

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL
DE LAS AMÉRICAS**



ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE BACHILERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA.**

**“ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS DE
AUTOBUSES ELÉCTRICOS VS. AUTOBUSES A GAS PARA
DETERMINAR LA CONVENIENCIA DE LA MIGRACIÓN A
UNA DE ESTAS DOS TECNOLOGÍAS”.**

Autor

Esteban Vargas Arguedas

Tutor

Ing. Alejandro Cervantes U

Palmares, Alajuela, Costa Rica, marzo, 2022

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL.....	2
Contenido de tablas.....	5
Contenido de ecuaciones.....	6
Contenido de figuras.....	7
Contenido de gráficos.....	7
Lista de Anexos.....	7
Lista de apéndices (Elaboración propia).....	8
Dedicatoria.....	9
Agradecimientos.....	10
Resumen ejecutivo.....	11
Términos importantes.....	13
Notación.....	14
CAPÍTULO I.....	15
INTRODUCCIÓN.....	15
Planteamiento del problema.....	16
Objetivos.....	16
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos.....	16
Justificación:.....	17
Antecedentes.....	18
Tesis extranjeras.....	18
Tesis nacionales.....	24
Proyecciones.....	29
Limitaciones.....	29
CAPÍTULO II.....	31
MARCO TEÓRICO.....	31
Transporte público.....	32
Transporte público en Costa Rica.....	32
Uso de combustibles fósiles.....	33
Gases de efecto invernadero.....	34
Huella de carbono.....	34
Cálculo de la huella de carbono.....	35
Motores de combustión interna.....	38

Ciclos de funcionamiento de un motor de combustión interna	39
Ciclo de Otto	39
Ciclo Diésel	41
Generalidades del diésel	43
Movilidad sostenible	44
Energías limpias	45
Uso de la energía eléctrica en el transporte	46
Vehículo eléctrico	46
Tipos de vehículos eléctricos	47
Batería	49
Tipos de batería	50
Plomo-ácido	50
Níquel-cadmio	51
Níquel-metal hidruro	52
Ion de litio	53
Polímero de litio	54
Sal fundida-Zebra	55
Autonomía	56
Cargadores o estaciones de carga	56
Cálculo de potencia en los sistemas trifásicos	59
Gas licuado de petróleo GLP	60
Energía obtenida del GLP con muy bajas emisiones	61
Sistema requerido para que un vehículo funcione con GLP	61
Motor BEGAS	65
Estudio financiero	67
Análisis diferencial	68
Flujo neto de efectivo	68
Valor actual neto (VAN)	69
CAPÍTULO III	71
MARCO METODOLÓGICO	71
Enfoque de la investigación	72
Método de la investigación	72
Fuentes de información	73
Variables o unidades de análisis	75
Instrumentos	77

Proceso para la recolección y análisis de datos.....	77
CAPÍTULO IV	79
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN	79
Descripción de la empresa	80
Definición de la investigación	81
Desarrollo.....	82
Autobuses diésel.....	82
Estimación de ingresos y costos con autobuses diésel	84
Ingresos de Grupo ATD.....	84
Costos con autobuses diésel	85
Adquisición de flota de autobuses diésel	85
Costo actual de la flota de autobuses diésel.....	86
Costo de estación de abasto de diésel para autobuses	87
Costo anual del combustible (diésel).....	89
Costo de los cambios de aceite a motores de diésel.....	89
Costo de mantenimiento mecánico y eléctrico para autobuses de diésel.....	91
Autobuses de eléctricos	92
Grupo ATD inicia prueba piloto con autobuses eléctricos	93
Características de buses eléctricos considerados en la investigación.....	95
Resultados de prueba piloto realizada en ruta San José-Desamparados-San Rafael	98
Estimación de ingresos y costos con autobuses eléctricos.....	100
Costos con autobuses eléctricos.....	100
Adquisición de flota de autobuses eléctricos.....	100
Costo actual de la flota de autobuses eléctricos	101
Costo de estación de carga o centro de carga, requerido.....	102
Componentes requeridos en la instalación eléctrica para una estación de carga.....	103
Estación de carga requerida.....	104
Costo de la batería, para autobús eléctrico.....	109
Costo de la energía total consumida	110
Costo del mantenimiento de buses eléctricos	111
Autobuses accionados por gas licuado de petróleo (GLP).....	113
Pruebas con autobuses propulsados por GLP en Grupo ATD	114
Costos con autobuses propulsados por GLP.....	115
Adquisición de flota de autobuses accionados con GLP	115
Costo actual de la flota de autobuses propulsados por GLP	116

Costo de estación de abasto de GLP para autobuses	117
Costo del GLP consumido	118
Costo en cambios de aceite a motores de GLP.....	119
Costo del mantenimiento de buses propulsados por GLP.....	120
Remotorización de autobuses diésel a GLP	122
Enlace de autobuses de GLP con El Plan Nacional de Descarbonización.....	123
Comparativo de costos operacionales en cada tecnología expuesta.....	124
Cálculo de huella de carbono, en función de los factores de emisiones, relacionados con cada vector energético	128
Comparativo de beneficios económicos ambientales para cada tecnología	132
CAPÍTULO V	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
Conclusiones	137
Recomendaciones	139
CAPÍTULO VI	141
PROPUESTA.....	141
Descripción.....	142
Propuesta.....	142
Referencias bibliográficas.....	144
ANEXOS	148
APÉNDICES.....	169

Contenido de tablas

Tabla 1. Fuentes de información.....	73
Tabla 2. Parque automotor de Grupo ATD.....	82
Tabla 3. Operación de flota de autobuses de Grupo ATD con motor de diésel	83
Tabla 4. Kilómetros recorridos vs. consumo de combustible.....	84
Tabla 5: Ingresos de Grupo ATD por concepto de cobros de pasajes	85
Tabla 6: Características de flota de autobuses con motor de diésel	86
Tabla 7.Costo adquisición de autobuses con motor de diésel.....	87
Tabla 8: Costo de estación de abasto diésel	88
Tabla 9. Costo anual del diésel.....	89
Tabla 10. Costo de cambios y reposición de lubricantes para flota de diésel	90

Tabla 11. Costos de mantenimiento flota de diésel	92
Tabla 12. Ficha técnica autobús eléctrico marca BYD	98
Tabla 13. Datos obtenidos en prueba piloto con autobuses eléctricos	99
Tabla 14. Descripción técnica de flota de autobuses eléctricos	101
Tabla 15. Costo de flota de autobuses eléctricos	101
Tabla 16. Datos técnicos del centro de carga requerido	108
Tabla 17. Costo de construcción de centro de carga para autobuses eléctricos	109
Tabla 18. Costo de baterías para flota de buses eléctricos	110
Tabla 19. Kilómetros recorridos vs. consumo eléctrico	111
Tabla 20. Costo del consumo eléctrico	111
Tabla 21. Costo anual del mantenimiento de flota de autobuses eléctricos	112
Tabla 22. Ficha técnica de autobús propulsado por GLP, marca UNVI con motor BEGAS	115
Tabla 23. Costos de flota de autobuses con motor de GLP	116
Tabla 24. Costo de estación de abasto de GLP	118
Tabla 25. Kilómetros recorridos vs. consumo de GLP	119
Tabla 26. Costo del consumo anual del GLP	119
Tabla 27. Costo de cambio y reposición de lubricantes para flota de autobuses de GLP ...	120
Tabla 28. Costo anual de mantenimiento para flota de autobuses de GLP	121
Tabla 29. Inversión requerida vs. valor actual neto	126
Tabla 30. Consumo de la actividad	129
Tabla 31. Factores de emisión para el diésel	130
Tabla 32. Factores de emisión para el GLP	130
Tabla 33. Factor de emisión para la electricidad	131
Tabla 34. Huella de carbono para cada vector energético	131
Tabla 35. Toneladas de CO₂ eq resultantes del reemplazo del diésel durante 15 años	133
Tabla 36. Ingreso por venta de créditos de carbono	133
Tabla 37. Ingresos por venta de créditos de carbono	134

Contenido de ecuaciones

Ecuación 1: Calculo de la huella de carbono	37
Ecuación 2: Potencia activa	59
Ecuación 3: Potencia reactiva	59
Ecuación 4: Potencia aparente	59
Ecuación 5: Valor actual neto (VAN)	69

Contenido de figuras

Figura 1: Clasificación de los motores de combustión interna	39
Figura 2: Tiempos del Ciclo de Otto a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape	41
Figura 3: Bujía es reemplazada por inyector en motor diésel	43
Figura 4: Tipos de vehículos eléctricos.....	48
Figura 5: Clasificación de los equipos de recarga para vehículos eléctricos	58
Figura 6 Sistema para convertir un vehículo de gasolina a GLP	65
Figura 7: Captura satelital, ubicación de Grupo ATD	81
Figura 8: Tanque de almacenamiento de diésel ubicado en plantel de Grupo ATD	88
Figura 9: Autobús eléctrico cubriendo ruta San José - Desamparados - San Rafael	95
Figura 10: Cargador doble instalado en plantel de Grupo ATD	97
Figura 11: Formas para optimizar la cantidad de cargadores eléctricos requeridos en un proyecto	103
Figura 12: Infraestructura de carga, correcta instalación	104
Figura 13: Ficha técnica de cargadores para autobuses eléctricos.....	105
Figura 14: Autobús tipo urbano propulsado por motor de GLP	114
Figura 15: Estación de servicio para GLP	117
Figura 16: Motor de GLP ECO AVG para ser usado en remotorización	123

Contenido de gráficos

Gráfico 1. Costo de inversión inicial para cada tecnología	127
Gráfico 2. Valor actual neto para cada tecnología.....	128
Gráfico 3. Huella de carbono para cada vector energético	132
Gráfico 4. Costo de inversión requerida, considerando la venta de créditos de carbono ...	134
Gráfico 5. Valor actual neto para cada tecnología, considerando la venta de créditos de carbono.....	135

Lista de Anexos

Anexo A. Relación de litros de diésel vs. kilómetros realizados para el año 2019.....	149
Anexo B. Tarifas en rutas para octubre 2021	149
Anexo C. Precio del autobús tipo urbano de diésel mara Daewoo	150
Anexo D. Precio de autobús tipo urbano de diésel marca Volkswagen	151
Anexo E. Precio de los combustibles por litro	152

Anexo F. Vida útil del autobús eléctrico y de la batería	153
Anexo G. Precio de autobús eléctrico	154
Anexo H. Precio de cargador y batería de autobús eléctrico	155
Anexo I. Especificaciones técnicas de transformador tipo pedestal, marca ABB	156
Anexo J. Precio estimado para transformador tipo pedestal ABB de 5 MVA	157
Anexo K. Tarifa eléctrica para autobuses eléctricos.....	158
Anexo L. Ficha técnica de motor AVG propulsado por GLP	159
Anexo M. Precio de autobús con motor BEGAS, serie AVG	160
Anexo N. Costo de estación de carga de GLP.....	161
Anexo O. Mantenimiento de autobuses con motor de GLP, marca BEGAS, serie AVG ...	162
Anexo P. Crédito empresarial	163
Anexo Q. Factor de emisión para combustibles (kg CO₂/l)	164
Anexo R. Factor de emisión para combustibles (g CH₄/l).....	165
Anexo S. Factor de emisión para combustibles (g N₂O / l).....	166
Anexo T. Potencial de calentamiento global	167
Anexo U. Factor de emisiones para electricidad año 2019	168
Anexo V. Precio de emisiones de carbono de Bolsa de Londres	168

Lista de apéndices (Elaboración propia)

Apéndice A. Análisis diferencial para autobuses de diésel.....	169
Apéndice B. Análisis diferencial para autobuses eléctricos.....	170
Apéndice C. Análisis diferencial para autobuses de GLP	171
Apéndice D. Análisis diferencial para autobuses eléctricos, con ingresos por servicios ecosistémicos	172
Apéndice E. Análisis diferencial para autobuses de GLP, con ingresos por servicios ecosistémicos	173

Dedicatoria

A Dios que estuvo presente en cada una de las incontables experiencias vividas a lo largo de este proceso, que muchas veces parecía interminable.

A mi madre Albertina y mi padre Esteban, por hacer posible este sueño con su apoyo, dedicación y ejemplo.

A mi abuela Beleida (Nena), por todas esas noches que me esperó con un gallito caliente.

A mi esposa Mery Helen por su apoyo incondicional.

A mis hijas Isabella y Luciana, por convertirse en el motor que me da vida.

A mi hermana Inés María y mi hermano José Francisco.

Agradecimientos

A Dios todo poderoso y misericordioso por el don de la vida y brindarme los medios para la obtención de este logro.

A mi madre y a mi padre por guiarme por el camino correcto y poner a mi disposición una vida llena de ejemplos, amor y enseñanzas.

A toda mi familia esposa, hija y hermanos, por estar siempre a mi lado.

Resumen ejecutivo

Este trabajo de graduación analiza costos diferenciales de la operación, con tecnologías de autobuses, que se basan fundamentalmente en la utilización de energías limpias y energías de bajas emisiones. Calcula la inversión inicial requerida y los costos que demanda la operación, para posteriormente determinar la viabilidad del proyecto. Además, se propicia la obtención de ingresos, producto de la reducción de la huella de carbono, como una externalidad positiva.

La importancia creciente de aspectos energéticos y medioambientales, relacionados con la actividad del transporte, produce un gran interés en actividades que conlleven al ahorro energético; por ello, aumenta la búsqueda y utilización de energías alternativas, además de energías que produzca pocas emisiones.

El análisis toma como punto de partida la operación diaria de la flota de autobuses del Grupo ATD, que brinda un servicio remunerado de transporte público, en algunos cantones de la GAM y hace uso del diésel como combustible, en sus vehículos. Lo anterior establece una base sólida de información relacionada con costos operaciones en condiciones reales.

Basándose en el conocimiento y desempeño de los autobuses de diésel, se someten tecnologías que utilizan energías alternativas como la electricidad y el uso de GLP, que es ambientalmente muy favorable, a condiciones reales de operación dentro de la GAM, para medir la rentabilidad del proyecto.

Debido al poco conocimiento que existe del uso de autobuses eléctricos, se utiliza la información obtenida durante el *Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público*, desarrollado en San José y del que fue partícipe la empresa propietaria de las unidades con motor de diésel.

De igual manera, al existir un desconocimiento de uso del combustible GLP en autobuses de tipo urbano, se recurre a compañías extranjeras con experiencias implementadas en este sector y resultados muy favorables. También se hace uso de información brindada por diseñadores y fabricantes en Europa, de motores eficientes propulsados por combustible GLP.

Una vez conocidos cada uno de los costos de operación que demanda el uso de cada vector energético, se establecen comparativos que determinan cuál proyecto tiene la mayor viabilidad para reemplazar a la flota de diésel.

Al sustituirse la utilización de combustibles tradicionales durante un periodo de tiempo amplio, hay una reducción eminente de la huella de carbono. Al considerar la variable ambiental, es posible la obtención de beneficios económicos propiciados por la reducción de la huella de carbono, mediante mecanismos como venta de créditos de carbono en el mercado mundial o bien búsqueda de financiamiento de los proyectos por medio de fondos verdes.

Una vez conocidos los costos diferenciales e ingresos propiciados por cada vector, es posible establecer, con respaldo, cual tecnología es la más apropiada para un cambio sostenible en el transporte público.

Términos importantes

Términos	Definición
GLP	Gas licuado de petróleo
HC	Hidrocarburos
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
GAM	Gran Área Metropolitana
GEI	Gases de efecto invernadero
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
ARESEP	Autoridad Reguladora de Servicios Públicos
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
COSEVI	Consejo de Seguridad Vial
CNFL	Compañía Nacional de Fuerza y Luz
Riteve	Revisión Técnica Vehicular
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
GIZ	Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
PCG	Potencial de calentamiento global
PMS	Punto muerto superior
PMI	Punto muerto inferior
HEV	Vehículos híbridos
PHEV	Vehículos híbridos enchufables
EV	Vehículos totalmente eléctricos
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
VAN	Valor actual neto

Notación

Símbolo	Definición
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
H ₂ O	Agua
N ₂ O	Óxido de nitrógeno
CH ₄	Metano
O ₃	Ozono
Ni-Cd	Níquel-cadmio
Ni-MH	Níquel-metal hidruro
LiCoO ₂	Ion de litio
KWh	Kilovatio hora
KW	Kilovatio
KVA	Kilovoltiamperios
S	Potencia aparente
U	Voltaje nominal
I	Corriente nominal
Hz	Frecuencia eléctrica
L	Litro
Gal	Galón
Km	Kilómetro
kg CO ₂ eq	Kilogramos de dióxido de carbono equivalente
tCO ₂ eq	Toneladas de dióxido de carbono equivalente

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

¿Es económicamente sostenible que las empresas dedicadas al transporte público remunerado emigren al uso de tecnologías que utilicen energías limpias o que tengan bajas emisiones, como los autobuses eléctricos o a GLP?

Objetivos

Objetivo general

Analizar costos diferenciales de la operación e ingresos correspondientes al uso de tecnologías de autobuses, basadas en la utilización de energías limpias o que sean ambientalmente favorables, como la electricidad y el uso del GLP, para determinar la conveniencia de que las compañías dedicadas al transporte público remunerado emigren a una de ellas.

Objetivos específicos

1. Establecer costos diferenciales de operación correspondientes a tecnologías de autobuses.
2. Investigar sobre la utilización en el transporte público, de tecnologías basadas en energías limpias como la electricidad y de bajas emisiones como el GLP.
3. Analizar si es económicamente sostenible que las empresas dedicadas al transporte público emigren al uso de energías limpias o de bajas emisiones.
4. Establecer cuál de los vectores energéticos analizados, ofrece mayores beneficios para reemplazar al diésel.

Justificación:

La utilización de hidrocarburos es la base motriz en el transporte público colectivo en Costa Rica y el diésel se convierte en uno de los mayores costos operativos de las compañías que brindan servicio en las diferentes rutas.

Además del alto costo, los niveles de emisiones, producto de la utilización de diésel, son alarmantes, pues liberan gases de efecto invernadero que aumentan cada vez más el calentamiento global.

Según el Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible para el Área Metropolitana de San José (PIMUS): “La oferta de buses actual se organiza operativamente en 252 rutas” (Global, AC&A, 2017, pág. 12). De igual manera el informe indica que: “Estas líneas son operadas por 41 empresas que totalizan una flota de 1.842 buses” (Global, AC&A, 2017, pág. 12). Lo anterior deja claro el alto consumo de hidrocarburos contaminantes y su tendencia al aumento cada día.

La ausencia de incentivos y la falta de información agravan este problema y retrasan la implementación de nuevas tecnologías que hacen uso de energías limpias o en su defecto que reducen los niveles de emisiones contaminantes.

El Plan Nacional de Descarbonización, indica claramente que: “Costa Rica apunta a contar con una economía descarbonizada en 2050, que haya alcanzado niveles de emisiones más bajo posible de forma consistente con la meta climática global” (Gobierno de Costa Rica, 2018-2050, pág. 1). De acuerdo con lo anterior, se aspira a una economía verde y libre de emisiones que reduzca el calentamiento global.

La presente investigación surge de la necesidad creciente de conocer sobre aspectos energéticos y medioambientales relacionados con la actividad del transporte, que conlleven al ahorro energético y hagan uso de energías alternativas y menos contaminantes.

Este trabajo busca proporcionar información que sea útil para empresas autobuseras e instituciones gubernamentales relacionadas con el transporte público y la protección del medio ambiente.

Además, promueve la búsqueda de nuevas opciones para el transporte y presenta opciones viables desde el punto de vista económico y ambiental.

Debido a que el uso de los autobuses eléctricos apenas inicia con pruebas piloto y el desconocimiento del uso de GLP para el transporte de pasajeros es amplio, este trabajo brinda

información sobre el tema. Se basa en experiencias implementadas en el campo o en otros países, en general, con la obtención de buenos resultados como: la reducción de emisiones contaminantes, sonoras y bajos costos de operación, entre otros.

Antecedentes

Tesis extranjeras

Tesis n° 1.

Institución: Universitat Politècnica de València. España.

Tema: “Estudio teórico de la aplicación de Gases Licuados de Petróleo (GLP) en unidades de potencia de vehículos híbridos para transporte público”.

Autor: Gonzalo Sáenz Ojeda.

Fecha: 2017.

En el trabajo del Sr. Sáenz Ojeda, se realiza un estudio teórico para conocer la viabilidad que tiene un autobús híbrido que utilice la energía eléctrica y el GLP como fuentes de energía.

Se explican las razones ambientales por las que ha sido seleccionado este tipo de vehículo, así como las posibles mejoras que puede tener su implementación.

Los objetivos fijados para el trabajo son: el cálculo de consumo de combustible y de los niveles de emisiones, además de viabilidad económica y técnica.

Para dicho estudio se seleccionan tres modelos: un autobús convencional que utiliza diésel, un autobús híbrido con energía eléctrica y diésel, y el modelo propuesto con energía eléctrica y GLP.

El autor obtiene conclusiones muy importantes, entre ellas: que el uso del GLP genera una disminución en las emisiones contaminantes, especialmente en los óxidos de nitrógeno, contaminante muy dañino y expulsado en abundancia por los motores que operan con diésel.

Además, se ha confirmado la viabilidad económica de un autobús híbrido con GLP, suponiendo una inversión inicial superior a un modelo estándar, pero con un ahorro final, debido a la reducción del costo del combustible.

La información sobre contaminantes ambientales de los combustibles y el estudio de la utilización de GLP y electricidad, en vehículos, son aportes de información utilizados en el desarrollo de esta tesis.

Tesis n° 2.

Institución: Universidad de Cuenca, Ecuador.

Tema: “Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador”.

Autor: Johnatan Gerardo Vélez Sánchez.

Fecha: 2017.

El Sr. Vélez Sánchez en su trabajo los vehículos eléctricos indica que, para comprender mejor esta tecnología, se debe tener claro que se trata de un vehículo que sólo se alimenta de una batería incorporada. Esta debe ser cargada por medio de una conexión al sistema eléctrico, que produce la energía necesaria para que se ponga en marcha.

Dependiendo del tipo de batería, se logra un aumento en la autonomía, la cual determina la cantidad de kilómetros que el vehículo puede recorrer, una vez que tenga la carga completa. Toda la teoría y conceptos expuestos son importantes para comprender cualquier trabajo de investigación relacionado con vehículos eléctricos.

El trabajo tiene como objetivo, determinar el impacto de la introducción de los vehículos eléctricos en una red de distribución de la ciudad de Cuenca y el alcance que esto tendría a nivel de ciudad.

Además, consigue resultados satisfactorios, concluye que los vehículos eléctricos son una alternativa muy atractiva para el Ecuador, tanto por su eficiencia energética como por la disminución de las emisiones de CO₂.

Indica que el desarrollo de un proyecto con un parque automotor eléctrico generara ahorro y una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, podría estimular el desarrollo de una importante industria destinada a la fabricación de vehículos eléctricos, baterías y componentes.

Los conocimientos sobre vehículos eléctricos y conceptos básicos como baterías y autonomía que esta investigación desarrolla, será información muy importante de considerar en el desarrollo del presente trabajo.

Tesis nº 3.

Institución: Universidad de Cantabria, España.

Tema: “Cálculo de la huella de carbono de vehículos utilitarios mediante el análisis del ciclo de vida”.

Autor: Carlos Quintana Díez.

Fecha: 2018.

El Sr. Quintana Díez apunta que en la actualidad compiten en el mercado de la movilidad diferentes tecnologías. Sin embargo, no existe una visión clara de cuál es la tecnología más eficiente desde el punto de vista de impacto sobre el cambio climático

Además, su tesis plantea, calcular la huella de carbono de una gama de vehículos en un enfoque de análisis del ciclo de vida, es decir, de la cuna a la tumba, a través de la herramienta de la huella de carbono; se consiguen así las emisiones de CO₂ en su totalidad.

