

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

“Estudio de pre factibilidad técnico financiero para la sustitución de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos en el Tecnológico de Costa Rica, Campus Cartago.”

Informe de Práctica Profesional para optar al título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial, con el grado académico Licenciatura

Realizado por:

Aarón Josué Netzer Hernández

Campus Central de Cartago, noviembre 2022



Carrera evaluada y acreditada por:

Canadian Engineering Accreditation Board
Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

Datos personales

Nombre completo: Aarón Josué Netzer Hernández

Número de cédula: 1-1759-0368

Número de carné: 2018113137

Edad: 22 años

Números de teléfono: 86738543

Correos electrónicos: aaronnetzer11@estudiantec.cr o aaronnetzer11@gmail.com

Dirección exacta de domicilio: San José Montes de Oca San Pedro Lourdes, barrio Calle Siles 200 mts oeste de fábrica AMPO.

Datos de la Empresa

Nombre: Tecnológico de Costa Rica.

Actividad Principal: Docencia, investigación y extensión.

Dirección: Cartago, Calle 15, Avenida 14, 1 km Sur de la Basílica de los Ángeles.

Contacto: MAE. Aarón Román Sánchez, Director Departamento de Servicios Generales

Teléfono: 2550-2570/2550-9315



Este obra cuyo autor es Aarón Josué Netzer Hernández está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

SG-117-2022

18 de mayo 2022

Señor
Ing. Ignacio del Valle Granados, Coordinador
Práctica Profesional
Escuela de Ingeniería Electromecánica

Estimado Señor:

Respetuosamente le saludo a la vez le comunico la aceptación para que el estudiante Aarón Josué Netzer Hernández, número de cédula 1-17590368 y carné 2018113137, Ejecute su proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura de Ingeniera en Mantenimiento Industrial, el cual busca realizar en el Tecnológico de Costa Rica y que tiene como nombre, **Desarrollo de un estudio de pre factibilidad para el plan de sustitución de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos en el Tecnológico de Costa Rica, Campus Cartago.**

El proyecto propuesto por el estudiante Aarón Josué Netzer Hernández, busca ser un proyecto que pretende visualizar los distintos cambios tecnológicos, que se están produciendo en el área de transporte para una movilidad sin tantos daños al ambiente, dando una perspectiva de los avances que se han tenido a lo largo de los años, en donde la movilidad eléctrica o electro movilidad , puede transformarse en una estrategia global para encaminar la descarbonización del transporte y disminuir el cambio climático, la orientación de este proyecto es conocer la viabilidad y aplicabilidad de los vehículos eléctricos para generar un plan de sustitución de los vehículos tradicionales de combustión en el Tecnológico de Costa Rica, en donde se generen mediciones e investigaciones que permitan tener un panorama claro con sus respectivas ventajas y desventajas, teniendo como base un análisis del ciclo de vida útil, costos fijos y variables, datos de consumo, entre otros, que ayuden ampliar el conocimiento y se pueda dar una comparación en aspectos ambientales, científicos, financieros y sociales.

Es por eso que el Departamento de Servicios Generales y en función del director el MAE. Aarón Román Sánchez, otorga la aprobación para que se realice el proyecto en la Institución sin necesidad de confidencialidad.

Se agradece una vez finalizado el proyecto, se remita el documento final a esta dirección.

Cordialmente,

AARON
MARCELO
ROMAN
SANCHEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por AARON MARCELO
ROMAN SANCHEZ
(FIRMA)
Fecha: 2022.05.18
13:40:45 -06'00'

MAE. Aarón Román Sánchez, Director
Departamento de Servicios Generales
Tel: 2550-2570/2550-9315
Correo electrónico: aroman@itcr.ac.cr
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Índice General

Datos personales	2
Datos de la Empresa	2
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras	8
Índice de Gráficas	8
Índice de Ecuaciones	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Nomenclatura.....	11
Dedicatoria.....	12
Agradecimientos.....	13
Capítulo 1: Estructura del proyecto	14
1.1 Reseña de la empresa.....	14
1.2 Introducción	14
1.3 Antecedentes	16
1.3.1 Antecedentes Teóricos	16
1.3.2 Antecedentes de Campo	20
1.4 Planteamiento del Problema	21
1.4.1 Objetivos	22
1.4.2 Relevancias del proyecto.....	23
1.4.3 Valor agregado	26
1.4.4 Variables del problema.....	26
1.4.5 Mide	26
1.4.6 Correlaciones.....	26
1.4.7 Población	27
1.5 Justificación	27
1.6 Viabilidad.....	28
1.7 Alcance	29
1.8 Limitaciones.....	30
Capítulo 2: Marco Teórico	31
2.1 Estructura y composición de los vehículos de combustión interna y eléctricos	31

2.1.1 Vehículo de combustión interna.....	31
2.1.2 Vehículo Eléctrico.....	33
2.1.3 Comparativa de los vehículos eléctricos y combustión interna	34
2.2 Impacto ambiental y conceptos de un análisis de ciclo de vida.....	41
Análisis de ciclo de vida útil	41
Gases de efecto invernadero.....	43
Emisiones de CO2.....	43
Reutilización de baterías de vehículos eléctricos retiradas	43
2.3 Tecnología y estructura de carga para vehículos eléctricos.....	45
Tecnología de Carga para Vehículos eléctricos	45
Infraestructura de carga.....	48
2.4 Estudios Financieros	49
Capítulo 3: Análisis de resultados	53
3.1 Estudio técnico comparativo de vehículos eléctricos y de combustión interna.....	53
3.1.1 Estudio de la flotilla actual de la Unidad de Transporte del Tecnológico de Costa Rica.....	53
3.2 Análisis de Impactos ambientales de los vehículos eléctricos y de combustión interna	67
3.3 Infraestructura de Carga requerido para el plan de sustitución de la flotilla actual....	79
3.3.1 Puntos de recarga ubicados en el país	79
3.3.2 Estaciones tipo Wallbox.....	81
3.3.3 Estaciones públicas	82
3.4 Estructura de costos según el análisis del Ciclo de Vida para la adquisición de un vehículo.....	84
3.4.1 Estructura de Costos para un Vehículo Eléctrico.....	84
3.4.2 Estructura de costos para la adquisición los vehículos de combustión interna....	89
3.4.3 Resultados de los costos del ciclo de vida de los vehículos evaluados.....	93
Capítulo 4: Conclusiones y Recomendación	98
4.1 Conclusiones	98
4.2 Recomendaciones	99
Referencias	100
Apéndice.....	105
Apéndice A. Metodología y cronograma de trabajo.....	105

Apéndice B. Estructura de Costos del Análisis de Ciclo de Vida de los Vehículos Seleccionados.....	107
Apéndice C. Costo de la energía proporcionada por la JASEC.....	111
Apéndice D. Valor promedio del Dólar del mes de agosto 2022.	112
Anexos	113
Anexo I. Fichas Técnicas de los vehículos seleccionados.....	113
Anexo II. Características de la Estructura de Carga seleccionada.....	117

Índice de Tablas

Tabla 1. Características técnicas de la flotilla actual de vehículos de combustión interna	54
Tabla 2.Oferta de Automóviles Eléctricos en Costa Rica (2022). Fuente: MINAE [36].....	55
Tabla 3. Características de los Vehículos eléctricos estudiados para la sustitución. [42].....	56
Tabla 4. Gastos de combustible de los vehículos de combustión interna de la flotilla actual.....	58
Tabla 5. Gastos de electricidad para los vehículos eléctricos.	60
Tabla 6.Plan de mantenimiento de un vehículo de combustión interna [37]	62
Tabla 7. Plan de mantenimiento de un vehículo Eléctricos [37].....	63
Tabla 8. Porcentajes de variación a lo largo de los años.....	65
Tabla 9. Precios de los combustibles anualizados con una proyección a 10 años con promedio del porcentaje de variación en dólares	65
Tabla 10. Comparativa de algunos de los vehículos de la flotilla actual con VE seleccionados	66
Tabla 11.Generación de CO2 en etapa de uso de la actual flotilla.....	75
Tabla 12. Características Técnicas de las estaciones de Carga de ELCO. Fuente: Elaboración Propia con datos de (ELCO, 2022).....	83
Tabla 13. Costos de adquisición de un VE.....	84
Tabla 14. Costos energéticos.....	87
Tabla 15. Costos de Mantenimiento de los VE.....	88
Tabla 16. Fase de disposición Final de un VE	88
Tabla 17. Costos de adquisición de un VCI.....	89
Tabla 18. Costos de combustible.....	90
Tabla 19. Costos de Mantenimiento de los VCI	92
Tabla 20. Fase de disposición Final de un VCI.....	93
Tabla 21. Costo de ciclo de vida de los vehículos.....	94
Tabla 22. Gastos de Mantenimiento y Operación de los vehículos VE y VCI	94
Tabla 23. Costo de ciclo de vida de los vehículos Toyota Corolla 2023 y BYD S1 PRO	96
Tabla 24. Costo de ciclo de vida de los vehículos Nissan Leaf y Nissan Sentra 2023	97
Tabla 25. Metodología del proyecto.	105
Tabla 26. Estructura de costos de Ciclo de vida para BYD S1 Pro.....	107
Tabla 27. Estructura de costos de Ciclo de vida para Nissan Leaf.....	108
Tabla 28. Estructura de costos de ciclo de vida para Toyota Corolla 2023	109

Tabla 29. Estructura de costos de Ciclo de vida para el Nissan Sentra 2023	110
Tabla 30. Costo de la energía proporcionada por la JASEC	111
Tabla 31. Valor promedio del Dólar del mes de agosto 2022	112

Índice de Figuras

Figura 1. Un motor de cuatro tiempos [24]	32
Figura 2. Un motor de dos tiempos [24]	32
Figura 3. El diagrama de presión - volumen de un proceso de Ciclo Otto ideal. [24]	33
Figura 4. Sistemas de Vehículos eléctricos. [26] (Elaboración Propia)	34
Figura 5. Sistemas de Vehículos de combustión interna. [26] (Elaboración Propia)	35
Figura 6. Diagrama de Sankey para un vehículo con Motor de Combustión (VCI). [27]	39
Figura 7. Diagrama de Sankey para un vehículo con motor a batería (VE). [27]	39
Figura 8. Estructura del precio de los combustibles. Fuente: [28]	40
Figura 9. Concepto de un enfoque de ciclo de vida. [38]	67
Figura 10. Emisiones de CO2 y demanda energética de la producción de vehículos. [38]	69
Figura 11. Sistema de gestión de baterías al final de su vida útil. [40]	74
Figura 12. Mapeo de las estaciones de carga en Costa Rica. Fuente: Plugshare	80
Figura 13. Cargadores disponibles en los centros de carga. Fuente: Plugshare	81
Figura 14. Diagrama de Gantt del proyecto.	106
Figura 15. Ficha Técnica del BYD S1 Pro	113
Figura 16. Ficha Técnica del Nissan Leaf	114
Figura 17. Ficha Técnica del Toyota Corolla 2023	115
Figura 18. Ficha Técnica del Nissan Sentra 2023	116

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Comparación de gastos de combustible-electricidad y mantenimiento de vehículos eléctricos con respecto a vehículos de combustión interna de la flotilla	64
Gráfica 2. Tonelas de CO2 generados por kilómetros recorridos	78
Gráfica 3. Evaluación de las emisiones Totales de las diferentes Flotillas	79

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1	49
Ecuación 2	50
Ecuación 3	58
Ecuación 4	58
Ecuación 5	60
Ecuación 6	74

Resumen

En este proyecto se planteó un estudio de prefactibilidad técnico y financiero, para el cambio de la flotilla actual vehicular del área de transporte del Instituto Tecnológico Costa Rica a vehículos totalmente eléctricos, con la finalidad de cumplir con los objetivos del plan de des carbonización. Para esto fue necesario evaluar, técnicamente, las opciones en el mercado de los posibles vehículos eléctricos que se encuentran actualmente en el país, además de conocer el impacto a nivel ambiental de estos vehículos a lo largo de su ciclo de vida útil, dado que es la fase en donde tendrá un impacto directo a la institución, ya que se verá reflejado en comparación con los gases contaminantes que pueden generar los vehículos de combustión interna. Por otra parte, se establecerá lo referente a la infraestructura de carga requerida por los vehículos eléctricos, por medio de centros de carga rápida que se encuentran a lo largo del país y que se pueden visualizar en aplicaciones como Plugshare, las cuales permiten conocer los tipos de cargadores, así como su disponibilidad en tiempo real. Con respecto a la carga semi-rápida, se procedió a evaluar los modelos básicos de la marca ELCO, debido a su precio y que cumplen con los requerimientos técnicos. Finalmente se realizó la estructura de costos referentes al análisis del ciclo de vida útil de los vehículos eléctricos durante la etapa de adquisición, operación, mantenimiento y disposición final, con el objetivo de obtener el indicador de rentabilidad a través de un modelo comparativo del ciclo de vida, donde se analizan los vehículos eléctricos con relación a los de combustión interna, determinando así la mejor opción de inversión para la sustitución para la flotilla vehicular.

Palabras clave: Rentabilidad, centros de carga, ciclo de vida, movilidad eléctrica, mantenimiento preventivo, emisiones de gases de efecto invernadero.

Abstract

This project proposed a technical and financial pre-feasibility study, about the change of the current vehicle fleet of the ITCR transport area to fully electric vehicles, in order to achieve the objectives of the decarbonization plan. For this, it was necessary a technical market evaluation of electric vehicles options that are currently in the country, in addition to knowing the environmental impact of these vehicles throughout their useful life cycle, since it is the phase where it will have a direct impact on the institution, since it will be reflected in comparison with the polluting gases that can be generated by internal combustion vehicles. On the other hand, what refers to the charging infrastructure required by electric vehicles will be established, through fast charging centers that are located throughout the country and that can be viewed in applications such as Plugshare, which allow knowing the types of chargers, as well as their availability in real time. Regarding the semi-fast charge, the basic models of the ELCO brand were evaluated, due to their price and that they meet the technical requirements. Finally, the referential cost structure was carried out for the analysis of the useful life cycle of electric vehicles during the acquisition, operation, maintenance and final disposal stage, with the aim of obtaining the profitability indicator through a comparative model of the life cycle. life, where electric vehicles are analyzed in relation to internal combustion vehicles, thus determining the best investment option for the replacement of the vehicle fleet.

Keywords: Profitability, load centers, life cycle, electric mobility, preventive maintenance, greenhouse gas emissions.

Nomenclatura

VE = Vehículos electricos

VCI = Vehículos de combustión interna

GEI = Gases de efecto invernadero

LIB = Batería de Ion Litio

UE = Unión Europea

ACV = Análisis de ciclo de vida

CC = Corriente continua

CA = Corriente Alterna

EVSE = Equipo de suministro de vehículos eléctricos

EPRI = Instituto de Investigación de Energía Eléctrica

SAE = Sociedad de Ingenieros Automotrices

IEC = Comisión Electrotécnica Internacional

MINAE = Ministerio de Ambiente y Energía

RECOPE = Refinadora Costarricense de Petróleo

GAM = Gran Área Metropolitana

ASOMOVE = Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica

ARESEP = Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

JASEC = Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago

NEDC = Nuevo Ciclo de Conducción Europeo

WLTP = Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos Ligeros

TTW = Tank to Wheel

WTW = Well to Wheel

Dedicatoria

A Dios, por estar presente en toda mi vida, siendo el pilar fundamental para que todo lo imposible sea posible.

A mi madre Leida María Hernández Gutiérrez por ser el motor de mi vida y mis logros, la que me motiva a ser mejor y dar siempre un poco más de mí, la que antepuso sus intereses por el bienestar de sus hijos.

A mi hermano José Daniel Netzer Hernández por ser parte fundamental para mi formación académica y por todo su apoyo incondicional.

A mis hermanos Leah Rita y David Elías Netzer Hernández por confiar y creer en mí a pesar de las circunstancias, además de ser un gran apoyo para la familia.

A mi difunto padre Abraham Netzer que desde el cielo me vio crecer y que siempre en mis logros él esté presente.

A mis tías que a lo largo de mi vida han sido como otras madres, que me han apoyado en todas las decisiones, además creyendo siempre en mi éxito.

Agradecimientos

A mi madre, por darme todos los insumos necesarios para poder llegar a desarrollarme como un gran profesional, pero sobre todo un gran ser humano.

A mi hermano Daniel por estar siempre presente para ayudarme resolver los problemas de manera incondicional y desinteresada.

A MAE. Aarón Román Sánchez Director de Servicios Generales por permitirme realizar el proyecto en el Área de Transporte.

A Don Carlos Quesada, por brindarme los insumos y ayudas necesarias para la realización del proyecto.

Al profesor Ing. Ignacio Del Valle con sus aportes profesionales durante mi proceso de formación académica, que ayudaron a culminar mi etapa universitaria y contribuir a mi realización profesional.

Al profesor Ing. Carlos Piedra Santamaría, por su gran aporte para el desarrollo del proyecto.

Al profesor Ing. Sebastián Mata Ortega, por su ayuda durante la etapa de desarrollo del proyecto y su gran disposición para siempre atender consultas.

A mis queridos amigos que formé en el Instituto Tecnológico de Costa Rica que me ayudaron de una manera incondicional y desinteresada durante toda mi formación académica especialmente Kenneth Quesada y Luis Chaves.

Capítulo 1: Estructura del proyecto

1.1 Reseña de la empresa

El Tecnológico de Costa Rica (TEC) es una institución nacional autónoma de educación superior universitaria, dedicada a la docencia, la investigación y la extensión de la tecnología y las ciencias conexas para el desarrollo de Costa Rica.

Misión: Contribuir al desarrollo integral del país, mediante formación del recurso humano, la investigación y la extensión; manteniendo el liderazgo científico, tecnológico y técnico, la excelencia académica y el estricto apego a las normas éticas, humanísticas y ambientales, desde una perspectiva universitaria estatal de calidad y competitividad a nivel nacional e internacional.

Visión: El Instituto Tecnológico de Costa Rica seguirá contribuyendo mediante la sólida formación del talento humano, el desarrollo de la investigación, la extensión, la acción social y la innovación científico-tecnológica pertinente, la iniciativa emprendedora y la estrecha vinculación con los diferentes actores sociales a la edificación de una sociedad más solidaria e inclusiva; comprometida con la búsqueda de la justicia social, el respeto de los derechos humanos y del ambiente”.

1.2 Introducción

El presente proyecto pretende visualizar los distintos cambios tecnológicos, que se están produciendo en el área de transporte para una movilidad sin tantos daños al ambiente, dando

una perspectiva de los avances que se han tenido a lo largo de los años, en donde la movilidad eléctrica o electromovilidad , puede transformarse en una estrategia global para encaminar la descarbonización del transporte y disminuir el cambio climático, en comparación con las estrategias tradicionales de "evitar" y "cambiar", la movilidad eléctrica no solo tiene mayores potenciales de reducción de carbono, sino que también es más factible. con co-beneficios potencialmente mayores, que van desde una mayor seguridad energética, reducción de la contaminación del aire que mejora la salud pública, mayor rentabilidad y estimulación del crecimiento económico. [1]

La realización de este proyecto, está orientada a conocer la viabilidad y aplicabilidad de los vehículos eléctricos para generar un plan de sustitución de los vehículos tradicionales de combustión en el Tecnológico de Costa Rica, en donde se generen mediciones e investigaciones que permitan tener un panorama claro con sus respectivas ventajas y desventajas, teniendo como base un análisis del ciclo de vida útil, costos fijos y variables, datos de consumo, entre otros, que ayuden a ampliar el conocimiento y se pueda dar una comparación en aspectos ambientales, científicos, financieros y sociales. Esto dado que, para hacer frente al cambio climático, los gobiernos han establecido objetivos de reducción de CO₂ y han desarrollado planes para que diferentes sectores los cumplan y la transición a la movilidad eléctrica está en la agenda de la mayoría de los países. [2]

El método empleado para el desarrollo de este proyecto se basa en un modelo investigativo y experimental, en donde serán aplicadas mediciones e investigaciones, sobre el funcionamiento de la movilidad eléctrica en el Tecnológico de Costa Rica, generando búsqueda de artículos científicos y documentos certificados relacionados al área de transporte con el objetivo de obtener datos sobre la aplicabilidad y viabilidad de estos vehículos para

poder ser implementados para una mejor gestión energética y de mantenimiento, de modo que puedan ser estos un camino para sustituir a los vehículos de combustión.

La finalidad de este proyecto es demostrar las condiciones actuales de los vehículos de combustión del Tecnológico de Costa Rica en comparación a los vehículos eléctricos, generando un análisis sobre implementación de los vehículos eléctricos y si tendrá un impacto relevante en distintas áreas como lo son científica, financiera, social y ambiental.

La limitación más relevante en la elaboración de este proyecto, es la gran cantidad de datos que se encuentran de forma desorganizada, para generar un panorama claro que permita dar los elementos claves, de modo que se pueda realizar la comparación de los vehículos eléctricos y de combustión, ya que el verificar todos los datos conlleva a un gran esfuerzo y utilización del tiempo.

