carga pública, que se encuentra en lugares accesibles como estacionamientos y centros comerciales.

La carga rápida y ultrarrápida se enfoca en acelerar el proceso de recarga, mientras que la carga inalámbrica elimina la necesidad de cables físicos, simplificando aún más el proceso. Estos sistemas de carga desempeñan un papel crucial al respaldar la infraestructura necesaria para la adopción generalizada de vehículos eléctricos. Facilitan la transición hacia una movilidad más limpia y sostenible al ofrecer opciones convenientes y eficientes para cargar las baterías de estos vehículos, contribuyendo así a la construcción de un futuro de transporte más respetuoso con el medio ambiente (Duran, 2023).

La infraestructura del sistema de carga en transporte conforma una red diversa de componentes diseñados para facilitar el proceso de carga de vehículos eléctricos. En el corazón de esta estructura se encuentran las estaciones de carga, puntos estratégicos equipados con tecnología para suministrar energía a los vehículos. Estas estaciones pueden variar en su naturaleza, desde instalaciones públicas y comerciales hasta estaciones residenciales o privadas.

METODOLOGÍA

En la presente investigación se emplea el método del valor anual equivalente para evaluar las dos alternativas de inversión

- a) Operar unidades de reparto como se ha venido haciendo con unidades Diesel
- b) Utilizar unidades de reparto Eléctricas.

Como en este caso analizaremos dos alternativas mutuamente excluyentes, realizaremos la evaluación económica a través de dos alternativas mutuamente exclusivas considerando que solo se conocen los gastos (Coss Bu, 2012).

Método del valor anual equivalente.

La selección de alternativas mutuamente excluyentes en proyectos de inversión implica elegir la opción más favorable entre varias propuestas de inversión que compiten entre sí, es decir, solo se puede seleccionar una de las alternativas disponibles. La metodología para llevar a cabo esta selección generalmente sigue los siguientes pasos:

Identificación de Alternativas: En esta etapa, se recopilan y describen todas las alternativas posibles de inversión. Cada alternativa debe ser claramente definida en términos de su alcance, duración y flujos de efectivo asociados.

Estimación de Flujos de Efectivo: Para cada alternativa, se proyectan los flujos de efectivo netos que se espera generar durante la vida útil del proyecto. Esto incluye costos iniciales de inversión, ingresos operativos, costos de mantenimiento y posibles flujos de efectivo de desinversión al final del proyecto. Según *Coss Bu*, para el cálculo del Valor anual equivalente de proyectos de inversión de dos alternativas mutuamente exclusivas, se emplea la siguiente expresión:

$$A = -p(A/p, i\%, n) + \left\{ \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} \right\} (A/p, i\%, n) + F(A/F, i\%, n)$$

Donde:

- A = Anualidad equivalente.
- p = Inversión inicial.
- S_t = Flujo de efectivo neto del año t
- F = Valor de rescate.
- n = Número de años de vida del proyecto.
- i = Tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA).

Si se supone que los flujos de efectivo netos al año son iguales, entonces la ecuación anterior se simplifica.

$$A = S - \{(p-F) (A/p, i\%, n) + F(i\%)\}$$

Definición de las alternativas mutuamente exclusivas

En esta sección se describen las características de las dos alternativas de inversión, para realizar el análisis económico y determinar la viabilidad de cada alternativa; alternativa de seguir usando la unidad eléctrica VS unidad Diesel.

Tabla 1

Características de las opciones mutuamente exclusivas.

TIPO	ELECTRICO	DIESEL	UNIDAD DE MEDIDA
MODELO	Eléctrico	Modelo con Motor Diesel.	
DESCRIPCIÓN	Unidad de reparto eléctrica.	Unidad de reparto con motor Diesel.	
INVERSIÓN INICIAL	\$603,635.00	\$750,000.00	
RECORRIDO DIARIO	45	1.375	KM
CAPACIDAD DE CARGA	1		Ton
Velocidad máxima	80		km/hr
Tipo de batería	41		KWH (Ion litio con freno regenerativo)
Tiempo estimado de carga (15%-100%)	7		hr
Tiempo estimado de carga rápida (30-80%)	54		min
autonomía	400		km
RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE	10.3	7.5 KM/LT	KM/HR, KWH/100 km
EQUIVALENCIA ENTRE KWH Y DIESEL	9.9		KWH/LT
RECORRIDO DIARIO	35	35	KM
RECORRIDO MENSUAL	1050	1050	KM AL MES
COSTO UNITARIO DE COMBUSTIBLE	1.071	24.175	\$KWhR TARIFA ALTA, \$/LITROS
COSTO DE COMBUSTIBLE MENSUAL	\$115.27	\$3,384.50	\$