Otro objetivo es revisar el impacto de cada una de las tecnologías actuales predominantes, para lograr determinar cuál influye menos sobre el cambio climático.

Al realizar el cálculo de huella de carbono de cinco tipos de vehículos, se llega a la conclusión de que las tecnologías con motorización eléctrica son las que poseen un menor impacto en relación con emisiones de CO₂.

Es importante aclarar que este proyecto aporta conocimiento en la parte del cálculo de la huella de carbono, además de conocimientos en diferentes tecnologías de vehículos existentes.

Tesis n° 4.

Institución: Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.

Tema: “Estudio de los parámetros de funcionamiento de un motor con GLP de 1300 cm³ con sistema OBD para determinar el tiempo de desgaste en su conjunto móvil”.

Autor: Joau Marco Quintana Gaona.

Fecha: 2019.

En su tesis, el Sr. Quintana Gaona se planteó la finalidad de determinar el tiempo del desgaste del conjunto móvil del motor convertido a GLP, con un kit de quinta generación.

Su investigación incluye, una comparación del consumo de combustible por kilómetro recorrido. Se determinó que el menor consumo es en gasolina, pero se logra un mayor ahorro económico para el usuario con GLP, por ser este de menor costo. Además, se obtiene mayor beneficio económico cuando el recorrido del vehículo es extraurbano.

El trabajo de Quintana Gaona presenta el GLP como un combustible de menor costo y hace mención de los grandes beneficios ambientales de la utilización de este producto como combustible en vehículos.

Además, se describen ampliamente todos los términos importantes de conocer en un sistema automotriz a GLP, así como sus propiedades y generalidades.

El alto costo de combustibles como la gasolina y el diésel hace que las personas opten por realizar conversiones a GLP o a gas natural, en sus vehículos. Estos combustibles alternos, en ocasiones, son hasta un 50 % más baratos, además reducen hasta en un 95 % las emisiones de N₂O respecto al diésel.

El autor concluye que la conversión al uso de GLP propicia menor contaminación ambiental, así como un ahorro económico a sus usuarios.

Este trabajo aporta conocimientos básicos para la utilización del GLP como combustible en vehículos, además de información muy importante relacionada con el consumo y rendimiento de combustibles.

Tesis n° 5.

Institución: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.

Tema: “Análisis de factibilidad de implementación de buses 100% eléctricos (E-Buses) para impulsar la movilidad sostenible en el sistema de transporte urbano del Distrito Metropolitano de Quito”.

Autor: Gonzalo Cueva Ruiz.

Fecha: 2019.

El Sr. Cueva Ruiz plantea como objetivo realizar un estudio de factibilidad para la implementación de buses 100% eléctricos en el distrito metropolitano de Quito.

Brinda una comparativa de costos de adquisición y operación, entre los buses a diésel y los buses eléctricos.

Las conclusiones fueron positivas, se logró evidenciar mejoras en la reducción de contaminación, ahorro económico y beneficios sociales. Los buses 100% eléctricos son unidades que no emiten gases contaminantes al medio ambiente, debido a que funcionan con base en energía renovable.

La implementación progresiva de flotas eléctricas en Quito disminuye la contaminación del aire de la ciudad, de igual forma generara un ahorro al gobierno nacional debido a la reducción de la utilización de diésel subsidiado.

Los vehículos de transporte eléctricos poseen características electrónicas y funcionales que brindan un mayor nivel de confort a los usuarios de un sistema de transporte urbano.

Los conocimientos teóricos de autobuses eléctricos e información sobre costos de inversión y operación que este trabajo aporta son conocimientos muy importantes para el desarrollo de esta investigación.

Tesis n° 6.

Institución: Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Tema: “Convertidor dc-dc para sistema híbrido de batería ion-litio y supercapacitores para aplicación en electromovilidad”.

Autor: Javier Ignacio Escobar Álvarez.

Fecha: 2019.

El Sr. Escobar Álvarez explica en su trabajo que, en los últimos años, debido al deterioro del medio ambiente y al alto costo de combustibles derivados del petróleo, se ha aumentado el uso de energías renovables y el uso de vehículos eléctricos. El desarrollo y estudio de baterías ha sido muy importante para aumentar la autonomía de los vehículos eléctricos.

Esta tesis presenta propuestas para sistemas de baterías ion-litio, las baterías de ion-litio son sistemas de almacenamiento energético electroquímico que generan energía eléctrica debido a las reacciones químicas que ocurren en su interior; estas se encuentran formadas por un ánodo, cátodo y un electrolito.

La tecnología de almacenamiento de energía es clave en electromovilidad y lo más usado es el almacenamiento electroquímico con baterías de ion-litio. Estas poseen una alta densidad de energía y permite llegar a niveles de autonomía que hacen realidad la utilización de medios de transporte como automóviles, buses y motocicletas. Sin embargo, esta tecnología posee una serie de limitaciones como rangos de operación de temperatura, baja densidad de potencia, bajo número de ciclos de carga y descarga.

Este trabajo hace un aporte muy importante al conocimiento y la comprensión de los componentes de sistemas eléctricos en vehículos y hace mucho énfasis en un componente fundamental que determina la autonomía, como lo son las baterías.

Tesis nacionales

Tesis n° 1.

Institución: Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería.

Tema: “Viabilidad técnica para el cambio de combustible de la caldera del laboratorio de ingeniería química, de diésel a GLP”.

Autor: Ileana Ordóñez Olivares.

Fecha: 2010.

El trabajo de la Sra. Ordóñez Olivares analiza la viabilidad del sustituir el diésel por GLP en una caldera. El análisis que se hace de cada combustible y sus emisiones están ampliamente relacionados con este trabajo de investigación, pues se analiza el factor ambiental.

La tesis describe las propiedades del diésel y los contaminantes más importantes que se deben controlar, debido a su uso.

También se hace una amplia descripción del GLP, cuyo valor calorífico es el más alto de todos los hidrocarburos, con la excepción del gas natural. Sin embargo, debido a su baja densidad (casi dos veces más liviana que el agua) por volumen, tiene un valor calorífico menor que otros; esto es una desventaja.

El GLP es un combustible en forma de gas, licuado por presión. Se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente y presión atmosférica. Es inodoro, sin embargo, por razones de seguridad se le agregan odorizantes para que pueda ser detectado en caso de fugas; no es tóxico.

Se almacena, transporta y suministra a presión, en estado líquido, en cuya composición química predominan los hidrocarburos butano y propano o sus mezclas.

El GLP es obtenido normalmente a través de la destilación del petróleo a lo largo de sus varias etapas de procesamiento. Sin embargo, también puede ser obtenido a través de la remoción de agua y dióxido de carbono del gas natural. Cuando el GLP es presurizado, cambia a su fase líquida y de esta forma puede transportarse, con el uso de bombas, a través de tuberías y contenedores.

Debido a su elevado octanaje, la combustión de este gas es más rápida y efectiva en comparación con otros hidrocarburos y, a diferencia de ellos, el GLP no requiere de ningún aditivo

para garantizar su alta calidad. Contiene poco azufre y nada de plomo, por lo tanto, es más limpio que otros.

La tecnología ha permitido que la utilización del GLP sea segura, económica, de alto rendimiento y una fuente de energía limpia.

Toda la información sobre combustibles como diésel y GLP que este autor describe en su trabajo, aportarán conocimientos importantes para la comprensión de tecnologías de autobuses que funcionen con esos combustibles.

Tesis n° 2.

Institución: Universidad Latina.

Tema: Análisis de Fuentes de Energía Alternativa Utilizadas por los Vehículos Automotores de Costa Rica.

Autor: Sergio Andrés Zamora Lizano.

Fecha: 2015.

El Sr. Sergio Andrés Zamora Lizano explora el campo de las energías alternativas como GLP, GNC, eléctrica e hidrógeno para su utilización en vehículos.

La investigación no contempla únicamente los automóviles, se toma en cuenta también otro tipo de vehículos de carga como los buses, ya que todos son candidatos para usar este tipo de energías.

El objetivo principal de Zamora Lizano es determinar la fuente de energía alternativa más viable para la realidad de Costa Rica en el campo de la automoción, mediante una investigación exploratoria.

Las conclusiones son interesantes desde el punto de vista de sostenibilidad, en cuanto a la extracción de la fuente; se toma en cuenta la contaminación que produce la invasión del ecosistema.

Considerando lo anterior, se concluye que la fuente menos contaminante es el litio, ya que no se invade ningún ecosistema en gran magnitud. Se extrae de los salares donde la biodiversidad es mínima y donde, inclusive, normalmente no hay población humana cerca. El litio se encuentra prácticamente expuesto.

Todos los conocimientos sobre energías alternativas que este autor expone son un aporte importante en la investigación desarrollada.

Tesis n° 3.

Institución: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería.

Tema: “Desarrollo de un protocolo para la percepción sensorial de odorizantes en mezclas aire-gas licuado de petróleo”.

Autor: Tatiana Barrantes Araya.

Fecha: 2017.

Globalmente el GLP se obtiene en un 60% de la extracción de gas natural y petróleo del suelo y el 40% restante de la refinación del crudo; aunque es por naturaleza un producto secundario, su alto poder calorífico y sus amplias ventajas medioambientales y económicas lo han convertido en una de las fuentes energéticas más importantes.

El trabajo de la Sra. Tatiana Barrantes Araya describe las propiedades del GLP, las ventajas de este combustible y detalla el proceso de obtención, que puede ser de dos maneras: mediante pozo productor o mediante refinación de crudo.

Además, el trabajo presenta la situación del GLP en Costa Rica donde La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) es la encargada de la importación y distribución al mayoreo.

Es importante aclarar que este proyecto aporta conocimientos sobre el uso de del GLP y sus ventajas ambientales y económicas.

Tesis n° 4.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Tema: “Determinación de la huella de carbono a partir de la metodología análisis de ciclo de vida en la producción de biodiesel en la empresa Energías Biodegradables de Costa Rica”.

Autor: Isaac Tomás Arellano Salmerón.

Fecha: 2018.

El Sr. Arellano Salmerón describe en su trabajo que el cambio climático producido por la actividad antropogénica ha sido identificado como uno de los mayores desafíos de enfrentar por los gobiernos, las empresas y las personas. En respuesta, se están desarrollando iniciativas internacionales, para la mitigación de los gases de efecto invernadero en la atmosfera.

En un análisis de sostenibilidad de tecnologías, es importante considerar la huella de carbono. Según lo anterior, la teoría que ofrece este trabajo es de mucha utilidad, pues se detalla muy bien la metodología para el cálculo de la huella de carbono, que es una herramienta de gestión medioambiental, sistemática y científica.

Además, el aporte en cuanto a conceptos relacionados al cambio climático, gases efecto invernadero y análisis de sostenibilidad, serán muy útiles en la presente investigación como material de consulta.

Tesis n° 5.

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Tema: “Diseño para la instalación de una electrolinera de carga rápida para vehículos eléctricos con alimentación solar”.

Autor: Alejandro Rojas González.

Fecha: 2019

La investigación del Sr Rojas González se trata de un diseño para la instalación de la primera electrolinera en Costa Rica, es un concepto que se podría relacionar con lo que hoy se conoce como gasolinera, solo que para expendio de carga eléctrica en vehículos.

Se plantean un par de escenarios: el primero, al utilizar la Red de Distribución Eléctrica y el segundo con alimentación por energía solar, al incorporar el diseño de un sistema fotovoltaico capaz de suplir el 100% de la potencia y energía requerida.

El autor Rojas González, en su trabajo brinda información de mucha ayuda. Uno de sus objetivos es identificar los conceptos básicos sobre vehículos eléctricos, define los tipos que hay en el mercado: híbridos eléctricos, vehículos híbridos enchufables y vehículos totalmente eléctricos.

Los vehículos totalmente eléctricos, es la tecnología que se propone para autobuses. Explica el autor, que disponen de un motor eléctrico que transforma la energía almacenada en las baterías en energía cinética que se transmite directamente a las ruedas; son vehículos que no requieren demasiado mantenimiento, pues lo más habitual son gastos relacionados con el sistema de frenada y renovación de neumáticos.

Uno de los principales componentes de todo vehículo eléctrico es la batería. Su importancia es tal que la autonomía y el precio del coche dependen del tipo y tamaño de esta. Esta tesis describe los tipos de batería existentes y muy importantes de conocer para una investigación de tecnología de autobuses eléctricos.

Se detalla cada uno de los tipos batería, hasta llegar a las de más reciente creación, como lo son las baterías ion-litio: (LiCoO₂).

Tesis n° 6.

Institución: Tecnológico de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Electromecánica.

Tema: “Estudio de prefactibilidad para sustitución de flotilla vehicular de motor de combustible fósil a vehículos eléctricos en ThyssenKrupp Elevadores S.A Costa Rica”.

Autor: Michael Jiménez Garro.

Fecha: 2020.

El objetivo principal del Sr. Jiménez Garro es determinar el impacto financiero para el cambio de la flotilla actual de cuatro vehículos de combustible fósil por una de vehículos eléctricos, mediante un estudio de prefactibilidad; esto se realiza con base en el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 y Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública 2019-2022.

La motivación de este proyecto va de la mano con las metas de gobierno sobre el camino a la descarbonización de la economía, según lo que establece el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica y el Ministerio de Ambiente y Energía, que buscan, para el sector de transporte, reducir la emisión de contaminantes.

Aunado a esto, se busca generar un ahorro monetario con estimaciones del 60%, debido al uso de energía eléctrica en vehículos.

Las conclusiones del autor fueron positivas en términos de la eficiencia energética. Se muestra que los vehículos eléctricos manejan un rango de eficiencia de entre 70% a 90%, mientras que los vehículos de combustión interna dan una eficiencia de entre 30% y 40%, según el diagrama de flujo de energías mostrado. Esto se refleja en un ahorro, por concepto de combustible de hasta 58% hasta un 75% y una reducción en los costos de mantenimiento de entre 20% y 50%.

Proyecciones

- Se busca obtener información sobre la utilización de diferentes vectores energéticos, basados en energías limpias, en el transporte público remunerado.
- Desarrollar una base de datos que incluya costos e ingresos diferenciales relacionados con el uso de diferentes tecnologías de autobús.
- Analizar las diferentes tecnologías planteadas y compararlas con las tradicionales, para definir cuál requiere de menos costos operativos para su implementación.
- Propiciar el desarrollo de un transporte público remunerado, basado en el uso de energías limpias, amigables con el medio ambiente.
- Contribuir con la modernización del transporte de personas y la reducción de la contaminación ambiental generada por las altas cantidades de emisiones.
- Generar información importante que sirva como base sólida de consulta para empresas autobuseras e instituciones públicas relacionadas con el transporte público y la conservación del medio ambiente.

Limitaciones

- Escasez de investigaciones de carácter universitario a nivel nacional, con respecto al tema propuesto, que aporten conocimiento para el desarrollo del proyecto.

- Desconocimiento de la utilización del GLP en autobuses por parte de las agencias de vehículos nuevos y ausencia de oferta de opciones a nivel nacional para ese combustible.
- Existencias de prejuicios relacionados con el uso de GLP en autobuses y camiones que propician el desconocimiento a la investigación de nuevas tecnologías eficientes desarrolladas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Transporte público

En esta sección se da una explicación de cómo opera el transporte público en Costa Rica y de qué se compone.

De acuerdo con la Federación de Asociaciones de Consumidores y Usuarios de Andalucía [FACUA] (2007) “El transporte público es un sistema integral de medios de transporte de uso generalizado, capaz de dar solución a las necesidades de desplazamientos de las personas. El transporte público se basa fundamentalmente en criterios de solidaridad (pág. 2).

Transporte público en Costa Rica

Aunque se ha retomado la utilización del tren en el GAM, según el Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT] (2011): “El sistema de autobuses, es el que desarrolla la actividad de transporte público de pasajeros en casi en su totalidad” (pág. 2).

Según el Plan Nacional de Descarbonización (2018-2050): “Hay en el Gran Área Metropolitana (GAM) 252 rutas de buses, centralizadas en su mayoría en el sentido centro-periferia, servidas por 41 empresas y 1.842 buses” (pág. 11); todos los vehículos son impulsados por diésel.

De acuerdo con la información presentada por Flores (2010): “Costa Rica, como el resto del mundo, tiene un crecimiento sostenido de energía, la cual requiere, mayoritariamente, de derivados del petróleo” (pág. 1). El transporte público no es una excepción, ya que se alimenta esencialmente de diésel como combustible principal.

Al igual que el resto del mundo, cada día se busca la manera de cómo mitigar el impacto que tiene el uso de hidrocarburos sobre la economía.

En todo caso, el panorama relativo a fuentes de abastecimiento y costos de los derivados del petróleo es incierto y ya varios países están tratando de mitigar los impactos sobre sus economías, especialmente aquellos que son dependientes de los productores. También, razones ambientales de peso y compromisos internacionales, están obligando a los países a tratar de cambiar las tecnologías y consumos energéticos hacia otras fuentes más amigables (Flores, 2010, pág. 2).

Está claro que, al depender de combustibles tradicionales, el sector transporte público, está urgido de implementar energías alternativas.

Además, el 100% de la energía utilizada por el sector transporte proviene de una sola fuente: los derivados del petróleo. Todo esto indica con claridad que las medidas de implementación y sostenibilidad energética que debe asumir el país en el corto, mediano y largo plazo, deben enfocarse sobre el sector transporte; cualquier otra medida será prácticamente cosmética (Flores, 2010, pág. 3).

Ante la necesidad de reducir emisiones contaminantes, se debe planificar la descarbonización, al cubrir todos los ejes: “Planificar la descarbonización requiere cubrir todos los sectores de ejes de descarbonización que se derivan del patrón de emisiones de gases de efecto invernadero” (Gobierno de Costa Rica, 2018-2050, pág. 5); de acuerdo con lo anterior, la implementación de energías alternativas en el transporte público es una necesidad.

Uso de combustibles fósiles

La necesidad de transportarse de un lugar a otro ha sido siempre cubierta mediante combustibles fósiles: “Desde 1700 los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural se han utilizado para impulsar el desarrollo industrial y las comodidades de la vida moderna, pero ha sido imposible evitar efectos colaterales indeseables” (ÇENGEL & BOLES, 2012, pág. 86).

La sobre utilización, según ÇENGEL & BOLES (2012), ha elevado los niveles de contaminación: “Efectos como el smog, la lluvia ácida, el calentamiento global y el cambio climático se deben a la combustión de los fósiles. La contaminación ambiental ha alcanzado niveles tan altos que se ha vuelto una seria amenaza” (pág. 86).

Los motores tradicionales de los vehículos son uno de los mayores productores de contaminantes: “La fuente más grande de contaminación del aire son los motores de los vehículos, los cuales liberan contaminantes que se agrupan como hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO)” (ÇENGEL & BOLES, 2012, pág. 86).

La quema excesiva de combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel, perturban el efecto invernadero.

Aunque el efecto invernadero hace posible la vida en la Tierra, ya que este la mantiene caliente (cerca de 30 °C más caliente), pero las cantidades excesivas de estos gases de efecto invernadero perturban el delicado equilibrio, al atrapar demasiada energía. Esto causa el incremento de la temperatura promedio del planeta y cambios en el clima de algunos lugares; estas consecuencias indeseables del efecto invernadero se denominan calentamiento global o cambio climático global (ÇENGEL & BOLES, 2012, pág. 89).

De acuerdo con ÇENGEL & BOLES (2012): “El cambio climático global se debe al uso excesivo de combustibles fósiles como carbón, derivados del petróleo y gas natural en las centrales eléctricas, transporte, construcción y fabricación,” (ÇENGEL & BOLES, 2012, pág. 89).

Gases de efecto invernadero

Benavides Ballesteros & León Aristizabal (2007) del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], definen los gases de efecto invernadero correspondientes al desarrollo de las actividades humana.

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) (pág. 36).

En general los principales que se toman en cuenta corresponden a s H₂O, CO₂, N₂O, CH₄ y O₃.

Huella de carbono

A continuación, se brinda una breve descripción de qué es la huella de carbono y cómo se calcula.

De acuerdo con Schneider & Samaniego (2010), en el informe brindado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], se define la huella de Carbono de la siguiente manera.

La huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. Se refiere a la cantidad en toneladas o kilos de dióxido de carbono equivalente de gases de efecto invernadero, producida en el día a día, generados a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, calefacción y transporte, entre otros procesos (pág. 16).

Es posible cuantificar la huella de carbono: “Su cálculo sigue los principios del Protocolo de emisiones de gases de efecto invernadero o la norma ISO 14.064 incorporados en las metodologías disponibles” (Schneider & Samaniego, 2010, pág. 16).

Las empresas deben presentar de manera fidedigna sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Los límites de la huella en las empresas abarcan todas las operaciones y subsidiarias propias operadas por una organización. Estos deben representar de forma fidedigna las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo las derivadas de sus procesos esenciales (Core). De acuerdo con el Protocolo de gases de efecto invernadero, para definir los límites operacionales, es necesario identificar las fuentes de emisiones por ser incluidas en la medida (Schneider & Samaniego, 2010, pág. 16).

Cálculo de la huella de carbono

La Oficina Española de Cambio Climático (2016), indica que es posible reducir la huella de carbono; pero, para ello se deben identificar antes las fuentes de emisión y así establecer medidas, a partir de este conocimiento.

La huella de carbono identifica la cantidad de emisiones de GEI que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad; permite identificar todas las fuentes de emisiones de GEI y establecer a partir de este conocimiento, medidas de reducción efectivas (pág. 1).

Cuando se hace referencia a la huella de carbono y sus fuentes emisoras, se utiliza el termino *Alcance*: “Al referirnos a huella de carbono de una organización y a las fuentes emisoras que se analizan en su cálculo, recurrimos al término Alcance, clasificándolo en alcance 1, 2 y 3” (Oficina Española de Cambio Climático, 2016, pág. 1).

Las emisiones se pueden clasificar como directas e indirectas. “En primer lugar, cabe indicar que las emisiones asociadas a las operaciones de una organización se pueden clasificar como emisiones directas o indirectas” (Oficina Española de Cambio Climático, 2016, pág. 1).

La Oficina Española de Cambio Climático (2016) utiliza la siguiente definición para emisiones directas:

Emisiones directas de GEI: son emisiones de fuentes que son propiedad de la organización o están controladas por ella. De una manera muy simplificada, podrían entenderse como las emisiones liberadas *in situ* en el lugar donde se produce la actividad; por ejemplo: las emisiones, debido al sistema de calefacción, si este se basa en la quema de combustibles fósiles (pág. 1).

De igual manera la definición de emisiones indirectas indica que ocurren en fuentes, en propiedad de otra organización, por ejemplo, la electricidad.

Emisiones indirectas de GEI: son emisiones consecuencia de las actividades de la organización, pero que ocurren en fuentes que son propiedad de otra organización o están controladas por ella. Un ejemplo de emisión indirecta es la emisión procedente de la electricidad consumida por una organización, cuyas emisiones han sido producidas en el lugar en el que se generó dicha electricidad (Oficina Española de Cambio Climático, 2016, pág. 1).

Una vez definidas cuáles son las emisiones directas e indirectas, se retoma el termino alcance antes mencionado. Los alcances se pueden definir de la siguiente forma:

Alcance 1: emisiones directas de GEI. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad de la entidad en cuestión o están controladas por ella. También incluye las emisiones fugitivas (p.ej. fugas de aire acondicionado, fugas de CH₄ de conductos, etc.).