1.3 Antecedentes

1.3.1 Antecedentes Teóricos

1.3.1.1 Introducción de la movilidad eléctrica

El sector del transporte representa en gran parte las emisiones de gases de efecto invernadero de Europa y es uno de los pocos sectores con emisiones en aumento. Por lo tanto, una parte esencial de las estrategias europeas para reducir las emisiones en general es un cambio, en el sector del transporte, hacia la movilidad de bajas emisiones y la movilidad eléctrica en

particular. [3] Como a nivel internacional el sector del transporte representa alrededor de $\frac{1}{4}$ de las emisiones de gases de efecto invernadero y es uno de los pocos sectores que continúa aumentando sus emisiones. En los países de la Unión Europea (UE) en el año 2017, el 25 % de las emisiones procedían del transporte (incluida la aviación internacional), lo que supone un aumento del 10 % con respecto a los niveles de 1990, y los turismos por sí solos representan el 12 % de las emisiones totales de CO₂ de la UE. Un cambio hacia un sistema de transporte más limpio y eficiente tiene varios beneficios adicionales, como menos contaminación del aire y acústica, y la disminución de la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles. Las grandes transiciones, y la transición energética en particular, son objeto de gran debate e interés académico. Su extensión, alcance e impacto en la sociedad y el mundo natural han sido estudiados detalladamente. [3]

Ha habido una serie de estudios que analizan las condiciones para la adopción de vehículos eléctricos y las transiciones de movilidad en las economías más desarrolladas del mundo como es el caso de países como: Noruega, el Reino Unido, Alemania y Estados Unidos, Canadá, Suiza o un gran actor económico como China. Sin embargo, para que esta transición tenga un impacto en los niveles de gases de efecto invernadero a nivel mundial, debe llevarse a cabo por igual en las economías menos prósperas. Algunos estudios comparativos brindan una perspectiva sistémica sobre la transición de la movilidad eléctrica, pero tienden a centrarse en economías altamente desarrolladas, es decir, Alemania y EE. UU. También hay estudios de casos de un solo país que discuten más ampliamente cómo la movilidad eléctrica fortalece los sistemas existentes en lugar de establecer otros nuevos, mientras que otros muestran cómo el régimen energético actual está desarrollando la movilidad eléctrica. [4]

Los servicios de movilidad eléctrica actualmente incluyen el uso de autobuses eléctricos, car sharing, bike sharing y e-scooters. Estos servicios se adaptan bien a los campus universitarios donde la demanda de transporte es considerable y la sostenibilidad es un objetivo desafiante. A lo largo de los años, la comunidad global ha sido espectadora de una revolución sin precedentes en el sector de la movilidad, y más específicamente en el mercado automotriz, con un impresionante cambio de tecnología de motores de combustión interna a vehículos híbridos y vehículos eléctricos. Estos grandes cambios de ritmo se pueden atribuir a varios factores o variables. Las baterías de iones de litio, que representan la principal tecnología utilizada para almacenar energía dentro de los vehículos eléctricos, muestran precios significativamente reducidos en los últimos años. Además, muchos países de todo el mundo han adoptado políticas de apoyo para ofrecer incentivos para la movilidad eléctrica, al mismo tiempo que se endurecen los estándares de economía de combustible. [5]

La menor aceptabilidad de los automóviles eléctricos por parte de los consumidores finales está relacionada con los marcos de políticas nacionales y locales, el desarrollo de infraestructura, la tecnología de vehículos existentes y las percepciones de los consumidores. Los factores como el tamaño de la batería y la disponibilidad de la infraestructura de carga, la autonomía, el costo de propiedad y el precio de operación y mantenimiento del vehículo influyen en la decisión de comprar automóviles eléctricos. [6]

1.3.1.2 Gestión del mantenimiento en los vehículos eléctricos

La automatización y la electrificación en el transporte por carretera son tendencias que influirán en varios sectores económicos de la economía no solamente europea sino a nivel mundial. El sector de mantenimiento y reparación de automóviles experimentará los efectos

de transiciones a largo plazo. Las posibles consecuencias de estas transiciones no se quedarán limitadas al sector de fabricación de vehículos, sino que irán mucho más allá, impactando en los sectores digital, energético, de comunicaciones, por mencionar algunos se estiman los impactos en trece sectores industriales en los EE. UU., mostrando la importante magnitud económica que esta disrupción podría generar a mayor escala debido esencialmente a la reducción de accidentes y al aumento de la productividad. Entre los sectores que podrían beneficiarse o verse influenciado por el despliegue de los vehículos eléctricos, es la evaluación de los impactos en el sector de mantenimiento y reparación que sigue siendo un desafío. Se indica que la electrificación de la flota y la conducción autónoma podrían cambiar la importancia de los componentes específicos de los vehículos y la frecuencia de las intervenciones de mantenimiento y reparación. Aun así, muchos aspectos pueden influir en la demanda de servicios de mantenimiento y reparación, lo que dificulta establecer una tendencia clara. [7]

Las diferencias estructurales entre los vehículos eléctricos y los vehículos convencionales provocan modificaciones en el tipo de servicios de mantenimiento necesarios, en cuanto a repuestos y accesorios que requieren ser reemplazados durante la vida útil del vehículo eléctrico para asegurar su adecuado funcionamiento. El mercado de repuestos automotrices se ve afectado de varias maneras y en múltiples niveles (por ejemplo, fabricación de piezas, distribución, talleres) por el aumento de la movilidad eléctrica. [7]

Los datos disponibles sobre los costos de mantenimiento y reparación de los vehículos eléctricos se limitan a una pequeña cantidad de modelos de vehículos livianos. Se puede observar que el costo de mantenimiento y reparación de los automóviles de combustión aumenta con el precio del vehículo, mientras que el costo de mantenimiento y reparación de

los vehículos eléctricos permanece constante y bajo independientemente de la variación del precio del vehículo. Esto se debe a que los vehículos eléctricos casi no requieren mantenimiento, hay que reemplazar menos piezas y no es necesario cambiar periódicamente los líquidos auxiliares (como el aceite del motor) durante la vida útil del vehículo en comparación con los de combustión. El costo del consumo de energía durante el período de propiedad se calcula a partir del precio de la energía, y la eficiencia energética del vehículo. [8]

1.3.2 Antecedentes de Campo

Según los datos mencionados en la propuesta de Plan Nacional para la Innovación en torno a la Movilidad Eléctrica se tiene que la movilidad eléctrica ha comenzado su despliegue en Costa Rica, dado a las estrategias de promoción por parte del gobierno, de la mano con el sector privado y la sociedad. Si este proceso mantiene su crecimiento, en un largo plazo será posible cumplir con las metas de electrificación incorporadas en el Plan Nacional de Descarbonización y el país se posicionará como un líder en la región latinoamericana en el despliegue de esta tecnología. Por lo que se estima que la magnitud de la actividad económica en torno a la movilidad eléctrica podría llegar a ser del orden del 2,5% del producto interno bruto (PIB) del país al año 2035, lo que puede generar el desarrollo de nuevas empresas de servicio y tecnología locales en el mediano plazo. [9]

Antes de la crisis del COVID-19, la industria automotriz ya presentaba márgenes muy bajos de rentabilidad, relacionados por la desaceleración de la economía en algunos países de Asia y Europa, así como las guerras comerciales. De acuerdo con la empresa de estudios de mercado JATO, en el primer trimestre de 2019, la rentabilidad neta de la industria automotriz fue de un 3,7%, muy reducido de otras industrias globales como software e Internet (23,8%)

o la industria del entretenimiento (16%). En el actual escenario, la crisis del COVID-19 ha venido a acentuar la disrupción tecnológica más importante que ha experimentado la industria automotriz en sus más de cien años de existencia. La irrupción de la digitalización, la conectividad, la conducción autónoma y los trenes de potencia eléctricos, vienen a conformar potenciales escenarios de cambio que pueden transformar profundamente esta industria y a las compañías que han tenido la hegemonía en el mercado automotriz desde hace ya más de cuatro décadas. [9]

1.4 Planteamiento del Problema

Debido a la coyuntura actual del mundo, con los grandes niveles de contaminantes producidos por combustibles fósiles, debería el Tecnológico de Costa Rica optar por la incorporación de los vehículos eléctricos para mitigar los gases contaminantes y generar conciencia en las futuras generaciones.

Dato suministrado: Costa Rica apunta a contar con una economía descarbonizada en 2050, que haya alcanzado el nivel de emisiones más bajo posible de forma consistente con la meta climática global, por lo que se deberá llegar a una economía global de 0 emisiones durante la segunda mitad del siglo. [18]

Realidad: En la actualidad, la compra de vehículos eléctricos se ha visto afectada por la diferencia de inversión inicial con respecto un automóvil de combustión, ya que no hay estudios o análisis de ciclo de vida útil, donde se observen la infraestructura, datos de consumo, costos fijos y variables que permitan identificar el impacto financiero real de estos vehículos eléctricos.

Problema: El Tecnológico de Costa Rica no cuenta con estudios técnicos-financieros con base al análisis ciclo de vida útil para la sustitución de su flotilla vehicular de combustión interna a energías renovables limpias como es el caso de los vehículos eléctricos, por lo que no se puede tomar decisiones correctas en cuanto a su plan de sustitución.

1.4.1 Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un estudio de viabilidad técnico-financiera basado en el análisis de ciclo de vida útil que establezca los criterios para la sustitución de la flotilla vehicular de combustión interna a energías renovables para el Tecnológico de Costa Rica, de acuerdo al Plan Nacional de Descarbonización.

Objetivos Específicos

- Evaluar técnicamente la existencia de opciones en el mercado de vehículos eléctricos que cumplan con las funciones requeridas por el personal del Tecnológico de Costa Rica para la realización de un plan de sustitución de vehículos de combustión interna a energías renovables. **Indicador de logro:** Estudio técnico comparativo de vehículos eléctricos y de combustión interna.
- Determinar los impactos o repercusiones a nivel ambiental que conlleva un plan de sustitución de los vehículos de combustión interna a energías renovables en el Tecnológico de Costa Rica, en el segundo semestre del año 2022. **Indicador de logro:** Informe evaluativo y comparativo de los impactos ambientales en el sector transporte.

- Seleccionar la infraestructura requerida para los vehículos eléctricos como plan de sustitución de la flotilla de vehículos de combustión interna a energías renovables en el Tecnológico de Costa Rica el segundo semestre del año 2022. **Indicador de logro:** Informe sobre la infraestructura requerida para la puesta en marcha del plan de sustitución de la flotilla vehicular.
- Elaborar una estructura de costos correspondientes a la operación, diseño y gestión de mantenimiento en vehículos eléctricos como plan de sustitución en el Tecnológico de Costa Rica el segundo semestre del año 2022. **Indicadores de logro:** Estructura de costos de gastos operativos y de gestión de mantenimiento, Informes financieros según la Norma ISO 14040:2007 de estudios de ciclo de vida útil, además de informes comparativos de vehículos de combustión interna a energías renovables.

1.4.2 Relevancias del proyecto

Relevancia científica

En el área científica se puede ver reflejado los grandes avances tecnológicos en función a la mejora de la calidad de vida, pero proporcionando un balance entre lo ambiental y lo social, en el sector de transporte se puede observar con la introducción de vehículos eléctricos que permiten grandes beneficios en pro a una era sin combustibles fósiles, además las tendencias recientes en los sistemas de energía han apuntado hacia el crecimiento socioeconómico evitando las preocupaciones ambientales, apostando por una mayor calidad de energía, servicios más confiables y una mayor eficiencia energética, especialmente en el nivel de distribución por lo que es de gran apoyo para los avances de los vehículos eléctricos. [10]

Relevancia social

Debido al continuo desarrollo e implementación de nuevas tecnologías, en gran parte la movilidad eléctrica provoca un impacto social muy importante en los temas de la inversión en vehículos eléctricos impulsada por la industria y la creación de empleo, el aire limpio y los ahorros económicos derivados de la adopción de vehículos eléctricos, todo eso influyendo en áreas de importancia para muchas personas como es la generación de empleo y la disminución de contaminantes mitigando algunas enfermedades respiratorias. [11]

Relevancia financiera

En el área financiera la correcta gestión de mantenimiento y la implementación de nuevas tecnologías como los vehículos eléctricos permiten disminuir los costos de manera significativa, ya que se identificó que el costo de mantenimiento y reparación como una parte importante del costo operativo de un vehículo y desarrollaron una primera estimación de los costos de Mantenimiento para el ciclo de vida de un vehículo, que es aproximadamente 5,05 US¢/milla para un automóvil de combustión (incluido el petróleo pero sin incluir inspección, limpieza y remolque) y 3,72 US¢/milla para los eléctricos. Estos valores representan una disminución del 26% en el costo de mantenimiento para un vehículo eléctrico. [7]

Relevancia legal

En el ámbito legal es de gran importancia seguir con las normativas, en el caso particular de la movilidad eléctrica se centra especialmente en establecer leyes ambientales relacionadas con los vehículos eléctricos, planificación de créditos fiscales, acuerdos de demandas y marcos legales en torno al control de la contaminación a través de autobuses eléctricos, flotas de transporte público y privado. Se observó una mayor densidad de datos con aspectos legales

relacionados con el cambio de empleo relacionado con vehículos eléctricos, demanda de infraestructura (estación de carga e instalaciones de fabricación) y políticas/opciones de modernización en torno a la conversión de gasolina a la electrificación. [11]

Relevancia Ambiental

En la gestión de mantenimiento algunas malas prácticas influyen directamente en problemas ambientales y afectan a su vez la fabricación sostenible. En este sentido la técnica de mantenimiento predictivo puede contribuir a disminuir los problemas a la hora de pronosticar las condiciones de las máquinas [13]. Por lo anterior es de suma importancia que los gerentes industriales cuenten con las técnicas de mantenimiento predictivo sostenible (SPM) y así cumplan con los objetivos económicos, ambientales y sociales en lo relacionado a la fabricación [13]. Otro aspecto a considerar para evitar impactos desfavorables en el ambiente, es el número de automóviles y su movilidad basada en combustibles fósiles, que causan problemas en la salud provocando deterioro en la calidad del aire y calentamiento global [14]. Por lo que los estándares de eficiencia y emisiones de combustible cada vez son más estrictos, de modo que se estimula el desarrollo agresivo de vehículos más seguros, limpios y eficientes. La movilidad eléctrica utilizando fuentes de energía renovables es la clave para un futuro sostenible con sustitución de fuentes de energía fósil a largo plazo [14].

Relevancia Contemporánea

Con respecto al área contemporánea, hay una problemática que ha permanecido a nivel mundial y es que la contaminación por la utilización de combustibles fósiles está causando graves problemas de salud, deteriorando la calidad del aire y creando problemas de calentamiento global. Por lo que los vehículos eléctricos, en combinación con la

descarbonización de la electricidad, se consideran un medio clave para generar reducciones de carbono en el sector del transporte personal. [12]

1.4.3 Valor agregado

Este proyecto tiene la función de presentar y visualizar los avances tecnológicos que se observan a nivel mundial para realizar un análisis del ciclo de vida útil en los vehículos eléctricos para la realizar una comparación con todos los aspectos de importancia con un vehículo de combustión, en donde la movilidad eléctrica va a permitir ayudar no solo a la disminución de la contaminación por combustibles fósiles sino también a mejorar las capacidades de eficiencia y operación en el sector de transporte.

1.4.4 Variables del problema

En el problema se evidencia en el estancamiento a nivel tecnológico actual que tiene Costa Rica en el sector transporte, además de la falta de análisis e investigación correspondiente para la introducción de vehículos eléctricos.

1.4.5 Mide

Se busca medir con este proyecto los impactos en los ámbitos ambientales, sociales, científicos y financieros de la introducción de los vehículos eléctricos como plan de sustitución en el Tecnológico de Costa Rica, de manera que se pueda comparar de manera justa con los vehículos de combustión.

1.4.6 Correlaciones

Las correlaciones que examinará este proyecto serán las siguientes: el área ambiental, ya que se analizará la reducción de desperdicios y contaminantes, la movilidad eléctrica en la parte

de transporte para la sustitución de los automóviles tradicionales que usan combustibles fósiles, el ámbito social y cómo puede repercutir en las familias costarricenses.

1.4.7 Población

La población a la que va dirigida el proyecto es al sector de transporte costarricense específicamente en el Tecnológico de Costa Rica, dando su gran impacto en el ambiente y en el ámbito social, además de permitir concientizar a las nuevas generaciones sobre los cambios que pueden generar la implementación de los vehículos eléctricos.

1.5 Justificación

El presente proyecto está orientado a realizar estudios y análisis de ciclo de vida útil de los vehículos eléctricos, para poder obtener factores claves para una comparación real con los vehículos de Combustión, estos factores son los costos fijos y variables, infraestructura para la carga, datos de consumo, entre otros, de manera que estos datos permitan la toma de decisiones de una manera adecuada para visualizar la posible viabilidad de tener los vehículos eléctricos como un plan de sustitución en Tecnológico de Costa Rica , ya que los vehículos eléctricos están desempeñando un papel clave en el apoyo a la electrificación del transporte y la reducción de la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero, también la demanda de electricidad de carga de vehículos eléctricos puede ser una carga flexible para optimizar y regular el funcionamiento de la red eléctrica. [15]

Esta investigación buscara beneficiar al sector transporte específicamente a los trabajadores del Tecnológico, además de ayudar al desarrollo tecnológico y científico, así como los beneficios ambientales percibidos con mayor frecuencia que serían cero emisiones contaminantes, durante la conducción, manteniendo el aire limpio y aliviando la contaminación de la ciudad. [16]

Los resultados obtenidos de la presente investigación servirán de insumos para fundamentar y evidenciar la importancia de implementar recursos tecnológicos de innovación como lo son los vehículos eléctricos para un impacto significativo en diversas áreas y sectores de la sociedad costarricense, ya que en la actualidad se necesitan actualizar las tecnologías para abarcar las preocupaciones sobre el cambio climático y la seguridad del suministro de energía impulsando así un cambio en el sector del transporte de combustibles fósiles a combustibles alternativos y sistemas de propulsión de vehículos eléctricos que pueden proporcionar sostenibilidad a largo plazo. [17]

La realización de este proyecto será de gran utilidad para llenar el vacío de información existente en aspectos de gran importancia que tienen los vehículos eléctricos y que se ve opacado por la gran inversión inicial. Por lo que esta investigación está en busca de promover un cambio hacia un sistema de transporte más limpio y eficiente lo cual tiene varios beneficios adicionales, como menos contaminación del aire y acústica, y menos dependencia de las importaciones de combustibles fósiles, ya que las grandes transiciones, y la transición energética en particular, son objeto de gran debate e interés académico. [3]

Una de las principales carencias y problemáticas detectadas para la implementación de los vehículos eléctricos en Costa Rica es el costo de inversión inicial, ya que, para muchos a diferencia de los vehículos convencionales, existen barreras adicionales para la adopción con respecto a la disponibilidad de provisión de carga y, para el futuro inmediato, mayores costos de capital. [12]

1.6 Viabilidad

Para el desarrollo de este proyecto se requiere de una disponibilidad tecnológica bastante grande, ya que se requiere aplicar estudios específicos en donde se puedan obtener valores

que permitan visualizar el perfecto funcionamiento de los vehículos eléctricos, de modo que se realice todo con la mejor disposición de la tecnología.

Una parte fundamental de la mayoría de los proyectos son los recursos financieros que permiten y dan la facilidad de poder trabajar, en esta investigación es importante contar con los recursos adecuados, ya que el costo de obtener buenos análisis puede resultar elevado.

La disponibilidad de recursos humano siempre es de suma importancia, ya que permiten las condiciones adecuadas para poder desarrollar el proyecto, dado que se necesita los conocimientos especializados de distintas personas para poder obtener los estudios y análisis de una forma correcta, en este proyecto es de gran importancia contar con el apoyo de las identidades del Tecnológico para la perfecta recolección de datos.

Para la elaboración de este proyecto se necesita el uso de varios materiales tecnológicos para la correcta recolección de datos y visualización de los mismos, para generar los informes correspondientes.

1.7 Alcance

Este proyecto tendrá un alcance exploratorio y descriptivo debido a que en Costa Rica no se registran estudios relacionados u orientados a la incursión de los vehículos eléctricos, en donde se apliquen análisis de ciclo de vida útil y se especifiquen los factores o variables necesarias para poder realizar una comparación concreta con los vehículos de combustión, evidenciando de gran manera los impactos a nivel ambiental y económico, es importante recalcar que con la ayuda de los antecedentes de otros países donde se implementan los vehículos eléctricos con nuevas tecnologías permite generar los insumos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

1.8 Limitaciones

Una de las principales limitantes en este proyecto, es que en Costa Rica no se ha generado ningún tipo de investigación previa de la estructura de costos de la implementación vehículos eléctricos en el sector de transporte, por lo que resulta bastante complicado obtener información que contemple ciertos factores, además que debido a la pandemia por covid-19 algunas comparaciones pueden afectar el resultado final, por lo que se tendrá que fundamentar con antecedentes y estudios aplicados antes de la pandemia.

Estudios recientes muestran que la necesidad de introducir tecnologías vinculadas a la movilidad eléctrica representa una gran inversión inicial, por lo que debe existir un apoyo externo o gubernamental para que se pueda implementar los vehículos eléctricos y de esta manera puedan cumplir los requisitos propuestos en el plan de descarbonización.

Cabe resaltar que la confidencialidad para este proyecto no aplica ya que es un proyecto de investigación a nivel universitario y no en una empresa en específico que tenga restricciones en la publicación de sus datos, por lo que el acceso a los datos suministrados en este proyecto es de carácter público.

Capítulo 2: Marco Teórico

Esta sección permite ampliar y conocer con más detalle los temas a desarrollar en este proyecto de ámbito exploratorio.

2.1 Estructura y composición de los vehículos de combustión interna y eléctricos

2.1.1 Vehículo de combustión interna

Un vehículo es una máquina muy compleja formada por cientos de piezas que funcionan juntas en perfecta armonía. Cuando se habla de las funciones principales de un vehículo, existen 9 sistemas automotrices generales que permiten que un automóvil funcione en todos los sentidos. Aunque cada sistema interactúa estrechamente con uno o más sistemas, las funciones que cada uno lleva a cabo individualmente son muy especializadas y cruciales para el rendimiento, la seguridad y la salud general de un automóvil. [22]

- **El motor**
- **El sistema de combustible**
- **El sistema de encendido**
- **El sistema eléctrico**
- **El sistema de escape**
- **El tren motriz**
- **Los sistemas de suspensión y dirección**
- **El sistema de frenos**
- **El marco y el cuerpo**

En el caso del Vehículo de combustión interna (VCI) el motor funciona si se coloca una pequeña cantidad de combustible de alta densidad de energía (como gasolina) en un espacio pequeño y cerrado que lo enciende, para luego liberar una cantidad increíble de energía en forma de gas en expansión. Casi todos los automóviles con motor de gasolina utilizan un ciclo de combustión de cuatro tiempos para convertir la gasolina en movimiento. El enfoque de cuatro tiempos también se conoce como ciclo Otto. [23]

Tipos de motores que utilizan de Ciclo Otto

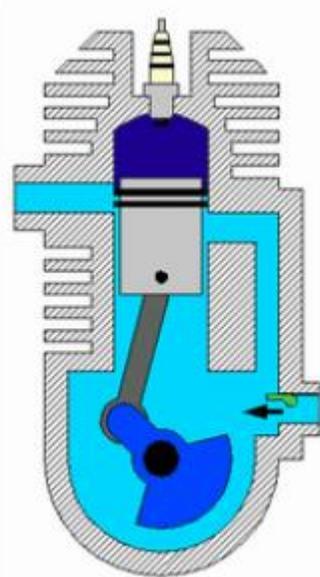


Figura 2. Un motor de dos tiempos [24]



Figura 1. Un motor de cuatro tiempos [24]

El diagrama PV (diagrama de presión - volumen) del ciclo Otto ideal se muestra en la Figura 3. Este diagrama modela cómo cambian los cambios en la presión y el volumen del fluido de trabajo (gasolina y combustible de aire) debido a la combustión de hidrocarburos que alimenta el movimiento de un pistón, creando calor, para proporcionar movimiento a un vehículo. Hay movimientos de pistón de expansión (aumento del volumen de la cámara), causados cuando la energía térmica se libera de la combustión, lo que induce el trabajo

realizado por el gas y sobre el pistón. Por el contrario, cuando el pistón realiza trabajo sobre el gas, la cámara del motor se está comprimiendo (disminuyendo en volumen). [24]

Es importante señalar que la Figura 3 muestra un proceso ideal para cualquier motor que utilice el ciclo Otto. Describe los pasos básicos de trabajo en un motor de gasolina. La ligera modificación que representa una situación más realista del diagrama PV del ciclo de Otto para un motor de dos y cuatro tiempos. El trabajo realizado por el motor se puede calcular resolviendo el área del ciclo cerrado.

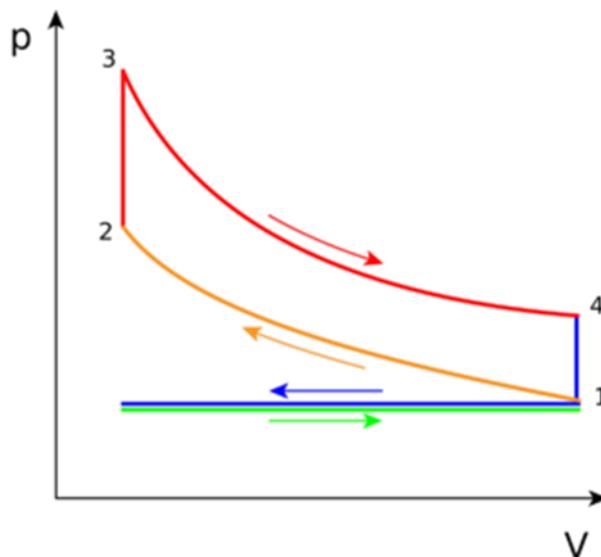


Figura 3. El diagrama de presión - volumen de un proceso de Ciclo Otto ideal. [24]

2.1.2 Vehículo Eléctrico

Los vehículos totalmente eléctricos, también conocidos como vehículos eléctricos de batería (VE), tienen un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión interna. El vehículo utiliza un paquete de baterías de tracción grande para alimentar el motor eléctrico y debe

enchufarse a un tomacorriente de pared o a un equipo de carga, también llamado equipo de suministro de vehículos eléctricos. Debido a que funciona con electricidad, el vehículo no emite gases por un tubo de escape y no contiene los componentes típicos de combustible líquido, como una bomba de combustible, una línea de combustible o un tanque de combustible.

2.1.3 Comparativa de los vehículos eléctricos y combustión interna

Es importante tener en cuenta la diferencia estructural de un vehículo de combustión interna y uno eléctrico, dado que la composición varía significativamente, ya que el vehículo eléctrico cuenta con menos sistemas internos como se puede observar en figura 5.