PRIMA DE SEGURO ANUAL	\$8,610.05	\$10,697.75	ANUAL
REFRENDO ANUAL	\$2,173.00	\$3,806.00	\$
*VERIFICACIÓN VEHICULAR ANUAL	\$0.00	\$1,256.00	\$
COSTO DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO	\$5,973.00	\$9,146.00	\$
GASTOS TOTALES ANUALES	\$16,871.31	\$28,290.25	\$
VIDA ÚTIL	8 AÑOS	8 AÑOS	AÑOS
VALOR DE REVENTA	\$94,167.06	\$112,500.000	\$

Nota: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSION

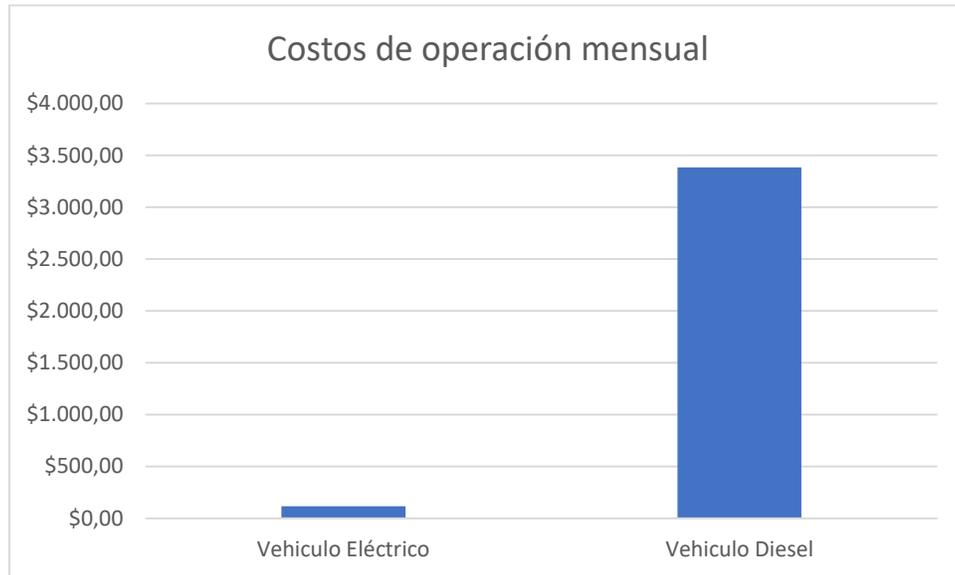
En esta sección se presentarán los resultados de la operación de transporte eléctrico de carga respecto a los efectos y logros obtenidos al implementar vehículos eléctricos en una flota de transporte de carga. Estos resultados pueden evaluarse en función de varios indicadores y métricas que ayudan a medir el rendimiento, la eficiencia y los beneficios de la operación de transporte eléctrico. Algunos de los resultados clave de la operación de transporte eléctrico de carga incluyen:

Reducción de Costos Operativos: Uno de los resultados más destacados es la reducción de los costos operativos en comparación con los vehículos de combustión interna. Esto se debe a la mayor eficiencia energética de los vehículos eléctricos y a los menores costos de mantenimiento, incluyendo la reducción de los gastos en combustible y aceite.

En la figura 5.1 se muestra, los costos de combustible mensual de las dos alternativas analizadas en la presente investigación. Los vehículos eléctricos, al no depender de combustibles fósiles, pueden lograr un ahorro sustancial en costos de combustible, especialmente en rutas de reparto de corta distancia y con frecuentes paradas.

Figura 1

Costo de operación anual de las dos alternativas.