Alcance 2: emisiones indirectas de GEI asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización.

Alcance 3: otras emisiones indirectas. Algunos ejemplos de actividades de alcance 3 son: la extracción y producción de materiales que adquiere la organización, los viajes de trabajo a través de medios externos, el transporte de materias primas, de combustibles y de productos (por ejemplo, actividades logísticas) realizados por terceros o la utilización de

productos o servicios ofrecidos por otros (Oficina Española de Cambio Climático, 2016, pág. 2).

La ecuación para el cálculo de la huella de carbono es la siguiente:

Ecuación 1: Cálculo de la huella de carbono

$$\text{Huella de Carbono} = \text{Dato actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Fuente: (Oficina Española de Cambio Climático, 2016)

En general el dato de la actividad corresponde al consumo total del vector energético que se utilice para desarrollar la actividad, ejemplo: litros de combustible.

El dato de actividad es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI. Por ejemplo, cantidad de gas natural utilizado en la calefacción (kWh de gas natural).

El factor de emisión (FE) supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Estos factores varían en función de la actividad que se trate. Por ejemplo, en relación con la actividad descrita anteriormente (consumo de gas natural para la calefacción), el factor de emisión para 2017 sería 0,202 kg CO₂ eq/kWh de gas natural.

Como resultado de esta fórmula obtendremos una cantidad (g, kg, t, etc.) determinada de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). (Oficina Española de Cambio Climático, 2016, pág. 3).

El factor de emisión se toma de tablas y varía de acuerdo a la actividad y al año.

Por otra parte, el resultado de la huella de carbono se expresa en kg CO₂ eq o tCO₂ eq. “La t CO₂ eq es la unidad universal de medida que indica el potencial de calentamiento atmosférico o potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de estos GEI, expresado en términos del PCG de una unidad de CO₂” (Oficina Española de Cambio Climático, 2016, pág. 4).

Motores de combustión interna

Rafael Morales & Hernández Guzmán (2014) indican que los motores de combustión interna tienen como propósito convertir energía en trabajo. “Los motores de combustión interna transforman la energía térmica del combustible en trabajo útil” (pág. 3).

Se utiliza la quema de combustibles fósiles para la producción de trabajo mecánico a partir de la energía química que estos contienen.

Un motor de combustión interna tiene como propósito la producción de trabajo mecánico a partir de la energía química contenida en un combustible. En los motores de combustión interna la energía es liberada por la quema u oxidación del combustible dentro del motor (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014, pág. 3).

En general, una mezcla de aire y combustible es introducida al motor y puede ser encendida de dos maneras: por chispa o por compresión (ver **Figura 1**).

En un motor de combustión, se introduce aire y combustible. En los motores de encendido por chispa, la mezcla de aire y combustible se preparaba antiguamente en el carburador y es luego conducida al cilindro, ahora es por medio de inyectores, lo que permite ahorro y un mejor aprovechamiento de combustible. En los motores de encendido por compresión, se realiza directamente en el cilindro, donde el combustible se inyecta después de haber introducido y comprimido el aire (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014, pág. 3).

De acuerdo con lo que explican Rafael Morales & Hernández Guzmán (2014), la mezcla de aire y combustible al ser comprimida se transforma en un conjunto de gases.

En consecuencia, el fluido de trabajo está formado inicialmente por el aire y el combustible y después, por el conjunto de gases producidos durante la combustión. Como es natural y evidente, su composición química varía en el curso del ciclo de trabajo (pág. 3).

Se le puede dar una clasificación a los motores de combustión interna, como lo muestra la **Figura 1**.

Figura 1: Clasificación de los motores de combustión interna

Aplicación	En automóviles, camiones, locomotoras, avión ligero, marino, sistema de potencia portátil y generación de energía
Diseño básico del motor	Motores reciprocantes (subdivididos por el arreglo de los cilindros: En línea, en V, etc.), motores rotatorios (Wankel y otras geometrías)
Ciclos de funcionamiento	Ciclo de cuatro tiempos: Aspirado naturalmente (admitiendo el aire atmosférico), sobrealimentado (admite previamente comprimida la mezcla fresca) y turbocargado (admitiendo la mezcla fresca comprimida en un compresor conducido por una turbina de extractor), ciclo de dos tiempos: Sobrealimentado y turbocargado
Válvula o diseño del puerto y localización	Válvulas en la cabeza, válvulas debajo de la cabeza, válvulas rotatorias, etc.
Combustible	Gasolina, Diesel, gas natural, gas líquido, alcoholes (metanol, etanol), hidrógeno, combustible dual
Método de preparación de la mezcla	Carburación, inyección del combustible en los puertos, inyección del combustible en el cilindro del motor
Método de encendido	Encendido por chispa, encendido por compresión
Diseño de la cámara de combustión	Cámara abierta, Cámara dividida
Método de control de carga	La estrangulación de la mezcla del flujo del combustible y de aire junto permanece sin cambio, control del flujo del combustible solamente, una combinación de éstos
Método de enfriamiento	Enfriados por agua, enfriados por aire, sin enfriar (por convección y radiación naturales)

Fuente: (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014)

Ciclos de funcionamiento de un motor de combustión interna

De acuerdo con Rafael Morales & Hernández Guzmán (2014): “Los ciclos utilizados en el funcionamiento de los motores de combustión interna son el ciclo Otto y el ciclo Diésel” (pág. 5).

A continuación, se hace una breve descripción de cada ciclo.

Ciclo de Otto

De acuerdo con ÇENGEL & BOLES (2012), También son conocidos como motores de gasolina “motores de encendido por chispa (conocidos también como motores de gasolina)” (pág. 504).

Según ÇENGEL & BOLES (2012), los motores de combustión interna de cuatro tiempos, encendidos por chispa, responden al ciclo de Otto.

El ciclo de Otto es el ciclo ideal para las máquinas reciprocantes de encendido por chispa. Recibe ese nombre en honor a Nikolaus A. Otto, quien, en 1876, en Alemania, construyó una exitosa máquina de cuatro tiempos utilizando el ciclo propuesto por el francés Beau de Rochas en 1862. En la mayoría de las máquinas de encendido por chispa el émbolo ejecuta cuatro tiempos completos (dos ciclos mecánicos) dentro del cilindro y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico (pág. 498).

Acorde con lo indicado por Rafael Morales & Hernández Guzmán (2014): “El ciclo mecánico de un motor Otto de cuatro tiempos, se completa con cuatro carreras del pistón, dos vueltas del cigüeñal y una del eje de levas” (pág. 6).

Como lo indica la **Figura 2**: “En un motor de cuatro tiempos de encendido por chispa se introduce al cilindro durante el proceso de admisión una mezcla de aire y combustible con una proporción determinada” (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014).

Durante la admisión de mezcla se da el desplazamiento del pistón y una vez que concluye se procede a la compresión de dicha mezcla (ver **Figura 2**).

Durante esta carrera de admisión, el pistón se desplaza desde su Punto Muerto Superior (PMS) hasta su Punto Muerto Inferior (PMI), mientras la válvula de admisión permanece abierta. Una vez terminado este proceso de llenado, se comprime la mezcla de aire y se desplaza el pistón desde su PMI hasta su PMS (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014).

Seguidamente, como consecuencia de la combustión de la mezcla, el pistón es lanzado Muerto Superior hasta su Punto Muerto Inferior (ver **Figura 2**).

En esta carrera de compresión permanecen cerradas las válvulas de admisión y de escape. Terminando este proceso se realiza la combustión de la mezcla aire-combustible, mediante la acción de una bujía. Se incrementa la presión y la temperatura de la mezcla, mientras el volumen permanece constante en su valor mínimo. Como consecuencia de esta combustión, el pistón es lanzado de su PMS hasta el PMI, (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014).

En el siguiente paso, se da inicio a el proceso de carrera de escape en el que los productos son descargados a la atmosfera (ver **Figura 2**).

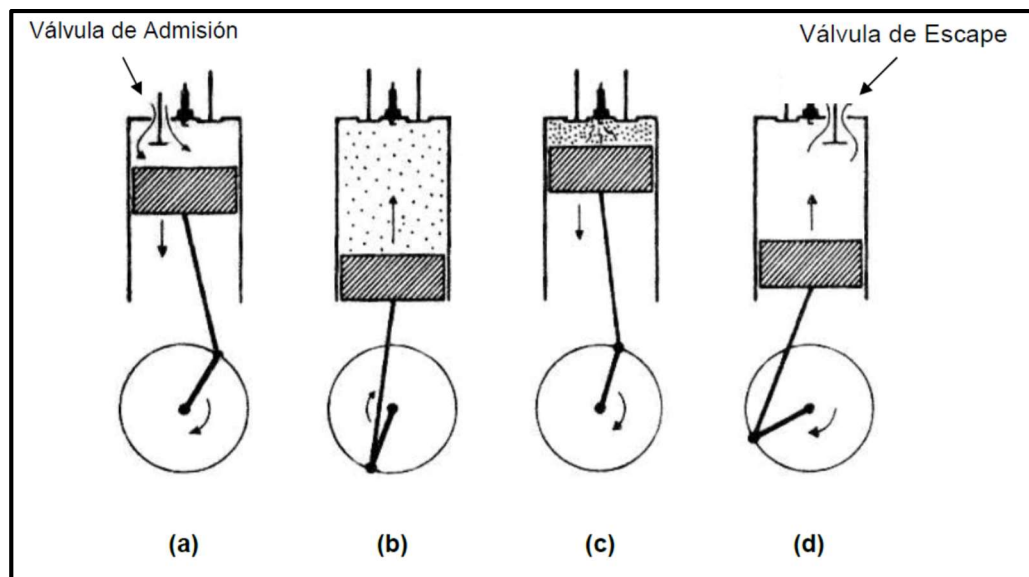
Durante esta carrera de expansión, las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas. Al llegar el pistón a su PMI la válvula de escape se abre e inicia así el proceso o carrera de

escape en que los productos de combustión son descargados del cilindro hacia la atmósfera (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014).

Los cuatro tiempos: admisión, compresión, expansión y escape, son completados cuando el cigüeñal gira (ver **Figura 2**).

De esta manera el cigüeñal gira 720 grados o dos vueltas para completar los cuatro procesos: de admisión, compresión, expansión y escape. En la realidad no se cumple el ciclo termodinámico teórico, ya que el ciclo real funciona sobre un sistema abierto. Para el análisis del ciclo teórico se supone que el ciclo es cerrado y que el medio sufre el proceso del ciclo repetidas veces.

Figura 2: Tiempos del Ciclo de Otto a) Admisión b) Compresión c) Expansión d) Escape



Fuente: (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014)

Ciclo Diésel

A los motores de diésel también se les conoce con el nombre de ECOM: “El ciclo Diésel es el ciclo ideal para las máquinas reciprocantes ECOM. El motor ECOM, por primera vez propuesto por Rudolph Diésel en la década de 1890” (ÇENGEL & BOLES, 2012, pág. 504).

Según lo que explica ÇENGEL & BOLES (2012), la bujía y el carburador son reemplazados por un inyector de combustible.

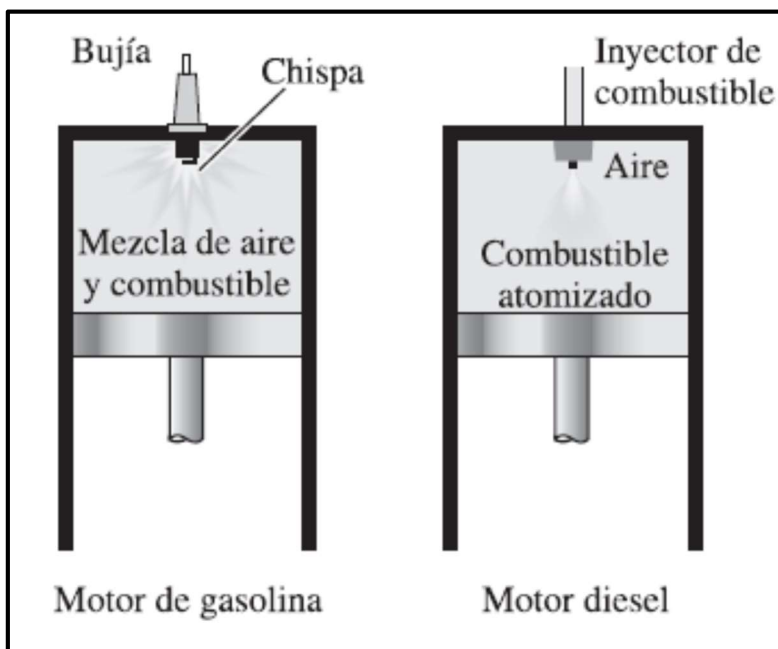
En los motores ECOM (también conocidos como motores diésel) el aire se comprime hasta una temperatura que es superior a la temperatura de autoencendido del combustible y la combustión inicia al contacto, cuando el combustible se inyecta dentro de este aire caliente. Por lo tanto, en los motores diésel la bujía y el carburador son sustituidos por un inyector de combustible (pág. 504).

Los motores de diésel son diseñados para operar a relaciones de compresión muy altas, generalmente entre 14 y 24.

En los motores diésel, solamente el aire se comprime durante la carrera de compresión y se elimina la posibilidad de autoencendido. Por lo tanto, los motores diésel pueden ser diseñados para operar a relaciones de compresión mucho más altas, generalmente entre 12 y 24. No tener el problema del autoencendido conlleva otro beneficio: muchos de los exigentes requerimientos impuestos a la gasolina pueden ser eliminados, de manera que los combustibles menos refinados (y por lo tanto menos costosos) pueden utilizarse en los motores diésel. El proceso de inyección de combustible en los motores diésel empieza cuando el émbolo se aproxima al PMS y continúa durante la primera parte de la carrera de potencia. Por lo tanto, en estos motores el proceso de combustión sucede durante un periodo más largo. Debido a esta mayor duración, el proceso de combustión en el ciclo Diésel, ideal, se obtiene como un proceso de adición de calor a presión constante. De hecho, este es el único proceso donde los ciclos de Otto y Diésel difieren. Los tres procesos restantes son los mismos para ambos ciclos ideales. Es decir, el proceso 1-2 es una compresión isotrópica, el 2-3 adición de calor a presión constante, el 3-4 una expansión isotrópica y el 4-1 un rechazo de calor a volumen constante (ÇENGEL & BOLES, 2012, pág. 504).

El proceso requiere de combustibles menos refinados y, por ende, menos costosos. La Bujía que brinda la chispa es reemplazada por un inyector de combustible, como se aprecia en la **Figura 3**.

Figura 3: Bujía es reemplazada por inyector en motor diésel



Fuente: (ÇENGEL & BOLES, 2012)

Generalidades del diésel

Con base en información indicada por RECOPE (2019), se define el diésel como una mezcla de hidrocarburos líquidos y utilizado en motores de combustión interna de ignición por compresión.

El Diesel es una mezcla de hidrocarburos líquidos que se obtiene mediante destilación atmosférica fraccionada del petróleo, a una temperatura entre 250°C y 350°C y que se utiliza en los motores de combustión interna de ignición por compresión. Es más sencillo de refinar que la Gasolina y, por su proceso productivo, tiende a tener mayores cantidades de componentes minerales y de azufre. Sin embargo, su composición química le confiere un 18% más de energía por unidad de volumen que la Gasolina; esto, sumado a la mayor eficiencia de los motores Diesel, contribuye a que su rendimiento sea mejor. Por ende, el Diesel es el combustible que mayormente se utiliza en Costa Rica para la flotilla de transporte público, así como el transporte de carga. También se usa en algunos vehículos particulares y en varios procesos productivos industriales. El Diesel que RECOPE importa

y vende a granel, se caracteriza por un contenido máximo de azufre de 50 ppm, conocido en el mercado petrolero como Diesel 50. Otras propiedades del combustible, tales como temperatura de ignición, volatilidad, estabilidad a la oxidación, poder calórico, formación de depósitos y emisión de gases, dependen también de su composición (pág. 15).

Dentro de las principales características del diésel 50 está la reducción del contenido de azufre que disminuye significativamente las emisiones y reduce el desgaste de las diferentes partes de los motores.

Cuando los combustibles se queman, el azufre se emite como óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) que se convierten en ácidos corrosivos causantes de lluvia ácida. Además, el SO_2 se puede convertir a sulfato (SO_4) que forma material particulado y aerosoles. Por lo tanto, al reducir el contenido de azufre en los combustibles, se logra una disminución significativa en las emisiones de estos compuestos al ambiente y se reduce la corrosión y el desgaste de las diferentes partes del motor. Esta situación ha provocado en todo el mundo una rápida reducción del contenido de azufre en los combustibles.

En 2014, mediante Decreto N° 38669-COMEX-MINAE-MEIC, se publicó en la Gaceta la Resolución N°341-2014, del Consejo de Ministros de Integración Económica. En dicha resolución se aprueba el “Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.17:13 Productos de Petróleo, Aceite Combustible Diesel, Especificaciones” y se establece que el contenido de azufre en este combustible no puede ser mayor a 0,05% m/m (500 ppm). (RECOPE, 2019, pág. 15).

Movilidad sostenible

Seguidamente se brinda una descripción de lo que representa movilidad sostenible.

De acuerdo con Cerdas Ramírez (2019) de la Fundación Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial [CEGESTI]: “El transporte sostenible combina los ejes económicos, sociales y ambientales para la obtención de un sistema de transporte que genera mayores beneficios económicos, mejoras en el bienestar de los usuarios y el menor impacto ambiental posible (pág. 1).

Es importante incentivar políticas y acciones en mitigación de emisiones en el sector transporte, según Cerdas Ramírez (2019) para acceder a la sostenibilidad.

Para lograr un eje de sostenibilidad en el sector transporte, se utiliza el enfoque de Evitar, Cambiar y Mejorar (ASI, por sus siglas en inglés); se incentivan políticas y acciones en mitigación de emisiones de GEI, que busca:

- Evitar o reducir los viajes motorizados o la necesidad de desplazamiento.
- Cambio a modalidades de transporte más sostenibles (uso de modalidades no motorizados y transporte público).
- Mejora de la eficiencia energética de los medios de transporte y la tecnología de los vehículos (pág. 2).

Energías limpias

La producción de energía eléctrica en su mayoría es por medio de combustibles fósiles: “En la actualidad la mayor parte de la electricidad se obtiene mediante la combustión de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). Parte de la energía proviene de la energía nuclear y de las grandes represas” (Conant & Fadem, 2011, pág. 526).

La alta demanda de combustibles fósiles produce su agotamiento, debido a que no son renovables, lo anterior se ve reflejado también en el aumento de precios: “Los combustibles fósiles se vuelven escasos y cada vez cuesta más encontrarlos. No son renovables, lo que quiere decir que una vez que los hayamos usado, los sistemas basados en ellos literalmente habrán agotado el combustible” (Conant & Fadem, 2011, pág. 526).

Conant & Fadem (2011), en la Guía comunitaria para la salud ambiental, explican que las energías limpias corresponden a fuentes renovables que tienen un mínimo de perjuicios para la salud y el medio ambiente.

Las energías limpias son aquellas que pueden producirse con un mínimo de perjuicios sociales, culturales, para la salud y el medio ambiente. La energía limpia también se conoce como energía renovable o sostenible porque se puede producir a partir de fuentes que no se agotan (pág. 528).

Algunos ejemplos de energías limpias que no se agotan son: el viento, rayos solares, biogás entre otras.

Es posible reducir los daños causados por el uso de combustibles fósiles, mediante el uso de energías limpias.

Si se utiliza la energía limpia, se reducen los daños que los combustibles fósiles y otras tecnologías contaminantes de producción de energía no renovable causan a la salud humana y al medio ambiente. Gracias a la energía limpia las zonas rurales, las ciudades grandes y las fábricas pueden abastecerse de electricidad sin causar daños (Conant & Fadem, 2011, pág. 528).

Uso de la energía eléctrica en el transporte

En esta sección se contempla el uso de vehículos 100% impulsados por la electricidad para el transporte, además se explican conceptos importantes relacionados con la electromovilidad.

Sustainable Mobility for All (2021), define movilidad sostenible de la siguiente manera:

A los efectos del presente documento, la movilidad eléctrica se define como los sistemas, servicios y equipos que apoyan el traslado de pasajeros y carga por medios de transporte eléctricos.

Los medios de transporte eléctricos incluyen todo tipo de transporte impulsado directamente por la electricidad, desde la micro movilidad, como scooters eléctricos y bicicletas eléctricas de pedaleo asistido, vehículos de 2 y 3 ruedas totalmente motorizados, como calesas eléctricas y bicicletas de carga eléctricas, y también vehículos de 4 ruedas ultralivianos, como automóviles y furgonetas, hasta camiones, autobuses, trolebuses, tranvías, trenes, aviones y transbordadores; esta definición no incluye vehículos eléctricos híbridos, (pág. 10).

Vehículo eléctrico

Se define como vehículo eléctrico aquel propulsado por motores eléctricos y que utiliza baterías para almacenar la energía.

Un vehículo eléctrico es aquel automóvil que está propulsado por uno o más motores eléctricos que utilizan la energía eléctrica normalmente almacenada en baterías o extraída de otro dispositivo de almacenamiento. El sistema de generación y acumulación de esta energía eléctrica constituye la clave para su funcionamiento (Sanz Arnaiz , 2015, pág. 11).

La tecnología del vehículo eléctrico tiene más de 100 años de ser conocida, inclusive antes de los vehículos de gasolina y diésel.

En muchas ocasiones pensamos que el coche eléctrico es una creación de nuestra civilización avanzada que lucha contra la contaminación, pero en realidad tiene más de cien años de antigüedad. Es anterior a los vehículos propulsados por gasolina o gasoil (Sanz Arnaiz , 2015, pág. 11).

Rojas (2019), habla que en la actualidad cada vez son más comunes los vehículos totalmente eléctricos, pues el desarrollo de mejores baterías brinda mayor autonomía.

Estos vehículos aprovechan la energía de las frenadas y los desniveles para generar la electricidad que se acumula en las baterías; tienen una autonomía de hasta 300 km.

Un coche eléctrico es aquel que se impulsa con la fuerza que produce un motor alimentado por electricidad. Un motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. El elemento conductor que tienen en su interior tiende a moverse cuando está dentro de un campo magnético y recibe corriente eléctrica.

Hay motores eléctricos de todos los tamaños, que impulsan desde un coche de radiocontrol hasta una locomotora. Los motores eléctricos ofrecen muchas ventajas frente a los de combustión; se empieza por un menor tamaño y peso, además de una mayor sencillez técnica. Su utilización presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental, ya que permite disminuir el nivel de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Rojas , 2019, pág. 15).

Tipos de vehículos eléctricos

De acuerdo con la Oficina de Tecnologías Vehiculares (2015) del Departamento de Energía de Los Estados Unidos, los vehículos eléctricos pueden ser clasificados en tres tipos: vehículos híbridos (HEV), vehículos híbridos enchufables (PHEV) y vehículos totalmente eléctricos (EV).