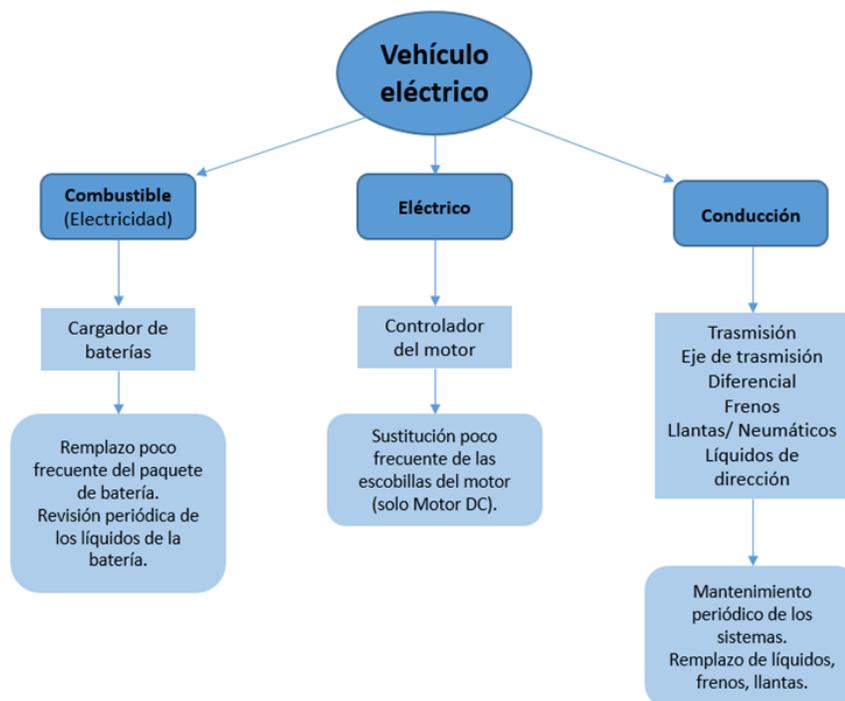


Figura 4. Sistemas de Vehículos eléctricos. [26] (Elaboración Propia)

En esta figura 4 se tienen únicamente 3 sistemas, de los cuales sus revisiones o mantenimientos no son tan complejos, ya que la batería, el motor y los componentes electrónicos asociados requieren poco o ningún mantenimiento regular, hay menos fluidos,

como el aceite de motor, que requieren un mantenimiento regular, el desgaste de los frenos que se reduce significativamente gracias al frenado regenerativo, además de que hay muchas menos piezas móviles en comparación con un motor de combustible convencional. [25]

Ahora bien, es importante conocer también los sistemas pertenecientes a un vehículo de combustión interna, el cual tiene una complejidad mayor esto debido a su estructura interna que se puede visualizar en la figura 5, de modo que, al momento de las revisiones para un buen mantenimiento del vehículo, se debe inspeccionar mayor cantidad de elementos que pueden ocasionar problemas futuros lo que significa mayor inversión en el área de mantenimiento ya sea preventivo o correctivo.

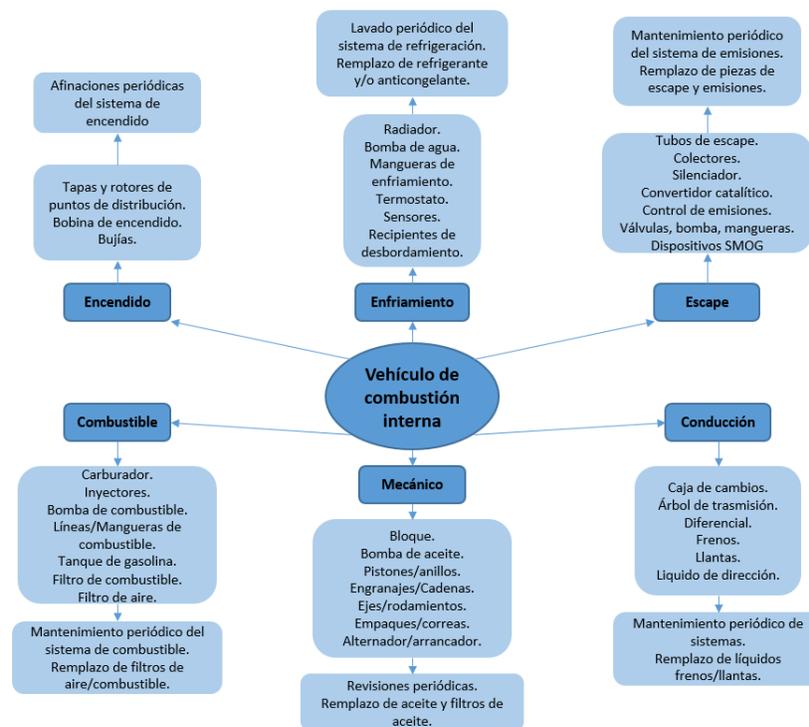


Figura 5. Sistemas de Vehículos de combustión interna. [26] (Elaboración Propia)

Al hacer la comparativa de estos vehículos se debe tener en cuenta las áreas de mantenimiento y eficiencia para poder generar un panorama claro.

Mantenimiento

En los términos de mantenimiento como se mencionó al inicio de este capítulo se ven muy recalçadas las diferencias, ya que los VE tienen mucho menos sistemas en su estructura, por lo que no requiere revisiones en cada sistema para su perfecto funcionamiento, ya que como se muestra en la figura 4 de los VE son simples, tienen una vida útil medida en millones de millas, no necesitan mantenimiento periódico a referente al motor (filtros, etc.). [26]

Pero en un VCI pasa algo totalmente distinto, ya que el motor de combustión interna es un dispositivo que inherentemente trata de destruirse a sí mismo: numerosas explosiones impulsan sus pistones hacia arriba y hacia abajo para hacer girar un eje. Un eje que gira a 6000 revoluciones por minuto produce 100 explosiones por segundo. Estas explosiones, a su vez, requieren un recipiente masivo para contenerlas, generalmente un bloque de cilindros de hierro fundido. [26] Son necesarios sistemas adicionales como se observan en la figura 6:

- Un sistema de refrigeración para mantener las temperaturas dentro de un rango de funcionamiento seguro.
- Un sistema de escape para eliminar los productos de escape calientes de forma segura.
- Un sistema de encendido para iniciar la combustión en el momento adecuado.
- Un sistema de alimentación para introducir la mezcla adecuada de aire y gas para la combustión.
- Un sistema de lubricación para reducir el desgaste de las piezas que se mueven rápidamente a alta temperatura.
- Un sistema de arranque para poner en marcha todo el ciclo.

Es complicado mantener todos estos sistemas funcionando juntos. Esta complejidad significa que más cosas pueden salir mal (reparaciones más frecuentes y costos de reparación más altos). [26]

A continuación, se observa puntualmente los elementos que deben considerarse para aplicar mantenimientos, de manera que el vehículo eléctrico esté en óptimas condiciones:

- Escobillas
- Llantas
- Frenos
- Aire acondicionado
- Luces
- Suspensión
- Dirección
- Batería auxiliar
- Paquete de baterías

Mientras que en un vehículo de combustión interna se tienen los siguientes elementos que deben tener un mantenimiento o revisión:

- Servicios de agencia
- Cambio de aceite
- Cambio de llantas
- Cambio de filtros
- Cambio de bujías
- Suspensión

- Reparación de frenos
- Reparación de motor
- Reparación de caja de cambios
- Dirección
- Aire acondicionado
- Escobillas
- Luces

Eficiencia

Un automóvil típico basado en un motor de combustión interna (VCI) tiene varios miles de piezas móviles y su eficiencia de suministro de energía no supera el 13 %, como se muestra en la figura 6, por el contrario, debido a la simplicidad del diseño, el total muy reducido de partes móviles y la fuente de energía de mayor calidad, el vehículo eléctrico ofrece una eficiencia general mucho mayor, como se muestra en Figura 7. [27]

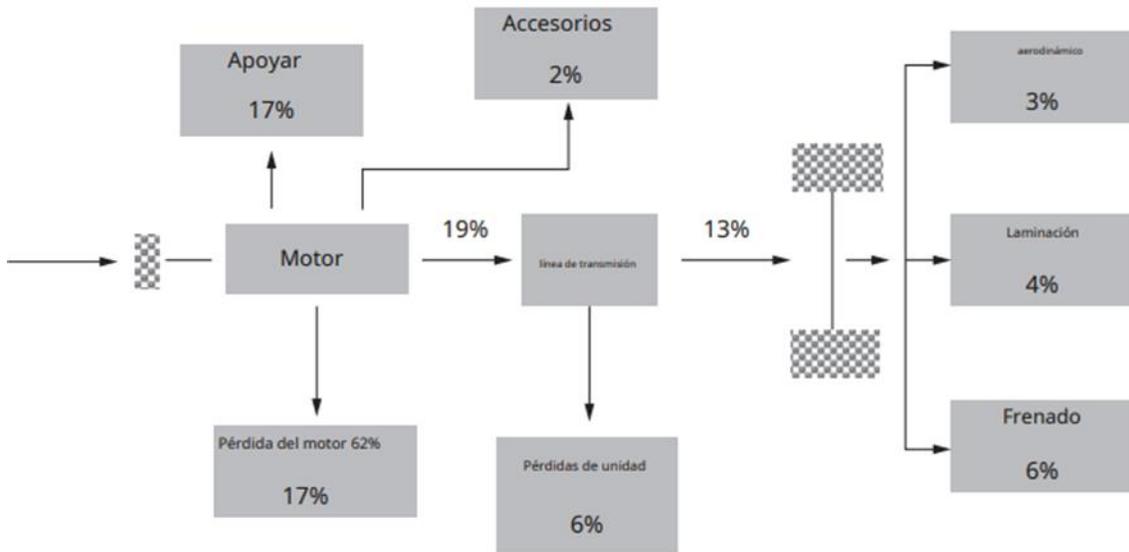


Figura 6. Diagrama de Sankey para un vehículo con Motor de Combustión (VCI). [27]

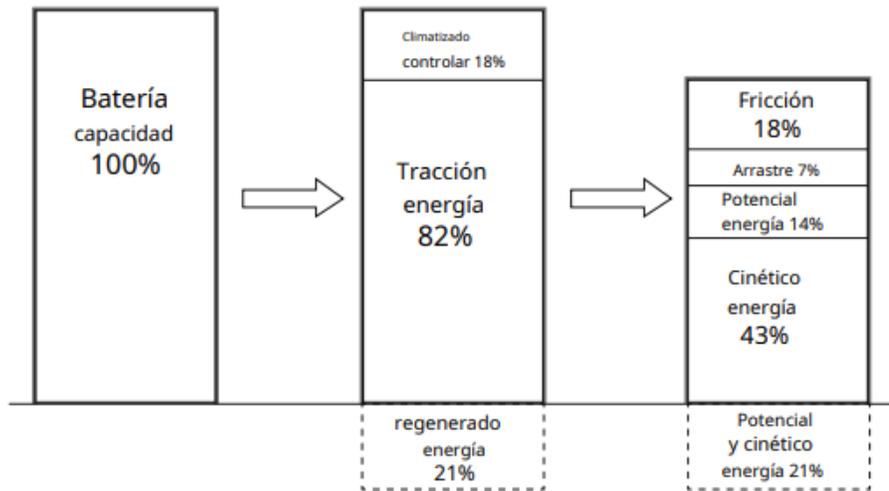


Figura 7. Diagrama de Sankey para un vehículo con motor a batería (VE). [27]

Combustible

Para el funcionamiento natural de los vehículos es necesario conocer las tarifas de las fuentes de energía que permiten el movimiento de los mismos, en este caso específicamente de los combustibles gasolina Súper, Diésel y la electricidad.

Gasolina Súper y Diésel

Las estructuras de los precios de los combustibles se generan a partir de ciertos factores que son: Precio internacional (colonizado) + Impuesto + Flete y Margen de Estaciones de Servicio + Margen de Operación de RECOPE + Subsidios y Canon.

EL precio actual por los combustibles fósiles en la estación de servicio vigente al mes de agosto se muestra en la figura 8 con su respectiva estructura de costo. [28]

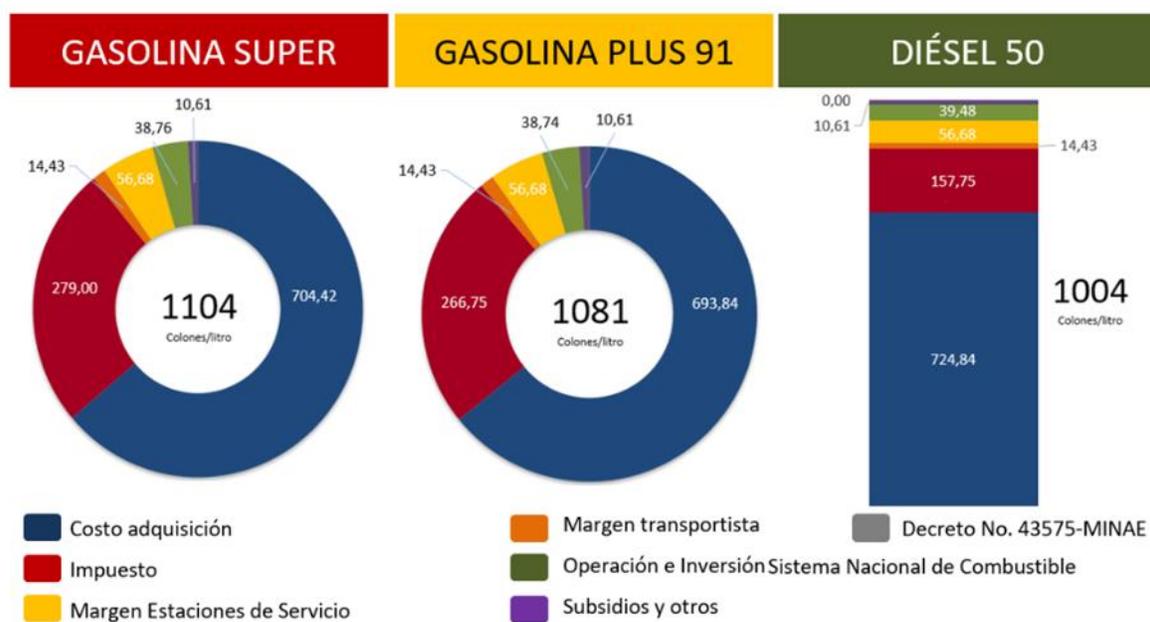


Figura 8. Estructura del precio de los combustibles. Fuente: [28]

Electricidad Carga Rápida

La Tarifa que se encuentra actualmente para la red de carga rápida es de **¢182,72** por kWh lo que en dólares es aproximadamente **\$0,24** con el tipo de cambio promedio del mes de agosto 2022 que se visualiza en el apéndice D, un monto que promueve y facilita el uso de vehículos eléctricos. Además de que la Red de carga rápida cuenta con 47 centros de carga en todo el país.

La Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) definió esta tarifa única de ¢182,72 para el funcionamiento de la red nacional de centros de carga rápida para vehículos eléctricos mediante Resolución RE-0056-IE-2019. [29]

Aunque actualmente los vehículos eléctricos privados pueden ser cargados en el hogar o en la empresa, la red de centros de carga rápida son una garantía para los usuarios ya que se encuentran distribuidos por todo el territorio nacional y permiten cargar los vehículos eléctricos en un rango menor a una hora por lo que permite a todos los usuarios realizar recorridos extensos en todo el país. [29]

2.2 Impacto ambiental y conceptos de un análisis de ciclo de vida

Análisis de ciclo de vida útil

El análisis del ciclo de vida (ACV) es un método para cuantificar los impactos ambientales asociados con un producto determinado. En ACV, los investigadores crean un inventario de los recursos utilizados y los contaminantes generados en la producción y el uso del producto. A partir de esto, una evaluación de impacto estima los efectos finales del producto sobre la salud humana, la función del ecosistema y el agotamiento de los recursos

naturales. La estandarización de los métodos de ACV ha buscado mantener la flexibilidad al tiempo que garantiza la coherencia y la claridad en la presentación de informes. [30]

ACV es una metodología estandarizada para evaluar el desempeño ambiental de un producto o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida. Según la Organización Internacional de Normalización (ISO), las normas ISO 14.040 e ISO 14.044 se utilizan ampliamente en la realización de ACV. En general, se divide en cuatro fases: definición del objetivo y el alcance, análisis del inventario del ciclo de vida, evaluación del impacto del ciclo de vida e interpretación del ciclo de vida. [30]

- **Definiciones de objetivos y alcance:** Esta fase es la primera y la parte más crítica del ACV. La definición objetiva describe principalmente el motivo y la intención de aplicación al realizar ACV, que describe principalmente las unidades funcionales, los límites del sistema y la cantidad y calidad de los datos.
- **Análisis de inventario del ciclo de vida:** El análisis de inventario es el proceso de crear un inventario de datos de entrada y salida en el sistema bajo estudio. En esta fase, los datos se recopilan mediante búsquedas bibliográficas, recopilación práctica de datos o ambas.
- **Evaluación del impacto del ciclo de vida:** El propósito de la evaluación de impacto es evaluar la repercusión ambiental del ciclo de vida del producto con base en los resultados de la fase de análisis de inventario. Este proceso traduce los datos del inventario en tipos de impacto específicos y parámetros de indicadores, lo que facilita el reconocimiento de los impactos ambientales del ciclo de vida del producto. Además, esta fase proporciona la información necesaria para la fase de interpretación de los resultados del ciclo de vida.

- **Interpretación del ciclo de vida:** La interpretación es la etapa final de ACV, que tiene como objetivo identificar problemas significativos en el ciclo de vida del producto y evaluar los resultados, incluidos los controles de integridad, sensibilidad y consistencia, lo que lleva a conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y resultantes de la actividad humana, que absorben y emiten radiación infrarroja, generando el efecto invernadero. Este efecto es un fenómeno de regulación de la temperatura del planeta, gracias a la presencia de una capa de efecto invernadero gases en la atmósfera que absorbe y emite radiación infrarroja provocando un incremento en la temperatura media en la superficie de la Tierra, sin la cual prevalecerían temperaturas frías o bajo cero.

Emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ están asociadas principalmente con la combustión de combustibles fósiles y biomasa, mientras que las emisiones de CH₄ están relacionadas con una mezcla más compleja de fuentes antropogénicas y no antropogénicas que incluyen, entre otras, humedales, arrozales, ganado, vertederos, combustión y distribución de combustibles fósiles, combustión de combustibles fósiles y residuos agrícolas. [31]

Reutilización de baterías de vehículos eléctricos retiradas

Las baterías de Iones litio (LIB) ya no pueden satisfacer la demanda de tracción de los vehículos eléctricos después de perder aproximadamente entre el 20 y el 30 % de su capacidad inicial. Sin embargo, debido a la alta capacidad restante, puede ser más atractivo reutilizar las LIB retiradas en lugar de reciclarlas directamente. En general, hay dos formas principales de reutilizar LIB: refabricación o remanufactura y reutilización. [32]

- **Remanufactura:** La remanufactura se refiere a la reparación o restauración de paquetes de baterías VE para su reubicación en aplicaciones originales (automotrices), es decir, fabricantes de equipos originales automotrices. Para verificar la viabilidad de la refabricación de baterías, se generaron estudios del impacto ambiental y el costo de la remanufactura de baterías de Níquel, Cobalto y Manganeso estos compararon los resultados con baterías producidas a partir de materiales originales. Los estudios mostraron que tanto el consumo de energía como las emisiones de GEI de la remanufactura de baterías se reducen y se logran ahorros de costos potenciales. Aunque la remanufactura puede resultar en un ahorro de costos de aproximadamente un 40 %, actualmente no existe una aplicación de remanufactura a gran escala.
- **Reutilización:** La reutilización indica que las baterías se reconfiguran para aplicaciones de bajo voltaje, como almacenamiento conectado a la red, energía de respaldo, servicios auxiliares y herramientas eléctricas. La aplicación de LIB retiradas de vehículos eléctricos al almacenamiento de energía estacionario puede reducir costos, aumentar la eficiencia energética y el autoconsumo fotovoltaico (PV) en una residencia y tener considerables beneficios económicos y ambientales. Específicamente, la aplicación de baterías retiradas a los sistemas de almacenamiento de energía (ESS) extiende la vida útil de las baterías VE y duplica las ventajas de GEI de la electrificación del vehículo a través de un mejor uso de energía limpia de bajo costo fuera de las horas pico o energía renovable intermitente.

2.3 Tecnología y estructura de carga para vehículos eléctricos

Tecnología de Carga para Vehículos eléctricos

La tecnología de carga depende de la capacidad de la batería VE para aceptar una alta tasa de carga, el cable utilizado para cargar y el Equipo de suministro de vehículos eléctricos (EVSE). EVSE es la infraestructura de "punto de abastecimiento de combustible" que se utiliza para entregar energía eléctrica al cargador, también llamado unidad de recarga eléctrica. Consta de varios componentes, como cables de carga, puertos, conectores e interfaces para cargar la batería. Los diferentes modos o niveles de carga están clasificados por el estándar internacional IEC 61.851, el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI), la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), a saber, CA de corriente alterna Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3, y CC de corriente continua nivel 4. [33]

- **Carga de nivel 1:** En América del Norte, se utiliza un tomacorriente monofásico estándar de 120 V/15 A conectado a tierra, como NEMA 5-15R, como carga de nivel 1, y esta conexión funciona con el conector estándar SAE-J1772. La capacidad de manejo actual de este modo tiene dos opciones, ya sea 15 A (12 A utilizable) o 20 A (16 A funcional), y puede consumir de 1,4 kW a 1,9 kW de potencia. Este modo tardará una media de 8 a 12 h en alcanzar el 100 % del estado de carga (SOC) de la batería. La ventaja del modo de carga de nivel 1 es que no se requiere infraestructura adicional para los hogares y las oficinas; por lo tanto, es económico. Se ha informado que el costo total de una infraestructura de carga de nivel 1 es de aproximadamente \$ 400 – \$ 900. Sin embargo, el soporte para control de comunicación no está disponible. Por lo tanto, no

podía considerar la carga de la red ni la calidad de la carga cuando estaba conectado a la red. Como resultado, muchos cargos de nivel 1 podrían tener un impacto negativo en la red, como la congestión de la red eléctrica.

- **Carga de nivel 2:** El modo de carga de nivel 2 es la opción más adecuada para las instalaciones de carga privadas. Para la instalación privada, este modo asigna una corriente alterna de 240 V monofásico con una capacidad de manejo de corriente de 40 A y 80 A para un suministro de CA de 400 V (trifásico). Debido a la conexión estandarizada del vehículo al cargador y al menor tiempo de carga que el modo 1, es probable que los usuarios de los VE prefieran la tecnología de carga del modo 2, ya que una instalación de infraestructura residencial de tecnología de modo 2 cuesta aproximadamente entre \$ 2150 y \$ 2300. La carga del modo 2 es ventajosa, ya que el equipo suministrado y los electrodomésticos de oficina pueden funcionar con el mismo circuito (es decir, hornos eléctricos). Los usuarios pueden utilizar un "cable de uso temporal" proporcionado por el proveedor para cargar las baterías de los VE fuera de sus hogares. Puede comunicarse con el automóvil y puede contribuir a la estabilidad de la parrilla. El cable puede protegerse de problemas como sobrecorriente y sobretensión. Este modo de carga suele tardar de 4 a 8 h en cargar la batería, lo que es mejor que la carga del modo 1. Las estaciones de carga comerciales y públicas cuestan más de \$ 15 000. Por lo tanto, el costo de instalación de la infraestructura es más económico que la infraestructura de carga comercial. Aunque la carga en modo 2 tiene gran cantidad de ventajas, posee algunas desventajas, como que el consumo de energía puede aumentar hasta en un 25 %.