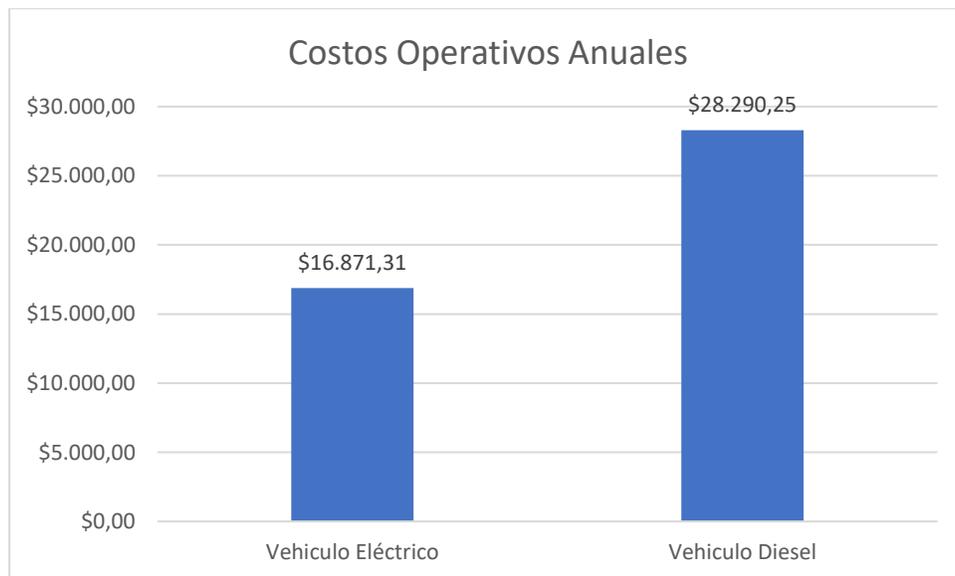


Nota: Elaboración propia

En la figura 2.0 se muestra el costo operativo anual considerando todos los gastos de las unidades de reparto (combustible, prima de seguros, refrendo de placas, verificaciones vehiculares y mantenimientos).

Figura 2

Costo operativos anuales de las dos opciones analizadas.



Nota: Elaboración propia

Por otra parte, al realizar el análisis económico de las dos opciones del vehículo eléctrico vs vehículo a Diesel. En la tabla 2.0 se muestran las principales variables económicas para el cálculo del valor anual equivalente.

Tabla 2.0 Valores económicos y Valor anual equivalente calculado.

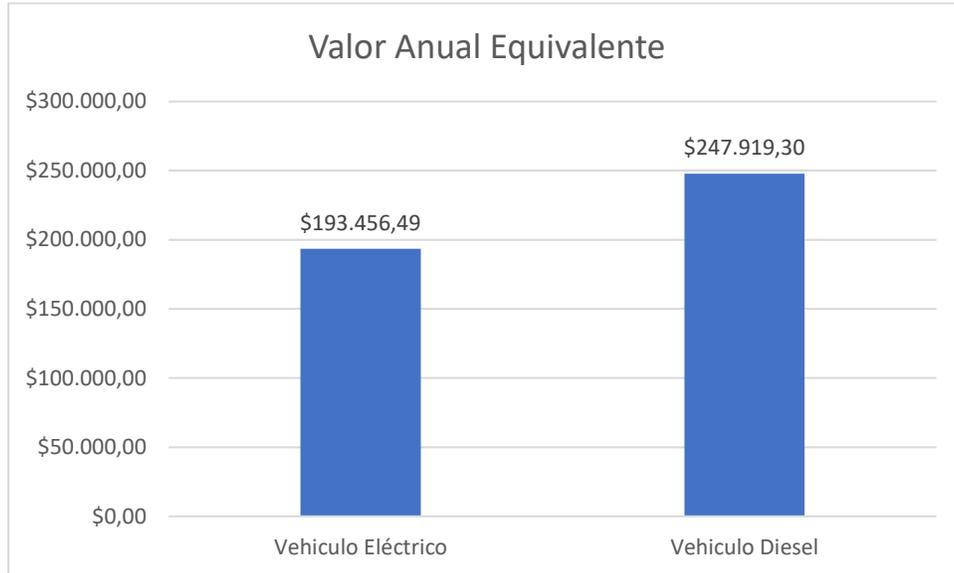
Concepto.	Vehículo eléctrico	Vehículo Diesel.
inversión inicial (\$)	\$603,635.00	\$750,000.00
gastos anuales calculados (\$)	\$16,871.31	\$28,290.25
valor de rescate	\$94,167.06	\$112,500.000
vida útil (n)	8.0	8.0
factor i (considerando una *TREMA=25%)	0.25	0.25
Factor (A/P,%n)	0.30040	0.30040
VALOR ANUAL EQUIVALENTE CALCULADO	\$193,456.49	\$247,919.30

Nota: Elaboración propia.

*TREMA: Tasa de recuperación mínima atractiva, tasa siempre mayor a la inflación y la ganancia esperada para el inversionista. En la figura 3.0 se muestra el valor anual equivalente calculado para las dos opciones de inversión, donde solo se conocen los gastos. Se puede apreciar que el Valor anual equivalente resulta menor para la opción del vehículo eléctrico, evaluando el proyecto a los 8 años de vida útil.