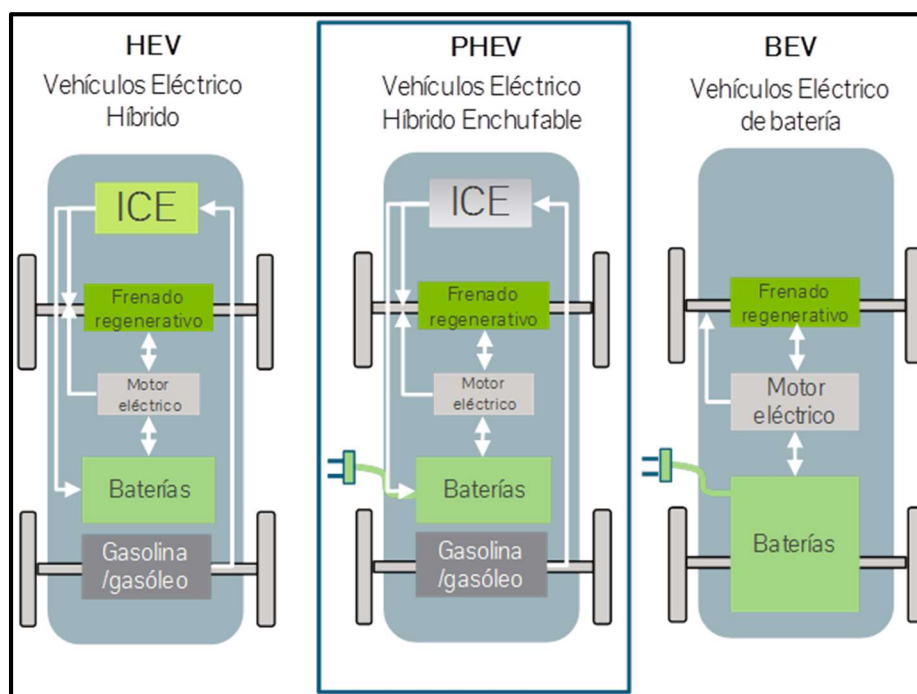
HEV: Los HEV funcionan con un motor de combustión interna y un motor eléctrico que utiliza energía almacenada en una batería. La batería se carga a través del frenado regenerativo y del motor de combustión interna; el vehículo no se puede conectar para cargar la batería (Oficina de Tecnologías Vehiculares, 2015).

PHEV: Los PHEV funcionan con un motor de combustión interna y un motor eléctrico que utiliza energía almacenada en una batería. La batería se puede cargar conectándola a una fuente de energía eléctrica, mediante el frenado regenerativo y a través del motor de combustión interna.

EV: Los EV funcionan con un motor eléctrico que utiliza energía almacenada en una batería. Las baterías del EV se cargan al conectar el vehículo a una fuente de energía eléctrica y mediante el frenado regenerativo (pág. 1).

A continuación, se detalla una serie de conceptos importantes de conocer para los vehículos totalmente eléctricos (EV), como autonomía, tipos de batería y cargadores.

Figura 4: Tipos de vehículos eléctricos



Fuente: (Energía y Sociedad, 2020)

En la **Figura 4**. Se pueden observar los tipos de vehículos eléctricos desarrollados y que circulan en la actualidad.

Batería

La energía eléctrica debe ser almacenada para lo que se utilizan las baterías, aunque están construidas de materiales altamente contaminantes, no se ha encontrado algún medio que las pueda sustituir.

Cualquier forma de energía, para que sea útil cuando y donde se necesite, debe almacenarse. En el caso de los medios de transporte impulsados con la energía del petróleo y el gas, esto implica almacenar combustible en los tanques de los automóviles, autobuses y otros vehículos, para su combustión a lo largo del día; si se trata de electricidad, hay que almacenarla en baterías.

Incluso si la energía se produce a partir de fuentes limpias como el viento, el agua y el sol, es necesario almacenarla en baterías. Las baterías son con frecuencia las partes más costosas de los sistemas de producción de energía limpia. También contienen materiales tóxicos y deben remplazarse después de varios años. Hasta el presente no se ha encontrado un buen sustituto para las baterías como medio para almacenar la energía eléctrica (Conant & Fadem, 2011, pág. 529).

Según información de Iniesta López (2015) el almacenamiento electroquímico es basado en un proceso llamado redox. Además, al darse la debilitación de los electrodos, la batería pierde capacidad y por ende autonomía.

El principio de funcionamiento para el almacenamiento electroquímico se basa en un proceso reversible llamado redox (reducción-oxidación), bajo dos operaciones fundamentales: el proceso de carga y el de descarga. Durante la descarga, el ánodo pierde electrones al oxidarse, mientras que el cátodo se reduce al ganarlos. Estos electrones circulan a través de un circuito externo y originan una corriente que suministra de energía a una carga. Mientras que, durante la carga, ocurre el proceso contrario, la oxidación se produce en el electrodo positivo y la reducción en el negativo. Estas reacciones no se pueden dar de manera infinita, pues con el paso del tiempo los electrodos terminan por debilitarse y la batería pierde capacidad de forma paulatina, hasta que se estropean por completo (pág. 30).

Estructuralmente todas las baterías son similares, compuestas de celdas apiladas y conectadas para la formación de módulos.

En cuanto a su estructura, todas las baterías se componen de forma similar con un determinado número de celdas electroquímicas apiladas y conectadas entre sí. Estas forman módulos, a través de conexiones en serie o paralelo, para conseguir las especificaciones necesarias en aplicaciones concretas de tensión y corriente. Estas celdas son la unidad más pequeña que las constituye y están formadas por un electrodo positivo (cátodo) y otro negativo (ánodo), sumergidos en un electrolito. Este suele tratarse de un medio acuoso que presenta una elevada conductividad iónica y un comportamiento como aislante electrónico. Para confinar el electrolito en las celdas, este se impregna en un separador y evita, de esta manera, el contacto directo entre ambos electrodos (Iniasta López, 2015, pág. 30).

Tipos de batería

Plomo-ácido

Son las más antiguas, son de bajo costo y fácil fabricación, suelen utilizarse como baterías de arranque de los vehículos tradicionales.

Estas baterías son las más antiguas que se pueden encontrar en el mercado, diseñadas por Gastón Planté en 1859. Compuestas por un conjunto de placas de plomo e introducidas en ácido sulfúrico, se trata de una tecnología que destaca por su madurez, una rápida disponibilidad, sus bajos precios y dotadas de liderazgo en el mercado. Su gran uso se debe a que sus celdas disponen de una tensión por celda relativamente elevada, alrededor de 2 V, y tienen un comportamiento adecuado tanto a altas como bajas temperaturas (-40 a 50°C). Son fáciles de fabricar, al no necesitar de un material adicional entre cátodo-ánodo para mejorar la conductividad eléctrica y a la vez están hechas de materiales reciclables. Suelen utilizarse comúnmente como batería de arranque en los vehículos tradicionales, ya que son capaces de suministrar corrientes elevadas, debido a la rápida cinética de reacción de los electrodos; son dotados de grandes potencias específicas con valores de 180 W/kg. Sin embargo, es una tecnología con un uso limitado en los vehículos eléctricos como baterías de tracción, debido a sus bajos valores de energía específica entre 30-50 Wh/kg. Esto hace que se necesiten grandes volúmenes para conseguir mayores autonomías, haciendo que gran parte del peso del vehículo sea debido a ellas; a la vez, disponen de bajos

ciclos de vida (200-300 ciclos) y unos tiempos de recarga de 8 a 16 horas (Iniеста López, 2015, pág. 32).

Níquel-cadmio

De gran uso a nivel industrial y doméstico, se pueden encontrar en artefactos cotidianos como juguetes y electrodomésticos.

Se tratan de baterías con un gran uso extendido a nivel industrial y doméstico, pueden encontrarse en herramientas eléctricas, iluminación de emergencia, juguetes o dispositivos electrónicos. Su estructura básica se compone de un hidróxido de níquel como cátodo, un ánodo de cadmio y un electrolito alcalino. Su uso cada vez está más encaminado a la extinción, debido a que el cadmio es un metal pesado y de un alto precio, a la vez que muy contaminante. De esta manera, resulta más costosa su fabricación al tener que llevar a cabo su reciclaje. Se caracterizan por sus celdas selladas con tensiones nominales de 1,2 V, mucho menores en comparación con las plomo-ácido; su masa es la mitad y soportan mayores temperaturas. Destacan de ellas su alta durabilidad con ciclos comprendidos entre los 1000 y 1500, y entre sus valores nominales tienen una energía específica entre 45-80 Wh/kg y una potencia específica de 150 W/kg [21] [25].

Sin embargo, la desventaja principal de estas baterías reside en su efecto memoria que provoca una menor capacidad en las baterías, debido a cargas incompletas, que acelera su proceso de descarga; este fenómeno ocurre cuando, sin haberse descargado del todo la batería, se carga de forma reiterada. Esto provoca que se formen unos cristales en el interior de la batería, en este caso de cadmio, que no se disuelven con el paso de la corriente al recargar la batería. Con el efecto memoria, las baterías siguen funcionando con normalidad, pero con cada recarga se va limitando su tiempo de uso. La solución a ello bastaría con realizar recargas completas cada cierto tiempo, para que se descarguen completamente (Iniesta López, 2015, págs. 32,33).

Níquel-metal hidruro

Surge de la necesidad de abaratar el precio y reducir la contaminación del Níquel-cadmio, elimina los problemas medioambientales del cadmio.

Se trata de una extensión de las baterías Ni-Cd, y surgen de la necesidad de reducir su contaminación y abaratar el precio. Constructivamente hablando, son iguales a las Ni-Cd, a diferencia del cátodo. Como ánodo utilizan oxihidróxido de níquel (NiOOH) y el cátodo se trata de una aleación de hidruro metálico; se eliminan así los problemas medioambientales del cadmio. La primera batería Ni-MH que se comercializó, ocurrió en 1989 de la mano de Dr. Masahiko Oshitani de la empresa GS Yuasa; estas baterías representan el paso intermedio entre las Ni-Cd y Níquel e Hidrógeno (NiH₂). Las baterías Ni-MH también son susceptibles al efecto memoria, pero en menor medida y poseen una mayor capacidad de carga de hasta el triple que las Ni-Cd. Cada célula puede proporcionar 1,2 V con una capacidad entre 0,8-2,9 Ah y operan en una amplia gama de temperaturas, entre -30 y 75°C. Los ciclos de vida son algo moderados, entre 300-500, y poseen una energía específica de 60-120 Wh/kg, ligeramente mayor a las anteriores. Sin embargo, presentan tasas de auto descarga mayores, un 30% frente al 20% de las Ni-Cd, con una baja tolerancia a las sobrecargas. Su precio respecto a las de plomo ácido se ve encarecido el doble, pero se prevé que irá disminuyendo según vaya aumentando la producción de vehículos eléctricos a gran escala (...). Estas baterías se pueden encontrar equipadas en vehículos impulsados eléctricamente como el General Motors EV1, el Honda EV Plus, Ford Ranger EV, y en híbridos como el Toyota Prius o Honda Insignia, con recargas rápidas de hasta una a tres horas y sin necesidad de realizarles un mantenimiento. Dada su tasa de autodescarga tan alta, en el 2005 se diseñaron una gama de este tipo de baterías con bajas tasas de autodescarga y empresas como Varta o Sanyo fueron las pioneras en introducirlas en el mercado (Iniesta López, 2015, pág. 33).

Ion de litio

Tecnología que más rápidamente creció en el desarrollo de las baterías y tuvo la mayor aceptación, ya que el litio proporciona las mayores densidades de energía con un menor peso.

Estas baterías surgieron en la década de los años 90 para competir con las más usadas hasta la fecha, las Ni-Cd. Las baterías de ion de litio, es la tecnología que más rápidamente ha crecido hoy y que ha tenido una mayor aceptación, pues el litio se trata del metal más ligero, capaz de proporcionar mayores densidades de energía con respecto a su peso. Los inicios en el desarrollo de esta tecnología fueron difíciles, pues no se conseguía dar con la solución para que la batería fuera recargable, debido a la inestabilidad del litio. Por ello, surgió la posibilidad de utilizar iones de litio, mucho más seguro y que utilizan sal de litio como electrolito; se facilitan los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y ánodo. En 1991 empresas como Sony, comercializaron la primera batería de iones de litio recargable. Las prestaciones nominales de las celdas son mayores respecto a las tecnologías ya comentadas. La tensión nominal de cada celda puede llegar a los 3,6 V, hace posible la reducción del número de celdas en cada batería y un menor peso. Poseen una alta energía específica entre 110-160 Wh/kg y una potencia específica de 250-340 W/kg. Sus ciclos de vida pueden llegar a los 1000 y tienen un bajo impacto medioambiental por parte del litio al ser menos contaminante. La fabricación de estas baterías es costosa, mayor a las de Ni-Cd e igual a las Ni-MH. Trabajan en un amplio rango de temperaturas (- 20 a 60°C), pero los fabricantes recomiendan temperaturas de funcionamiento alrededor de 15°C para reducir el efecto de envejecimiento que sufren durante su uso. Este envejecimiento es debido al calor generado en las celdas y se ve más acusado a temperaturas elevadas que afectan la capacidad de recarga. Ante esto, se recomienda realizar un mantenimiento básico que comprende no descargarlas más de un 20%, y que, durante estacionamientos prolongados, la batería se conserve con un estado de carga del 40% (...). Esta tecnología es la más usada en el sector de la telefonía móvil, con baterías de una sola célula, dado su alto potencial y su ligero peso, mientras que si utilizásemos las de NiCd se necesitaría una agrupación en serie. Además, estas baterías presentan la ventaja de carecer de efecto memoria, una baja tasa de autodescarga (menos de la mitad de las Ni-Cd y Ni-MH), una alta resistencia a la descarga y, además, se pueden

realizar ciclos de carga sin la necesidad de estar descargadas completamente y no afectan la vida útil. Sin embargo, a pesar de todo ello, presentan desventajas tales como su degradación o su sensibilidad a la temperatura; pueden sobrecalentarse hasta llegar al punto de explotar. Por ello, para un funcionamiento seguro, cada célula lleva incorporado un circuito de protección. Con este circuito se limita la tensión pico de cada célula durante la carga y evita que no se reduzca demasiado durante la descarga, además de tener un control sobre las temperaturas que se alcanzan para no superar los extremos; esto provocaría una pérdida de capacidad. Con las mejoras comprendidas en esta tecnología, durante estos años, han hecho que la probabilidad de explosión se considere mínima. Empresas como General Motors, Hyundai o Toyota integraron rápidamente estas baterías en sus prototipos. En la actualidad siguen innovando en esta tecnología, con nuevas mejoras en el mercado, que hacen posible una mayor integración de este tipo de baterías, para conseguir una reducción en sus precios (Iniesta López, 2015, págs. 33,34).

Polímero de litio

Es simple a la hora de su fabricación, permite multitud de diseños en cuanto a forma y tamaño.

En la década de los años 70, se diseñó el primer modelo de esta batería en el que se utilizaba como electrolito un polímero seco, con un comportamiento similar al de una fina lámina plástica que no conduce la electricidad, pero sí permite el intercambio de iones. La diferencia respecto al resto de tipologías reside en el electrolito que usa, que sustituye al antiguo separador de celdas que se encuentra bañado en los electrolitos de ácidos tradicionales. El diseño de estas baterías ofrece simplificaciones a la hora de fabricarlas, pues las celdas poseen espesores de tan solo 1 mm que permite multitud de diseños, en cuanto a forma y tamaños más ligeros y flexibles. Además, cuentan con mayor seguridad que las de ion de litio al no necesitar de un recubrimiento metálico. Por el contrario, la conductividad interna que presenta el polímero es deficiente, ya que la resistencia interna es muy alta y no hace posible entregar toda la energía necesaria por suministrar. La forma de evitarlo es según aumenta la temperatura de funcionamiento, hasta los 60°C. Esto limita su uso para aplicaciones portátiles, pero que con un adecuado aislamiento pueden aplicarse

en los vehículos eléctricos; para dar solución a ello, se les puede añadir un electrolito gelificado en las membranas de separación. Dadas las mejores prestaciones que ofrecen respecto a otros sistemas de almacenamiento y a sus bajos costes de fabricación, no se ha alcanzado una alta penetración en el mercado tal y como se tenía previsto. Al tener unas prestaciones similares a las baterías ion de litio, con incluso capacidades inferiores a las de esta, enfoca a estas baterías a un mercado con aplicaciones en las que se demanden diseños con geometrías delgadas (Iniesta López, 2015, págs. 34,35).

Sal fundida-Zebra

Trabajan en temperaturas elevadas, ofrecen una alta durabilidad.

Su origen data de 1985 cuando fueron creadas por el grupo Zebra (Zeolite Battery Research África), de ahí que se conozcan comúnmente con tal denominación. Estas baterías utilizan sal fundida (NaNiCl) como electrolito y son altamente térmicas. Como electrodo negativo se usa sodio triturado y, como positivo, níquel, cuando se encuentra descargada o cloruro de níquel si está cargada. Al ser insolubles el níquel y cloruro de níquel en soluciones básicas y neutras, existe muy poca resistencia en la transferencia de cargas. Debido a que trabajan a temperaturas elevadas, tanto el electrolito como los electrodos se encuentran en estado líquido y necesitan un separador de tipo cerámico. Las celdas por las que está compuesta ofrecen tensiones de 2,6 V y densidades energéticas mucho mayores a las de plomo-ácido, con valores de hasta cinco veces mayor, pero trabajan a temperaturas con rangos de 270-350°C; se hace necesario un buen aislamiento. Presentan una energía y potencia específica de 90 Wh/kg y 155 W/kg. En cuanto a su durabilidad, pueden llegar a los 1500 ciclos a los cinco años o incluso a los 3000 al cabo de ocho años [24]. Presentan la ventaja de que, en caso de producirse un cortocircuito en una celda, no provoca el fallo en el resto de la batería. El hecho de que estas baterías estén compuestas con materiales de una alta disponibilidad a nivel mundial las hace potencialmente más ventajosas con respecto a las de iones de litio. Su fabricación se lleva a cabo únicamente en Stabio, situado en el sur del cantón de Tesino (Suiza), por parte de la empresa FZ Sonick, donde llevan a cabo su producción en serie. Entre sus aplicaciones, se pueden encontrar en vehículos de tracción eléctrica, como autobuses, camiones o vehículos propios como el Think City, equipado con baterías de 17,5 kW. Sin embargo, dadas sus altas temperaturas de operación

se producen pérdidas térmicas, pues cuando se encuentra inactiva la batería, el electrolito se solidifica y en caso de encendido requieren un tiempo de recalentamiento. Este tiempo varía en función del estado de carga al desconectarla, como de la potencia necesaria para dicho recalentamiento y puede llegar a un periodo de 24 horas para alcanzar la temperatura óptima. Una vez completada la carga suele tardar entre 3 y 4 días en enfriarse y solidificar (Iniesta López, 2015, págs. 35,36).

Autonomía

En los vehículos totalmente eléctricos se habla de autonomía para hacer referencia a los km que se pueden recorrer, con una carga completa de la batería antes de ser requerida una nueva carga.

El vehículo totalmente eléctrico o vehículo eléctrico de baterías elimina el motor de combustión, por lo que las ruedas son impulsadas por un motor eléctrico. La energía para ello se almacena en las baterías que llega a través de los puntos de recarga a la red o mediante la frenada regenerativa. Estos vehículos permiten recorrer distancias de hasta 150 y 300 km debido a que están abastecidos con la tecnología más avanzada en baterías, como las de litio (Iniesta López, 2015, pág. 21).

La autonomía de un vehículo eléctrico va directamente relacionada con la batería que este utilice.

Cargadores o estaciones de carga

Las estaciones de recarga brindan electricidad para cargar las baterías, mediante un equipo que es conectado al vehículo eléctrico.

Las estaciones de carga, también conocidas como equipos de recarga para vehículos eléctricos, brindan electricidad para cargar las baterías de los EV y los PHEV. El equipo de recarga para vehículos eléctricos se conecta con el vehículo para garantizar que suministra un flujo energético seguro y apropiado. Los equipos de recarga para vehículos eléctricos enchufables se clasifican de acuerdo con la velocidad a la cual se cargan las baterías. Baterías de dos tipos —Nivel 1 de CA y Nivel 2 de CA— aportan corriente alterna (CA) al vehículo y, luego, el equipo incorporado al vehículo (el cargador) convierte la CA en la corriente continua (CC) necesaria para cargar las baterías. El otro tipo de batería —CC de

carga rápida— aporta electricidad de CC directamente al vehículo. La CC de carga rápida también se conoce como Nivel 2 de CC (Oficina de Tecnologías Vehiculares, 2015, pág. 2).

Rojas (2019), en su trabajo habla de tres modos de recarga de vehículos eléctricos y los describe a continuación.

El modo 1, que se utiliza normalmente para vehículos pequeños, es el más sencillo de todos, se puede hacer desde un enchufe eléctrico doméstico.

El modo de recarga 1 es aquel modo de carga de un vehículo eléctrico en una toma no destinada exclusivamente a su carga. Dicho de otra forma, es el que se realiza en un enchufe clásico doméstico (una toma SCHUKO) como el que usamos para electrodomésticos como la lavadora y otros.

Este sistema es el más sencillo de los modos de recarga, pues consiste únicamente en llevar un cable de nuestra clavija tipo “Schuko” 230 V a nuestro vehículo. Normalmente se cargan así pequeñas motos o bicis eléctricas u otro tipo de vehículo pequeño (patinetes, hoverboards, etc.). La toma no incluye seguridad y no se aconseja para vehículos o motos de mayor potencia (pág. 16).

El modo 2 es una carga lenta monofásica de tipo doméstica, que utiliza 230 V y requiere de la instalación de una caja con enchufe tipo Schuko.

La carga lenta está pensada para la recarga doméstica, en el garaje. Este tipo de recarga es monofásica se realiza con un voltaje de 230V (3,7kW – 7,2kW). El vehículo eléctrico o híbrido se conecta a la red eléctrica mediante su conector / adaptador correspondiente para dotar de seguridad a la recarga. El modo de carga 2 consiste en la instalación, por parte del usuario, de una caja con un enchufe tipo Schuko normalmente de forma preferente para la carga del vehículo eléctrico en cuestión (su uso no es exclusivo, pero suele serlo); esta caja deberá estar provista de los sistemas de protección adecuados.

Este modo de recarga interesa si se tienen algunos tipos de coche híbrido enchufable o, sobre todo, un vehículo eléctrico pequeño como son los cuadríciclos (por ejemplo, EV Tazzari Zero EM2 Space). (Rojas , 2019, págs. 16,17).

El modo 3, corresponde a una recarga semi-rápida, que permite realizar la recarga mediante una red monofásica o trifásica.

La conexión del Vehículo Eléctrico a la red de Corriente Alterna se realiza mediante equipamiento dedicado en exclusiva a la recarga del vehículo eléctrico. Este modo 3 interesa especialmente para uso doméstico si se tiene un híbrido enchufable con una autonomía considerablemente alta o un coche 100% eléctrico. El modo 3 de recarga permite una recarga monofásica y también una recarga trifásica. Es decir, si el vehículo lo permite, se puede recargar hasta 32A (a más de 7.2kWh y 400V). (Rojas , 2019, pág. 18).

Los equipos de carga para vehículos enchufables son clasificados por la velocidad con la que se cargan las baterías.

La **Figura 5** brinda los diferentes tipos de equipos de carga.

Figura 5: Clasificación de los equipos de recarga para vehículos eléctricos



Fuente: (PG&E, 2020)

Cálculo de potencia en los sistemas trifásicos

Bosques (2019), menciona, de una manera sencilla, las fórmulas para el cálculo de la potencia en un sistema trifásico (pág. 102).

Ecuación 2: Potencia activa

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \cos\varphi$$

Fuente: (Bosques, 2019)

Donde:

- P = Potencia activa
- U = Voltaje nominal
- I = Corriente nominal

Ecuación 3: Potencia reactiva

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \sin\varphi$$

Fuente: (Bosques, 2019)

Donde:

- Q = Potencia reactiva
- U = Voltaje nominal
- I = Corriente nominal

Ecuación 4: Potencia aparente

$$S = \sqrt{3} \times U \times I$$

Fuente: (Bosques, 2019)

Donde:

- S = Potencia aparente
- U = Voltaje nominal
- I = Corriente nominal

Es importante indicar que la unidad de potencia activa se mide en kW y la potencia aparente en kVA.