- **Carga de nivel 3:** Hace algunos años, SAE desarrolló una opción de carga rápida para cargar una batería VE con una capacidad de 130 kW, utilizando 480 V (CA) con una cantidad considerable de alta corriente, estándar en ubicaciones comerciales e industriales. Por lo tanto, las áreas de descanso de las carreteras y los puntos de reabastecimiento de combustible de la ciudad, como centros comerciales, aeropuertos, parques, hoteles, surtidores de gasolina y otros lugares públicos, son adecuados para instalar la carga de nivel 3. Puede permitir que el usuario que cargue el VE mientras realiza otras tareas. Un protocolo japonés para "CHAdeMO" (mover usando carga) está ganando reconocimiento internacional para la carga rápida a través de un conector eléctrico especial. En la UE, se recomienda instalar conectores del sistema de carga combinado en la estación de carga rápida (FCS). Como los cargadores de nivel 3 pueden admitir una salida de alta potencia, los cargadores son mucho más voluminosos y pesados. Al usar la opción de carga de nivel 3, los vehículos eléctricos se pueden cargar muy rápidamente. Pero tiene inconvenientes considerables: La opción de carga de nivel 3 tiene un impacto significativamente menor en el área residencial. El cargador de nivel 3 requiere un módulo de enfriamiento dedicado para la electrónica de alta potencia. El coste de instalación de una infraestructura de carga de nivel 3 es muy elevado. Cuesta entre \$ 30 000 y \$ 160 000, dependiendo de la calidad.
- **Carga de nivel 4:** La instalación de carga de CC se requiere principalmente para la conducción de larga distancia y vehículos pesados y no es adecuada para lugares residenciales. Por ejemplo, una estación de carga de carretera típica de Electrify America con dos cargadores de 350 kW y cuatro de 150 kW aumentará el consumo de energía en 1,2 MW, lo que requerirá la compra de un costoso transformador de

distribución que se ha mejorado. El nivel de voltaje de una carga rápida de CC es de hasta 800 V. Una de las principales ventajas de la carga rápida de CC es que el tiempo de carga es menor que los otros niveles de carga. Sin embargo, el costo asociado con esta carga es alto. Se requieren entre \$ 80 000 y \$ 120 000 para instalar una carga rápida de corriente continua, incluidos los costos de inversión, infraestructura y operación y mantenimiento.

Infraestructura de carga

El desarrollo de la infraestructura de carga ha ganado una atención significativa en los países desarrollados y en desarrollo, ya que una infraestructura de carga inadecuada puede afectar la promoción de vehículos eléctricos en el mercado. [33]

La infraestructura de carga comprende energía y un sistema de comunicación:

- **Potencia de carga:** Según la potencia de carga, el sistema de carga se clasifica en carga residencial, carga pública y carga en el lugar de trabajo, almacén, sistema de carga privado o remoto. La carga residencial es una opción generalizada entre los propietarios de vehículos eléctricos que residen en casas unifamiliares, casas adosadas y edificios de apartamentos con acceso para estacionar y cargar vehículos eléctricos en sus instalaciones de carga.
- **Transferencia de energía eléctrica y de red:** La gestión adecuada de la energía de carga beneficiaría a todos los participantes involucrados en la carga de vehículos eléctricos. Mantendrá la estabilidad de la red y garantizará el equilibrio energético entre la oferta y la demanda. La carga de VE podría ocurrir desde diferentes ubicaciones, y es deseable una programación adecuada para controlar la potencia de carga. En consecuencia, las entradas de VE, estación de carga, red y un agregador son

necesarias para la optimización para cumplir con los objetivos, como minimizar el costo, el tiempo de carga y el tiempo de espera.

2.4 Estudios Financieros

Esta sección se enfocará en presentar los conceptos de terminologías financieras que permiten visualizar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto en el tiempo, de manera que es parte fundamental de la evaluación de un proyecto de inversión.

Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un criterio que representa una medida de valor o riqueza, ya que al calcular un VAN se busca determinar cuánto valor o desvalor generaría un proyecto para una compañía o inversionista en el caso de ser aceptado. Es por esta misma razón por la cual en su evaluación no se incorporan variables nominales, pues cambios nominales no representan cambios en el poder adquisitivo ni, por lo tanto, en el nivel de riqueza. [34]

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Ecuación 1

I_0 = *Inversión inicial en el momento cero de la evaluación*

i = *Tasa de descuento o costo de financiamiento del proyecto*

BN_t = *Beneficio o Flujo neto de efectivo en el periodo t*

Consideraciones a tener en cuenta con el VAN:

$VAN > 0$ El proyecto es considerado como una inversión aceptable y se aprueba.

$VAN < 0$ El proyecto no es una inversión aceptable y se rechaza la propuesta.

$VAN = 0$ El proyecto no genera ganancias ni pérdidas por lo que financieramente se rechaza.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

El criterio de la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. [34]

$$\sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

Ecuación 2

r = Tasa interna de retorno

BN_t = Beneficio o Flujo neto de efectivo en el periodo t

I₀ = Inversión inicial en el momento cero de la evaluación

Se puede observar que este criterio es prácticamente similar a hacer el VAN igual a cero y determinar la tasa que le permite al flujo actualizado ser cero.

TIR > 0 El proyecto se aprueba.

TIR < 0 El proyecto se rechaza.

TIR = 0 El proyecto se puede aprobar, pero no es buena opción en términos financieros.

Flujo de efectivo

Estos flujos pueden ser estimaciones o valores observados. Cada individuo o empresa cuenta con entradas de efectivo, rendimientos e ingresos (entradas), desembolsos de efectivo, gastos y costos (salidas). Estas entradas y desembolsos constituyen los flujos de efectivo; con un signo más representa las entradas de efectivo y con un signo menos representa las salidas de

efectivo. Los flujos de efectivo ocurren durante periodos específicos, tales como un mes o un año. [35]

Depreciación

Es la reducción en el valor de un activo. El método empleado para depreciar un activo, una forma de tomar en consideración el valor decreciente del activo para el propietario y para representar el valor (monto) de disminución de los fondos de capital invertidos en él. El monto de la depreciación anual no representa un flujo de efectivo real, ni refleja necesariamente el patrón del uso real del activo durante su posesión. [35]

Periodo de recuperación (np)

El periodo de recuperación np es el tiempo estimado, generalmente en años, que tomará para que los ingresos estimados y otros beneficios económicos recuperen la inversión inicial y una tasa de rendimiento establecida. El valor np generalmente no es un entero; es importante recordar lo siguiente: El periodo de recuperación np nunca debería utilizarse como la medida primaria de valor para seleccionar una alternativa. En su lugar, se determinaría para ofrecer depuración inicial o información complementaria junto con un análisis realizado usando el valor presente u otro método. [35]

Costo de Ciclo de vida (CCV)

El método CCV, como su nombre indica, comúnmente se aplica a las alternativas con costos estimados durante el periodo completo de vida del sistema. Esto quiere decir que se estiman los costos desde la etapa inicial del proyecto (necesita evaluación) hasta la etapa final (etapa de eliminación y desecho). El CCV efectivamente se aplica más cuando un porcentaje

sustancial de los costos totales durante periodo de vida de un sistema, relativo a una inversión inicial, serán los costos de operación y mantenimiento. [35]

Para entender cómo funciona el análisis de CCV, primero se deben entender las fases y etapas de la ingeniería o desarrollo del sistema. Están disponibles muchos libros y manuales sobre desarrollo y análisis de sistemas. Con frecuencia, los estimados de CCV se clasifican en un formato simplificado para las principales fases de adquisición y operación, y sus respectivas etapas.

Fase de adquisición: Todas las actividades anteriores a la entrega de productos y servicios.

- Etapa de definición de requerimientos: Incluye la determinación de las necesidades del usuario/cliente, su valoración en relación con el sistema anticipado, y la preparación de la documentación de los requerimientos del sistema.
- Etapa del diseño preliminar: Incluye estudio de viabilidad, planes conceptuales y de etapa temprana, y decisiones de continuar o no continuar.
- Etapa de diseño detallado: Incluye planes detallados de recursos como capital, factor humano, instalaciones, sistemas de información, mercadeo, etcétera; habrá adquisición de activos si se justifican económicamente.

Fase de operaciones: Todas las actividades en funcionamiento, los productos y servicios están disponibles.

- Etapa de construcción e implementación: Incluye compras, construcción e implementación de los componentes del sistema; pruebas; preparación, etcétera.
- Etapa de uso: Empleo del sistema para generar productos y servicios.

- Etapa de eliminación y desecho: Cubre el tiempo de transición clara al nuevo sistema; eliminación/reciclaje del viejo sistema.

Capítulo 3: Análisis de resultados

3.1 Estudio técnico comparativo de vehículos eléctricos y de combustión interna.

3.1.1 Estudio de la flotilla actual de la Unidad de Transporte del Tecnológico de Costa Rica.

Primeramente, se evalúa la flotilla actual de la unidad de transporte para conocer y verificar los datos de marca, modelo y ficha técnica de los respectivos vehículos, de manera que se pueda tener los principales comparativos de los vehículos eléctricos que se encuentran en el mercado.

La cantidad de carros correspondiente a la Unidad de Transportes del TEC es de 34 vehículos de los cuales 6 son automóviles híbridos, 1 camión y 14 vehículos de combustión interna para gran cantidad de pasajeros. De estos 32 vehículos se van a realizar los comparativos con los 13 vehículos tipo automóvil, ya que con lo anteriores no hay un carro eléctrico que cumpla con las expectativas requeridas para sus funciones habituales.

En la tabla 1 se puede visualizar la flotilla actual, con sus correspondientes características obtenidas de la ficha técnica particular de los vehículos, en donde la gran mayoría tienen la capacidad para llevar 5 pasajeros, además de ser tipo sedán o hatchback. Las funciones

habituales son para el transporte a personal de Tecnológico de Costa Rica, donde las rutas que se mantiene estos vehículos son en gran parte en GAM.

Tabla 1. Características técnicas de la flotilla actual de vehículos de combustión interna

Ficha técnica Flotilla actual vehículos de combustión									
Marca y Modelo	Motor	Peso (kg)	Pasajeros	Volumen tanque (L)	velocidad max (km/h)	Consumo (L/100 km)	Cilindraje (cm3)	Max Potencia (kW)	Max torque (Nm)
MITSUBISHI Lancer 2009	Diésel	1540	5	59	200	9,8	1999	112	146
TOYOTA Corolla 2009	Diésel	1330	5	55	195	6,9	1598	91	157
NISSAN TIDA 2011	Gasolina	1278	5	52	186	6,6	1798	93	147
NISSAN B17 SENTRA	Gasolina	1272	5	52	200	6,3	1798	96	174
TOYOTA PRADO 2015	Diésel	2240	7	87	175	8,9	2755	132	420
TOYOTA FORTUNER 2016	Diésel	2735	7	80	180	7,8	2755	132	420

Con las características obtenidas por sus fichas técnicas vistas en la tabla 1 se procede a evaluar los vehículos eléctricos que se encuentran actualmente en el país, con ayuda de la información recolectada por el Ministerio de Ambiente y Energía, ya que presenta una lista de modelos y marcas comerciales disponibles en el país en este año 2022, dicha lista se puede ver en la tabla 2 aquí se puede observar que el Toyota Prado y Fortuner cuentan con una capacidad de 7 pasajeros algo que la mayoría de los VE no cuentan, ya que sería un estilo VAN con otras características de uso por lo que en los estudios no serán evaluados. [36]

Tabla 2. Oferta de Automóviles Eléctricos en Costa Rica (2022). Fuente: MINAE [36]

Marca	Modelo	Estilo	Batería (kWh)	Potencia (kW)	Autonomía (km)	Torque (Nm)	Pasajeros
AION	s	Sedán	49,4	100	460 (NEDC)	225	5
AION	V 70	SUV	70,0	135	500 (NEDC)	350	5
AION	Y 70	SUV	64,0	135	500 (NEDC)	225	5
Audi	E-Tron S	SUV	95,0	375	368 (WLTP)	973	5
Audi	E-Tron50	SUV	71,0	233	336 (WLTP)	540	5
Audi	E-Tron55	SUV	95,0	304	440 (WLTP)	664	5
BMW	i3	Hatchback	42,2	125	245 (EPA)	250	4
BMW	i3s	Hatchback	42,2	135	245 (EPA)	270	4
BMW	iX M60	SUV	76,6	240	425 (WLTP)	630	5
ByD	D1	Sedán	53,5	100	418 (NEDC)	180	5
ByD	Han	Sedán	76,9	160	550 (NEDC)	680	5
ByD	M3	VAN	50,3	100	300 (NEDC)	180	7
ByD	T3	VAN	50,3	100	300 (NEDC)	180	2
ByD	Tang	SUV	86,4	378	505 (NEDC)	680	7
ByD	Yuan EV535 (SI Pro)	SUV	50,1	100	401(NEDC)	210	5
FAW	Besturn x40 EV460	SUV	52,5	140	350 (NEDC)	320	5
Geely	Farizon E200	CL	66,8	90	295 (NEDC)	400	2
Geely	Farizon E6	VAN	50,2	100	235 (NEDC)	400	2
Hyundai	Ioniq	Moto	38,3	100	293 (WLTP)	295	5
Hyundai	Kona limited	SUV	39,2	100	305 (WLTP)	395	5
Hyundai	Kona Prestige	SUV	64,0	150	484 (WLTP)	395	5
JAC (mayo)	e-S4	SUV	66,0	110	402 (WLTP)	330	5
Jaguar	I-Peace	Sedán	90,0	294	480 (WLTP)	696	5
JMC	N801	Camión	81,1	120	160 (NEDC)	500	2
JMC	VigusT500 EV	Pick Up	60,2	120	332 (NEDC)	320	5
Joylong	A6EV	VAN	78,0	110	300 (NEDC)	650	23
Lexus	UX 300e	Hatchback	54,3	150	300 (WLTP)	300	5
Maxus	EV 30	VAN	35,0	90	235 (NEDC)	250	2
M.G.	ZS EV	SUV	51,0	130	320 (WLTP)	280	5
Nissan	Leaf	Moto	40,0	110	238 (EPA)	320	5
Nissan	Leaf e+	Hatchback	62,0	160	362 (EPA)	339	5
Renault	Kangoo Z.E.	VAN	33,0	44	228 (WLTP)	225	2
Renault	Zoe	Hatchback	52,0	100	385 (WLTP)	225	5
Volvo	XC 40 P8	Sedán	78,0	300	418 (WLTP)	486	5
Xpeng	G3i	SUV	66,5	140	520 (NEDC)	300	5
Yema	EC30	Moto	48,0	80	350 (NEDC)	180	5
ZNA	Rich 6 EV	Pick Up	67,9	120	403 (NEDC)	420	5

Al observar esta tabla 2 se empieza a seleccionar los tipos de carro que pueden realizar las mismas funciones que los de la flotilla actual, con características similares en su torque y potencia que son bastante relevantes para que cumplan de manera adecuada su funcionalidad principal.

Por lo que se realiza la tabla 3 con los vehículos que más similitud tiene con la flotilla actual, evaluando sus características principales permitiendo generar una amplia perspectiva de las capacidades de estos vehículos eléctricos.

Tabla 3. Características de los Vehículos eléctricos estudiados para la sustitución. [42]

Estilo	Marca	Modelo	Batería			Carga		Velocidad máxima (km/h)	Eficiencia (Wh/km)	Peso (kg)	Precio (\$)
			Tipo	Voltaje (V)	Celdas	Potencia (kW)	Tiempo (h)				
Sedan	AION	S	Iones de Litio	SDE	SDE	AC 6.6 / DC100	AC 8 / DC 0.67	156	107,4	1610	32 500
	BYD	D1	Iones de Litio	SDE	SDE	AC 7 / DC 60	AC 7.5 / DC 1	130	128,0	2015	35 450
	Jaguar	I-Peace	SDE	SDE	SDE	AC 11 / DC 104	AC 9.25 / DC 0.74	200	223	2670	93 000
	Volvo	XC 40 P8	Iones de Litio	SDE	SDE	AC 11 / DC 137	AC 7.25 / DC 0.52	160	200	2460	77 900
Hatchback	BMW	i3	Iones de Litio	353	12	AC 3.7 / DC 50	AC 9.7 / DC 0.7	150	172,2	1345	44 450
	Lexus	UX 300e	Iones de Litio	SDE	SDE	AC 6.6 / DC 35	AC 8.25 / DC 1.03	160	191	2245	63 900
	Nissan	leaf e+	SDE	SDE	SDE	AC 3.7 / DC 100	AC 10.75 / DC 0.62	157	174	1544	50 000
	Renault	Zoe	Iones de Litio	400	192	AC 22 / DC 46	AC 3 / DC 0.94	135	165	1988	36 900

Importante que de la tabla 3 los vehículos más cómodos en términos de precio son el **AION S** y el **BYD D1**, aunque el costo de inversión sigue muy alto en comparación con algunos modelos de combustión interna, pero en términos operativos se puede visualizar que si se realiza una serie de operaciones matemáticas para obtener los gastos en colones del combustible.

Para conocer los gastos de combustible para los VCI se realiza de la siguiente manera:

$$L = Con \times K$$

Ecuación 3

L = Litros de combustible

Con = Consumo del Vehículo (l/100km)

K = Kilometros recorridos (km)

$$\text{Gastos de Combustible (Colones)} = L \times Pr$$

Ecuación 4

Pr = Precio del combustible por litro (colones)

Con estas ecuaciones se generan unas tablas para conocer los gastos de combustible de algunos de los VCI de la flotilla actual con una proyección a 100 000 kilómetros para obtener un aproximado de los gastos que se obtendrán, se toma en cuenta el precio de gasolina y diésel del promedio del mes de agosto del 2022.

Tabla 4. Gastos de combustible de los vehículos de combustión interna de la flotilla actual

Vehículos	Litros	Kilometraje	Gasto de combustible (Colones)	Gasto de combustible (Dólares)
Corolla 2009	690	10 000	₡ 661 940,00	\$ 998,60
	1380	20 000	₡ 1 323 880,00	\$ 1 997,19
	2070	30 000	₡ 1 985 820,00	\$ 2 995,79
	2760	40 000	₡ 2 647 760,00	\$ 3 994,38
	3450	50 000	₡ 3 309 700,00	\$ 4 992,98
	4140	60 000	₡ 3 971 640,00	\$ 5 991,58
	4830	70 000	₡ 4 633 580,00	\$ 6 990,17
	5520	80 000	₡ 5 295 520,00	\$ 7 988,77
	6210	90 000	₡ 5 957 460,00	\$ 8 987,36
	6900	100 000	₡ 6 619 400,00	\$ 9 985,96
	980	10 000	₡ 940 146,67	\$ 1 418,30
	1960	20 000	₡ 1 880 293,33	\$ 2 836,59

Mitsubishi Lancer 2009	2940	30 000	₺ 2 820 440,00	\$ 4 254,89
	3920	40 000	₺ 3 760 586,67	\$ 5 673,18
	4900	50 000	₺ 4 700 733,33	\$ 7 091,48
	5880	60 000	₺ 5 640 880,00	\$ 8 509,77
	6860	70 000	₺ 6 581 026,67	\$ 9 928,07
	7840	80 000	₺ 7 521 173,33	\$ 11 346,37
	8820	90 000	₺ 8 461 320,00	\$ 12 764,66
	9800	100 000	₺ 9 401 466,67	\$ 14 182,96
Nissan Tida 2011	660	10 000	₺ 708 620,00	\$ 1 069,02
	1320	20 000	₺ 1 417 240,00	\$ 2 138,03
	1980	30 000	₺ 2 125 860,00	\$ 3 207,05
	2640	40 000	₺ 2 834 480,00	\$ 4 276,07
	3300	50 000	₺ 3 543 100,00	\$ 5 345,09
	3960	60 000	₺ 4 251 720,00	\$ 6 414,10
	4620	70 000	₺ 4 960 340,00	\$ 7 483,12
	5280	80 000	₺ 5 668 960,00	\$ 8 552,14
	5940	90 000	₺ 6 377 580,00	\$ 9 621,15
	6600	100 000	₺ 7 086 200,00	\$ 10 690,17
Nissan B17 Sentra	630	10 000	₺ 676 410,00	\$ 1 020,43
	1260	20 000	₺ 1 352 820,00	\$ 2 040,85
	1890	30 000	₺ 2 029 230,00	\$ 3 061,28
	2520	40 000	₺ 2 705 640,00	\$ 4 081,70
	3150	50 000	₺ 3 382 050,00	\$ 5 102,13
	3780	60 000	₺ 4 058 460,00	\$ 6 122,55
	4410	70 000	₺ 4 734 870,00	\$ 7 142,98
	5040	80 000	₺ 5 411 280,00	\$ 8 163,40
	5670	90 000	₺ 6 087 690,00	\$ 9 183,83
	6300	100 000	₺ 6 764 100,00	\$ 10 204,25
Toyota Prado 2015	890	10 000	₺ 853 806,67	\$ 1 288,04
	1780	20 000	₺ 1 707 613,33	\$ 2 576,09
	2670	30 000	₺ 2 561 420,00	\$ 3 864,13
	3560	40 000	₺ 3 415 226,67	\$ 5 152,18
	4450	50 000	₺ 4 269 033,33	\$ 6 440,22
	5340	60 000	₺ 5 122 840,00	\$ 7 728,26
	6230	70 000	₺ 5 976 646,67	\$ 9 016,31
	7120	80 000	₺ 6 830 453,33	\$ 10 304,35
	8010	90 000	₺ 7 684 260,00	\$ 11 592,40
	8900	100 000	₺ 8 538 066,67	\$ 12 880,44
Toyota Fortuner 2016	780	10 000	₺ 748 280,00	\$ 1 128,85
	1560	20 000	₺ 1 496 560,00	\$ 2 257,70
	2340	30 000	₺ 2 244 840,00	\$ 3 386,54
	3120	40 000	₺ 2 993 120,00	\$ 4 515,39
	3900	50 000	₺ 3 741 400,00	\$ 5 644,24
	4680	60 000	₺ 4 489 680,00	\$ 6 773,09
	5460	70 000	₺ 5 237 960,00	\$ 7 901,93
	6240	80 000	₺ 5 986 240,00	\$ 9 030,78

	7020	90 000	₡ 6 734 520,00	\$ 10 159,63
	7800	100 000	₡ 7 482 800,00	\$ 11 288,48

Para el cálculo de gastos de consumo energético (electricidad) de los VE es diferente ya que se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Gasto de carga rápida para VE (Colones)} = \frac{Pr_e \times B}{Aut} \times K$$

Ecuación 5

Pr_e = Precio de la electricidad por kWh (Colones)

B = Bateria (kWh)

K = Kilometros recorridos (km)

Aut = Autonomia(km)

Se calculó estos gastos de combustible para dos modelos de VE como lo son lo AION S y BYD D1

Tabla 5. Gastos de electricidad para los vehículos eléctricos.