Figura 3

Valor anual equivalente de las opciones consideradas.

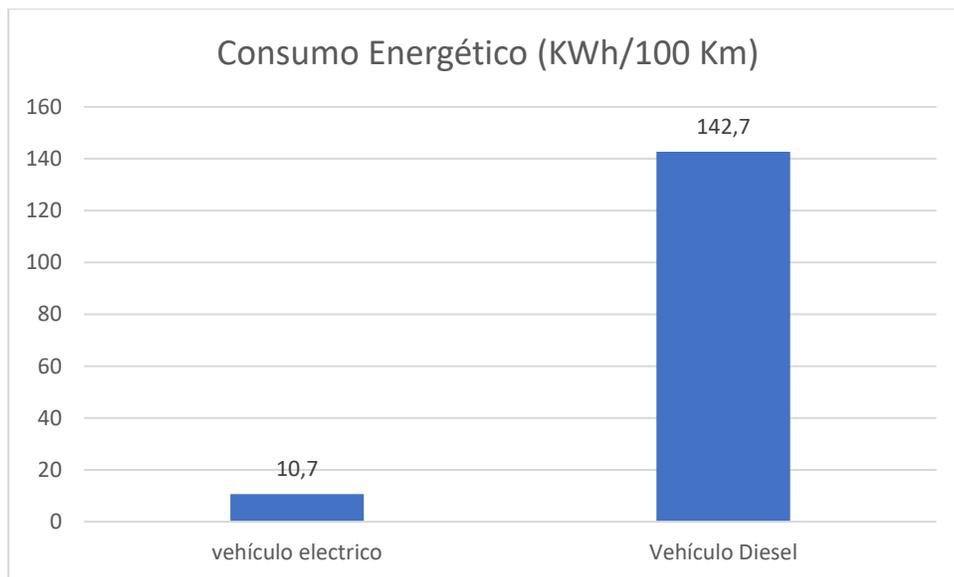


Nota: Elaboración propia

El consumo energético en unidades de reparto eléctrico comparados contra las unidades de reparto a Diesel, tienen un considerable ahorro energético, como se puede apreciar en la figura 4.

Figura 4

Consumo Energético (KWh) por cada 100 Km recorridos.



Nota: Elaboración propia

- **Reducción de Emisiones:** La operación de transporte eléctrico de carga contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos locales, lo que mejora la calidad del aire y reduce la huella de carbono de la empresa. En la tabla 3.0 se muestran las emisiones de CO₂ por cada litro de combustible quemado en autotransporte, sin embargo, las emisiones contaminantes de los vehículos eléctricos son de 0.505 Kg de CO₂ por KWH, en el caso de la presente investigación con 1 KWH el vehículo podría recorrer 9.7 Km y emitir solo 0.505 Kg. De CO₂.

Tabla 3

Emisiones contaminantes de los combustibles fósiles

Combustible	Emisiones de CO ₂ (KG)
Litro de gasolina	2.35
Litro de Diesel	2.68

Nota: Elaboración propia

- **Menor Contaminación Acústica:** Los vehículos eléctricos son más silenciosos que los de combustión interna, lo que contribuye a la reducción de la contaminación acústica en áreas urbanas y mejora el bienestar de las comunidades locales
- **Mayor Confiabilidad y Menos Tiempos de Inactividad:** La tecnología eléctrica suele ser más confiable y requiere menos mantenimiento que los motores de combustión interna, lo que se traduce en menos tiempos de inactividad y una operación más fluida.
- **Cumplimiento de Regulaciones:** La operación de vehículos eléctricos puede ayudar a las empresas a cumplir con regulaciones más estrictas relacionadas con emisiones y zonas de bajas emisiones.
- **Imagen de Marca y Responsabilidad Social Corporativa:** La adopción de vehículos eléctricos puede mejorar la imagen de la empresa y su percepción pública al demostrar un compromiso con la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad social corporativa.
- **Incentivos y subvenciones:** En muchos lugares, se ofrecen incentivos fiscales y subvenciones para la adquisición de vehículos eléctricos y la instalación de infraestructura de carga, lo que puede reducir los costos iniciales y mejorar la rentabilidad.
- **Mejora de la Eficiencia de Entrega:** La operación de vehículos eléctricos puede mejorar la eficiencia de entrega al permitir la planificación de rutas más eficientes y una mayor flexibilidad en la gestión de la flota.