Gas licuado de petróleo GLP

El GLP ofrece grandes beneficios ambientales, proviene de la refinación del petróleo, es una mezcla de hidrocarburos gaseosos. Según RECOPE (2019) sus principales usos son en la cocción de alimentos, hornos industriales, producción de energía, transporte entre otros.

El GLP o LPG (por sus siglas en inglés) es una mezcla de hidrocarburos gaseosos provenientes de la refinación del petróleo, cuyo uso que ofrece grandes ventajas desde el punto de vista ambiental, ya que produce menos emisiones de gases contaminantes que los combustibles líquidos. Sus principales usos se dan en:

- Hogares, restaurantes y hotelería: se usa directamente en la cocción de alimentos, calentamiento de agua y secado de ropa.
- Producción industrial y energética: se utiliza en hornos de alta temperatura que requieren combustibles que dejen poco residuo. Asimismo, se puede generar energía eléctrica mediante la utilización de un alternador en los sectores doméstico y agrícola.
- Transporte: carretillas elevadoras, vehículos de turismo, autobuses urbanos, camiones de basura, vehículos livianos convertidos a GLP, etc. (pág. 19).

Puede estar conformado de solo propano o butano, o bien de una mezcla de los dos, además de otros componentes en menores cantidades como etileno, propileno, butileno y pentano, entre otros.

Los tipos de GLP y sus propiedades dependen de los componentes: puede ser solo propano, solo butano o una mezcla de ambos, con cantidades menores de etileno, propileno, butileno y pentano, entre otros. Como estos gases son inodoros e incoloros, por motivos de seguridad

al GLP se les adiciona odorizantes (etil mercaptano) que le otorga un olor pestilente para posibilitar su identificación en caso de fugas.

Para almacenar el butano y el propano en estado líquido a temperatura ambiente, se requieren recipientes capaces de soportar, de manera segura, sus presiones de vapor, las cuales son 2 y 10 atmósferas, respectivamente. Cabe mencionar que el almacenamiento a alta presión del GLP es más práctico y económico que el almacenamiento a presión atmosférica, pues se requerirían temperaturas de $-0,5^{\circ}\text{C}$ y $-42,2^{\circ}\text{C}$, para mantener el butano y propano en estado líquido, respectivamente.

Su alta volatilidad y fácil ignición hacen que el GLP deba almacenarse y manejarse con cuidados especiales (RECOPE, 2019, pág. 19).

Por seguridad se le coloca olor artificial para detectar cualquier fuga que se produzca durante su uso.

Energía obtenida del GLP con muy bajas emisiones

De acuerdo con la Asociación Europea del GLP (2011), es una energía baja en CO_2 , que produce niveles muy bajos de hollín, segundo factor principal que contribuye al cambio climático global.

El GLP es una alternativa a los combustibles fósiles líquidos y gaseosos, baja en carbono. Su combustión emite un 49% menos de dióxido de carbono que el carbón y un 17% menos que el gasóleo para calefacción. Además, el GLP prácticamente no emite hollín, que, según opinión de los científicos, es el segundo factor principal que contribuye al cambio climático global y es quizá la mayor causa de calentamiento ártico (pág. 11).

Sistema requerido para que un vehículo funcione con GLP

Hay diferentes formas de hacer que un vehículo convencional funcione con GLP, una de ellas es transformarlo o modificarlo.

De acuerdo con Sáenz Ojeda (2017), normalmente las transformaciones se hacen en motores de gasolina o bien que operan bajo el Ciclo de Otto, pues para motores de diésel no es económicamente viable.

Los vehículos impulsados con GLP son usualmente motores de ciclo Otto, que usan gasolina como combustible, sobre los que se ha realizado una serie de modificaciones para que tengan un correcto funcionamiento con GLP como combustible (pág. 36).

Una transformación de un motor de gasolina a GLP requiere de una serie de accesorios, a continuación, se detalla cada uno.

La adaptación de un motor a GLP requiere la instalación de una serie de accesorios que nos permitan usar este combustible, aparte de la gasolina que necesitamos para arrancar y poner a punto el motor. Estos son los accesorios que necesitaremos para dicha adaptación (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 39).

El primer componente requerido es el depósito que puede ser toroidal o cilíndrico: “La adaptación requiere de un depósito adicional al depósito de gasolina donde almacenar el GLP dispuesto a su inyección” (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 39).

Otro componente importante, según Sáenz Ojeda (2017), es la boca de carga, sirve para cargar el combustible en el tanque de almacenamiento.

Se trata de la boca por donde repostaremos el combustible cuando sea necesario. Su instalación se realiza en el hueco existente para la boca de carga de la gasolina o, si no existiera el espacio suficiente, en el lateral del vehículo, creando un hueco nuevo (pág. 40).

La tubería por donde fluye el GLP desde el tanque o depósito a una electroválvula de corte: “Es el conducto por el cual fluirá el GLP, concretamente está conectada desde el depósito a la electroválvula de corte” (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 40).

El sistema es equipado por una electroválvula de corte que hace control del caudal de combustible.

Las electroválvulas son válvulas que controlan el caudal de un fluido por medio de un electroimán. En el caso de los vehículos impulsados con GLP, esta válvula está ensamblada con el reductor e interrumpe el flujo del combustible cuando se interrumpe el encendido, el motor se para, se detecta un paso descontrolado de combustible o se selecciona el accionamiento del motor mediante gasolina (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 41).

Una válvula anti -retorno también es necesario, de acuerdo con lo que explica Sáenz Ojeda (2017): “Se trata de una válvula que facilita la entrada de GLP durante la carga impidiendo la salida de este al exterior” (pág. 41).

La válvula de corte al 80%, evita que el combustible ingrese durante la carga al depósito cuando este complete un 80% de su capacidad; esto permite las variantes de presión en el depósito.

Esta válvula corta el paso de combustible durante la carga cuando en el depósito se ha alcanzado el 80% de carga en estado líquido. Permite, de esta manera, el posible aumento de la presión en el depósito, dentro de unos límites, debido a factores externos como puede ser la subida de temperatura o un fuego cercano (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 42).

Válvula termofusible, su función es liberar combustible cuando por alguna razón se alcanza una temperatura determinada: “Libera combustible cuando se alcanza una temperatura determinada por razones de seguridad. Usualmente coincide y comparte función con la válvula de sobrepresión” (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 42).

Seguidamente se detalla el flotador que mide el nivel de combustible en el tanque: “Este accesorio nos permite medir el nivel de combustible líquido que se posee en el depósito. Gracias a esto se puede cortar la carga cuando se alcanza el 80%, o se puede saber cuándo es necesario el repostaje” (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 42).

Multiválvula: “Está instalada en el depósito y de forma habitual incluye todas las válvulas anteriormente nombradas, así como el flotador para medir el nivel de combustible. Se trata de otra forma de instalación conjunta de dichas válvulas” (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 43).

Sensor de temperatura: “Este sensor de temperatura se sitúa en el motor y permite saber el momento, dependiendo de la temperatura del motor, en el que se puede comenzar la inyección de GLP en el motor” (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 43).

Caja estancada para depósito, desvía la salida de gases provocada por alguna fuga, es un elemento de seguridad.

Es un elemento de seguridad importante en las instalaciones de GLP, en vehículos que realiza la función de estanqueidad del depósito, respecto al interior del vehículo. Se desvía la salida de gases provocada por fugas en el depósito hacia el exterior del vehículo e impide así la combustión de estos gases dentro de este (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 44).

Reductor-vaporizador, brinda la presión necesaria del gas para que el motor opere correctamente.

Este accesorio baja y estabiliza la presión del gas a los niveles necesarios para que el funcionamiento del motor sea el correcto. Es en este punto donde el combustible pasa de

fase líquida, como se almacena en el depósito, a gaseosa, necesaria para ser inyectada en el cilindro (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 45).

Inyectores: “Inyectan el GLP a los colectores de admisión, donde luego pasarán directamente al cilindro para su combustión, de una forma y con una cantidad precisa” (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 45).

Bujías especiales son requeridas diferentes a las utilizadas en los motores de gasolina, pues la chipa requerida para GLP es diferente.

La combustión del GLP es sensiblemente diferente a la de la gasolina, es por esto por lo que es necesario instalar un tipo de bujías adecuadas. La mezcla aire-combustible es más difícil de encender, por lo que la tensión de encendido debe ser mayor, con el consecuente peligro de que las bobinas se deterioren (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 46).

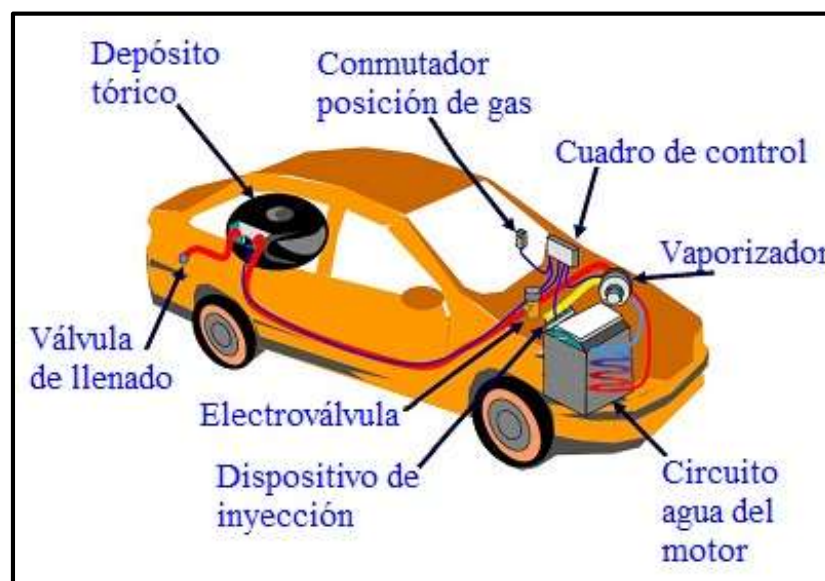
Una unidad de control electrónico, conocida como centralita, recibe información de diferentes componentes y garantiza que el vehículo opere bien.

La centralita o unidad de control electrónico, mediante los datos recibidos de los diferentes componentes, gestiona el sistema y garantiza el buen funcionamiento del vehículo. Concretamente, controla el dosado; es decir, relación aire/ combustible que se inyecta, así como la cantidad de este y la secuencia de inyección (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 46).

El conmutador, permite hacer el cambio de combustible en el vehículo de gasolina a GLP o viceversa.

Este mando de control se instala en el salpicadero del vehículo y permite cambiar el combustible utilizado de gasolina a GLP y viceversa, así como ver cuál de los dos se está usando, la cantidad de combustible GLP que se tiene en el depósito o la posible existencia de un problema en el sistema (Sáenz Ojeda, 2017, pág. 47).

Figura 6 Sistema para convertir un vehículo de gasolina a GLP



Fuente: (Ingeniería, Consultoría y Formación, 2021)

Motor BEGAS

En la actualidad existen motores diseñados exclusivamente para operar con GLP y 100 % eficientes, como es el caso del motor de la compañía BEGAS, serie AVG. Este especialmente fabricado para uso en autobuses y camiones.

BEGAS AVG es la primera familia de motores EURO 6 D alimentada por gas licuado desde el tanque al inyector. La propulsión de este combustible alternativo en fase líquida no penaliza en las prestaciones del motor; obtiene un rendimiento óptimo en aplicaciones de transporte urbano y equipa buses y camiones (Begas Motor, S.L., 2020, pág. 1).

Es un motor construido únicamente para ser usado con GLP, con diseño exclusivo que mejora la vida útil de sus componentes, además de sistemas de enfriamiento.

El AVG es un motor construido por BEGAS, basado en una plataforma de GM, que mecaniza culata y bloque motor para disponer de una aplicación de gas licuado dedicada 100%. El diseño ofrece una vida útil superior para los rodamientos y los anillos de los pistones, mejor flujo del refrigerante y un enfriamiento dirigido a los pistones para lograr una mayor fiabilidad y durabilidad. El mantenimiento y la vida útil es similar a la de un motor diésel (Begas Motor, S.L., 2020, pág. 1).

Este motor ofrece un desempeño uniforme en el control de emisiones. Gracias al sistema utilizado y a la limpieza del GLP no es requerido el sistema de depuración de gases AD-Blue, imprescindible en los actuales motores diésel.

Otro beneficio de la tecnología de combustión del AVG es que permite el uso de un postratamiento de catalizador de tres vías (Three-Way Catalyst, TWC). Los TWC son mecanismos de un sistema de posta tratamiento con un catalizador de tres vías, encapsulado como parte del sistema. Ofrecen un desempeño uniforme en el control de emisiones, no requieren mantenimiento y pueden montarse vertical u horizontalmente en el vehículo. El AVG no requiere un postratamiento activo del catalizador de reducción catalítica selectiva (Selective Catalytic Reduction, SCR). Gracias a este sistema y al combustible limpio utilizado, no es necesario la utilización de AD-Blue (Begas Motor, S.L., 2020, pág. 1).

El sistema de enfriamiento que posee el conjunto como tal, baja la temperatura del aire y se logra una mejor combustión y una reducción de emisiones.

Uno de los componentes que más beneficios aportan al motor es el supercargador, un compresor volumétrico que ayuda al motor a conseguir un alto par a bajas vueltas obteniendo 800nm a 900 rpm.

El enfriador que posee el sistema ayuda a bajar la temperatura del aire y así conseguir una mejor combustión; contribuye a una bajada importante en las emisiones (Begas Motor, S.L., 2020, pág. 1).

Es importante indicar que el GLP se inyecta en este motor en fase líquida y logra reducir la temperatura en la cámara de combustión; además, reduce emisiones y el consumo de combustible.

El sistema de inyección líquida LGI proporciona un control absoluto del combustible desde el depósito a la punta del inyector; obtiene un bajo consumo de combustible y una perfecta mezcla de oxígeno / gas dentro del cilindro.

Al inyectarse el gas en fase líquida, se reduce la temperatura en la cámara de combustión y ayuda a la refrigeración de la válvula de admisión; a la vez contribuye a la reducción de las emisiones de los gases contaminantes (Begas Motor, S.L., 2020, pág. 2).

Estudio financiero

Jiménez Garro (2020) en su trabajo habla sobre la importancia de la toma de decisiones en los negocios, estas se ven impulsadas por el objetivo de obtener los resultados deseados.

La toma de decisiones es un ejercicio que conforma una etapa importante de la vida cotidiana, pero más aún en los negocios, siempre se debe elegir una u otra alternativa, la mayoría de las decisiones se relacionan directamente con dinero, el denominado fondo capital, que por lo general existe en cantidades limitadas. Las decisiones que abarcan el dónde y cómo invertir dicho dinero, se ve promovido o impulsado por el objetivo de agregar valor al obtener los resultados deseados. Estos resultados se obtienen a través de habilidades y experiencias, donde se diseñan, analizan y sintetizan los datos y factores económicos y no económicos que se estudian; esto, siempre que existan alternativas disponibles para llevar a cabo dicho propósito. Formular, estimar y evaluar los resultados económicos, son la base fundamental para realizar la estimación que mejor se ajuste a lo esperado. Dichas estimaciones y la decisión correspondiente involucran análisis de los flujos efectivos, tiempos en que se dan los flujos efectivos, tasas de interés relacionadas con el valor monetario a través del tiempo y la medición del beneficio económico (Jiménez Garro, 2020).

Un proyecto de ingeniería es formulado para adquirir o fabricar un producto, desarrollar un proceso o proveer un servicio y obtener resultados específicos. De acuerdo con Blank & Tarquin (2006), un análisis de ingeniería económica evalúa lo siguiente:

Un proyecto o alternativa de ingeniería se formula para fabricar o comprar un producto, desarrollar un proceso o proveer un servicio con resultados específicos. Un análisis de ingeniería económica evalúa las estimaciones de flujo de efectivo para parámetros como costo inicial, costos e ingresos anuales, costos no recurrentes y posible valor de rescate sobre una vida útil estimada del producto, proceso o servicio (pág. 127).

Análisis diferencial

Es un método con una simplicidad conceptual que sirve para la toma de decisiones, en general es determinar los ingresos y costos diferenciales de una opción determinada. Este método reduce el volumen de datos en el análisis y solo se concentra en lo que es diferente para una opción.

El análisis diferencial es un método utilizado en la toma de decisiones para comparar alternativas. Consiste en determinar ingresos y costos diferenciales que surgen por causa de seguir una determinada opción; es decir, de la comparación entre hacer y no hacer.

La enorme ventaja de este método es su simplicidad conceptual. Basta con responder qué sucede con cada variable relevante si se elige una determinada alternativa, responderlo para todas las variables y hacer lo mismo con cada alternativa, para comparar al final los resultados y elegir la que produzca el mejor. Las variables suelen ser las correspondientes a ingresos y costos. Este método reduce el volumen de datos en el análisis, porque solamente requiere concentrarse en los cambios. Todo lo que permanece invariable entre alternativas no tiene ningún interés para la decisión (Arieu, 2017).

Es importante destacar que un análisis diferencial puede ser combinado con el valor actual neto (VAN) para saber si una inversión es económicamente viable o no: “El análisis diferencial se puede combinar con otros métodos de análisis económico, como el valor actual neto, para establecer la conveniencia o no de una inversión” (Arieu, 2017).

Flujo neto de efectivo

De acuerdo con Muñoz Tavella (2021), es la suma de gastos durante el espacio de tiempo que dura un proyecto y un indicador que cuantifica el volumen y la liquidez de un proyecto o empresa.

Es el efectivo que entra y sale de una entidad o que comparte proyección financiera con esta, dentro de una estrategia de inversión. El importe de este flujo de caja se averigua sumando aquellas amortizaciones practicadas durante el límite temporal en el que se adquiere el beneficio neto.

Dicho movimiento en la caja supone para las empresas un indicador primordial a la hora de cuantificar el volumen y liquidez de estas, durante un periodo cronológico específico; ayuda a sus directivos a tomar las decisiones pertinentes en pos de mejorar las gráficas.

Encontramos en este concepto diversos agentes involucrados según el origen del beneficio y su estado en los fondos; se puede distinguir el flujo de caja de financiación, el flujo de las operaciones y el flujo de caja de los accionistas (2021).

En general se podría decir que es la cantidad de efectivo generado por las actividades de un negocio durante un periodo de tiempo concreto; es la diferencia entre los ingresos y los gastos.

Valor actual neto (VAN)

Corresponde a una medida de rentabilidad absoluta neta que es proporcionada por un proyecto.

El valor actual neto, denominado como VAN, es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona un proyecto; por ello, se realiza inicialmente. Es el incremento proporcionado a los propietarios en términos absolutos, una vez descontada la inversión inicial que se efectuó para llevar a cabo el proyecto (Blank & Tarquin, 2006).

Según Fernández Espinoza (2010): “Es un indicador que toma en cuenta los flujos de efectivo a través del tiempo, actualiza, los valores futuros para determinar su equivalente en valor presente y poder medir la rentabilidad de un negocio o proyecto” (pág. 130).

Jiménez Garro (2020) utiliza la siguiente fórmula para el cálculo del VAN:

Ecuación 5: Valor actual neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \frac{Fn_1}{(1+k)^1} + \frac{Fn_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Fn_m}{(1+k)^m}$$

Fuente: (Jiménez Garro, 2020)

Dónde:

- I_0 = Inversión inicial del proyecto.
- F_n = Flujo de efectivo neto cuantificado anualmente.
- k = Costo de financiamiento del proyecto.

Una vez que se conoce el VAN se pueden aplicar los siguientes criterios que muestra (Jiménez Garro (2020), en su trabajo para determinar si el proyecto es viable.

Al obtener dicho monto del VAN, se deben usar ciertos criterios para establecer si realmente el proyecto debería aceptarse o no. Estos criterios son:

- $VAN > 0$: Se acepta el proyecto, porque se recupera la inversión y genera ganancias futuras.
- $VAN = 0$: El proyecto recupera la inversión inicial, pero no produce ganancias. Financieramente no es viable, pero es elegible de forma estratégica.
- $VAN < 0$: El proyecto se rechaza debido a que genera pérdidas (pág. 23).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Arias (2012) indica: “Es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis” (pág. 19). En general es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos usados para buscar la solución a un problema de investigación planteado.

De acuerdo con Valverde Araya (2021): “Corresponde a aquella estructura implementada de manera organizada para recolectar, ordenar y finalmente analizar la información; permite así, llevar a cabo la interpretación de los resultados, de acuerdo con el problema que se investiga (pág. 125).

Enfoque de la investigación

Debido a que el objetivo de la investigación será analizar costos diferenciales de la operación e ingresos correspondientes al uso de tecnologías de autobuses, se recurrió a un enfoque cuantitativo no experimental; se considera que el tema investigado cuenta con un sustento teórico que permite la implementación de este.

Se procedió con una investigación en el campo y en la literatura, además de cálculos de costos y factores ambientales relacionados con cada una de las tecnologías analizadas.

Hernández, Fernández, & Baptista (2014) indican que un enfoque cuantitativo: “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (pág. 4).

Método de la investigación

Según Muñoz Razo (2011) en su libro: *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*, existen tres tipos de estas, “atendiendo exclusivamente al método de investigación y las técnicas de recopilación que se utilizarán para la obtener la información” (pág. 14). Según lo anterior los tipos son:

Las tesis que utilizan datos documentales (documental), “cuyo método de investigación se concentra exclusivamente en la recopilación de datos de fuentes documentales, ya sea de libros, textos, sitios Web o cualquier otro tipo de documentos gráficos, icnográficos y electrónicos” (Muñoz Razo, 2011, pág. 14).

Otro tipo de tesis son las que investigan en el campo (investigación de campo), “las investigaciones cuya recopilación de información se realiza dentro del ambiente específico donde se presenta el hecho o fenómeno de estudio” (Muñoz Razo, 2011, pág. 14).

También existen tesis que combinan los datos teóricos con las investigaciones en el campo (combinada): “Son tesis en cuyo método de recopilación y análisis de datos se conjunta la investigación documental con la de campo, con la finalidad de profundizar en el estudio del tema propuesto para tratar de cubrir todos los posibles ángulos” (Muñoz Razo, 2011, pág. 14).

De acuerdo con los anteriores conceptos, el análisis de sostenibilidad de las tecnologías de autobuses está relacionado con el método documental y con el método de investigación en el campo, pues inicialmente se recopiló información de empresa, dedicada al transporte público, mediante visita al plantel de operaciones y posteriormente se buscó información teórica en libros y sitios web. En general se utiliza el método combinado.

Es importante indicar, que los datos de campo fueron brindados por personal de la compañía (Grupo ATD), quienes mostraron y describieron detalladamente, la operación de su compañía. Toda la información recolectada, posteriormente fue respaldada y complementada con la búsqueda de documentos relacionados con el tema.

Fuentes de información

Durante la elaboración de este proyecto se utilizaron fuentes informativas de diferentes medios que brindaron un aporte importante a todas las áreas que cubre esta investigación. La **Tabla 1** menciona cada una de las fuentes y su respectivo aporte.

Tabla 1. Fuentes de información

Fuente	Comentarios
Grupo ATD	Información sobre la operación de rutas con autobuses de diésel.
Compañía Carbachez e Hijos E.I.R.L.	Conocimientos relacionados al mantenimiento de autobuses de diésel.