Vehículos eléctricos	Kilometraje	Gasto de consumo energético (Colones)	Gasto de consumo energético (Dólares)
AION S	10 000	₡ 196 225,39	\$ 296,02
	20 000	₡ 392 450,78	\$ 592,05
	30 000	₡ 588 676,17	\$ 888,07
	40 000	₡ 784 901,57	\$ 1 184,09
	50 000	₡ 981 126,96	\$ 1 480,12
	60 000	₡ 1 177 352,35	\$ 1 776,14
	70 000	₡ 1 373 577,74	\$ 2 072,17
	80 000	₡ 1 569 803,13	\$ 2 368,19
	90 000	₡ 1 766 028,52	\$ 2 664,21
	100 000	₡ 1 962 253,91	\$ 2 960,24
	10 000	₡ 312 945,86	\$ 472,11

Nissan Leaf	20 000	₡ 625 891,71	\$ 944,21
	30 000	₡ 938 837,57	\$ 1 416,32
	40 000	₡ 1 251 783,43	\$ 1 888,43
	50 000	₡ 1 564 729,28	\$ 2 360,53
	60 000	₡ 1 877 675,14	\$ 2 832,64
	70 000	₡ 2 190 620,99	\$ 3 304,75
	80 000	₡ 2 503 566,85	\$ 3 776,86
	90 000	₡ 2 816 512,71	\$ 4 248,96
	100 000	₡ 3 129 458,56	\$ 4 721,07
BYD D1	10 000	₡ 233 864,11	\$ 352,81
	20 000	₡ 467 728,23	\$ 705,61
	30 000	₡ 701 592,34	\$ 1 058,42
	40 000	₡ 935 456,46	\$ 1 411,22
	50 000	₡ 1 169 320,57	\$ 1 764,03
	60 000	₡ 1 403 184,69	\$ 2 116,83
	70 000	₡ 1 637 048,80	\$ 2 469,64
	80 000	₡ 1 870 912,92	\$ 2 822,44
	90 000	₡ 2 104 777,03	\$ 3 175,25
	100 000	₡ 2 338 641,15	\$ 3 528,05

Según datos de Juan David Torres Sarmientos se procede a generar tabla 6, la cual permite observar los mantenimientos preventivos que se debe realizar en un vehículo de combustión interna con el objetivo de preservar el buen funcionamiento a lo largo del uso en rangos de miles de kilómetros, con el costo de requerido sin incluir gastos de repuestos. [37]

Tabla 6. Plan de mantenimiento de un vehículo de combustión interna [37]

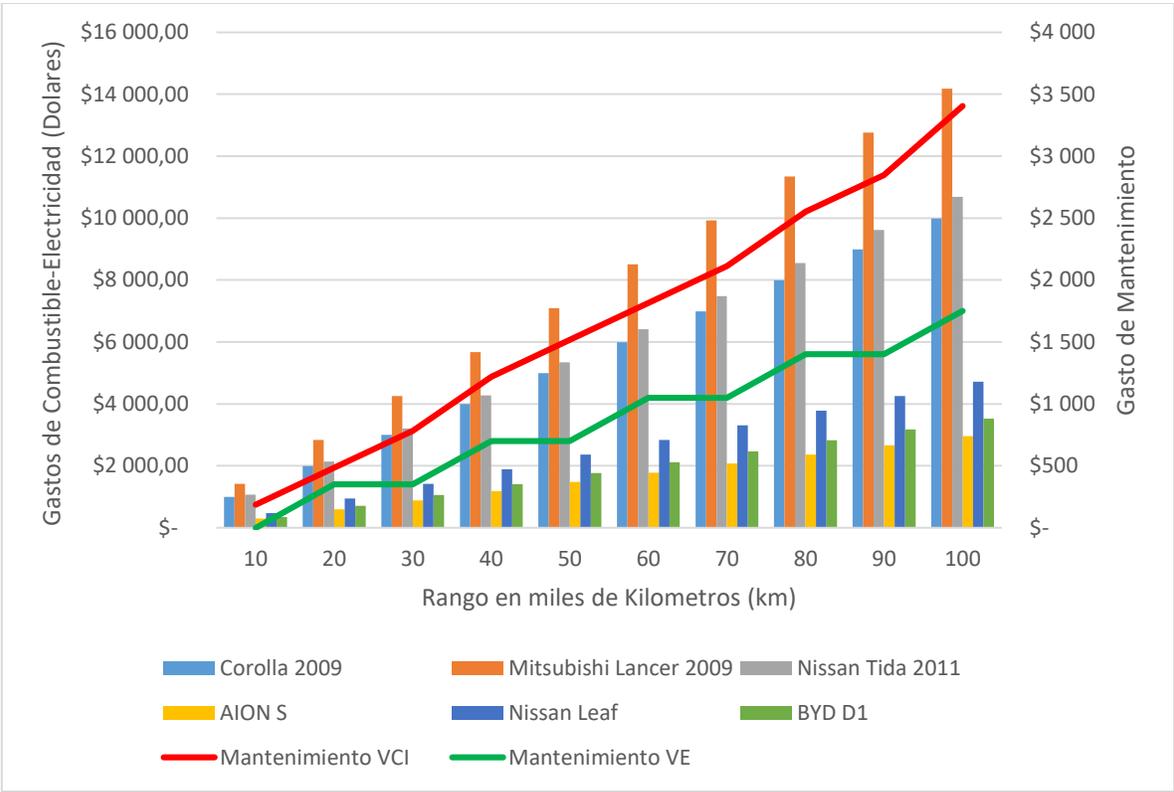
Plan de mantenimiento de un vehículo de combustión interna										
Descripción	Rango en miles de Kilómetros (km)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Revisión luces, plumas, accesorios estándar.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Comprobación de daños.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisión visual frenos.	X									
Revisión frenos, regulación o cambio.		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación de presión y desgaste de neumático.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio del filtro de aceite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aceite motor	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio del filtro de combustible			X	X	X	X	X	X	X	X
Refrigerante del motor				X				X		
Revisión del líquido de frenos, embrague y transeje automático	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio del líquido de frenos				X				X		
Inspección de mangueras de vacío, conexiones y válvula de retención del servo de los frenos				X				X		
Verificar y corregir el sistema de frenos, embrague y escape	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar el aceite de transmisión para T/M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisión de piezas del eje y la suspensión		X		X		X		X		
Verificación y corregir alineación de las ruedas		X		X		X		X		
Revisar o reemplazar según sea necesario las pastillas, tambores y otros componentes de los frenos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar o reemplazar según sea necesario los rotores y otros componentes de los frenos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Engrasar rulmanes punta del eje /cojinetes				X				X	X	
Cambio de bujías.										X
inspección filtro de aire.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio del filtro de aire				X				X		
Inspección filtro calefacción y aire acondicionado.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Spray carburador o cuerpo inyección.	X	X		X	X		X	X	X	X
Costo de Mantenimiento (sin incluir repuestos)	\$ 186	\$ 299	\$ 296	\$ 438	\$ 299	\$ 296	\$ 299	\$ 438	\$ 296	\$ 559

Además, de los datos de mantenimiento preventivo para un VCI se procede a generar la tabla 7 para un VE con el objetivo de obtener los gastos de mantenimiento requerido por kilómetro recorrido.

Tabla 7. Plan de mantenimiento de un vehículo Eléctricos [37]

Plan de mantenimiento de un vehículo Eléctricos					
Descripción	Rango en miles de Kilómetros (km)				
	20	40	60	80	100
Revisión de luces, plumas, accesorios estándar.	X	X	X	X	X
Inspección daños.	X	X	X	X	X
inspección visual frenos.			X		X
Verificación de freno regenerativo	X	X	X	X	X
Verificación de frenos, regulación o cambio.	X	X	X	X	X
Verificación de presión y desgaste de neumático.	X	X	X	X	X
Revisión del sistema eléctrico.	X		X		X
Inspección del motor eléctrico	X	X		X	X
Revisión de los componentes y conductores electrónicos del motor	X	X		X	
Revisión de la batería		X		X	X
Cambio del líquido de frenos		X		X	
Verificación de mangueras de vacío, conexiones y válvula de retención del servo de los frenos		X		X	
Revisión piezas del eje y la suspensión	X	X	X	X	X
Revisar y corregir alineación de las ruedas	X	X	X	X	X
Revisar o reemplazar según sea necesario las pastillas, tambores y otros componentes de los frenos	X	X	X	X	X
Inspeccionar o reemplazar según sea necesario los rotores y otros componentes de los frenos	X	X	X	X	X
Engrasar Rulimanes punta del eje /cojinetes		X		X	
Inspeccion filtro calefacción y aire acondicionado.	X	X	X	X	X
Costo de Mantenimiento (sin incluir repuestos)	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350

Con los datos recolectados de los gastos de combustible y mantenimiento tanto para VCI y VE se realizan gráficas para comparar los costos operativos en términos de combustible a lo largo de los kilómetros recorridos por los vehículos.



Gráfica 1. Comparación de gastos de combustible-electricidad y mantenimiento de vehículos eléctricos con respecto a vehículos de combustión interna de la flotilla.

En estas graficas se puede visualizar de mejor manera los datos tabulados de los gastos de combustible representado en las gráficas de barras y el mantenimiento acumulado en la línea roja para los VCI y verde en los VE por kilómetro recorrido, obteniendo una diferencia bastante evidente de lo que puede reducir en costos operativos en un vehículo eléctrico a lo largo del tiempo (km), esto dado a que en estos momentos el costo de la electricidad kWh es

muy barato en comparación al precio actual de la gasolina y diésel, además que un VE posee menos elementos que VCI por lo que su mantenimiento preventivo va a ser menor.

Para realizar un cálculo de los precios de los diferentes combustibles anualizados en una proyección de 10 años se procedió a utilizar el promedio del porcentaje la variación del dólar a lo largo de los años, ya que el porcentaje de variación del dólar es un indicador de inflación que permite visualizar el comportamiento del combustible a lo largo del tiempo.

Tabla 8. Porcentajes de variación a lo largo de los años.

Año	Variación dólar
2013	0,0350
2014	0,0727
2015	0,0174
2016	0,0198
2017	0,0319
2018	0,0644
2019	0,0147
2020	0,0371
2021	0,0274
2022	0,0702
PROMEDIO	0,0391

Tabla 9. Precios de los combustibles anualizados con una proyección a 10 años con promedio del porcentaje de variación en dólares

Precios de los combustibles anualizados con una proyección a 10 años con promedio de la tasa de variación en dólares											
Combustible	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Precio de la Gasolina súper (L)	\$ 1,620	\$ 1,620	\$ 1,621	\$ 1,622	\$ 1,622	\$ 1,623	\$ 1,624	\$ 1,624	\$ 1,625	\$ 1,625	\$ 1,626
Precio del Diésel (L)	\$ 1,447	\$ 1,448	\$ 1,448	\$ 1,449	\$ 1,450	\$ 1,450	\$ 1,451	\$ 1,451	\$ 1,452	\$ 1,452	\$ 1,453
Precio de la Electricidad (kWh)	\$ 0,276	\$ 0,276	\$ 0,276	\$ 0,276	\$ 0,276	\$ 0,276	\$ 0,276	\$ 0,276	\$ 0,277	\$ 0,277	\$ 0,277

En la tabla 9 se pueden ver los precios anualizados de la fuente de energía de los VE como los VCI, con ayuda de la variación del dólar, importante recalcar que se utilizó esta variación, ya que no tiene cambios drásticos a lo largo del tiempo, también se puede observar la gran diferencia de precios de los combustibles fósiles en relación al precio de la electricidad en un centro de carga rápida.

Tabla 10. Comparativa de algunos de los vehículos de la flotilla actual con VE seleccionados

Comparativa de algunos de los vehículos de la flotilla actual con VE seleccionados				
Características	Vehículos de Combustión de la flotilla		Vehículos Eléctricos seleccionados	
	Corolla 2009	Nissan sentra	BYD S1 PRO	Nissan Leaf
Potencia Max (HP)	122	129	206	147
Torque Max (N m)	157	174	210	320
Autonomía (km)	-	-	401	389
Velocidad Max (km/h)	195	200	120	144
Capacidad de pasajeros	5	5	5	5
Consumo	6.9 l/100 km	6.3 l/100 km	11.4 kWh/100 km	16.6 kWh/100 km
Peso bruto (kg)	1330	1665	1955	1995

En la tabla 10 vemos la comparativa de dos VCI de la flotilla actual con los VE seleccionados, en donde se puede apreciar que en varias de las características técnicas como en la potencia y torque los VE tienen un mejor rendimiento, en lo único que se encuentran por debajo es en la velocidad máxima que puede lograr el vehículo, además en la capacidad de pasajeros es exactamente la misma para todos con un total de 5 pasajeros, en términos de consumo si se convierte kWh/ 100 km a L/100 km, vamos observar que los VE tienen un consumo muchísimo menor, ya que el BYD S1 PRO tendría un consumo de 1.285 L/100 km y el Nissan Leaf 1.871 L/100 km, por ultimo hay una diferencia notable en el peso ya que los VE poseen un mayor peso bruto que los VCI de la flotilla.

3.2 Análisis de Impactos ambientales de los vehículos eléctricos y de combustión interna

Determinación de los impactos y repercusiones ambientales

Los Vehículos eléctricos serán analizados en esta sección en términos de consumo de energía y emisiones de GEI en comparación con los vehículos convencionales con motores de combustión.

Para una comparación de los dos conceptos de transmisión, no solo debemos considerar los diferentes consumos de energía y las emisiones de GEI del uso del vehículo, sino también el suministro de energía y la producción del vehículo. Esto requiere un enfoque de ciclo de vida que abarque la vida útil completa del vehículo desde la extracción de materiales y la producción del vehículo durante la fase de uso, considerando las emisiones del vehículo, así como la generación y distribución de energía asociada a los aspectos del final de la vida útil del vehículo, como se puede visualizar en la figura 9. [38]

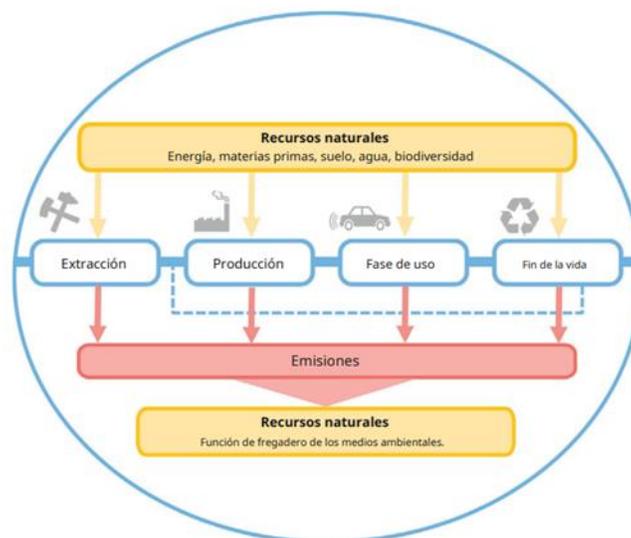


Figura 9. Concepto de un enfoque de ciclo de vida. [38]

Consumo de energía y emisiones en la producción de vehículos

La producción de diferentes conceptos de transmisión conduce a un consumo de energía y emisiones de CO₂ diferentes, incluso antes de que comience la fase de uso del vehículo. Aunque, en principio, se puede utilizar la misma carrocería para vehículos eléctricos que para vehículos convencionales, la principal diferencia está en la tecnología de propulsión (se utiliza un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión) y el almacenamiento de energía (batería en lugar de depósito de combustible) como se mencionaron en las secciones anteriores. [38] Además, se necesitan varios componentes adicionales, incluidos cables de alto voltaje, cargador de batería, medidor inteligente, generador, electrónica de potencia y calefacción adicional, mientras que otros componentes pueden omitirse, como el sistema de gases de escape, dínamo de iluminación, y (parcialmente) transmisión de engranajes convencional. Para lo que es la extracción y procesamiento de materias primas, también se deben considerar los procesos de ensamblaje y transporte de vehículos. Los resultados de un inventario de producción muestran que la diferencia en emisiones de CO₂ y consumo de energía entre un vehículo convencional y un vehículo eléctrico es considerable, mientras que la producción de un automóvil de combustión interna produce alrededor de 5 toneladas métricas de emisiones de CO₂ y está asociada a un consumo de energía de alrededor de 100 GJ, la producción de un VE produce más de 8 toneladas métricas de emisiones de CO₂ y consume alrededor de 180 GJ de energía como se muestra en la figura 10. [38]

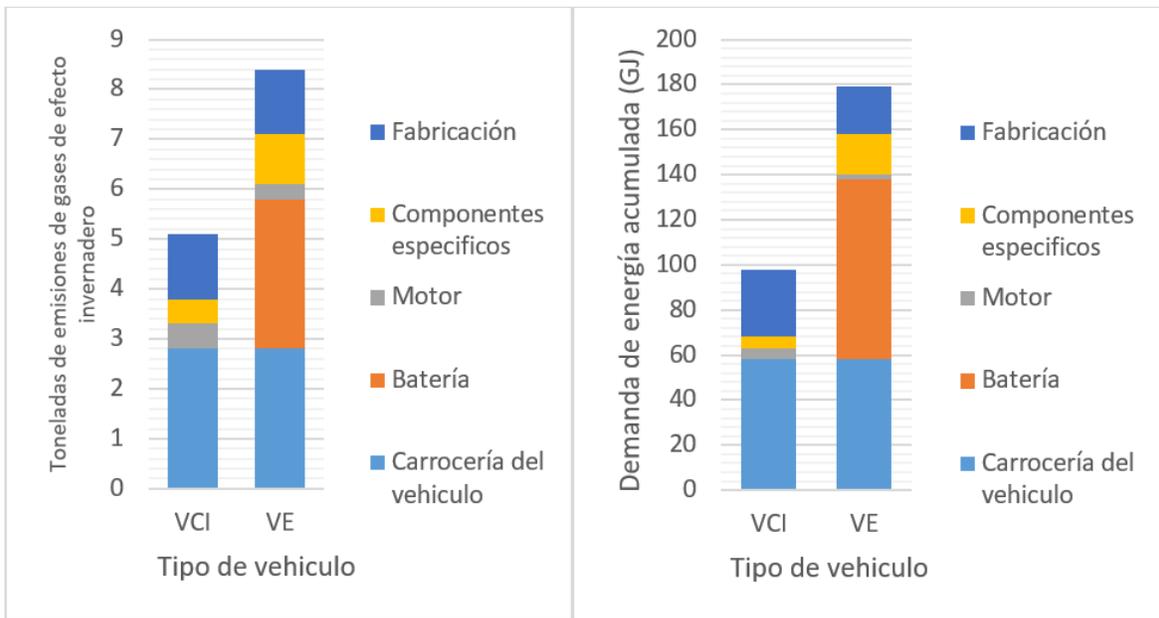


Figura 10. Emisiones de CO₂ y demanda energética de la producción de vehículos. [38]

La principal diferencia entre los conceptos de vehículos está en la producción de baterías de iones de litio, que por sí solas se considera responsable de unas 3 toneladas métricas de emisiones de CO₂. Especialmente la extracción y el procesamiento de materiales de celdas y el proceso de fabricación de celdas que consume mucha energía son los principales contribuyentes de las emisiones. Además, los componentes específicos del concepto de un vehículo eléctrico conducen a mayores emisiones de CO₂, principalmente debido al uso extensivo de cobre en componentes eléctricos como los cables de alto voltaje. [38]

Los impactos en la producción de vehículos eléctricos pueden disminuir en el futuro con los mercados masivos y debido al desarrollo dinámico en la investigación de tecnología de baterías. Tales reducciones pueden conducir a un mejor impacto en el ciclo de vida en comparación con los vehículos convencionales. Por otro lado, es posible que los nuevos enfoques, como la reducción de peso, causen más emisiones en la cadena de producción anterior. [38]

Ciclo de vida útil de los vehículos

Es importante tener en cuenta las fases correspondientes del ciclo de vida de un vehículo, las cuales pueden ser clasificadas de la siguiente manera: extracción de material, fabricación, transporte, uso y fin del ciclo. Las contribuciones se centran principalmente en la fase de uso, seguida de la fase de fabricación. Las fases de extracción de material, transporte y fin del ciclo son definitivamente menos investigadas. [39]

Extracción de materiales

Esta fase incluye el conjunto de procesos para obtener los materiales necesarios para la fabricación de baterías y vehículos, tales como la minería, extracción, separación y procesamiento de materiales.

La extracción de materias primas requeridas para la fabricación de VE tiene un mayor impacto en términos de energía requerida y emisiones de GEI en comparación con los VCI, debido a los requisitos específicos para el tratamiento de los materiales que se utilizan en los motores eléctricos especialmente en las baterías. [39]

Fabricación

Esta fase comprende la producción y montaje de los componentes que constituyen un vehículo. Los que se suelen considerar en los estudios analizados son el tren motriz, el motor eléctrico y el sistema de batería para los VE, motor y planeador para los VCI. Las emisiones de GEI relacionadas con esta fase se ven afectadas por el tipo de materiales utilizados, la cantidad y el peso de los componentes, que a su vez afectan la cantidad de energía requerida durante los procesos de fabricación. Normalmente oscila entre 25 y 40 MJ por kg de vehículo fabricado. [39]

En general, esta fase muestra una de las principales contribuciones a las emisiones globales de GEI de un VE durante su ciclo de vida, con valores absolutos que pueden ser hasta un 40 o 70 % más altos en comparación con los VCI. Esto se debe principalmente al proceso de fabricación de baterías, con particular referencia a los procesos de fabricación de celdas y ensamblaje de baterías. [39]

Las emisiones de GEI para la fabricación de baterías oscilan entre 100 y 200 kgCO₂/kWh. Dicha variación se debe principalmente a las diferentes ubicaciones geográficas consideradas para la fabricación de baterías, la combinación energética relacionada y cantidad de energía requerida durante el proceso de fabricación. Además, surge una variabilidad significativa incluso entre estudios que adoptan el mismo procedimiento, con valores promedio que van desde menos de 10 kWh/kg de batería hasta 28 kWh/kg. [39]

Transporte

Esta fase incluye el transporte de componentes y materiales entre países en los que se realizan las fases de extracción y fabricación y el posterior transporte de un vehículo desde el país en el que se realiza la fase de fabricación al país en el que se utiliza el vehículo. Las emisiones de GEI están influenciadas por la distancia recorrida de un lugar a otro y los modos de transporte adoptados, como el ferrocarril, la carretera y el mar. Uno de los principales parámetros que afectan a dichas emisiones se refiere a los componentes o peso del vehículo. [39]

Uso

Esta fase cubre el uso de un vehículo, cuyas emisiones de GEI suelen representar la mayor parte de las emisiones totales del ciclo de vida del vehículo, especialmente para los

VCI. Varían considerablemente entre los estudios, debido a muchos factores, como las características del vehículo, el consumo específico de energía y combustible, el uso de auxiliares, el comportamiento de conducción, la morfología del terreno y las condiciones climáticas. En cuanto al consumo de energía específico para un VE, oscila entre 15 y 25 kWh en 100 km recorridos. Los factores más relevantes que lo afectan están relacionados con las características del vehículo y la batería, como el tamaño y el peso, auxiliares como el sistema de calefacción y aire acondicionado, que pueden aumentar el consumo específico de energía hasta en un 50 % según en las condiciones climáticas, y la eficiencia de carga, que tiene en cuenta la pérdida de energía durante las fases de carga, que normalmente se establece en torno al 0.4 %. [39]

El consumo específico de combustible de los VCI oscila entre 5,5 y 9 l/100 km. Las variaciones se deben principalmente a diferencias en los tipos de vehículos, la morfología del terreno y las condiciones climáticas. Las emisiones de GEI dependen en gran medida de la producción y el uso del combustible. Los combustibles más investigados son el diésel y la gasolina. Muchos documentos adoptan un enfoque TTW (Tank-to-Wheel) que es un estudio de energía de un vehículo que se extiende desde el punto en el que se absorbe la energía (punto de carga, bomba de combustible) hasta la descarga (estar en movimiento), mientras que solo unos pocos adoptan un enfoque WTW (Well To Wheel) que estudia desde la producción de la fuente de energía (gasolina, diésel, electricidad, gas natural) hasta suministro de combustible (transporte al punto de recarga o bomba de combustible). [45] Respecto a estos últimos, los valores típicos de emisión oscilan entre 2500 y 2850 gCO₂/L para gasolina y entre 2750 y 3200 gCO₂/L para diésel. Las variaciones dependen

de varios factores, como el país de explotación, la posición del pozo, los procesos industriales requeridos y la distancia a recorrer para el transporte del combustible. [39]

Fin de la vida

Esta fase comprende todas las posibilidades que están disponibles una vez que un vehículo alcanza su límite operativo, que suele ser igual a 150.000 km. Las posibilidades de los VE y los VCI suelen cubrir la eliminación de la carrocería del vehículo y el reciclaje o la reutilización de las baterías de los VE. La eliminación de la carrocería de un vehículo (tanto para VCI como para VE) requiere un consumo de energía específico de alrededor de 0,37 MJ/kg. [39]

Para el reciclaje de baterías, con referencia a Iones litio, la tecnología referente adoptada hoy en día en VE, son la hidrometalúrgica y la pirometalúrgica. La primera permite reducir considerablemente la cantidad de emisiones y energía requerida. para el procesamiento de materias primas, con un consumo específico de energía igual a 0,5 MJ/kg, esta última es la técnica más frecuentemente adoptada debido a su facilidad de implementación, a pesar del mayor consumo específico de energía, igual a alrededor de 2,88 MJ/kg. [39]

Una vez que la batería de un VE llega al final de su vida útil para su uso natural, se puede explotar en aplicaciones de segunda vida (Battery Second Use - B2U), por ejemplo, la integración con plantas de energía renovable, posponiendo así su reciclaje. En general, el Fin la vida proporciona la contribución más baja a las emisiones de GEI de un vehículo y, en algunos casos (reciclaje de baterías), puede permitir lograr ahorros de energía y recursos. Las emisiones de GEI asociadas a dicha fase varían entre -5% y 14% de las emisiones del ciclo de vida de un vehículo. [39]

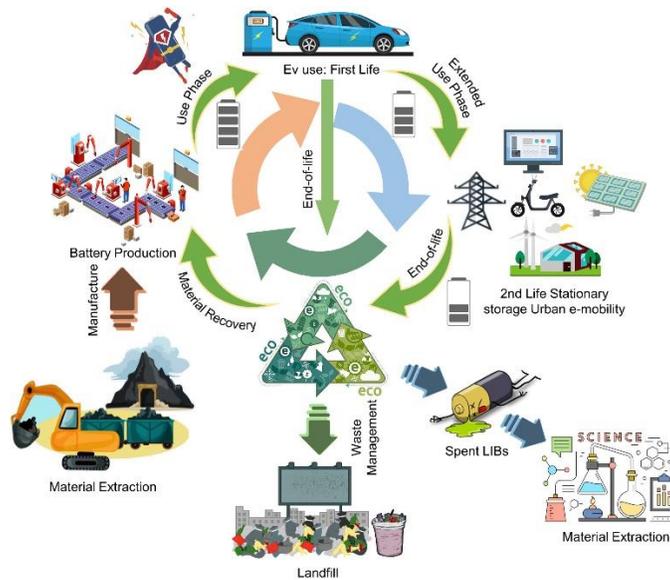


Figura 11. Sistema de gestión de baterías al final de su vida útil. [40]

Emisiones de CO₂ de la flota actual en funcionamiento en la etapa de uso

Para el cálculo de emisiones de CO₂ del consumo de combustible de la flota actual se procedió a utilizar los siguientes factores para la gasolina y diésel con el objetivo de obtener la cantidad generada por estos vehículos de combustión interna.

$$\text{Factor para el diesel} = 2,613 \text{ kg CO}_2/\text{l}$$

$$\text{Factor para Gasolina} = 2,231 \text{ kg CO}_2/\text{l}$$

Con ayuda de estos factores dados por el instituto meteorológico se aplica la siguiente fórmula para obtener los kg CO₂ de los VCI:

$$\text{kg CO}_2 = \frac{\text{Consumo} \left(\frac{\text{l}}{100\text{km}} \right) \times \text{factor} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}} \right)}{100} \times K$$

Ecuación 6

Consumo = Consumo de combustible del vehículo

Factor = Depende del combustible que utilice el vehiculo

K = kilometros recorridos (km)

Tabla 11. Generación de CO2 en etapa de uso de la actual flotilla.