- Menor Dependencia de Combustibles Fósiles: La operación de transporte eléctrico reduce la dependencia de los combustibles fósiles, lo que puede mitigar el riesgo de fluctuaciones en los precios del petróleo y garantizar la disponibilidad de energía más sostenible.
- En la tabla 5.3 se muestra la energía disponible de los combustibles clásicos como son la gasolina y Diesel, en unidades de Kilowatts horas. Las unidades en las que se mide la energía consumida por los vehículos eléctricos.

Tabla 4

Contenido energético de la gasolina y Diesel

Combustible		Contenido Energético (MJ)	Contenido Energético (KWh)
Gasolina		34.78	9.7
Diesel		38.65	10.7

Nota: Elaboración propia

Por otra parte, se puede mencionar que los vehículos eléctricos en general poseen mayor eficiencia energética que otras tecnologías. Lo que se puede apreciar en la tabla 5.0.

Tabla 5

Eficiencia energética de las diferentes propulsiones vehiculares.

Tipo de tecnología	Eficiencia energética
Gasolina	20% - 25%
Diesel	30% - 35%
Gas LP	42%
Híbrido	45%
eléctrico	75%

Nota: Elaboración propia

Estos resultados son indicativos de los beneficios que pueden derivarse de la operación de transporte eléctrico de carga. Sin embargo, es importante destacar que los resultados pueden variar según la aplicación específica, el modelo de vehículo y las condiciones de operación. La transición hacia el transporte eléctrico es una tendencia importante para reducir los costos, mejorar la sostenibilidad y cumplir con los objetivos de reducción de emisiones.

CONCLUSIONES

Se encontró que, en este caso, bajo las condiciones económicas y el plazo al que se analizaron las dos alternativas mutuamente exclusivas a) unidades de reparto Diesel, b) Unidades de reparto eléctricas, que las unidades de reparto eléctricas poseen un valor anual equivalente menor de 193,456.49 en comparación con el valor anual equivalente de las unidades de reparto a Diesel que se calculo un valor anual equivalente de \$247,919.30.

Se encontró que los ahorros de combustible de manera mensual al implementar la tecnología de vehículos eléctricos son de \$3,269.23 pesos y que de manera directa la reducción de la quema de combustibles reduce en 2.35 Kg de CO₂ por cada litro de gasolina no quemado y en 2.68 Kg de CO₂ por cada litro de Diesel no quemado.

Finalmente, se encontraron beneficios en el uso de tecnologías alternativas como son los vehículos de reparto eléctricos en aspectos como: reducción de emisiones contaminantes de manera local, menor contaminación acústica, menores costos de mantenimiento, cumplimiento de regulaciones en materia ambiental, mejoras en la imagen de marca y responsabilidad social empresarial, menor dependencia en combustibles fósiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coss Bu Raúl (2003). Análisis y evaluación de proyectos de inversión México: Editorial Limusa: Noriega, 2003.
- Duran, O. (2023). Historia del sistema de carga de autos en 70 años. *Hiferauto*, 1-3.
- Islas, M. D. (2021). LAS BATERÍAS, el desarrollo tecnológico que cambió la vida moderna de la humanidad. *Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo*, 5.
- Marrot, J. (2019). Infraestructura de recarga de vehículo eléctrico. *Cateb*, 3.
- Martínez Perdomo, FR, (2009). El sistema de transporte de carga en la Ciudad de México. Factores para considerar en el análisis del transporte de carga y la movilidad de mercancías. *Territorios*, (20-21), 161-174.
- Monroy, C.A. Siachoque, I.C. Durán-Tovar, A.R. Marulanda-Guerra. (2020) *Comparative Study of Regenerative Braking System and Regeneration with Constant Kinetic Energy in Battery-based Electric Vehicles*, Ingeniería, Vol. 25, Num. 3, pp. 305-322
- Ramos, R. (12 de noviembre de 2020). *The Logistics World*. Obtenido de <https://thelogisticsworld.com/historico/10-estrategias-para-bajar-costos-en-transporte/>

- Villasol López, A., Díaz Santos, R., & Castro Fernández, M. (2023). Análisis de las potencialidades de un laboratorio para pruebas y homologación de baterías para vehículos eléctricos. *Ingeniería Energética*, XLIV (1), 132-142.
- Viveros P, Stegmaier R, Kristjanpoller F, et al. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Revista Chilena de Ingeniería*. 2013;21(1):125-138. DOI: 10.4067/S0718-33052013000100011.