ICE	Información relacionada con el Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público.
CNFL	Información relacionada al Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público.
COSEVI	Requerimientos de empresas que exploten rutas públicas de transporte de pasajeros.
RECOPE	Información sobre combustibles fósiles utilizados en Costa Rica.
IMN	Factores de emisión de gases de efecto invernadero.
ARESEP	Precios establecidos de ley para los vectores energéticos.
Riteve	Información relacionada con la antigüedad de la flota de autobuses de Costa Rica.
GIZ	Información relacionada con el Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público.
Ingenieros expertos y técnicos	Conocimiento en áreas como diseño eléctrico, motores de combustión, mantenimiento de autobuses.
Universidades nacionales e internacionales	Con base en proyectos relacionados al tema.
Empresas proveedoras y/o fabricantes de equipo relacionado al proyecto	Consulta, obtención de información relevante y asesoramiento.
Google Earth	Ubicación de empresa Grupo ATD.
Literatura	Relacionada con los diferentes temas que abarca la investigación (transporte público, combustibles fósiles, gases de efecto invernadero, motores de combustión, motores eléctricos y análisis financiero).

Fuente: Elaboración propia (2022)

Variables o unidades de análisis

- Objetivo: Establecer costos diferenciales de operación correspondientes a tecnologías de autobuses.
 - Variable: Costos diferenciales.
 - Indicador: Se calculan todos los costos operativos diferenciales relacionados con cada una de las tecnologías analizadas en esta investigación.
 - Definición conceptual: Son aquellos que difieren bajo una serie de condiciones, de manera distinta de cuánto diferirían si se diese otra serie de condiciones. Se construyen para situaciones específicas.
 - Definición operacional: Se realizó visita al plantel de Grupo ATD para efectuar entrevista al personal del Departamento de Servicios Generales y conocer la operación de la flota. De igual manera se recurrió a información recolectada por medio de entrevistas realizadas a proveedores de equipos e instituciones gubernamentales.
 - Definición instrumental: Entrevistas, personales, vía telefónica y correo electrónico, con cuestionarios formulados para la obtención de la información necesitada.

- Objetivo: Investigar sobre la utilización en el transporte público, de tecnologías basadas en energías limpias como la electricidad y de bajas emisiones como el GLP.
 - Variable: Inversión inicial
 - Indicador: Se investigan precios actuales de mercado de equipos requeridos para el desarrollo de cada proyecto.
 - Definición conceptual: Para poner en marcha cualquier tipo de proyecto empresarial se necesita una inversión inicial. Es el capital destinado para la gestión de los recursos necesarios para la construcción de la nueva empresa.
 - Definición operacional: Se investiga sobre quiénes son los proveedores de las diferentes tecnologías estudiadas en este proyecto y basadas en vectores

energéticos específicos, para consultar sobre las opciones y precios de los equipos.

- Definición instrumental: Entrevistas, vía telefónica y correo electrónico, con cuestionarios formulados para la obtención de la información necesitada.
- Objetivo: Analizar si es económicamente sostenible que las empresas dedicadas al transporte público emigren al uso de energías limpias o de bajas emisiones.
 - Variable: Valor actual neto.
 - Indicador: Se analiza el flujo de efectivo para parámetros como, el costo inicial, costos e ingresos anuales, costos no recurrentes y posible valor de rescate sobre una vida útil estimada.
 - Definición conceptual: Es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona un proyecto. Por ello se realiza inicialmente, es el incremento proporcionado a los propietarios en términos absolutos, una vez descontada la inversión inicial que se efectuó para llevar a cabo el proyecto.
 - Definición operacional: Se calculan los costos e ingresos para cada tecnología analizada. Se determina el flujo de efectivo correspondiente a cada año que dure el proyecto, para posteriormente obtener un valor actual neto que mida la viabilidad.
 - Definición instrumental: Hojas de cálculo en Microsoft Excel, información documental y uso de ecuaciones financieras.
- Objetivo: Establecer cuál de los vectores energéticos analizados, ofrece mayores beneficios para reemplazar al diésel.
 - Variable: Huella de carbono.
 - Indicador: Se calculan las emisiones de huella de carbono emitidas por cada tecnología estudiada y medidas en tCO₂ eq.
 - Definición conceptual: La huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente.

- Definición operacional: Se calculan las emisiones relacionadas con el uso de cada una de las tecnologías estudiadas, para determinar en cuánto se reducen; se toma como referencia el uso del diésel.
- Definición instrumental: factores de emisión de gases de efecto invernadero de instituciones enfocadas en su estudio y uso de ecuaciones.

Instrumentos

A continuación, se brinda detalle de todos los instrumentos utilizados a lo largo de esta investigación, para obtener la información requerida para su desarrollo con éxito.

- Entrevista en el sitio de operación de flota de autobuses de diésel, dirigida al personal del Departamento de Servicios Generales de la compañía Grupo ATD.
- Consultas a ingenieros y técnicos con experiencia en temas relacionados con la investigación.
- Trabajos de investigación de otras universidades nacionales e internacionales relacionados con el tema de la investigación.
- Entrevistas realizadas, vía correo electrónico, a diferentes funcionarios de instituciones, relacionadas con temas ambientales y transporte público.
- Entrevistas realizadas, vía correo electrónico, a instituciones y empresas privadas que participaron del proyecto Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público.
- Utilización de literatura relacionada con las diferentes aéreas de estudio de la investigación.
- Uso de diferentes manuales técnicos con información de equipos y materiales requeridos para el desarrollo del trabajo.

Proceso para la recolección y análisis de datos

Inicialmente se realizó una visita al plantel de Grupo ATD en Desamparados. Mediante la ayuda del personal de la empresa, se recolectó toda la información relacionada con el desarrollo de la operación. Se utilizan autobuses tradicionales con motor de diésel y su experiencia con la

utilización de los autobuses eléctricos, que forman parte del Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público.

Posterior a la visita de la empresa autobusera, se inició una investigación para poder determinar el precio de flotas nuevas de autobuses de diésel, eléctricos y de GLP; se involucran compañías nacionales e internacionales que ofrecen o fabrican los equipos requeridos.

Una vez contactadas las diferentes empresas de venta y fabricación de automotores, se solicitó toda la información técnica posible, para conocer el funcionamiento y posible desempeño que podrían tener las unidades en la investigación realizada, así como los diferentes mantenimientos requeridos.

En este punto es importante aclarar que se utilizó un rango de pasajeros entre 80 y 95 por autobús, lo que corresponde a la carga de la unidad equivalente de transporte. La variación en la capacidad total de pasajeros depende de la tecnología empleada; por consiguiente, se toma un rango, para mantener el número de la flota y no afectar aspectos como horarios o cantidad paradas, que puedan ocasionar atrasos a los pasajeros.

Se procedió a la búsqueda de literatura relacionada con las diferentes tecnologías utilizadas, además de temas relacionados como: gases de efecto invernadero, huella de carbono y análisis financiero.

De seguido se realizó un análisis de todos los costos e ingresos diferenciales, demandados por la implementación de los diferentes vehículos sometidos a comparación, para poder visualizar o medir cuál tecnología propicia un proyecto económicamente más viable. Los análisis se realizan en dólares o en su defecto en euros y se trasladan a sus costos equivalentes en dólares, por tratarse de una moneda fuerte.

El siguiente paso es el cálculo de la huella de carbono que produce la utilización de cada uno de los vectores energéticos estudiados. Los resultados obtenidos son comparados con las emisiones producto del uso de diésel, para cuantificar la disminución y poder obtener beneficios económicos de esto.

Finalmente se procedió al análisis de cuál tecnología sería más factible para para el reemplazo de los autobuses tradiciones, que operan con diésel como combustible.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Descripción de la empresa

Grupo ATD empresa encargada del servicio remunerado de transporte público en los cantones de Desamparados y Aserrí, en San José, Costa Rica. Ofrece transporte público en 19 rutas de la GAM (Gran Área Metropolitana). Entre ellas:

Ruta 1 y Ruta 1001 Interlíneas: Desamparados-Moravia y San Juan de Dios – Desamparados.

Ruta 70 Aserrí: San José- Aserrí, pasando por diferentes barrios.

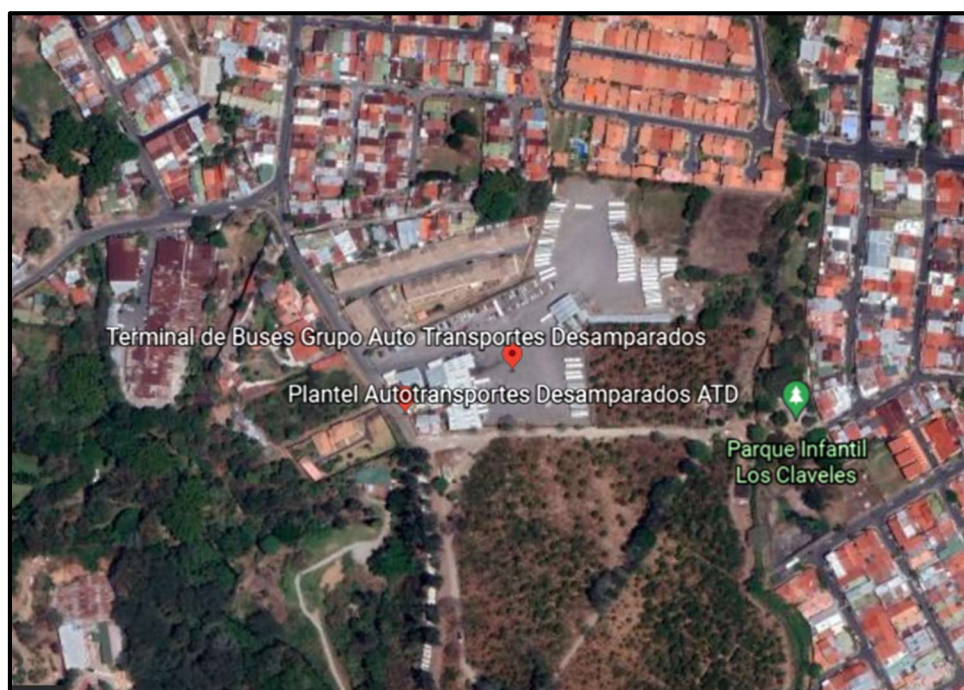
Ruta 120 A Los Guido: San José – Los Guido, pasando por diferentes sectores.

Ruta 70 Desamparados: San José – Desamparados, pasando por diferentes sectores.

Actualmente la compañía cuenta con 300 colaboradores, entre choferes, mantenimiento, logística y demás.

Dos terrenos funcionan como planteles de mantenimiento, garaje de las unidades y oficinas administrativas. El plantel principal de 25 000 m² ubicado en El Cruce de Desamparados, 300 metros Este, 200 metros Sur, contiguo al Camposanto La Piedad y plantel secundario de 5000 m² en el distrito de los Guido.

Figura 7: Captura satelital, ubicación de Grupo ATD



Fuente: (Google Earth, 2021)

La **Figura 7** muestra la ubicación del plantel principal de la empresa, donde están su taller de mantenimiento, oficinas, estación de abasto de combustible y garaje.

Definición de la investigación

Se ambiciona realizar un análisis de sostenibilidad entre autobuses eléctricos y a GLP, para determinar cuál tecnología es más conveniente para reemplazar los vehículos de diésel que actualmente se utilizan en el transporte público urbano.

La investigación depende de las nuevas tecnologías disponibles en el mercado, basadas en energías renovables, limpias y que produzcan menos emisiones.

Según lo indicado en el marco metodológico, se utiliza un rango de pasajeros entre 80 y 95 por autobús y varía de acuerdo con la tecnología empleada; de esta forma se establece la carga de la unidad equivalente de transporte.

De igual manera todos los análisis de costos e ingresos diferenciales serán en dólares o, en su defecto, en euros y se trasladarán a sus costos equivalentes en dólares, lo anterior por tratarse de una moneda fuerte.

Desarrollo

Autobuses diésel

Los hidrocarburos procedentes del petróleo han sido la base fundamental del transporte público en Costa Rica. La utilización de diésel como combustible principal en autobuses, ya no es funcional, debido a su alto costo y a los elevados niveles de emisiones que van en detrimento del medio ambiente.

Consecuentemente la importancia en la búsqueda de tecnologías, basadas en energías menos contaminantes, cada día es mayor para solventar la necesidad de reemplazar las flotas actuales, fundamentadas en hidrocarburos.

Este análisis investigativo parte de la operación de los autobuses de diésel, que actualmente son utilizados por las empresas que brindan servicio de transporte público. De acuerdo con lo anterior, se establecen comparativos de sostenibilidad entre flotas eléctricas y de GLP.

Se toman, como información confiable, los datos de operación diarios ofrecidos por la empresa Grupo ATD, dedicada al transporte público por muchos años, con una flota numerosa y una tipología de rutas muy apropiada, para establecer una base de datos.

El parque automotor de la empresa se muestra en la **Tabla 2**, cuenta con 165 autobuses, de los cuales 150 se utilizan cada día, los restantes 15 se mantienen para eventualidades o en funciones de mantenimiento.

En general todos los vehículos son de características muy similares y utilizan motores de diésel.

Tabla 2. Parque automotor de Grupo ATD

Autobuses con los que cuenta la empresa		
Total, unidades	Utilizadas al día	Combustible
165	150	Diésel

Fuente: Elaboración propia (2021)

La jornada de trabajo es de 18 horas, 6 días a la semana, 4,33 semanas al mes y 12 meses al año. El consumo de combustible promedio es de 87,91 l de diésel diarios, para un recorrido promedio de 159,69 km, como se aprecia en la **Tabla 3**.

La velocidad de operación varía según el tráfico y el día de la semana, entre 10 km/h de lunes a viernes y 15 km/h entre sábado y domingo.

Los espacios de mayor afluencia de usuarios o puntos pico, son entre las 04:00 y las 08:30 horas y entre las 15:00 y las 20:00 horas, consecuentemente con las horas en que las personas salen y regresan de sus trabajos, centros de estudio y demás actividades.

Tabla 3. Operación de flota de autobuses de Grupo ATD con motor de diésel

Operación de flota de autobuses diésel de Grupo ATD	
Autobuses que operan al día.	150,00
Consumo diario promedio por autobús (l).	87,91
Recorrido promedio diario por autobús (km).	159,69
Velocidad promedio de cada autobús (km/h).	Entre 10 y 15
Horas de operación.	18,00
Días por semana.	6,00
Semanas por mes.	4,33
Meses al año.	12,00

Fuente: Elaboración propia (2021)

Para el año 2019 la empresa registró un consumo aproximado de 4 110 833,86 l de diésel para un recorrido de 7 467 768,46 km, realizados por las 165 unidades que componen la flota. En complemento se adjunta información brindada por el Departamento de Servicios Generales de Grupo ATD (ver **Anexo A**).

Por consiguiente, la **Tabla 4** brinda información con los recorridos realizados por el parque vehicular, para diferentes periodos y de igual forma con el consumo en litros de diésel correspondiente. Además, establece un redimiendo de 1,82 km/l.

Tabla 4. Kilómetros recorridos vs. consumo de combustible

Promedio de kilómetros recorridos y consumo de combustible de la flota diésel				
	Día	Semana	Mes	Año
Kilómetros realizados	23 953,58	143 721,49	622 314,04	7 467 768,46
Litros de diésel	13 185,89	79 115,36	342 569,49	4 110 833,86
Relación km/l Grupo ATD	1,82	1,82	1,82	1,82

Fuente: Elaboración propia (2022)

Este trabajo no considera los kilómetros y consumo del año 2020, por ser un año atípico, debido a la presencia del COVID-19 en Costa Rica.

En relación con la antigüedad de los autobuses, la edad promedio es entre 9 y 14 años. La flota debe ser renovada continuamente para poder cumplir con la legislación, de manera que mientras unas unidades salen por su edad, otras recién inician.

Es importante indicar que la vida máxima permitida para las unidades de transporte de personas en rutas públicas se encuentra estipulado en el Decreto 29743 o el que le sustituya (Poder Ejecutivo, 2001) y de la Ley 3503 (Asamblea Legislativa, 2018). Donde se indica claramente, que los autobuses destinados a esta actividad no podrán contar con un rango de antigüedad superior a los 15 años, contados a partir de la fecha de fabricación; mientras que la antigüedad permitida para transporte de turismo, trabajadores o estudiantes se amplía hasta los 20 años.

Estimación de ingresos y costos con autobuses diésel

A continuación, se presentan una serie de cálculos e información para establecer los costos e ingresos diferenciales de operación, requeridos por la flota de vehículos tradicionales de diésel.

Ingresos de Grupo ATD

La empresa brinda transporte público a 2 300 000,00 usuarios al mes, al considerar las 19 rutas que explota dentro de los cantones de Desamparados y Aserrí.

La tarifa vigente autorizada, para octubre del año 2021 se estableció entre \$0,46 y \$0,55 en las diferentes rutas. Se adjunta información brindada por la empresa a sus usuarios (ver **Anexo B**). De acuerdo con la cantidad de rutas se determina un monto promedio de \$0,54.

La **Tabla 5** indica el número de usuarios por periodo y además establece un ingreso anual de \$14 907 407,41, por concepto de cobro de pasajes.

Tabla 5: Ingresos de Grupo ATD por concepto de cobros de pasajes

Ingresos promedio, según número de usuarios			
	Usuarios	Tarifa promedio	Ingresos (dólares)
Diario	75 883,00	\$0,54	\$40 986,19
Semana	531 179,00		\$286 902,24
Mes	2 300 000,00		\$1 242 283,95
Año	27 600 000,00		\$14 907 407,41

Fuente: Elaboración propia (2021)

Costos con autobuses diésel

Adquisición de flota de autobuses diésel

Como antes se indicó, el parque vehicular analizado, está compuesto de 165 unidades con motor de diésel. En general todos los autobuses son de características técnicas similares.

La **Tabla 6** ofrece información como: marca, modelo, año de fabricación y características técnicas de la flota.

Todos los autobuses son tipo urbano, de una longitud de alrededor de 12 metros y con una capacidad de entre 80 y 90 pasajeros. El rango de potencia de los motores es entre 210 HP y 265 HP.

Internamente todos los vehículos son muy similares, equipados para albergar pasajeros sentados y de pie; reúnen todos los requisitos de seguridad establecidos.

Tabla 6: Características de flota de autobuses con motor de diésel

Características de flota de autobuses de diésel			
Modelo	Motor	Año	Cantidad
Mercedes-Benz OF1721 CAIO Apache S21	Mercedes Benz OM366LA / 210HP	2005-2006-2007- 2008	55
Daewoo BS110 MAUCO	Doosan DE08TIS / 240HP	2007-2008	15
Higer KLQ6129G	Cummins 6CT / 245HP	2011	10
Higer KLQ6129G	Cummins ISDe / 265HP	2011- 2012-2013	29
Daewoo GDW6120HG	Cummins ISDe / 265HP	2014-2015	25
Mercedes Benz O500M Neobus Megaplus	Mercedes Benz OM926LA / 260HP	2017	19
Mercedes-Benz OF1721 Busscar Urbanuss	Mercedes Benz OM366LA / 210HP	2005	10
Mercedes-Benz 1721 Rosmo Veloce	Mercedes Benz OM366LA / 210HP	2005	2
Total, de unidades disponibles			165

Fuente: Elaboración propia (2021)

Costo actual de la flota de autobuses diésel

El precio de un autobús nuevo tipo urbano, con características muy similares a los que utiliza Grupo ATD es de entre \$90 000,00 y \$110 000,00, de acuerdo con distribuidores en Costa Rica de las marcas Volksbus y Daewoo Bus, durante el año 2021. Se adjunta información brindado por los distribuidores (ver **Anexo C** y **Anexo D**).

Basado en lo anterior, se determina el costo adquisitivo que demanda una flota compuesta de 165 unidades de diésel. Se establece un precio promedio de \$95 000,00 por vehículo.

La **Tabla 7** indica el costo total de la flota, además de las características técnicas del modelo seleccionado y apto para la operación.

Tabla 7. Costo adquisición de autobuses con motor de diésel

Costo de flota de autobuses diésel, año 2021			
Flota de vehículos	Características	Costo unitario de autobús	Costo total de la flota
165,00	Urbano, chasis Wolkswagen, modelo 17260 OD, carrocería Marcopolo Torino GT, año 2020, motor Man DO836 260 HP euro 5	\$95 000,00	\$15 675 000,00

Fuente: Elaboración propia (2021)

Costo de estación de abasto de diésel para autobuses

En el terreno ubicado en Desamparados, donde se encuentra el plantel principal de la empresa autobusera, cuenta con una estación de abasto de diésel para la flotilla. En este punto se almacena y reparte a cada vehículo, el suministro necesario para la jornada.

Dicho sistema se compone de un tanque con capacidad para 37 854,12 l (10 000,00 gal), que abastece a las máquinas dispensadoras. Es importante hacer notar que dicho deposito es aéreo, como lo presenta la **Figura 8**.

La estación es diseñada de acuerdo con la necesidad y reúne los requisitos de seguridad establecidos por la legislación.

Figura 8: Tanque de almacenamiento de diésel ubicado en plantel de Grupo ATD



Fuente: Propia (2021)

Con base en información recolectada en entrevista hecha a colaboradores del Departamento de Servicios Generales de la compañía, la construcción del sistema de almacenamiento y distribución de combustible tuvo un costo de \$100 154,08, incluyendo la totalidad de equipos y accesorios de seguridad requeridos, como lo presenta la **Tabla 8**.

Tabla 8: Costo de estación de abasto diésel

Costo de estación de abasto de diésel para autobuses	
Loza de concreto, tanque de almacenamiento tipo elevado para 37 854,12 litros, tuberías, equipos de seguridad, máquinas dispensadoras, estructura metálica para protección de equipos.	\$100 154,08

Fuente: Elaboración propia (2021)

Costo anual del combustible (diésel)

Basándose **Tabla 4**, se obtiene el total de litros consumidos, durante el año 2019.

Una vez conocida la cantidad de litros, la **Tabla 9** indica que el precio por litro de diésel es de \$0,95. Para establecerlo, se toma como referencia única el precio en estaciones de servicio que indica la ARESEP, para el 15 de enero del año 2022. Se adjunta información y precio brindado por la autoridad (ver **Anexo E**).

Por consiguiente, el costo del kilómetro realizado es \$0,53 y la empresa tiene un costo anual de \$3 924 561,70 en diésel, requerido para su operación.

Tabla 9. Costo anual del diésel

Costo anual del diésel.			
Kilómetros realizados	7 467 768,46		
Costo del kilómetro	\$0,53		
	Precio por litro	Consumo (l)	Costo
Precio diésel 15/01/2022	\$0,95	4 110 833,86	\$3 924 561,70

Fuente: Elaboración propia (2022)

Costo de los cambios de aceite a motores de diésel

Los cambios de aceite del motor son una parte importante del mantenimiento de rutina de un vehículo y representan un costo importante en la operación.

Para saber con exactitud la frecuencia de los cambios de aceite en el motor, se consideró la experiencia de los talleres de mantenimiento de las Compañías: Carbachez e Hijos E.I.R.L. y Grupo ATD. Ambas compañías dedicadas al transporte público. De esta manera, mediante una entrevista realizada, se determinó la frecuencia para el cambio de lubricantes y filtros basada en la experiencia.

Según mecánicos de ambas compañías el reemplazo de lubricante y filtro debe realizarse cada 10 000,00 km.

De acuerdo con la **Tabla 3**, en promedio cada autobús de la empresa recorre 159,69 km al día, por consiguiente 49 784,95 kilómetros al año. Considerando lo anterior, se establecen cambios de aceite cada 2,5 meses, cuando la unidad tenga un recorrido cercano a los 10 000,00 km.

De manera que un autobús requiere de 4,97 reemplazos de aceite durante un año de operación, por lo que se redondea a cinco cambios, como lo presenta la **Tabla 10**.