Vehículos	Kilometraje	kg CO2	Toneladas de CO2	Arboles necesarios para compensar las emisiones
Corolla 2009	10 000	1 802,97	1,80	72
	20 000	3 605,94	3,61	144
	30 000	5 408,91	5,41	216
	40 000	7 211,88	7,21	288
	50 000	9 014,85	9,01	361
	60 000	10 817,82	10,82	433
	70 000	12 620,79	12,62	505
	80 000	14 423,76	14,42	577
	90 000	16 226,73	16,23	649
	100 000	18 029,7	18,03	721
Mitsubishi Lancer 2009	10 000	2 560,74	2,56	102
	20 000	5 121,48	5,12	205
	30 000	7 682,22	7,68	307
	40 000	10 242,96	10,24	410
	50 000	12 803,70	12,80	512
	60 000	15 364,44	15,36	615
	70 000	17 925,18	17,93	717
	80 000	20 485,92	20,49	819

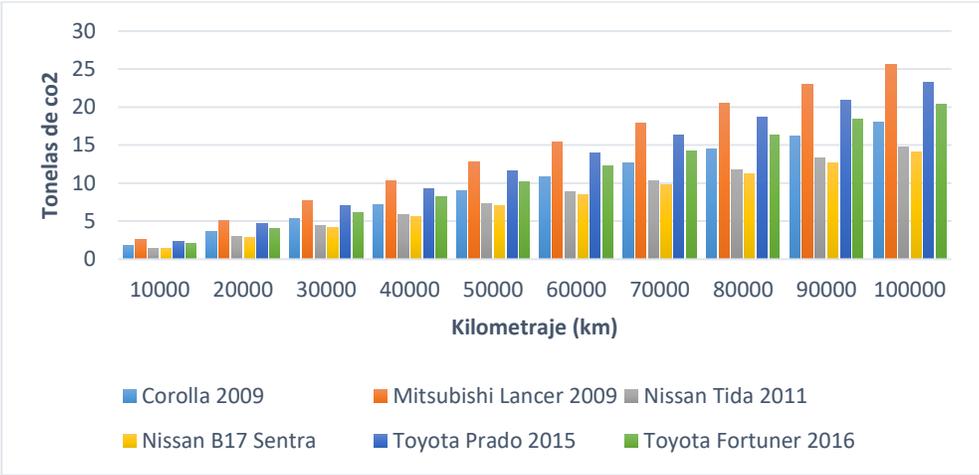
	90 000	23 046,66	23,05	922
	100 000	25 607,40	25,61	1024
Nissan	10 000	1 472,46	1,47	59
Tida 2011	20 000	2 944,92	2,94	118
	30 000	4 417,38	4,42	177
	40 000	5 889,84	5,89	236
	50 000	7 362,3	7,36	294
	60 000	8 834,76	8,83	353
	70 000	10 307,22	10,31	412
	80 000	11 779,68	11,78	471
	90 000	13 252,14	13,25	530
	100 000	14 724,60	14,72	589
Nissan	10 000	1 405,53	1,41	56
B17	20 000	2 811,06	2,81	112
Sentra	30 000	4 216,59	4,22	169
	40 000	5 622,12	5,62	225
	50 000	7 027,65	7,03	281
	60 000	8 433,18	8,43	337
	70 000	9 838,71	9,84	394
	80 000	11 244,24	11,24	450
	90 000	12 649,77	12,65	506
	100 000	14 055,30	14,06	562
Toyota	10 000	2 325,57	2,33	93
Prado	20 000	4 651,14	4,65	186
2015	30 000	6 976,71	6,98	279

	40 000	9 302,28	9,30	372
	50 000	11 627,85	11,63	465
	60 000	13 953,42	13,95	558
	70 000	16 278,99	16,28	651
	80 000	18 604,56	18,60	744
	90 000	20 930,13	20,93	837
	100 000	23 255,7	23,26	930
Toyota	10 000	2 038,14	2,04	82
Fortuner	20 000	4 076,28	4,08	163
2016	30 000	6 114,42	6,11	245
	40 000	8 152,56	8,15	326
	50 000	10 190,70	10,19	408
	60 000	12 228,84	12,23	489
	70 000	14 266,98	14,27	571
	80 000	16 305,12	16,31	652
	90 000	18 343,26	18,34	734
	100 000	20 381,40	20,38	815

Según información correspondiente de Ecotree un árbol absorbe aproximadamente 25 kg de CO2 al año, es aproximado dado que en realidad un árbol absorbe entre 10 y 40 kg de CO2 por año en promedio, dependiendo de una gran cantidad de factores. En este caso se aplicó el promedio de 25 kg CO2 para calcular la cantidad de árboles necesarios para absorber las emisiones generadas por los vehículos de la flotilla, en donde se puede visualizar la gran

cantidad de árboles necesarios por cantidad de kilómetros recorridos por un único vehículo de combustión en su etapa de uso. [41]

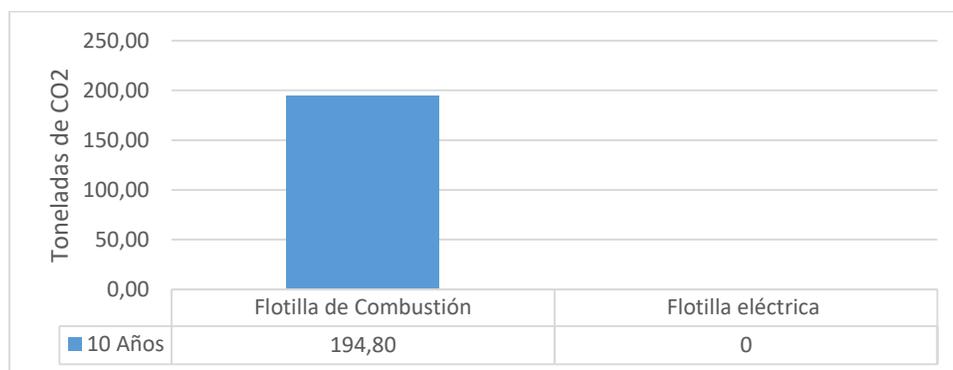
Con los datos obtenidos por la tabla 10 se realiza la gráfica 2 que permite ver el comportamiento de las emisiones CO2 a lo largo de los kilómetros recorridos por la flotilla de combustión interna de manera que se puede observar el incremento de toneladas de CO2 que se genera a lo largo de la etapa de uso de los vehículos, importante mencionar que no se realiza el de los vehículos eléctricos, dado que en su etapa de uso generan 0 emisiones directas.



Gráfica 2. Toneladas de CO2 generados por kilómetros recorridos

En la Grafica 2 se puede visualizar las toneladas de CO2 generadas por la flotilla actual durante su ciclo de vida útil, que son 10 años equivalentes a 100 000 km, cuya cantidad de CO2 es bastante elevada, ya que al sumar todos los resultados de estas emisiones es un dato muy significativo para el ambiente, por lo que se generó el gráfico 3 que es la suma de todas las emisiones de la flotilla actual de combustión interna con la de una posible flotilla eléctrica,

en donde se ve una reducción del 100% de CO2 en la etapa de uso, teniendo en cuenta que solamente son emisiones directas, como las que se evalúan con el método TTW.



Gráfica 3. Evaluación de las emisiones Totales de las diferentes Flotillas

3.3 Infraestructura de Carga requerida para el plan de sustitución de la flotilla actual

Para la flotilla actual se encuentran dos tipos de infraestructura que pueden cumplir la función, los puntos de carga rápida que se encuentran distribuidos en las zonas recorridas por los vehículos y las estaciones públicas que se pueden ser instaladas en el parqueo del Área de Transporte del TEC.

3.3.1 Puntos de recarga ubicados en el país

Según la Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica (ASOMOVE) hay más de 100 estaciones publicas donde recargar vehículos eléctricos en Costa Rica, dichas estaciones pueden ser visualizadas en páginas como ConectaEV y en Plugshare, donde dan la localización exacta y permiten ver los tipos de cargadores que se encuentran, además de si se encuentran en uso y el tiempo de espera, permitiendo una buena distribución del tiempo al encontrar el centro de carga más cercano a la ubicación actual del vehículo proporcionando la ruta más adecuada por medio del GPS que tiene integrada la aplicación.

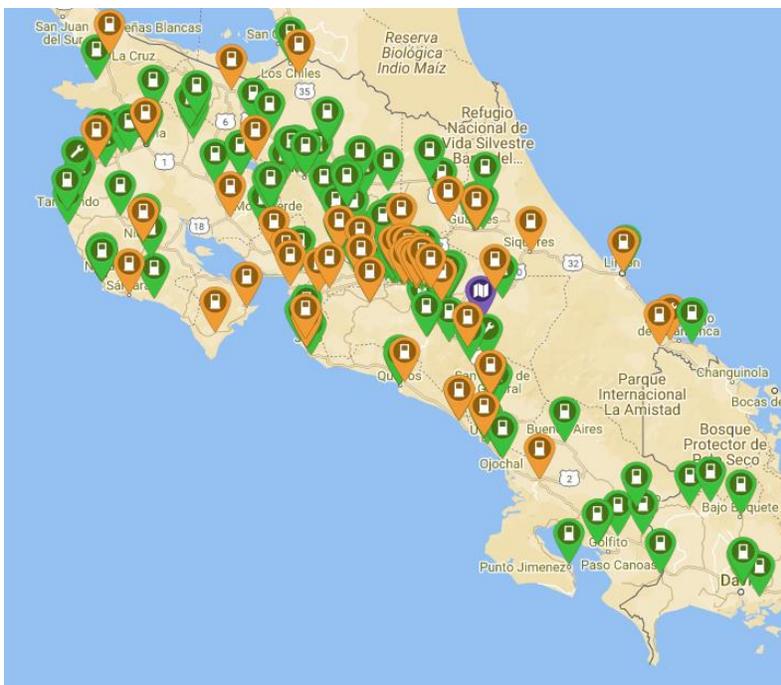


Figura 12. Mapeo de las estaciones de carga en Costa Rica. Fuente: Plugshare

Con la figura 13 se puede visualizar todas las estaciones de recarga que se encuentran en el país, permitiendo a los colaboradores del área de transporte del TEC trazar las rutas más convenientes para realizar una mejor distribución del tiempo al momento de viajar en las zonas correspondientes, además esta aplicación permite observar cuál centro de carga es mejor para el vehículo eléctrico, dando la información de los cargadores disponibles en cada área específica y su actividad reciente.

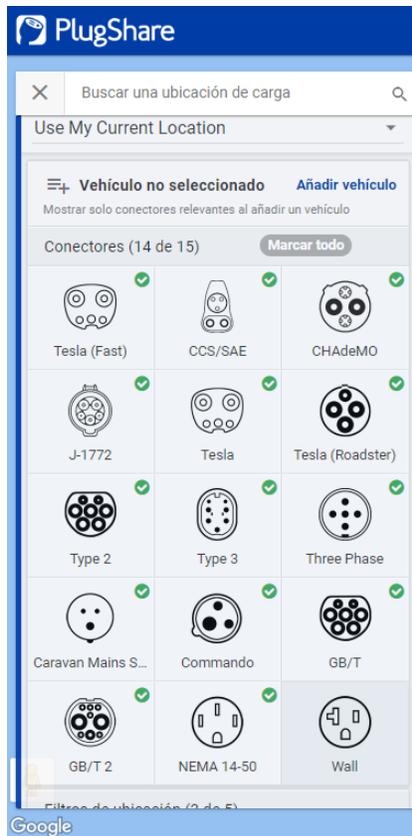


Figura 13. Cargadores disponibles en los centros de carga. Fuente: Plugshare

3.3.2 Estaciones tipo Wallbox

El área de Transporte del TEC cuenta con un parqueo bastante amplio donde se podría instalar unas estaciones tipo Wallbox esto se refiere como punto de recarga físico instalado en la pared que proporciona corriente eléctrica al vehículo eléctrico para permitir su carga. El término está compuesto por Wall (pared) y box (caja), pues normalmente se parece a una caja y se fija en la pared. La empresa indicada para obtener dicho equipo se llama ELCO, ya que son uno de los pocos fabricantes de estaciones de carga en el país, que contemplan lugares, como casas, oficinas, entre otros. Además de que proporcionan servicio de

mantenimiento, reparación y capacitaciones de uso de los aparatos, a continuación, se presenta la siguiente estación de carga tipo Wall box.

3.3.3 Estaciones públicas

De conformidad con el artículo 31 de la Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico, Ley número 9518 del 25 de enero del 2018, el presente decreto ejecutivo tiene por objeto reglamentar la construcción y funcionamiento de la red de centros de recarga eléctrica, denominadas en adelante como centros de recarga, que permita el suministro de energía eléctrica a los automóviles eléctricos y otros tipos de vehículos con sistemas de recarga compatibles con los mismos y les permita circular por el todo el territorio nacional; Este decreto contempla los elementos esenciales para llevar a cabo las alianzas de las empresas distribuidoras de energía eléctrica con los actores públicos, privados o ambos, de conformidad con lo definido en la Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico; de manera que con apoyo de este decreto el Tecnológico de Costa Rica podría negociar con la empresa que provee el servicio eléctrico en este caso la JASEC para regular los centro de carga ya sea usado en términos públicos y privados aprovechando los espacios adyacentes a la zona del Área de Transporte de TEC acceso de estos sistemas para otros usuarios fuera de los colaboradores de los VE.

Tabla 12. Características Técnicas de las estaciones de Carga de ELCO. Fuente: Elaboración Propia con datos de (ELCO, 2022)

Características Técnicas de las estaciones de carga de ELCO				
Características	Estación Portátil Plus	Estación Wall box	Estación de carga publica	Cargador rápido
Modelo	PLUS-32	WBL2/XXPY	PBL2-30	DCFC-M-14K
Tipo de estación	Portátil Dual L1/L2	L2 carga semi rápida	L2 carga semi rápida	Carga rápida en C.C
Potencia eléctrica	1.44kW/7.6kW	7.6kW, 9.6kW u 11kW	7.2kW	14kW
Tensión de entrada	120/240 V	208-240 V	208-240 V	208-240 V
Corriente de salida	12A/32A	32A, 40A o 46A	30 A	40 A max
Tipo de conector de salida	Tipo 1, Tipo 2 o GB/T	TIPO1, TIPO2 o GB/T	Tipo 1, Tipo 2 o GB/T	CCS1, CCS2 o GB/T
Método de control	Pantalla táctil de 2.4” full color	Tarjetas RFID ISO/IEC 14443	Tarjetas RFID ISO/IEC 14443	Pantalla táctil de 10 pulgadas
Conectores	1	1	1	1
Dimensiones	18cm X 10cm X 6cm	SDE	Altura 1 m con diámetro de 17 cm	78cm x 43cm x 63cm
Material	Plástico ABS	Plástico ABS	Acero inoxidable	Carcaza metálica
Peso	SDE	SDE	SDE	73 Kg
Precio	\$525 + IVA	\$690+IVA	\$1460+IVA	\$4860+ IVA

De la tabla 12 se procede a seleccionar una estación de carga que pueda cumplir con todos los requerimiento de los VE seleccionados por lo que se procedió a elegir la estación tipo Wall box, dado a sus característica como el tipo de conector, la tensión de entrada ya que es una estación de carga semi rápida, además por bajo precio y su nivel de calidad es importante tener en cuenta que no requiere generar una estructura o montaje físico adicional, ya que simplemente puede colocarse en la pared, en este caso en las paredes del parqueo del Área de Transporte del TEC.

3.4 Estructura de costos según el análisis del Ciclo de Vida para la adquisición de un vehículo

3.4.1 Estructura de Costos para un Vehículo Eléctrico

Fase de adquisición

En la fase de adquisición se deben considerar el costo o inversión inicial para la compra de un vehículo, que en este caso sería el precio neto del VE y la estructura de carga requerida (Estación de Carga) por el mismo, este apartado se realizará tomando los modelos BYD S1 Pro y Nissan leaf, debido a que sus precios no están muy elevados y cumplen con las características y funciones necesarias para sustituir la flota actual. Para la estación de carga se seleccionó el tipo Wall Box de ELCO debido a la facilidad de instalación, además de que es una estación de carga semi rápida y su precio es bastante económico.

Tabla 13. Costos de adquisición de un VE

Costos de adquisición de un VE		
Elemento	Precio dólares (\$)	Precio colones (₡)
VE BYD S1 Pro	37 000	24 526 190
VE Nissan Leaf	40 000	26 514 800
Cargador Wall Box	780	517 038,6

Fase Operación y Mantenimiento

Para los costos de revisión técnica vehicular se tomó en cuenta el máximo emitido por el ARESEP que se presentaron a partir del 19 de agosto del año 2022, cuyo precio es de 8125 colones sin IVA que en dólares es alrededor de \$12.25, además se procedió a realizar el análisis de las tarifas históricas de RITEVE para poder tomar en cuenta una tasa de inflación,

que en este caso es del 6% sin tomar en cuenta este último cambio, ya que al variar -44% la tasa de inflación no se apegara a la realidad.

El derecho de circulación según la legislación de Costa Rica está conformado por los siguientes rubros: Seguro Obligatorio Automotor (SOA), Aporte al Consejo de Seguridad Vial, Impuesto de Ventas sobre el SOA, Impuesto a la Propiedad de Vehículos, Infracciones a la Ley de Tránsito, Estacionómetros, Impuesto a favor de las Municipalidades, ARESEP (Buses y Taxis) Canon de transporte público (CTP) (Buses y Taxis), Timbre Fauna y Timbre Scout. Teniendo en cuenta estos rubros, es importante mencionar que según la Ley No 10209 De Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico, artículo 13 hay una exoneración del impuesto a la propiedad de vehículos para los vehículos eléctricos, ya que estarán exentos del pago del impuesto a la propiedad de vehículos, por un plazo de cinco años desde el momento de su nacionalización o al momento de su producción, en caso de vehículos ensamblados o producidos localmente. La exoneración aplicará de la siguiente forma: cien por ciento (100%) de exoneración para el primer año, ochenta por ciento (80%) de exoneración para el segundo año, sesenta por ciento (60%) de exoneración para el tercer año, cuarenta por ciento (40%) de exoneración para el cuarto año y veinte por ciento (20%) de exoneración para el quinto año. Pero es importante recalcar que el costo de derecho de circulación en el TEC tiene una exoneración especial debido a que el vehículo es perteneciente a una institución universitaria por lo que tendrá un precio de 25719 colones que es lo equivalente a \$39, por lo que en este análisis solamente se aplicará la exoneración del TEC sin aplicar la exoneración correspondiente de los VE, además se aplicará una inflación de 1,23%, ya que es la inflación interanual del 2020-2021.

Para lo referente a los costos energéticos, se tomó en cuenta el consumo de energía anual por los vehículos, en el caso del **ByD S1 Pro** tiene un rango de consumo de 8,1-11,4 kWh/100 km según el colaborador de ventas de la empresa, esto depende de factores ambientales y modo de conducción, por lo que para este VE se seleccionó el consumo más alto 11,4 kWh/100 km, de manera que este VE tendrá un consumo anual de 1140 kWh por año tomando en cuenta que su recorrido serán 10 000 km y para el caso del **Nissan leaf** tiene un consumo anual de 1660 kWh. Teniendo presente ese consumo se determinara el costo de energía anual, en el cual se aplicará la tarifa eléctrica preferencial (T-CS) de la empresa JASEC, ya que el TEC es una universidad pública, para el monto a utilizar será los bloques mayores a 3000 kWh que son los kWh adicionales, dado que el TEC presenta un sistema eléctrico ya existente, por lo que este gasto sería adicional y se calculó analizando un promedio interanual de la tarifa que corresponde a 40,28 colones cada kWh que equivalente en dólares son \$0,061. Importante recalcar que se debe aplicar el IPC (índice de precio al consumidor) cada año para obtener el aumento por inflación, en este caso se utilizara 1,23% promedio interanual del periodo 2020-2021.

Tabla 14. Costos energéticos

Costos energéticos		
Datos	VE BYD S1 PRO	VE Nissan Leaf
Kilómetros recorridos por año (km)	10 000	10 000
Consumo de energía (kWh/km)	0,114	0,166
Energía consumida por año (kWh)	1140	1660
Costo de energía por kWh	₡40,28 (\$ 0,061)	₡40,28 (\$ 0,061)
Costo por año (Colones)	₡ 45 919,20	₡ 66 864,80
Costo por año (Dólares)	\$ 69,54	\$ 101,26

Para lo referente a los gastos por mantenimiento preventivo se tomaron en cuenta los datos proporcionados por el taller de Corimotors que mencionaron que sus planes de mantenimiento están a \$120 para los primeros 7500 km y después de los 15 000 km corresponden a \$190, además recomiendan hacer el mantenimiento cada 7 500 km o 10 000 km.

Los gastos de mantenimiento correctivo para los VE serán únicamente los costos por cambio de llanta y elementos del sistema de frenos, estos cambios serán realizados según su ciclo de vida el cual para las llantas corresponde 30 000 - 40 000 km según el estudio de Juan Sarmientos y según lo mencionado en el artículo de Sami Kara, Wen Li y Nikkita Sajiva, de manera que se tomará el cambio de neumáticos cada 30 000 km equivalente en este estudio a 3 años con un costo de \$326, para los cambios de frenos lo recomendado es realizarlo cada 40000 km con un costo de \$ 170 y la suspensión cada 80 000 km con el costo de \$387.

Tabla 15. Costos de Mantenimiento de los VE

Costos de Mantenimiento de los VE			
Parámetro	VE BYD S1 PRO y Nissan Leaf		
Año	Kilometraje	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo
1	10 000	\$ 120	
2	20 000	\$ 190	
3	30 000	\$ 190	\$ 326
4	40 000	\$ 190	\$ 170
5	50 000	\$ 190	
6	60 000	\$ 190	\$ 326
7	70 000	\$ 190	
8	80 000	\$ 190	\$ 557
9	90 000	\$ 190	\$ 326
10	100 000	\$ 190	

Fase de Disposición final

En esta etapa es donde se realiza la venta del Vehículo y finaliza el estudio, en este caso se consideró realizar el análisis a 10 años dado a que, según la Normativa de “Valoración, Renovación, Depreciación de la Propiedad, Planta y Equipo”, se tiene que un vehículo de carga liviana tiene un ciclo de vida de 10 años, el valor de venta del VE será afectado por un factor de depreciación de 0,457478 establecido por el Decreto N° 41997-H dado a que es el utilizado cuando el vehículo cumple con 10 años de uso, por lo que al final tendrán los valores mostrados en la tabla 16.

Tabla 16. Fase de disposición Final de un VE

Fase de disposición Final de un VE		
Elemento	Precio Venta dólares (\$)	Precio Venta colones (₡)
VE BYD S1 Pro	16 926,69	11 220 192,35
VE Nissan Leaf	18 299,12	12 129 937,67

3.4.2 Estructura de costos para la adquisición los vehículos de combustión interna

Para visualizar la rentabilidad financiera de un cambio de flotilla se necesita comparar las otras opciones que no son eléctricas en este caso los VCI, en los modelos utilizados para generar el estudio financiero, se tomaron en cuenta dos modelos que son versiones más nuevas de los vehículos que están actualmente en la flotilla como es el caso de Nissan Sentra y Toyota corolla 2023.

Fase de adquisición

En la fase de adquisición se deben considerar el costo o inversión inicial para la compra de un vehículo, que en este caso sería el precio neto de los VCI a evaluar con los precios vigentes en sus agencias respectivas. Importante recalcar que se está utilizando el promedio del valor del dólar del mes de agosto que corresponde 662,87 colones.

Tabla 17. Costos de adquisición de un VCI

Costos de adquisición de un VCI		
Elemento	Precio dólares (\$)	Precio colones (₡)
VCI Toyota Corolla 2023	28 300	18 759 221
Nissan Sentra 2023	32 900	21 808 423

Fase Operación y Mantenimiento

Para los costos de revisión técnica vehicular se tomó en cuenta el máximo emitido por el ARESEP que se presentaron a partir del 19 de agosto del año 2022, cuyo precio es de 8125 colones sin IVA que en dólares es alrededor de \$12.25, además se procedió a realizar el análisis de las tarifas históricas de RITEVE para poder tomar en cuenta una tasa de inflación, que en este caso es del 6% sin tomar en cuenta este último cambio, ya que al variar -44% la tasa de inflación no se apegara a la realidad.

Importante recalcar que el costo de derecho de circulación tiene una cuota especial debido a que el vehículo es perteneciente a una institución universitaria por lo que tendrá un precio de 25719 colones que es lo equivalente a \$39, importante mencionar que se aplicará una inflación de 1,23%, ya que es la inflación interanual del 2020-2021.

Los gastos por combustible serán analizados con el precio promedio de la gasolina súper y diésel del mes de agosto del 2022 que son 1073,67 colones (\$1,62) y 959,33 colones (\$1,45) respectivamente, estos precios fueron consultados en la página de RECOPE. El consumo anual será evaluado a 10 000 km por año, teniendo en cuenta que el consumo del Toyota corolla 2023 y del Nissan Sentra es 0,07098 L/ km se calculó ese gasto, incrementando 1,23% utilizando la inflación interanual 2020-2021 de Costa Rica.

Tabla 18. Costos de combustible

Costos de combustible			
Datos		VCI Toyota Corolla 2023	VCI Nissan Sentra 2023
Kilómetros recorridos por año (km)		10 000	10 000
Consumo de gasolina (L/km)		0,07098	0,07098
Gasolina consumida por año (L)		709,8	709,8
Costo de la gasolina por litro		₡1073,67 (\$ 1,62)	₡1073,67 (\$ 1,62)
Costo por año (Colones)	₡	762 090,97	₡ 762 090,97
Costo por año (Dólares)	\$	1 149,88	\$ 1 149,88

Para lo referente a los gastos por mantenimiento preventivo se tomaron en cuenta los datos proporcionados por el taller de Nissan y ByD que mencionaron que sus planes de

mantenimiento están a \$90-\$120 para una revisión menor y después corresponden a \$190-\$231 que es una revisión mayor, recomiendan hacer el mantenimiento cada 5000 km. Importante mencionar la diferencia de mantenimiento o revisión menor y mayor que varía en los siguientes aspectos:

La revisión de 10 000 km se cataloga como mantenimiento mayor, la revisión de 15 000 km como mantenimiento menor, la de 20 000 km mayor, la de 25 000 km menor y así sucesivamente.

En la revisión menor se realiza:

- Cambio de aceite y filtro.
- Revisión visual de dirección, frenos y suspensión.
- Pastilla para depósito de tira aguas.
- Resoque de suspensión.
- Revisión de niveles.
- Engrase de puertas y venillas.
- Revisión general.

En la revisión mayor se realiza:

- Cambio de aceite y filtro.
- Cambio de filtro de aire de motor y A/C.
- Limpieza y ajuste de frenos.
- Rotación de llantas.
- Revisión visual de dirección y suspensión.
- Pastilla para depósito de tira aguas.
- Resoque de suspensión.
- Revisión de niveles.
- Engrase de puertas y venillas.

- Revisión general.

Los gastos de mantenimiento correctivo para los VE serán únicamente los costos por cambio de llanta y elementos del sistema de frenos, estos cambios serán realizados según su ciclo de vida el cual para las llantas corresponde 30 000-40 000 km según el estudio de Juan Sarmientos y según lo mencionado en el artículo de Sami Kara, Wen Li y Nikkita Sajiva, de manera que se tomará el cambio de neumáticos cada 30 000 km equivalente en este estudio a 3 años con un costo de \$399 para el Nissan Sentra y \$300 para el Corolla 2023 estos montos son correspondientes al tipo de neumático, para los cambios de frenos lo recomendado es realizarlo cada 40 000 km con un costo de \$170 aquí lo referente a pastillas y otros elementos y la suspensión cada 80 000 km con el costo de \$387.

Tabla 19. Costos de Mantenimiento de los VCI

Costos de Mantenimiento de los VCI						
Parámetro		Toyota Corolla 2023		Nissan Sentra 2023		
Año	Kilometraje	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo	
1	10 000	\$ 351		\$ 351		
2	20 000	\$ 351		\$ 351		
3	30 000	\$ 351	\$ 300	\$ 351	\$ 399	
4	40 000	\$ 351	\$ 170	\$ 351	\$ 170	
5	50 000	\$ 351		\$ 351		
6	60 000	\$ 351	\$ 300	\$ 351	\$ 399	
7	70 000	\$ 351		\$ 351		
8	80 000	\$ 351	\$ 557	\$ 351	\$ 557	
9	90 000	\$ 351	\$ 300	\$ 351	\$ 399	
10	100 000	\$ 351		\$ 351		

Fase de Disposición final

En esta etapa es donde se realiza la venta del Vehículo y finaliza el estudio, en este caso se consideró realizar el análisis a 10 años dado a que, según la Normativa de “Valoración,

Renovación, Depreciación de la Propiedad, Planta y Equipo”, se tiene que un vehículo de carga liviana tiene un ciclo de vida de 10 años, el valor de venta del VE será afectado por un factor de depreciación de 0,457478 establecido por el Decreto N° 41997-H dado a que es el utilizado cuando el vehículo cumple con 10 años de uso, por lo que al final tendrán el valor mencionado en la tabla 20.

Tabla 20. Fase de disposición Final de un VCI

Fase de disposición Final de un VCI		
Elemento	Precio Venta dólares (\$)	Precio Venta colones (₡)
VCI Toyota Corolla 2023	12 946,6	8 581 930,9
Nissan Sentra 2023	15 051,0	9 976 873,7

3.4.3 Resultados de los costos del ciclo de vida de los vehículos evaluados

Se presenta detalladamente la estructura para realizar el análisis del ciclo de vida, con la utilización de las fases anteriormente estudiadas para un vehículo eléctrico y de combustión interna en la sección de **Apéndice B**, además es importante mencionar que se usó una tasa de descuento de **8,31%** según lo recomendado por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, ya que ellos desarrollaron el estudio de “Metodología sobre el cálculo de precios sociales para el análisis económico de proyectos de inversión Pública en Costa Rica”

En la tabla 21 se muestran los resultados de todo el estudio de ciclo de vida, para poder generar una comparativa adecuada de la rentabilidad económica que conlleva adquirir uno de los vehículos presentes.

Tabla 21. Costo de ciclo de vida de los vehículos

Costo de ciclo de vida de los vehículos						
Vehículo	Costo de adquisición (\$)	Costo Operativo (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Precio de Venta (\$)	Costo de Ciclo de vida (\$)	Costo por km recorrido (\$)
VE BYD S1 PRO	37 780	1 325,14	3 535	16 926,69	33 255,26	0,33
VE Nissan Leaf	40 780	1 659,17	3 535	18 299,12	35 856,81	0,36
VCI Toyota Corolla 2023	28 300	12 747,35	5 137	12 946,63	34 145,75	0,34
VCI Nissan Sentra 2023	32 900	12 747,35	5 434	15 051,03	37 986,05	0,38

De los datos obtenidos por el estudio de ciclo de vida que se encuentran en la tabla 21, se puede visualizar el vehículo más rentable que es el BYD S1 Pro, esto debido a su menor costo de ciclo de vida útil con respecto a los otros vehículos estudiados. Es importante observar que a pesar de su alta inversión inicial sigue siendo muy rentable, ya que a pesar de superar en \$9480 al precio de compra del Toyota Corolla 2023, los costos de mantenimiento y operación tienen una amplia ventaja para el BYD S1 dado a su bajo costo comparado con los vehículos de combustión presentados.

Tabla 22. Gastos de Mantenimiento y Operación de los vehículos VE y VCI

Gastos de Mantenimiento y Operación de los vehículos VE y VCI				
Gastos	VE BYD S1 PRO	VE Nissan Leaf	VCI Toyota Corolla 2023	VCI Nissan Sentra 2023
Operativos				
Revisión técnica vehicular	\$ 182,60	\$ 182,60	\$ 182,60	\$ 182,60
Derecho de circulación	\$ 410,20	\$ 410,20	\$ 410,20	\$ 410,20
Energía y combustible	\$ 732,31	\$ 1 066,34	\$ 12 154,50	\$ 12 154,50
Gasto Total	\$ 1 325,11	\$ 1 659,14	\$ 12 747,30	\$ 12 747,30
Mantenimiento				
Preventivo	\$ 1 830,00	\$ 1 830,00	\$ 3 510,00	\$ 3 510,00
Correctivo	\$ 1 705,00	\$ 1 705,00	\$ 1 627,00	\$ 1 924,00
Gasto Total	\$ 3 535,00	\$ 3 535,00	\$ 5 137,00	\$ 5 434,00
Gastos Operativos y de mantenimiento finales	\$ 4 860,11	\$ 5 194,14	\$ 17 884,30	\$ 18 181,30

En la tabla 22 se puede ver un mejor desglose de los gastos operativos y de mantenimiento de los vehículos, en donde se puede visualizar que hay una reducción significativa en los gastos operativos de los VE en comparación a los VCI, esto debido a los términos de energía y combustible, ya que en Costa Rica actualmente la electricidad es muy barata, además que el sistema eléctrico del TEC presenta una tarifa preferencial que ayuda a disminuir en gran manera estos costos eléctricos. Mientras que los combustibles como la gasolina y diésel presentan un gran incremento estos últimos años generando un costo a largo plazo muy elevado. Importante mencionar que la revisión técnica vehicular es la misma para todos con el costo propuesto por la ARESEP y en términos de Derechos de Circulación también poseen el mismo monto dado a que presentan exoneración de impuestos por ser una institución pública.

En los aspectos de mantenimiento vistos en la tabla 22, se puede observar que los VE poseen un menor costo de mantenimiento esto principalmente dado a su composición interna, ya que al contar con menos partes y sistemas se realiza un mantenimiento preventivo muy básico y cada 10 000 km mientras que los VCI el preventivo es más complejo de realizar por todos elementos que conllevan como los filtros que tienen que ser cambiados periódicamente, además que los frenos tienen que llevar una mayor revisión debido a que el desgaste es superior al de los eléctricos, esto porque los últimos poseen frenos regenerativos. Importante recalcar que los VCI tienen dos revisiones al año una menor y una mayor. En términos de mantenimiento correctivo varían un poco, dado a que se tomó los cambios de llantas y los precios en el mercado son diferentes por los perfiles y tipo de aro, por lo que las llantas más costosas son del Nissan Sentra.

En este proyecto se evaluaron 4 vehículos como se pudieron ver en las tablas 2 VE y 2 VCI estos vehículos fueron seleccionados como futuros cambios a los vehículos presentes en la flotilla, importante mencionar que estos los VCI son modelos nuevos de carros actuales de flotilla, ya que presentan muchas similitudes para generar una buena comparativa, los eléctricos fueron seleccionados dados a su bajo precio en el mercado y sus capacidades técnicas similares, importante mencionar que algunos vehículos presentados en la página del MINAE ya no se encontraron disponibles, al momento de llegar a las distintas agencias, por lo que en vez del BYD D1 evaluado en los objetivos anteriores se presentó la variante como el BYD S1 Pro que es un modelo SUV pero cumple con las características de sedan, este modelo VE será comparado con el Toyota Corolla 2023 que representara a los siguientes vehículos de la flotilla: Toyota Corolla 2009, Mitsubishi Lancer 2009; Mientras que el Nissan Sentra 2023 representara al Nissan Tida 2011 y al Nissan Sentra B17 que serán comparados con el Nissan Leaf que un VE.

Tabla 23. Costo de ciclo de vida de los vehículos Toyota Corolla 2023 y BYD S1 PRO

Costo de ciclo de vida de los vehículos Toyota Corolla 2023 y BYD S1 PRO						
Vehículo	Costo de adquisición (\$)	Costo Operativo (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Precio de Venta (\$)	Costo de Ciclo de vida (\$)	Costo por km recorrido (\$)
VE BYD S1 PRO	37 780	1 325,14	3 535	16 926,69	33 255,26	0,33
VCI Toyota Corolla 2023	28 300	12 747,35	5 137	12 946,63	34 145,75	0,34

Al observar la tabla 23 se puede evidenciar que ambos vehículos tienen un costo de vida útil muy similar, pero tiene una mayor rentabilidad a lo largo del tiempo el VE BYD S1 Pro, ya que su costo de ciclo de vida es menor por \$891 al del Toyota Corolla 2023, por lo que a pesar de su alto costo de adquisición es más rentable en términos operativos y de

mantenimiento, de manera que se ve visualizado que a mayor cantidad de años o kilómetros va aumentar la diferencia y podrá ser más rentable para un posible cambio, esto dado que actualmente el costo de la electricidad es muy bajo en comparación a los combustibles fósiles.

Tabla 24. Costo de ciclo de vida de los vehículos Nissan Leaf y Nissan Sentra 2023

Costo de ciclo de vida de los vehículos Nissan Leaf y Nissan Sentra 2023						
Vehículo	Costo de adquisición (\$)	Costo Operativo (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Precio de Venta (\$)	Costo de Ciclo de vida (\$)	Costo por km recorrido (\$)
VE Nissan Leaf	40 780	1 659,17	3 535	18 299,12	35 856,81	0,36
VCI Nissan Sentra 2023	32 900	12 747,35	5 434	15 051,03	37 986,05	0,38

Al observar la tabla 24 se puede evidenciar que ambos vehículos tienen un costo de vida útil muy similar, pero tiene una mayor rentabilidad a lo largo del tiempo el VE Nissan Leaf, ya que su costo de ciclo de vida es menor por \$2130 al del Nissan Sentra 2023, por lo que a pesar de que su costo de adquisición sea el más alto de todos los vehículos a evaluar es rentable, dado que en términos operativos y de mantenimiento es muy reducido y esto lo podemos observar en la tabla en donde en energía y combustible hay una diferencia muy significativa de \$11088 esto debido a los altos costos y la inflación que tendrán, de manera que se ve visualizado que a mayor cantidad de años o kilómetros va aumentar la diferencia y el Nissan Leaf podrá ser más rentable para un posible cambio.

Capítulo 4: Conclusiones y Recomendación

4.1 Conclusiones

1. Se evaluaron técnicamente las opciones existentes en el mercado de los vehículos eléctricos que cumplan con las funciones requeridas por el personal del Tecnológico de Costa Rica, de los cuales los elegidos fueron los vehículos BYD S1 Pro y el Nissan Leaf, ya que ellos en términos de potencia, velocidad y torque son superiores, por lo que son opciones para la sustitución de vehículos de combustión interna a energías renovables.
2. Se determinaron los impactos y repercusiones a nivel ambiental que conlleva un plan de sustitución de los vehículos de combustión interna a energías renovables, ya que se presenta una reducción del 100% en la emisión de CO₂ esto porque los VE no necesitan el uso de aceites para motor y combustibles fósiles, ya que los VE al no tener un motor de combustión no emiten gases contaminantes como el CO₂ en la etapa de uso considerando las emisiones directas únicamente.
3. Se seleccionó la infraestructura requerida para los vehículos eléctricos con las especificaciones técnicas requeridas de los centros de carga disponibles en Costa Rica, en donde los centros de carga de la marca ELCO, dado a su calidad y precio en el mercado, además de que cumplen con lo necesario para poder instalarlos de manera fácil y sin complicación alguna para los encargados de los vehículos, de modo que puedan tener estos centros de carga con una alta y fácil disponibilidad.
4. Se elaboraron las estructuras de costos correspondientes de las fases de adquisición, operación, mantenimiento y disposición final de los vehículos, determinando la rentabilidad económica del plan de sustitución de los VCI a los VE, ya que el BYD

S1 PRO presenta un indicador de operación de 0,33 \$/km en comparación a un Toyota Corolla 2023 con uno de 0,34 \$/km; Mientras que se el Nissan Leaf tiene un indicador de 0,36 \$/km en comparación del Nissan Sentra 2023 con uno de 0,38 \$/km.

4.2 Recomendaciones

1. Al momento de obtener los VE, se necesita capacitar a todos los encargados del Área de Transporte y a las personas que utilicen los vehículos para establecer una conducción óptima, que evite un desperdicio de energía y desgastes en los elementos mecánicos y eléctricos por uso inapropiado del mismo.
2. Procurar llevar los VE con técnicos especializados en el área y no generar autodiagnósticos del estado del vehículo, para una buena gestión de mantenimiento, de manera que se pueda alargar la vida útil del mismo.
3. Evitar usar excesivamente los centros de carga rápida, ya que puede dañar a largo plazo el funcionamiento óptimo de la batería, por lo que se debe procurar realizar la recarga de manera lenta o semi rápida en el transcurso de la noche.
4. Generar registros de consumo energéticos para los VE, para verificar el perfecto funcionamiento y rendimiento energético óptimo.

Referencias

- [1] K. H. Tsoi, B. P. Y. Loo, G. Tal y D. Sperling, "Pioneers of electric mobility: Lessons about transport decarbonisation from two bay areas", *Journal of Cleaner Production*, vol. 330, p. 129866, enero de 2022. Accedido el 21 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129866>
- [2] K. Rosenberger, R. Tapia, H. Friedrich y H. Flämig, "Estimating the potential of electric mobility in commercial transport considering the availability of charging infrastructure – A behavioural model analysis for the city of Hamburg", *Research in Transportation Business & Management*, p. 100772, enero de 2022. Accedido el 21 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100772>
- [3] S. Rostad Sæther, "Mobility at the crossroads – Electric mobility policy and charging infrastructure lessons from across Europe", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 157, pp. 144–159, marzo de 2022. Accedido el 22 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.01.010>
- [4] A. Lis y R. Szymanowski, "Greening Polish transportation? Untangling the nexus between electric mobility and a carbon-based regime", *Energy Research & Social Science*, vol. 83, p. 102336, enero de 2022. Accedido el 22 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102336>
- [5] G. Piazza, S. Bracco, F. Delfino y S. Siri, "Optimal design of electric mobility services for a Local Energy Community", *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 26, p. 100440, junio de 2021. Accedido el 22 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2021.100440>
- [6] D. Jain, "Viability assessment of electric cars for personal use in India", *IATSS Research*, 2021. Available: 10.1016/j.iatssr.2021.12.005 [Accessed 22 April 2022].
- [7] M. Grosso et al., "How will vehicle automation and electrification affect the automotive maintenance, repair sector?", *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 12, p. 100495, diciembre de 2021. Accedido el 22 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100495>
- [8] Z. Liu et al., "Comparing total cost of ownership of battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles", *Energy Policy*, vol. 158, p. 112564, noviembre de 2021. Accedido el 25 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112564>
- [9] G. López y M. Molina Chile, "Propuesta de Plan Nacional para la Innovación en torno a la Movilidad Eléctrica", *ONU programa para el ambiente*, mayo de 2021. Accedido el 14 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://energia.minae.go.cr/wp-content/uploads/2022/03/9.D9-Plan-Nacional-Innovacion-en-Electromovilidad-v.4.pdf>
- [10] R. Hou, L. Lei, K. Jin, X. Lin y L. Xiao, "Introducing electric vehicles? Impact of network effect on profits and social welfare", *Energy*, vol. 243, p. 123002, marzo de 2022.

Accedido el 29 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.123002>

[11] R. Debnath, R. Bardhan, D. M. Reiner y J. R. Miller, "Political, economic, social, technological, legal and environmental dimensions of electric vehicle adoption in the United States: A social-media interaction analysis", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 152, p. 111707, diciembre de 2021. Accedido el 29 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111707>

[12] R. Lee y S. Brown, "Social & locational impacts on electric vehicle ownership and charging profiles", *Energy Reports*, vol. 7, pp. 42–48, mayo de 2021. Accedido el 29 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.057>

[13] K. Karuppiah, B. Sankaranarayanan and S. Ali, "On sustainable predictive maintenance: Exploration of key barriers using an integrated approach", *Sustainable Production and Consumption*, vol. 27, pp. 1537 -1553, 2021. Available: 10.1016/j.spc.2021.03.023 [Accessed 10 May 2021].

[14] A. Malik and S. Kohli, "Electric tractors: Survey of challenges and opportunities in India", *Materials Today: Proceedings*, vol. 28, pp. 2318 -2324, 2020. Available: 10.1016/j.matpr.2020.04.585 [Accessed 16 May 2021].

[15] D. Cui et al., "Battery electric vehicle usage pattern analysis driven by massive real-world data", *Energy*, vol. 250, p. 123837, julio de 2022. Accedido el 2 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123837>

[16] X. Zhang, X. Bai y J. Shang, "Is subsidized electric vehicles adoption sustainable: Consumers' perceptions and motivation toward incentive policies, environmental benefits, and risks", *Journal of Cleaner Production*, vol. 192, pp. 71–79, agosto de 2018. Accedido el 2 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.252>

[17] M. Nazari-Heris, A. Loni, S. Asadi y B. Mohammadi-ivatloo, "Toward social equity access and mobile charging stations for electric vehicles: A case study in Los Angeles", *Applied Energy*, vol. 311, p. 118704, abril de 2022. Accedido el 2 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118704>

[18] Ministerio de Ambiente y Energía, "Plan nacional de descarbonización", San José, Plan Nacional, agosto de 2019. Accedido el 22 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://cambioclimatico.go.cr/plan-nacional-dedescarbonizacion/#:~:text=Costa%20Rica%20lanz%C3%B3%20su%20Plan,claves%20y%20estas%20estrategias%20transversales>.