El costo del lubricante, el filtro y la mano de obra es de \$308,17, de acuerdo con lo indicado por las compañías antes mencionadas. Según lo anterior, la empresa tiene un costo anual de \$254 237,29 en cambios de lubricantes.

Es importante indicar que el costo total considera las reposiciones o rellenos de aceite, que con frecuencia son necesarios entre cambio y cambio.

Tabla 10. Costo de cambios y reposición de lubricantes para flota de diésel

Costo en consumo de lubricantes para flota de autobús diésel			
Frecuencia de cambio por unidad	2,5 meses		
Kilómetros realizados para el cambio	10 000,00		
Cambios requeridos al año por unidad	5,00		
Flota de autobuses	165,00		
Descripción	Costo aproximado por cambio	Costo anual por autobús	Costo anual por la flota
Cambios y reposiciones de lubricante. Total, de elementos de filtración requeridos.	\$308,17	\$1 540,83	\$254 237,29

Fuente: Elaboración propia (2021)

Costo de mantenimiento mecánico y eléctrico para autobuses de diésel

Todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos deben ser revisados antes de una jornada de trabajo. Cualquier desperfecto o pieza dañada debe ser reparada o cambiada, con la finalidad de prevenir cualquier incidencia.

Entre las revisiones más importantes se encuentra: verificación de la presión en los neumáticos, inspección de filtros de aceite, aire y combustible, inspección de sistema de frenado, sistema de amortiguación y sistema eléctrico.

Grupo ATD cuenta con su propio taller y personal especializado de mantenimiento en el plantel de Desamparados. La experiencia del personal es un factor muy importante para responder con prontitud a las necesidades diarias, además de cronogramas de trabajo bien establecidos, para realizar las funciones que se puedan programar.

Las labores preventivas y correctivas del mantenimiento que los autobuses requieren tienen un costo de \$385 362,10 anuales, como lo indica la **Tabla 11**.

Es importante indicar que las funciones de mantenimiento son basadas en experiencia y además se consideran recomendaciones de diferentes fabricantes de vehículos. Según lo anterior, se establece un promedio de horas anuales requeridas para dicha labor y un costo por hora.

Tabla 11: Costos de mantenimiento flota de diésel

Costo de mantenimiento para flota de autobuses diésel		
Flota de autobuses		165,00
Horas de trabajo estimadas al año		30 000,00
Mantenimiento	Funciones	Costo anual estimado
Preventivo	Revisión de neumáticos, filtros de aceite, de aire, de combustible; revisión sistema de frenos; sistema de amortiguación y sistema eléctrico.	\$88 751,93
Correctivo	Reparaciones mayores, cambio de partes dañadas, reparaciones en carrocería derivadas de siniestros.	\$296 610,17
Costo total de mantenimiento		\$385 362,10

Fuente: Elaboración propia (2021)

En general, la edad de la flota está directamente relacionada con la cantidad de reparaciones que deben llevar a cabo, se puede decir que el envejecimiento aumenta el costo de mantenimiento cada año.

Autobuses de eléctricos

En el año 2020 el gobierno de Costa Rica recibió de la embajada de Alemania, una donación por tres buses eléctricos, con el fin de ejecutar una prueba piloto en el país para la electrificación del transporte público.

Dicha donación fue ejecutada por medio de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ), que se encargó de realizar una licitación internacional para la adquisición de los autobuses; esta fue ganada por la marca BYD, fabricante de vehículos eléctricos.

Uno de los puntos fundamentales del plan piloto fue la selección de las empresas autobuseras, que se realizó bajo una serie de criterios, como el acceso a la red eléctrica para los

cargadores, además de disponer de una flota de más de 10 unidades y un recorrido sin pendientes pronunciadas.

Una vez que fueron seleccionadas las empresas, estas se comprometieron a abrir al público los datos e información obtenida en dicho proyecto, además de monitorear los buses diésel y eléctricos, que brindaron servicio en una ruta, bajo las mismas condiciones.

De conformidad con los anteriores criterios, las rutas de transporte público seleccionadas fueron:

- Ruta San José-Desamparados-San Rafael operada por Grupo ATD.
- Ruta San José-La Unión de TransPlusa.
- Ruta San José-Alajuela (por el INVU) de TUASA.

Cada empresa de transportes seleccionada contó con los autobuses eléctricos por un periodo de cuatro meses y únicamente cubrió el costo del consumo eléctrico.

El sistema de abastecimiento de carga, la instalación eléctrica y la capacitación requerida fueron suplidos por La Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), sin costo alguno.

En general las instituciones involucradas en este plan piloto fueron: Casa Presidencial, MINAE, MOPT, Consejo de Transporte Público (CTP), ICE, ARESEP, con el aporte de la Cooperación Alemana GIZ.

Grupo ATD inicia prueba piloto con autobuses eléctricos

Rápidamente la compañía se entera de la donación de autobuses eléctricos recibida por Costa Rica y desde el año 2018 se muestra mucho interés en participar en dicho proyecto.

Al contar con la capacidad empresarial y cumplir con todos los criterios y requisitos establecidos, en marzo del 2019 se le comunica a la compañía que ha sido seleccionada para la utilización de dos autobuses eléctricos; fueron los primeros, de manera gratuita y por un periodo de cuatro meses consecutivos.

La ruta seleccionada debe ser en el GAM (Gran Área Metropolitana), por lo que se establece la ruta San José-Desamparados-San Rafael Arriba, que tiene una distancia de 16 kilómetros aproximadamente entre la salida y el regreso, como se aprecia en la **Figura 9**.

Además de los dos autobuses eléctricos se dispuso de otros dos autobuses diésel propiedad de la compañía; de manera que las cuatro unidades operaron en condiciones similares y fueron monitoreadas constantemente, para la obtención de datos e información.

Los datos recolectados básicamente correspondieron a:

- Valores de consumo de energía.
- Capacidad y alcance de la batería.
- Tiempos requeridos de carga.
- Costos de operación.

Los vehículos eléctricos iniciaron operaciones en Desamparados, el 23 de febrero de 2021 y finalizaron el 23 de junio del 2021.

Todos los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto y de gran importancia para el avance de esta investigación, fueron propiciados por el Grupo ATD.

Se considera la información obtenida de gran importancia e idónea para su análisis, por brindar datos reales de operación en áreas urbanas de Costa Rica; de ello no existían, anteriormente, referencias exactas.

La recolección y obtención de la información se realizó mediante visitas al plantel de la empresa en Desamparados, además de entrevistas realizadas a los servidores de la empresa autobusera y de las instituciones gubernamentales involucradas en el proyecto.

Figura 9: Autobús eléctrico cubriendo ruta San José - Desamparados - San Rafael



Fuente: (Lara, 2021)

Características de buses eléctricos considerados en la investigación.

Esta investigación científica, parte de los datos obtenidos y brindados por Grupo ATD, durante el desarrollo del plan piloto entre febrero y junio del 2021

En Costa Rica existe muy poco conocimiento en la utilización de tecnología eléctrica para el transporte público; por tanto, el plan piloto se convierte en la única opción para la obtención de datos en condiciones reales de operación.

A continuación, una breve descripción de los vehículos eléctricos que recorrieron la ruta San José-Desamparados-San Rafael, basada en el manual del usuario que ofrece la marca BYD, para el modelo específico.

El modelo K9FE cuenta con batería de hierro de alta densidad. Está creado para movilizar pasajeros de manera segura y cómoda bajo las normas y leyes de los diferentes países.

Las grandes comodidades del vehículo lo califican como uno de los autobuses de locomoción colectiva con más confort y tecnología. Dentro de las comodidades se puede encontrar el sistema de suspensión neumática, que logra ajustar la altura del vehículo cuando sea necesario. Está equipado para transportar 80 pasajeros y satisfacer las necesidades y preocupaciones de las

personas que ocupan el transporte público a diario, cuenta con aire acondicionado, puertos USB en cada uno de los asientos, rampa para minusválidos, entre otras cosas.

En cuanto a desempeño, los buses ofrecen una autonomía de 250 kilómetros, que son complementados por la carga adicional que otorga el sistema de carga de los frenos, que puede ser hasta un 35% de carga adicional, en el mejor de los casos.

Los diferentes hábitos de la conducción, como la aceleración y deceleración, las bajas temperaturas, situaciones especiales de tráfico, entre otras situaciones, afectan el rendimiento o autonomía del autobús, además, las operaciones de carga y descarga de batería, son primordiales para mantener su rendimiento.

Las baterías de energía se encuentran en dos posiciones, en la suspensión trasera y el techo del vehículo. Son cargadas mediante un gabinete y, durante el frenado y deslizamiento, por inercia del vehículo; se pueden cargar también por el motor.

La vida de la batería depende de su uso correcto, como también de las horas de carga y descarga empleadas para esta función; es esencial tener un buen plan de mantenimiento.

Están garantizadas por el fabricante para funcionar por ocho años o 500 000 km al 100%; después continúan funcionando, pero con menor autonomía. Además, es necesario cargar con prontitud el vehículo, cuando se encuentre abajo del 20%; en complemento se adjunta información brindada por ingeniero del ICE involucrado en el proyecto (ver **Anexo F**).

El vehículo posee dos motores eléctricos de tipo sincrónico, que no poseen escobillas, ya que funciona a base de electromagnetismo, funcionan con corriente alterna y convierten la energía eléctrica en energía mecánica.

El cargador de las baterías que se encuentra en el vehículo se compone de dos pistolas de carga que se conectan con los dos puertos de carga de corriente alterna (ver, **Figura 10**).

Según el fabricante, los costos operacionales se reducen notablemente en un 70% con respecto a los buses convencionales diésel; por el solo hecho de ser un motor eléctrico tiene un increíble bajo costo por kilómetro. La vida útil del autobús puede ser en promedio de hasta 20 años; hay que considerar que en esa cantidad de tiempo habrá que cambiar por lo menos una vez las baterías.

Figura 10: Cargador doble instalado en plantel de Grupo ATD



Fuente: Elaboración propia (2021).

A continuación, la **Tabla 12**, brinda un resumen del modelo de autobús K9FE con todas las especificaciones técnicas brindadas por el manual del fabricante. Además de las especificaciones del centro de carga con que fueron suplidos los vehículos.

Tabla 12. Ficha técnica autobús eléctrico marca BYD

Autobús BYD modelo piloto utilizado en Costa Rica	
Modelo.	K9 -FE 2021 12m
Capacidad.	80 pasajeros (33 sentados)
Motor.	Doble síncrono de imán permanente
Máxima potencia de salida [kW].	150 (x2)
Máximo torque de salida [N·m].	550 (x2)
Chasis.	BYD-2912TZ-XY-A
Año.	2021
Capacidad de las dos baterías.	270 KWH
Autonomía.	250 Km
Tiempo de carga.	3-4 horas (de 0 a 100%)
Tipo de batería.	BYD Iron-Phosphate Battery
Cargador.	Tipo AC estándar europeo, marca BYD
Centro de carga	
Modelo.	EVA080KS/01
Voltaje de alimentación.	480V, corriente alterna
Corriente de alimentación.	96 A
Potencia requerida.	80 KW
Frecuencia.	60 Hz
Voltaje de salida.	480V, corriente alterna
Corriente de salida.	80 KW
Potencia de salida.	60 Hz

Fuente: Elaboración propia (2021)

Resultados de prueba piloto realizada en ruta San José-Desamparados-San Rafael

La CNFL brindó a Grupo ATD la instalación de todos los requerimientos para la colocación de los cargadores en su plantel en Desamparados. Se colocaron tres transformadores, posteriormente la acometida trifásica y la instalación de dos cargadores. La compañía autobusera únicamente cubrió el gasto del consumo eléctrico.

Una vez que el sistema de carga estuvo listo, los vehículos empezaron a operar, junto con otros ocho autobuses diésel, en igualdad de condiciones. La prueba piloto empezó el 23 de febrero de 2021 y finalizaron el 23 de junio del mismo año.

Para la recolección de datos e información, cada autobús eléctrico se dotó con un sistema de monitoreo y un odómetro o medidor de distancia recorrida. Se controló la hora y el porcentaje de carga con que se inició la jornada y, de igual manera al finalizar esta. Además, se determinaron los minutos necesarios para la recarga y de igual manera la cantidad de KWh utilizados durante el día.

El recorrido diario de cada unidad fue de 159,69 km en promedio, 10 carreras al día, con un consumo de 158 KWh (ver **Tabla 13**).

La jornada dio inicio todos los días a las 04:00 de la mañana y se completó a las 20:00 horas, momento en que el autobús regresa al plantel para ser cargado durante la noche y madrugada, el tiempo promedio requerido, para completar las cargas al 100% fue de 1,6 horas.

Tabla 13. Datos obtenidos en prueba piloto con autobuses eléctricos

Datos obtenidos en prueba piloto con autobuses eléctricos.	
Días de operación por semana.	6,00
Horas de operación al día.	18,00
Promedio de Km recorridos al día.	159,69
Promedio de Consumo diario en KWh.	158,00
Jornada.	De las 04:00 a las 20:00 horas
Costo del KWh (tarifa ARESEP).	\$0,09
Costo energía total por día de trabajo.	\$13,90
Km por KWh.	0,95
Tiempo promedio para cargar batería al 100%.	1,6 horas

Fuente: Elaboración propia (2021).

Este informe revela datos reales de operación en el GAM. Toda la información obtenida para la investigación fue por medio de una visita en marzo del 2021 al plantel de Grupo ATD en Desamparados, donde se realizó una entrevista al personal de los departamentos de Servicios Generales y Gestión Ambiental.

Posteriormente y una vez que se concluyó la prueba se obtuvo acceso a los resultados finales, para complementar la información.

Estimación de ingresos y costos con autobuses eléctricos

La tecnología de autobuses eléctricos se analiza al considerar el informe del plan piloto y someterla a condiciones de operación de la actual flota de vehículos de diésel.

Se parte del supuesto que el 100% de la operación de Grupo ATD, son con vehículos eléctricos. Lo anterior permite la obtención de ingresos y costos.

Se mantienen condiciones, tales como tamaño de la flota, rutas, horarios, velocidad, jornadas, cantidad de usuarios y tarifas.

Al no presentarse variante en el número de usuarios y tarifas, los ingresos que percibe la empresa por concepto de cobro de pasajes se mantienen, según lo establecido en la **Tabla 5**.

El uso de tecnología eléctrica hace que cambien los costos adquisitivos y de operación al presentarse variantes, como por el ejemplo: precio de autobuses y equipo requerido, el costo del consumo eléctrico, reducción de mantenimientos, entre otros.

Costos con autobuses eléctricos

Adquisición de flota de autobuses eléctricos

Dada la anterior explicación, se utiliza el modelo de autobús eléctrico K9FE de la marca BYD, como vehículo de referencia para reemplazo de la flota de 165 autobuses con tecnología a diésel.

La **Tabla 14**, brinda una descripción técnica de las unidades eléctricas que conformarán la flota vehicular.

Tabla 14. Descripción técnica de flota de autobuses eléctricos

Características de flota de autobuses eléctricos			
Modelo	Motor	Año	Cantidad
BYD, K9 -FE 2021 12m	Doble motor síncrono de imán permanente, potencia de salida 150 (x2) kW, máximo torque de salida 550 (x2) N·m	2021	165,00

Fuente: Elaboración propia (2021).

Costo actual de la flota de autobuses eléctricos

La información ofrecida por el distribuidor en Costa Rica de la marca BYD, indica que el precio del modelo K9FE, es de \$380 000,00, para abril de 2021, dicho precio no incluye el cargador. Se adjunta información brindada por distribuidor (ver **Anexo G** y **Anexo H**).

De acuerdo con lo anterior, el costo adquisitivo de una flota compuesta de 165 autobuses eléctricos se estima en \$62 700 000,00, según lo expuesto en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Costo de flota de autobuses eléctricos

Costo de flota de autobuses eléctricos, año 2021			
Flota de vehículos	Características	Costo unitario de autobús	Costo total de la flota
165,00	Urbano, modelo BYD, K9 -FE 2021 12m, marca BYD, Doble motor síncrono de imán permanente.	\$380 000,00	\$62 700 000,00

Fuente: Elaboración propia (2021).

En general, la vida útil de un autobús eléctrico es de 20 años y la vida útil de las baterías es de aproximadamente la mitad es decir unos 10 años en promedio; posteriormente se detallará este punto.

Costo de estación de carga o centro de carga, requerido

El centro de carga es el conjunto de equipos necesarios para conectar el autobús eléctrico a una red de suministro de energía eléctrica en baja tensión.

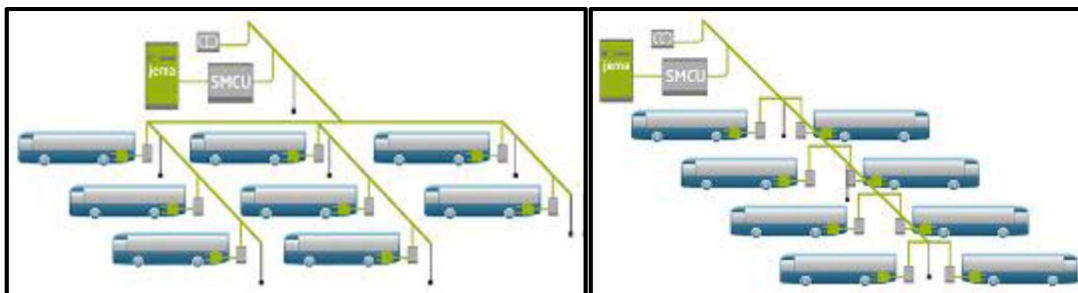
Actualmente, los autobuses eléctricos se cargan utilizando el método de carga rápida, mediante una toma de corriente alterna, con un tiempo de entre 3 y 4 horas, para lograr una carga de 0 a 100%.

El modo de carga depende de la comunicación entre el autobús eléctrico y la infraestructura de carga. La red de distribución se conecta con el autobús eléctrico, al utilizar un cargador externo y un cable conector. El cargador externo requiere un enlace de comunicación que informe del estado de la batería y la carga.

El dimensionamiento o diseño de un sistema de carga debe ser óptimo, para lograr controlar la carga y reducir los cargos por potencia. También se debe optimizar el número de cargadores por instalar, al utilizar la menor cantidad posible. De esta manera se divide la flota total de vehículos en grupos similares, para que cada grupo pueda ser cargado al mismo tiempo.

Una adecuada logística que contemple horarios de carga y agrupe los autobuses eléctricos de manera eficiente, permite reducir el número de cargadores requeridos, como se aprecia en la **Figura 11**, donde en conjunto una cantidad de unidades recibe la carga requerida, también es importante un espacio físico adecuado donde se pueda realizar dicha operación.

Figura 11: Formas para optimizar la cantidad de cargadores eléctricos requeridos en un proyecto



Fuente: (Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público, Recargas de buses: experiencias y recomendaciones, 2021)

Componentes requeridos en la instalación eléctrica para una estación de carga

En Costa Rica no se dispone de centros de carga para abastecer a flotas grandes de autobuses eléctricos. Únicamente se han elaborado un par de estaciones provisionales, para realizar el plan piloto de electrificación del transporte público, construidas por ICE y CNFL.

Para el montaje de una estación de carga es necesario algunas condiciones existentes, como presencia de red trifásica en el área del proyecto y disponibilidad de potencia en el circuito (ver **Figura 12**).

La instalación eléctrica de la infraestructura de carga para una flota de autobuses en general está compuesta de los siguientes elementos:

- Acometida.
- Equipo de seccionamiento.
- Equipo de transformación.
- Distribución en baja tensión.
- Puesta a tierra.
- Cargadores.

Figura 12: Infraestructura de carga, correcta instalación



Fuente: (Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público, Recargas de buses: experiencias y recomendaciones, 2021)

La **Figura 12** indica cómo está estructurada la alimentación eléctrica de un cargador de vehículos. Inicia desde el posteo o red trifásica disponible, pasa por el transformador, hasta llegar al cargador que se conecta finalmente a los vehículos.

Estación de carga requerida

Con el supuesto de que los 165 autobuses que utiliza la empresa son eléctricos, es importante considerar la potencia nominal de cada cargador, que se utilizará y, de esta manera, obtener la potencia requerida por instalar.

De acuerdo con lo anterior, será posible estimar elementos importantes de la instalación eléctrica, como el transformador y analizar si existen condiciones en el sitio del proyecto, por parte de la compañía de distribución eléctrica.

El presente trabajo, estima un costo inicial para una estación de carga, basado en una entrevista realizada al ingeniero eléctrico Alexander Barrantes Muñoz, con experiencia en proyectos similares y otra entrevista hecha al ingeniero Gerardo Guadamuz Madrigal funcionario de la Gerencia Eléctrica de Distribución y Comercialización del ICE; además, la investigación para obtener precios de materiales y equipos eléctricos.

Es importante dejar claro que esta pesquisa científica no pretende diseñar o dimensionar una estación de carga con todos sus elementos eléctricos. Únicamente se desea obtener un costo

aproximado de inversión, para poder considerarlo en los resultados finales y establecer la conveniencia de migrar a otras tecnologías. Por consiguiente, la investigación queda abierta para futuros proyectos en los que se continúe trabajando en esta línea específica y puedan servir para retomar posteriormente la misma o como opción a trabajos futuros de otras investigaciones.

La previsión de la demanda se realiza al utilizar la **Figura 13**, donde se indica voltajes y corrientes requeridos por cada cargador. El modelo EVA080KS/01 enmarcado de color amarillo, es el utilizado en plan piloto.

Figura 13: Ficha técnica de cargadores para autobuses eléctricos

1.2 Technical index		Table 1.2 Technical index							
Model	EVA080KI01/03/04	EVA020KS/01	EVA040KI/01	EVA040KG/01	EVA040KS/01	EVA080KI/01	EVA080KG/01	EVA080KS/01	
E L E C T R I C S	Rated input voltage	AC380V/400V Three phase	AC208V/220V Three phase	AC380V/400V Three phase	AC380V/400V Three phase	AC480V Three phase	AC380V/400V Three phase	AC380V/400V Three phase	AC480V Three phase
	Operating voltage range	AC342V-440V	AC189V-242V	AC342V-440V	AC342V-440V	AC432V-528V	AC342V-440V	AC342V-440V	AC432V-528V
	Input current	≤126A	≤63A	≤63A	≤63A	≤48A	≤126A	≤126A	≤96A
	Input power	≤80KW	≤20KW	≤40KW	≤40KW	≤40KW	≤80KW	≤80KW	≤80KW
	Operating frequency	50Hz/60Hz	60Hz	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	60Hz	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	60Hz
	Output voltage	AC342V-440V Three phase	AC189V-242V Three	AC342V-440V Three phase	AC342V-440V Three phase	AC432V-528V Three phase	AC342V-440V Three phase	AC342V-440V Three phase	AC432V-528V Three phase
	Output current	≤126A	≤63A	≤63A	≤63A	≤48A	≤126A	≤126A	≤96A
	output power	≤80KW	≤20KW	≤40KW	≤40KW	≤40KW	≤80KW	≤80KW	≤80KW
	Standby power consumption	<10W							
	Output interface standard	IEC62196	IEC62196	IEC62196	GB/T20234	IEC62196	IEC62196	GB/T20234	IEC62196
P H	Product size	400*200*690 (Length* Width* Height (mm))							

Fuente: (Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público, Recargas de buses: experiencias y recomendaciones, 2021)

Para lograr la optimización de los cargadores y utilizar la menor cantidad posible, son necesarias diez estaciones de carga, cada una dotada de seis cargadores, para un total de 60 puntos de carga.

Grupo ATD especifica que la franja horaria disponible para realizar la carga total de autobuses es entre las 21 y las 04 horas, de manera que el tiempo con que se dispone para dicha operación, es de 7 horas diarias.