[19] R. Baran y L. F. L. Legey, "The introduction of electric vehicles in Brazil: Impacts on oil and electricity consumption", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, n.º 5, pp. 907–917, junio de 2013. Accedido el 3 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.024>

- [20] N. Goetzel y M. Hasanuzzaman, "An empirical analysis of electric vehicle cost trends: A case study in Germany", *Research in Transportation Business & Management*, p. 100825, abril de 2022. Accedido el 3 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100825>
- [21] V. Nimesh, R. Kumari, N. Soni, A. K. Goswami y V. Mahendra Reddy, "Implication viability assessment of electric vehicles for different regions: An approach of life cycle assessment considering exergy analysis and battery degradation", *Energy Conversion and Management*, vol. 237, p. 114104, junio de 2021. Accedido el 3 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114104>
- [22] "The 9 general vehicle systems | west valley - master muffler". West Valley - Master Muffler | West Valley Master Muffler Location Site. <https://westvalley.mastermuffler.net/the-9-general-vehicle-systems/> (accedido el 4 de octubre de 2022).
- [23] M. Brain y K. Hall-Geisler. "How car engines work". HowStuffWorks. <https://auto.howstuffworks.com/engine.htm> (accedido el 4 de octubre de 2022).
- [24] "Otto cycle - energy education". Energy Education. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Otto_cycle#:~:text=The%20Otto%20Cycle,%20describes%20how,like%20automobiles%20and%20lawn%20mowers (accedido el 4 de octubre de 2022).
- [25] "Alternative fuels data center: Maintenance and safety of electric vehicles". EERE: Alternative Fuels Data Center Home Page. https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_maintenance.html (accedido el 4 de octubre de 2022).
- [26] S. Leitman y B. Brant, *Build Your Own Electric Vehicle*, 2ª ed. McGraw-Hill Professional, 2008.
- [27] T. Muneer y I. I. García, "The automobile", en *Electric Vehicles: Prospects and Challenges*. Elsevier, 2017, pp. 1–91. Accedido el 4 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803021-9.00001-x>
- [28] RECOPE. <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/estructura-de-precios/> (accedido el 4 de octubre de 2022).
- [29] ARESEP. "ARESEP define tarifa única para la red de centros de carga rápida de vehículos eléctricos". aresep.go.cr. <https://aresep.go.cr/noticias/2778-aresep-define-tarifa-unica-para-la-red-de-centros-de-carga-rapida-de-vehiculos-electricos> (accedido el 4 de octubre de 2022).
- [30] J. Hill, "Life Cycle Analysis of Biofuels", en *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier, 2013, pp. 627–630. Accedido el 4 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384719-5.00365-8>

- [31] K. Dimitriou *et al.*, "Greenhouse gases (CO₂ and CH₄) at an urban background site in Athens, Greece: Levels, sources and impact of atmospheric circulation", *Atmospheric Environment*, vol. 253, p. 118372, mayo de 2021. Accedido el 4 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118372>
- [32] X. Xia y P. Li, "A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries", *Science of The Total Environment*, vol. 814, p. 152870, marzo de 2022. Accedido el 4 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152870>
- [33] G. F. Savari *et al.*, "Assessment of charging technologies, infrastructure and charging station recommendation schemes of electric vehicles: A review", *Ain Shams Engineering Journal*, p. 101938, agosto de 2022. Accedido el 4 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101938>
- [34] N. S. Chain, R. S. Chain y J. M. S. P, *Preparación y evaluación de proyectos*, 6^a ed. McGraw-Hill Interamericana, 2014.
- [35] Blank y Tarquin, *Engineering Economy*. McGraw-Hill Education, 2006.
- [36] "Vehículos eléctricos en Costa Rica – Dirección de Energía". Dirección de Energía – Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. <https://energia.minae.go.cr/?p=5634> (accedido el 13 de octubre de 2022).
- [37] J. D. Torres Sarmiento, "Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca", bachelorThesis, Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca, 2015. Accedido el 14 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8050/1/UPS-CT004893.pdf>
- [38] H. Helms, C. Kämper y U. Lambrecht, "Carbon dioxide and consumption reduction through electric vehicles", en *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles*. Elsevier, 2015, pp. 17–34. Accedido el 14 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-377-5.00002-9>
- [39] S. Franzò y A. Nasca, "The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and its applications to multi-country scenarios", *Journal of Cleaner Production*, vol. 315, p. 128005, septiembre de 2021. Accedido el 14 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128005>
- [40] X. Xia y P. Li, "A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries", *Science of The Total Environment*, vol. 814, p. 152870, marzo de 2022. Accedido el 14 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152870>
- [41] "How much CO₂ does a tree absorb? Let's get carbon curious!" EcoTree. <https://ecotree.green/en/how-much-co2-does-a-tree-absorb#answer> (accedido el 14 de octubre de 2022).

[42] "Electric Vehicle Data Base". EV Database. <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider-topspeed:prev~next=110~450|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-towweight:prev~next=0~2500|range-slider-fastcharge:prev~next=0~1500|paging:currentPage=0|paging:number=9> (accedido el 28 de julio de 2022).

[43]"Instituto meteorológico nacional". IMN Cambio Climático |. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemission/factoresemission2021/index.html> (accedido el 10 de agosto de 2022).

[44] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. "Precios sociales | ministerio de planificación nacional y política económica". Inicio | Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. <https://www.mideplan.go.cr/node/1548> (accedido el 20 de octubre de 2022).

[45] Volkswagen-newsroom. "T is for tank-to-wheel (TTW)". Volkswagen Newsroom. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/t-is-for-tank-to-wheel-ttw-4865> (accedido el 24 de octubre de 2022).

Apéndice

Apéndice A. Metodología y cronograma de trabajo

Tabla 25. Metodología del proyecto.

Objetivo específico planteado	Actividad por realizar	Fuente de información	Análisis de datos con criterios estadísticos	Resultados esperados (Entregables)
Evaluar técnicamente la existencia de opciones en el mercado de vehículos eléctricos que cumplan con las funciones requerida por el personal del tecnológico de Costa Rica para la realización de un plan de sustitución de vehículos de combustión interna a energías renovables.	Realizar la recolección de datos técnicos de los distintos vehículos eléctricos en el mercado.	Catálogos de vehículos de distintas marcas con su respectiva ficha técnica.	Con los datos recolectados, describir el mercado de los vehículos eléctricos para las distintas funciones realizadas en el Tecnológico de Costa Rica.	Estudio técnico comparativo de vehículos eléctricos y de combustión interna.
Determinar los impactos o repercusiones a nivel ambiental que conlleva un plan de sustitución de los vehículos de combustión interna a energías renovables en el Tecnológico de Costa Rica, en el segundo semestre del año 2022.	Realizar una recolección de información y comprobación sobre la implementación de los vehículos eléctricos, de distintos países con fundamentación teórica-práctica, que permita visualizar los impactos en el ámbito ambiental	Los artículos con relevancia científica que permitan ver los resultados de la implementación de vehículos eléctricos. Planes estatales que permitan observar el comportamiento del sector transporte en Costa Rica. Proyectos de graduación con relación las nuevas tecnologías para la implementación de los vehículos eléctricos.	Con los datos recolectados, generar una interpretación y comprobación, para poder describir el comportamiento que se obtiene en la implementación de los vehículos eléctricos a nivel ambiental.	Informe evaluativo y comparativo de los impactos ambientales en el sector transporte.
Establecer la infraestructura requerida para los vehículos eléctricos como plan de sustitución de la flotilla de vehículos de combustión interna a energías renovables en el Tecnológico de Costa Rica el segundo semestre del año 2022.	Realizar una recolección de datos e información sobre la infraestructura necesaria para los vehículos eléctricos en el Tecnológico de Costa Rica.	Los artículos con relevancia científica que permitan ver los resultados financieros de los vehículos eléctricos. Planes estatales que permitan observar la economía actual de la del sector transporte. Proyectos de graduación con relación la movilidad eléctrica.	Con la información y datos recopilados, generar un análisis e interpretación de los mismos para verificar y comprobar la infraestructura requerida en implementación de los vehículos eléctricos en el Tecnológico de Costa Rica.	Informe sobre la infraestructura requerida para la puesta en marcha del plan de sustitución de la flotilla vehicular.
Elaborar una estructura de costos correspondientes a la gestión de mantenimiento en vehículos eléctricos como plan de sustitución en Tecnológico de Costa Rica el segundo semestre del año 2022.	Realizar una recolección de datos e información sobre los costos correspondientes a operación y mantenimiento	Los artículos con relevancia científica que permitan ver los resultados de la funcionalidad de los vehículos eléctricos. Planes estatales que permitan observar la economía actual de la del sector transporte. Proyectos de graduación con relación la movilidad eléctrica.	Con la información y datos recopilados, generar una estructura de costos que permita ver en los gastos operativos y de mantenimiento relacionados a los vehículos eléctricos.	Estructura de costos de gastos operativos y de gestión de mantenimiento. Informes financieros según la Norma ISO 14040:2007 de estudios de ciclo de vida útil, además de informes comparativos de vehículos de combustión interna a energías renovables.

Cronograma			25/7/2022	01-08-22	08-08-22	15-08-22	22-08-22	29-08-22	05-09-22	12-09-22	19-09-22	26-09-22	03-10-22	10-10-22	17-10-22	24-10-22	31-10-22	07-11-22	14-11-22	
Funciones	Fecha de inicio	Fecha Final	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	
Objetivo específico 1	25-jul	15-ago																		
<i>Realizar una recolección de información</i>	25-jul	8-ago																		
<i>Estudio técnico comparativo de vehículos eléctricos y de combustión interna.</i>	1-ago	15-ago																		
Objetivo específico 2	15-ago	5-sep																		
<i>Realizar una recolección de información</i>	15-ago	22-ago																		
<i>Informe evaluativo y comparativo de los impactos ambientales en el sector transporte.</i>	22-ago	5-sep																		
Objetivo específico 3	5-sep	26-sep																		
<i>Realizar una recolección de información</i>	5-sep	19-sep																		
<i>Informe sobre la infraestructura requerida para la puesta en marcha del plan de sustitución de la flota vehicular</i>	12-sep	26-sep																		
Objetivo específico 4	26-sep	17-oct																		
<i>Realizar una recolección de información</i>	26-sep	10-oct																		
<i>Estructura de costos de gastos operativos y de gestión de mantenimiento y Informes financieros según la Norma ISO 14040:2007 de estudios de ciclo de vida útil, además de informes comparativos de vehículos de combustión interna a energías renovables.</i>	3-oct	17-oct																		
Formato del proyecto y entrega final	17-oct	31-oct																		
Revisión de proyecto	31-oct	7-nov																		
Exposición de proyecto	7-nov	18-nov																		

Figura 14. Diagrama de Gantt del proyecto.

Apéndice B. Estructura de Costos del Análisis de Ciclo de Vida de los Vehículos Seleccionados

Tabla 26. Estructura de costos de Ciclo de vida para BYD S1 Pro

Estructura de costos para BYD S1 Pro											
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Costo Iniciales											
Adquisición de VE	37000										
Estructura de carga	780										
Costos operativo											
Gasto energético		69,27	70,12	70,98	71,86	72,74	73,63	74,54	75,46	76,38	77,32
Costos de derecho de circulación		38,8	39,3	39,8	40,2	40,7	41,2	41,8	42,3	42,8	43,3
Costos de RITEVE		13,9	14,7	15,6	16,5	17,5	18,5	19,7	20,8	22,1	23,4
Costos de Mantenimiento											
Preventivo		120	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Correctivo				326	170		326		557	326	
Disposición Final											
Venta del vehículo											16926,686
Flujo Neto Efectivo	-37780,00	-241,92	-	-	-	-	-	-	-	-	16592,64

Con tasa de descuento del Mediplan	
Tasa de descuento	8,31%
FLUJOS DESCONTADOS	\$ 4 524,74
Io (INVERSIÓN INICIAL)	\$ -37 780,00
VAN DEL PROYECTO	\$ -33 255,26

Tabla 27. Estructura de costos de Ciclo de vida para Nissan Leaf

Estructura de costos para Nissan Leaf											
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Costo Iniciales											
Adquisición de VE	40000										
Estructura de carga	780										
Costos operativo											
Gasto energético		100,86	102,10	103,36	104,63	105,92	107,22	108,54	109,88	111,23	112,60
Costos de derecho de circulación		38,8	39,3	39,8	40,2	40,7	41,2	41,8	42,3	42,8	43,3
Costos de RITEVE		13,9	14,7	15,6	16,5	17,5	18,5	19,7	20,8	22,1	23,4
Costos de Mantenimiento											
Preventivo		120	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Correctivo				326	170		326		557	326	
Disposición Final											
Venta del vehículo											18299,12
Flujo Neto Efectivo	-40780,00	-273,52	-346,07	-674,69	-521,38	-354,16	-683,01	-359,95	-919,98	-692,10	17929,80

	Con tasa de descuento del Mediplan
Tasa de descuento	8,31%
FLUJOS DESCONTADOS	\$ 4 923,19
Io (INVERSIÓN INICIAL)	\$ -40 780,00
VAN DEL PROYECTO	\$ -35 856,81

Tabla 28. Estructura de costos de ciclo de vida para Toyota Corolla 2023

Estructura de costos de ciclo de vida para Toyota corolla 2023											
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Costo Iniciales											
Adquisición de VCI	28300										
Costos operativo											
Gasto de combustible		1149,68	1163,83	1178,14	1192,63	1207,30	1222,15	1237,18	1252,40	1267,80	1283,40
Costos de derecho de circulación		38,8	39,3	39,8	40,2	40,7	41,2	41,8	42,3	42,8	43,3
Costos de RITEVE		13,9	14,7	15,6	16,5	17,5	18,5	19,7	20,8	22,1	23,4
Costos de Mantenimiento											
Preventivo		351	351	351	351	351	351	351	351	351	351
Correctivo				300	170		300		557	300	
Disposición Final											
Venta del vehículo											12946,63
Flujo Neto Efectivo	-28300	-1553,3	-1568,8	-1884,5	-1770,4	-1616,5	-1932,9	-1649,6	-2223,5	-1983,7	11245,5

	Con tasa de descuento del Mediplan
Tasa de descuento	8,31%
FLUJOS DESCONTADOS	\$ -5 845,75
Io (INVERSIÓN INICIAL)	\$ -28 300,00
VAN DEL PROYECTO	\$ -34 145,75

Tabla 29. Estructura de costos de Ciclo de vida para el Nissan Sentra 2023

Estructura de costos de Ciclo de vida para el Nissan Sentra 2023											
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Costo Iniciales											
Adquisición de VCI	32900										
Costos operativo											
Gasto de combustible		1149,68	1163,83	1178,14	1192,63	1207,30	1222,15	1237,18	1252,40	1267,80	1283,40
Costos de derecho de circulación		38,8	39,3	39,8	40,2	40,7	41,2	41,8	42,3	42,8	43,3
Costos de RITEVE		13,9	14,7	15,6	16,5	17,5	18,5	19,7	20,8	22,1	23,4
Costos de Mantenimiento											
Preventivo		351	351	351	351	351	351	351	351	351	351
Correctivo				399	170		399		557	399	
Disposición Final											
Venta del vehículo											15051,03
Flujo Neto Efectivo	-32900	-1553,3	-1568,8	-1983,5	-1770,4	-1616,5	-2031,9	-1649,6	-2223,5	-2082,7	13349,9

	Con tasa de descuento del Mediplan
Tasa de descuento	8,31%
FLUJOS DESCONTADOS	\$ -5 086,05
Io (INVERSIÓN INICIAL)	\$ -32 900,00
VAN DEL PROYECTO	\$ -37 986,05

Apéndice C. Costo de la energía proporcionada por la JASEC.

Tabla 30. Costo de la energía proporcionada por la JASEC

Energía de la JASEC para bloque mayor a 3000 kWh	Precio colones
sep-21	39,82
oct-21	38,28
nov-21	38,28
dic-21	38,28
ene-22	42,02
feb-22	42,02
mar-22	42,02
abr-22	42,59
may-22	42,59
jun-22	42,59
jul-22	38,37
ago-22	38,37
sep-22	38,37
Promedio	40,28

Apéndice D. Valor promedio del Dólar del mes de agosto 2022.

Tabla 31. Valor promedio del Dólar del mes de agosto 2022

Valor del dólar BCCR				
Fecha	Compra		Venta	
1/8/2022	₡	667,61	₡	675,02
2/8/2022	₡	666,72	₡	674,67
3/8/2022	₡	666,72	₡	674,67
4/8/2022	₡	667,83	₡	674,63
5/8/2022	₡	668,34	₡	673,64
6/8/2022	₡	666,46	₡	674,68
7/8/2022	₡	666,46	₡	674,68
8/8/2022	₡	666,46	₡	674,68
9/8/2022	₡	668,21	₡	675,34
10/8/2022	₡	668,49	₡	675,96
11/8/2022	₡	667,76	₡	676,11
12/8/2022	₡	668,17	₡	675,95
13/8/2022	₡	664,60	₡	670,40
14/8/2022	₡	664,60	₡	670,40
15/8/2022	₡	664,60	₡	670,40
16/8/2022	₡	664,60	₡	670,40
17/8/2022	₡	661,05	₡	667,80
18/8/2022	₡	657,77	₡	664,74
19/8/2022	₡	651,76	₡	659,97
20/8/2022	₡	647,81	₡	655,03
21/8/2022	₡	647,81	₡	655,03
22/8/2022	₡	647,81	₡	655,03
23/8/2022	₡	642,10	₡	650,39
24/8/2022	₡	639,12	₡	645,39
25/8/2022	₡	632,37	₡	639,94
26/8/2022	₡	633,09	₡	639,94
27/8/2022	₡	636,59	₡	643,70
28/8/2022	₡	636,59	₡	643,70
29/8/2022	₡	636,59	₡	643,70
30/8/2022	₡	640,49	₡	649,14
31/8/2022	₡	646,07	₡	653,86
Promedio	₡	655,63	₡	662,87

Anexos

Anexo I. Fichas Técnicas de los vehículos seleccionados

Ficha Técnica del BYD S1 Pro



PARÁMETROS BÁSICOS

Longitud (mm)	4375 (con la llanta de repuesto)
Ancho (mm)	1785
Altura (mm)	1680
Distancia entre ejes (mm)	2535
Ejes (mm) (Frontal / Trasero)	1525/1535
Min. distancia al suelo (mm) (carga completa)	≥150
Peso bruto (kg)	1955
Asientos	5
Volumen de carga (L)	≥340 (≥1200 con los asientos abatidos)
Llantas	205/60 R16

MOTOR ELÉCTRICO

Potencia de salida (kW)	100
Potencia pico (kW)	154
Max. torque (N•m)	210

TRANSMISIÓN

Tipo	BYDNT18-1
------	-----------

BATERÍA

Tipo	BLADE
Capacidad (kWh)	50.1

CARGA

Poder de carga	GB AC 7kW/DC 40kW"
Tiempo de carga (de 0% a 100%)	7h / 1h aprox

DESEMPEÑO

Autonomía (km) (NEDC)	401
Aceleración 0-50 km/h (s)	3,9 s
Subida en pendiente	30%

CHASIS

Tracción	Delantera
Suspensión Delantera	Suspensión independiente Macpherson
Suspensión Trasera	Suspensión independiente Multi-link

Figura 15. Ficha Técnica del BYD S1 Pro

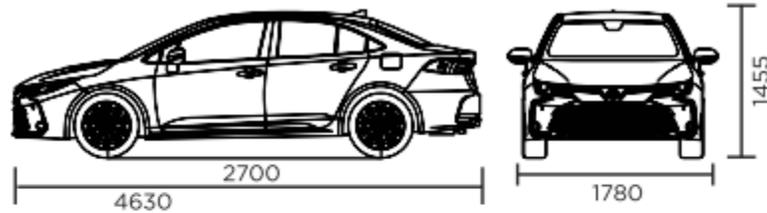
Ficha Técnica del Nissan Leaf



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TEKNA (40kWh)
MOTOR	
Potencia neta (hp @ rpm)	147 hp @ 9,795 rpm
Torque (nm @ rpm)	320 nm @ 3,29 rpm
ELECTRICO	
Tipo de batería	40 kWh Batería ion-litio laminada
Sistema de carga Wallbox y cable de emergencia en ruta	•
TRACCIÓN	
Eje	2WD
SUSPENSIÓN	
Delantera	McPherson independiente con barra estabilizadora
Trasera	Barra de torsión con barra estabilizadora
FRENOS	
Delanteros y traseros	Discos delanteros / Tambor trasero
Brake Assist (BA)	•
Sistema Antibloqueo de Frenos (ABS)	•
Distribución Electrónica de Frenado (EBD)	•
DIRECCIÓN	
Tipo	Dirección Electro-Asistida
DIMENSIONES EXTERIORES	
Largo (mm)	4.480
Ancho (mm)	1.790
Alto (mm)	1.565
Distancia al suelo (mm)	155
Distancia entre ejes (mm)	2.700
PESO	
Peso en vacío (min. / max.)	(kg) 1.544 - 1.595
RUEDAS	
Material	Aluminio
Medida	215/50 R17" (Verano)
CAPACIDAD	
Capacidad de pasajeros	5
Emisiones CO2	0
Capacidad del cargo (L)	435
Capacidad de cargo con asientos plegados (L)	1.176

Figura 16. Ficha Técnica del Nissan Leaf

Ficha Técnica del Toyota Corolla 2023



150 Distancia libre al suelo (mm)	1785 Peso bruto (kg)
--------------------------------------	-------------------------

ESPECIFICACIONES	
Torque (Nm@rpm)	173@3900
Puertas	4
Fila de asientos	2
Suspensión delantera	MacPherson
Suspensión trasera	Doble brazo
Tracción	Delantera

Figura 17.Ficha Técnica del Toyota Corolla 2023

Ficha Técnica del Nissan Sentra 2023



- Motor gasolina 2000 cc
- 4 cilindros DOHC 16 válvulas
- DIG-I Sistema de inyección directa
- Potencia 145 hp@6000 rpm
- Torque 197 nm@4000 rpm
- **Sistema C-VTCS** (Control de tiempo de apertura de válvulas variable) Optimiza el proceso de rendimiento de combustible.
- EGR - Sistema de recirculación de gases de escape
- **Modo ECO Driving:** Sistema que ayuda a disminuir el consumo de combustible modificando el funcionamiento del motor, la transmisión y regulando la aceleración
- Disponible en automático CVT con D-STEP + Modo Sport
- Freno de parqueo de pie
- Capacidad de 5 pasajeros
- Suspensión delantera Mc Pherson
- Suspensión trasera independiente Multi-Link
- Relación peso-potencia:
 - 1775 kg / 145 hp = 12.2 kg x hp
- Largo: 4640 mm
- Ancho: 1815 mm
- Alto: 1455 mm
- Distancia entre ejes 2710 mm
- Capacidad de tanque combustible 47 litros
- Parrilla cromada V-Motion.
- Aros de Lujo 17"
- Perfil de llantas 215/50R17

Figura 18. Ficha Técnica del Nissan Sentra 2023

Anexo II. Características de la Estructura de Carga seleccionada

Estación de Carga tipo Wall box



Estaciones de carga ELCO

Especificaciones técnicas:

Tipo de estación:	L2 carga semi rápida
Potencia de estación:	7.6kW, 9.6kW u 11kW
Tensión eléctrica de entrada:	Monofásico trifilar 240 V, bifásico trifilar 208 V, +/- 5 %, en corriente alterna.
Corriente de salida:	32A, 40A o 46A
Tipo de montaje:	Montaje en pared o Pedestal anclado al suelo
Tipo de conector de salida:	TIPO1, TIPO2 o GB/T
Numero de conectores:	1
Control de acceso:	Tarjetas RFID ISO/IEC 14443
Señales indicadoras:	Luz LED. Colores indican: inicializando, conexión a la red, EV conectado, cargando, carga finalizada, errores.
Protocolo de comunicación:	OCPP 1.6 JSON
Modos de funcionamiento:	On-line (conectado a red wifi) y Off-line (sin conexión a red wifi)
Conexión a internet:	Wifi IEEE 802.11 b/g/n (Puerto Ethernet o SIM opcionales)
Estándares:	IEC 61851-1, IEC 61851-22
Grado de protección:	IP65 Apta para la intemperie
Material:	Plástico ABS recubierto con pintura grado automotriz



Longitud de cable:	5 metros integrado a la estación (diferentes medidas opcionales)
Protecciones:	Ausencia de conexión a tierra. Circuito de falla a tierra (GFCI) Error en la tensión de entrada Malfuncionamiento en el contactor Error en la señal del piloto Ventilación del vehículo requerida Fallo en el diodo del vehículo Sobre corriente Alta temperatura de la estación
Umbral de falla a tierra (GFCI):	30 mA
Software de control:	Monitoreo, control, registro y visualización de datos de eventos de carga mediante aplicación ATILA para PC o dispositivo móvil
Garantía:	5 años después de instalada

OPCIONAL

Accesorio:	Pedestal metálico recubierto con pintura automotriz con anclaje al suelo y una altura total de 1.5 metros
Dispositivo de pago:	Nayax VPOS TOUCH
Método de pago:	Tarjetas de crédito, débito, prepago o aplicación móvil