De acuerdo con la **Tabla 13**, el consumo de cada autobús fue de 158 KWh al día, y se necesitó de 1,6 horas (1 hora y 36 minutos), para recuperar la carga al 100 %.

Considerando lo anterior, los 165 vehículos se dividen en tres grupos de 55 para someterse a carga y quedan cinco cargadores libres, como respaldo para eventualidades.

De manera que los tres grupos estarán cargados al 100% en 4,8 horas (4 horas y 48 minutos); queda un espacio de tiempo adecuado para cualquier problema o atraso que se presente.

El análisis de estos datos permite realizar la carga de la flota según la logística planteada en este apartado.

Es importante indicar que se consideran condiciones existentes de presencia de red trifásica en el área y disponibilidad de potencia en el circuito. El centro de carga se ubica en Desamparados, en el plantel de la compañía.

Mediante la **Ecuación 4** es posible calcular la potencia nominal o aparente (S), como se detalla a continuación:

Ecuación 6: Potencia aparente (S)

$$S = \sqrt{3} \times U \times I$$

Fuente: (Bosques, 2019)

Donde:

- S = Potencia aparente
- U = Voltaje nominal
- I = Corriente nominal

De acuerdo con lo anterior, se determina el cálculo de la potencia, ya que se conocen los valores de U y I, según lo indicado en la **Figura 13**.

$$S = \sqrt{3} \times 480 \times 96$$

$$S = 79,81 \text{ KVA}$$

El anterior resultado de potencia obtenido se multiplica por 60, que es el número de cargadores que se instalarán.

$$S = 79,81 \text{ KVA} \times 60$$

$$S = 4788,66 \text{ KVA}$$

De acuerdo con el anterior cálculo y redondeando el valor, la estación de carga, necesita un equipo de transformación de 5 MVA, tamaño estándar que se puede conseguir en el mercado; en complemento, se adjunta la ficha técnica brindada por un fabricante de transformadores (ver **Anexo I**).

En la **Tabla 16** se brinda un resumen con la información general del diseño óptimo de la estación, de manera que se logre controlar la carga y reducir los cargos por potencia, además de utilizar la menor cantidad de cargadores que la aplicación permita.

Tabla 16. Datos técnicos del centro de carga requerido

Centro de carga para autobuses	
Estaciones de carga.	10
Cargadores por estación.	6
Total, de puntos de carga.	60
Tiempo de utilización.	Entre las 21 y 04 horas
Capacidad de autobuses.	55
Tiempo estimado para la carga.	1,6 horas
Potencia nominal. (total)	4788,66 KVA

Fuente: Elaboración propia (2021).

El costo de construcción de la estación de carga es de \$1 445 000,00 y se detalla en la **Tabla 17**. Se toma como referencia las recomendaciones de ingenieros con experiencia en el campo; esta información se obtuvo por medio de entrevistas.

Los equipos en general son los que tienen un mayor costo, como es el caso del transformador tipo pedestal de 5 MVA, con un precio en el mercado de \$200 000,00 para diciembre del año 2021, se utiliza como precio de referencia \$220 000,00; se consideran todos los gastos de transporte demandados. Se adjunta precio e información ofrecida por el distribuidor (ver **Anexo J**).

De igual manera al ser requeridos 60 cargadores, cada uno tendría un costo de \$15 000,00 para el año 2021. Se adjunta información indicada por el distribuidor de la marca BYD (ver **Anexo H**). La adquisición de estos equipos, demanda uno de los mayores rubros de toda la instalación, valorado en \$900 000,00.

Tabla 17. Costo de construcción de centro de carga para autobuses eléctricos

Costo construcción de centro de carga para autobuses eléctricos e infraestructura requerida	
Estaciones de carga.	10,00
Cargadores por estación.	6,00
Capacidad de autobuses.	55-60
Descripción	Costo
Acometida, equipo de seccionamiento, puesta a tierra, protecciones, gabinetes y otros.	\$150 000,00
Equipo de transformación (5 MVA).	\$220 000,00
Distribución en baja tensión.	\$75 000,00
Cargadores (60 unidades).	\$900 000,00
Ingeniería, obra civil, instalación y puesta en marca.	\$100 000,00
Costos totales por centro de carga y de la infraestructura	\$1 445 000,00

Fuente: Elaboración propia (2021).

Costo de la batería, para autobús eléctrico

El modelo K9FE cuenta con batería de hierro de alta densidad de energía, (Iron-Phosphate Battery). Están garantizadas para funcionar por 8 años o 500 000,00 Km al 100%; posteriormente continúan funcionando, pero a menor autonomía.

Es difícil estimar con exactitud la vida útil de una batería, ya que esta depende mucho del correcto uso, como también de las horas de carga y descarga; además, factores externos como altas temperaturas, pueden degradarla.

En consecuencia, será necesario el reemplazo de la batería al menos una vez, durante los 20 años de vida útil que tiene el autobús. Es muy importante tener siempre un correcto plan de mantenimiento para alargar la duración de dicha batería.

Partiendo de lo anterior y basándose en el uso diario que tiene el parque automotor de la compañía, como lo presenta la **Tabla 3**, cada unidad recorrerá en promedio 159,69 Km por día,

según lo anterior 497 849,54 km en 10 años. Consecuentemente se establece que luego de 10 años de utilización del autobús eléctrico, es requerido un reemplazo de batería.

Para el año 2021 el precio de la batería corresponde a \$100 000,00 que es el juego requerido para equipar un autobús. En complemento se adjunta información brindada por el distribuidor (ver **Anexo H**).

La **Tabla 18**, indica el costo que debe incurrir la empresa autobusera después de 10 años de operación con las unidades eléctricas, para la compra de baterías nuevas.

Tabla 18. Costo de baterías para flota de buses eléctricos

Costo de baterías requeridas para flota de autobuses eléctricos		
Cambio requerido	después de 10 años.	
Kilómetros realizados por autobús.	497 849,54	
Cantidad de baterías requeridas para la flota.	165,00	
Descripción	Precio unitario	Costo total
Conjunto de batería completo BYD, de hierro de alta densidad de energía (Iron-Phosphate Battery).	\$100 000,00	\$16 500 000,00

Fuente: Elaboración propia (2021).

Las baterías reemplazadas de un vehículo pueden emplearse en otros usos, por ejemplo: respaldo de energía, proporcionar energía a edificios y hogares o suministrar energía para el alumbrado público; sin embargo, la investigación relacionada con la reutilización no está muy avanzada.

Costo de la energía total consumida

Al tomar en consideración la **Tabla 4**, que ofrece la información de los recorridos realizados en el año 2019 y la **Tabla 13**, donde se indica que cada vehículo eléctrico consumió en promedio 158 KWh al día, durante un recorrido promedio de 159,69 km, es posible determinar la energía demandada por la flota, en una operación anual y que según la **Tabla 19**, corresponde a 7 388 712,00 KWh.

Además, se establece una relación 1,01 entre los kilómetros recorrido y KWh consumidos; este dato se puede considerar como el rendimiento.

Tabla 19. Kilómetros recorridos vs. consumo eléctrico

Promedio de kilómetros recorridos y consumo eléctrico de la flota				
	Día	Semana	Mes	Año
Kilómetros realizados.	23 953,58	143 721,49	622 314,04	7 467 768,46
Consumo de KWh.	23 700,00	142 200,00	615 726,00	7 388 712,00
Relación km/KWh Grupo ATD.	1,01	1,01	1,01	1,01

Fuente: Elaboración propia (2021).

En Costa Rica el precio del KWh para autobuses está establecido por la ARESEP y corresponde a \$0,09 por KWh, dicha tarifa es únicamente para transporte público. Fue fijada mediante la resolución número RE-0112-IE-2020 del 5 de noviembre de 2020 y aplica para todo el país. Adjunta información brindada por la autoridad reguladora (ver **Anexo K**).

En la **Tabla 20** se presenta el costo del consumo anual, correspondiente \$658 980,75, además de una relación por kilómetros recorrido de \$0,09.

Tabla 20. Costo del consumo eléctrico

Costo del consumo anual de energía eléctrica.			
Kilómetros realizados.	7 467 768,46		
Costo del kilómetro.	\$0,09		
	Precio por KWh	Consumo (KWh)	Costo
Precio energía (ARESEP).	\$0,09	7 388 712,00	\$658 980,75

Fuente: Elaboración propia (2021).

Costo del mantenimiento de buses eléctricos

El mantenimiento de un vehículo eléctrico es más simple que un autobús convencional de diésel, ya que la fuerza motriz o sistema de propulsión son motores eléctricos.

El sistema de frenado sufre muy poco desgaste, debido a que los vehículos eléctricos aprovechan el sistema de frenado para la regeneración; sin embargo, las pastillas se deben cambiar con frecuencia, dependiendo el uso.

El líquido refrigerante de las baterías es fundamental en este tipo de vehículos y debe reemplazarse cada 80.000 kilómetros.

En cuanto a lubricación, utiliza aceite en muy pequeñas cantidades, la revisión de los sistemas eléctricos debe ser periódica, para verificar que todo esté bien y el mantenimiento de carrocería, sistema de suspensión y llantas es igual a uno de diésel

En algunos países como Colombia donde está muy desarrollado el tema del transporte eléctrico, el concesionario se hace cargo de los aspectos mecánicos del vehículo, mientras que los asuntos mayores relacionados con el sistema eléctrico recaen sobre el proveedor de buses, pues el servicio técnico debe ser certificado por la marca, para efectos de garantía.

En general el mantenimiento es un aspecto fundamental para garantizar la operación de la flota eléctrica.

Según el Manual del Usuario, para el bus eléctrico modelo K9FE, los costos operacionales se reducen notablemente en un 70% con respecto a los vehículos de diésel.

Haciendo referencia a la **Tabla 11** se establece una relación de manera tal, que se reduce el costo según lo indicado por fabricante y como lo muestra la **Tabla 21**, el costo anual del mantenimiento es de \$115 608,63.

Tabla 21. Costo anual del mantenimiento de flota de autobuses eléctricos

Costo de mantenimiento para flota de autobuses eléctricos		
Flota de autobuses eléctricos		165,00
Costo del mantenimiento anual para flota de autobuses diésel.	Reducción de costos, según el fabricante.	Costo del mantenimiento anual para flota de autobuses eléctricos.
\$385 362,10	70%	\$115 608,63

Fuente: Elaboración propia (2021).

Autobuses accionados por gas licuado de petróleo (GLP)

La importancia creciente de aspectos energéticos y medioambientales relacionados con la actividad del transporte produce un gran interés en actividades que conlleven al ahorro energético; tal objetivo ha aumentado la búsqueda y utilización de energías alternativas y que contaminen menos, de manera que sean respetuosas con el medio ambiente.

Algunas compañías de transporte público han tenido experiencias implementadas desde hace muchos años con el uso de GLP para la propulsión de motores en autobuses urbanos; como es el caso de la empresa española AUVASA, que desde el año 1993 implementó oportunas transformaciones en los vehículos con resultados positivos como la reducción de las emisiones contaminantes y sonoras, entre otras.

El plan resultó viable y por consecuencia se decide la incorporación de este combustible a la flota. Se fueron sumando unidades hasta llegar a 100 autobuses, todos del reconocido fabricante MAN.

En la última década, el sector del transporte registra un aumento en el número de vehículos propulsados por GLP. Existe la necesidad de eliminar ciertas barreras tecnológicas para alcanzar su pleno desarrollo y poder ser más competitivo, tanto en flotas, como vehículos particulares.

Los tabúes relacionados con el uso de este combustible han ido desapareciendo y las nuevas tecnologías han permitido el diseño y desarrollo de un motor 100 % eficiente, como es el caso del motor de la serie AVG, fabricado por la empresa española BEGAS.

Este nuevo motor cuenta con un sistema de inyección optimizado y corresponde a la primera familia de motores EURO 6 D alimentado desde el tanque al inyector por GLP.

La propulsión de este combustible alternativo en fase líquida no penaliza las prestaciones del motor (capacidad de aceleración y deceleración); se obtiene un rendimiento óptimo en aplicaciones de transporte urbano y camiones.

El diseño ofrece una vida útil superior para los rodamientos y los anillos de los pistones, un mejor flujo del refrigerante y un enfriamiento dirigido a los pistones para lograr una mayor fiabilidad y durabilidad. En general mantenimiento y vida útil es similar a la de un motor diésel; en complemento se adjunta la ficha técnica brindada por el fabricante (ver **Anexo L**).

Figura 14: Autobús tipo urbano propulsado por motor de GLP



Fuente: (Begas Motor, S.L., 2020)

El sector del transporte está registrando un aumento en el número de vehículos propulsados por GLP, gracias a incitativas y desarrollos como la de la empresa BEGAS, (ver **Figura 14**).

Debido a lo anterior, se considera en esta investigación el motor AVG, apto para su desarrollo, por ser una tecnología de mejora, eficiente y que es propulsada 100 % con combustibles alternativos. El motor ha sido probado y es utilizado por empresas fabricantes de autobuses y camiones, principalmente en Europa.

Pruebas con autobuses propulsados por GLP en Grupo ATD

Al no existir referencias en Costa Rica de pruebas piloto hechas con GLP, como combustible en autobuses de uso urbano, es necesario recurrir a información existente en otros países con experiencias implementadas en el uso de este combustible en sus flotas.

Tal es el caso de la compañía BEGAS ubicada en España y fabricante del motor AVG, que opera eficientemente con GLP. Al ser una tecnología probada y utilizada con resultados eficientes, es la única referencia que esta exploración científica utiliza.

De igual manera que con la tecnología eléctrica, en la sección anterior, se parte del supuesto de que el 100% de la operación de Grupo ATD, es con vehículos propulsados con GLP.

Al mantenerse condiciones de operación similares, no habrá variante alguna en los ingresos percibidos por pasajes, como lo describe la **Tabla 5**.

El cambio se percibe en algunos costos de operación y varían con el cambio de tecnología; por ello, a continuación, se procede con el cálculo de estos.

Costos con autobuses propulsados por GLP

Adquisición de flota de autobuses accionados con GLP

En Costa Rica existe el desconocimiento de la utilización de este combustible alternativo, en el transporte público colectivo, específicamente en autobuses.

Las agencias de vehículos nuevos no ofrecen opciones y desconocen de esta tecnología. En consecuencia, se toma como antecedente la información brindada por la empresa BEGAS y UNVI; esta última fabricante de autobuses españoles y que ha implementado el motor AVG en sus diseños.

Las características que describe la **Tabla 22**, corresponden al modelo urbano que sustituye a la actual flota de diésel y que ofrece características muy similares, para no afectar la operación.

Tabla 22. Ficha técnica de autobús propulsado por GLP, marca UNVI con motor BEGAS

Autobús UNVI, con motor BEGAS serie AVG de GLP	
Modelo	UNVI, urbano, de 12 metros
Nº Cilindros.	V8
Capacidad.	95 pasajeros (sentado y de pie, 40/60%)
Motor.	Marca BEGAS, serie AVG
Máxima potencia (kW / HP).	236 / 321
Par máximo (Nm / FT-LB).	1138 / 814
Chasis.	UNVI
Año.	2021
Suspensión.	neumática integral
Caja de cambios.	automática
Especificaciones.	standard europeo
Ciclo termodinámico.	GLP 4 tiempos

Fuente: Elaboración propia (2021).

Es importante destacar que, al no existir información de unidades ofrecidas para el mercado costarricense, la versión ofrecida es el standard europeo, con características como plataforma central rebajada, suspensión neumática integral, caja de cambios automática, puertas automáticas y rampa para viajero en silla de ruedas, aire acondicionado y calefacción, además de butacas fijas entre otras comodidades

Costo actual de la flota de autobuses propulsados por GLP

Se tiene como dato, que el costo de un autobús tipo urbano anda en el rango de entre \$165 427,90 y \$ 220 570,53, para el año 2022. Se adjunta información brindada por el fabricante (ver **Anexo M**).

Por lo anterior, se utiliza un precio promedio de \$ 192 999,22 por unidad como dato de referencia.

Basado en lo anterior, el costo adquisitivo para una flota compuesta por 165 autobuses se estima en, \$31 844 871,30, como lo presenta la **Tabla 23**.

Tabla 23. Costos de flota de autobuses con motor de GLP

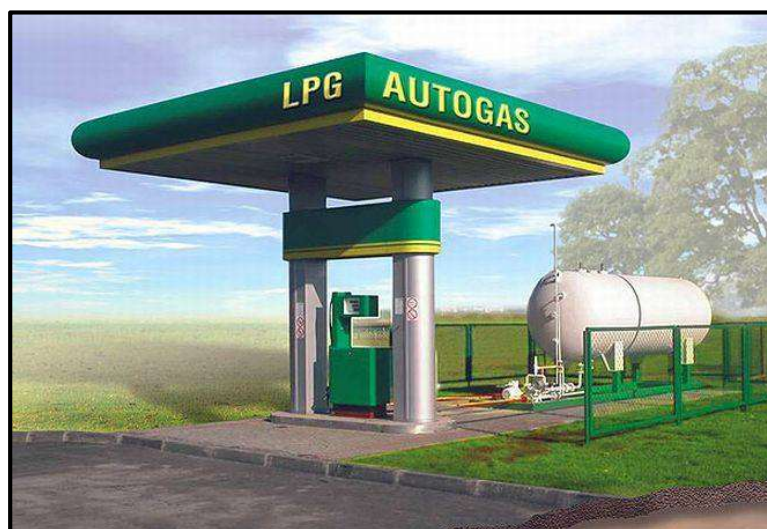
Costo de flota de autobuses con motor de GLP, año 2021			
Flota de vehículos	Características	Costo unitario de autobús	Costo total de la flota
165,00	Marca UNVI, tipo urbano, de 12 metros, para 95 pasajeros (sentado 40% y de pie 60%, con motor marca BEGAS, serie AVG, potencia 321 HP.	\$192 999,22	\$31 844 871,30

Fuente: Elaboración propia (2021).

Costo de estación de abasto de GLP para autobuses

Para la incorporación del GLP a la flota, se necesita de una reconversión de la instalación actual o, en su defecto, la construcción de una nueva estación apta para la demanda de GLP a las unidades, (ver **Figura 15**).

Figura 15: Estación de servicio para GLP



Fuente: (Frey, 2022)

Según información brindada por una empresa en España, con experiencia en el sector de ingeniería y montaje de estaciones de servicio y gasolineras; es posible tecnológicamente hacer la adaptación de una estación de diésel a energías menos contaminantes, en este caso GLP. Se adjunta información ofrecida por la empresa dedicada a este tipo de instalaciones (ver **Anexo N**).

Considerando utilizar un tanque de almacenamiento tipo aéreo con capacidad de 100 000,00 litros y dos máquinas dispensadoras, la adaptación del sistema actual a GLP tiene un costo de aproximadamente \$136 262,75, como lo presenta la **Tabla 24**.

El costo estimado, es únicamente de referencia y basado en información consultada a la empresa proveedora con experiencia en el campo. Es importante dejar claro que el objetivo de esta tesis no es realizar el diseño de una estación, por lo que se deja abierta la línea de investigación para futuros trabajos que puedan enriquecer la misma o estén relacionados al tema.

En general la infraestructura de suministro de combustible es muy sencilla y los tiempos de repostaje son mínimos.

Tabla 24. Costo de estación de abasto de GLP

Costo de estación de abasto de GLP para autobuses	
Adaptación de estación de diésel actual a GLP. Incluye: tanque de almacenamiento tipo aéreo con capacidad de 100 000,00 litros y dos máquinas dispensadoras, tuberías, mangueras, válvulas y accesorios	\$136 262,75

Fuente: Elaboración propia (2021).

Costo del GLP consumido

La red de distribución en Costa Rica cada vez crece y es el combustible alternativo más aceptado en el sector automotriz.

RECOPE indica, en su página, que para el 2019, se contaba con 65 estaciones de servicio, distribuyendo el GLP. La política sectorial determinó desde ese año, que todas las nuevas estaciones que se construyan deben estar equipadas para ofrecer el combustible alterno. Lo anterior amplía la red y facilita cada vez la adquisición.

Según la empresa BEGAS el consumo de un autobús de GLP, se encuentra en torno a los 45 l por cada 100 km, sin embargo, esta información dependerá de diversos factores como el clima, la orografía, la conducción y la calidad del combustible. Basado en lo anterior, se puede establecer una relación de 2,22 km/l. Se adjunta información ofrecida por el fabricante (ver **Anexo M**).

La **Tabla 25** detalla que para un recorrido 7 467 768,46 km anuales son necesarios 3 363 859,67 l de GLP. Lo anterior representa un consumo mucho menor en volumen, en relación con el diésel convencional.

Tabla 25. Kilómetros recorridos vs. consumo de GLP

Promedio de kilómetros recorridos y consumo de combustible de la flota a GLP				
	Día	Semana	Mes	Año
Kilómetros realizados	23 953,58	143 721,49	622 314,04	7 467 768,46
Litros de GLP	10 789,90	64 739,41	280 321,64	3 363 859,67
Relación km/l Grupo ATD	2,22	2,22	2,22	2,22

Fuente: Elaboración propia (2021).

En Costa Rica el precio del GLP es menor que el del diésel y, se toma como referencia única en esta investigación, el precio en estaciones de servicio que indica la ARESEP para el 15 de enero de 2022, el cual corresponde a \$0,57 por litro.

Tomando en cuenta la información de **Tabla 3** que ofrece el recorrido de cada unidad, se determina que el costo anual en GLP es de \$1 808 074,57, como lo presenta la **Tabla 26**.

Tabla 26. Costo del consumo anual del GLP

Costo del consumo anual de GLP.			
Kilómetros realizados	7 467 768,46		
Costo del kilómetro	\$0,24		
	Precio por litro	Consumo (l)	Costo
Precio GLP 15/01/2022	\$0,54	3 363 859,67	\$1 808 074,57

Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis de la anterior información permite estimar que cada kilómetro realizado representa un costo en combustible de \$0,24 si se utiliza el combustible alterno.

Costo en cambios de aceite a motores de GLP

Se toma en cuenta la recomendación brindada por el diseñador y fabricante de autobuses UNVI, que utiliza los motores marca BEGAS, para sus modelos propulsados por GLP.

Esta empresa indica que los cambios de aceite y filtros bajan en aproximadamente un 30% con respecto a los vehículos de diésel, debido a la reducción de contaminantes procedentes de la

combustión que llegan al aceite de motor. Se adjunta información sobre mantenimiento, brindada por el fabricante de autobuses (ver **Anexo O**).

Al hacer referencia a la **Tabla 10** es posible aplicar el porcentaje de reducción costos y por consiguiente la **Tabla 27**, ofrece el costo que demanda la flota de GLP por cambio de aceite en un año, estimado en \$177 966,10.

Tabla 27. Costo de cambio y reposición de lubricantes para flota de autobuses de GLP

Costo en consumo de lubricantes para flota de autobús GLP		
Flota de autobuses		165,00
Costo de cambios y reposiciones de lubricantes para flota de autobuses diésel	Reducción de costos, según el fabricante	Costo anual cambios de aceite para flota de GLP
\$254 237,29	30%	\$177 966,10

Fuente: Elaboración propia (2021).

Costo del mantenimiento de buses propulsados por GLP

El costo del mantenimiento de un autobús de GLP es más económico que el del resto de vehículos convencionales. Esto se explica porque tiene menos piezas y son menos susceptibles a las averías. Sin embargo, depende de los kilómetros realizados y del mantenimiento preventivo.

Para establecer un costo de mantenimiento anual, se hace caso al dato brindado por el fabricante de autobuses. En complemento se adjunta información técnica suministrada por el fabricante (ver **Anexo O**).

Aspectos importantes como la reducción del nivel de suciedad del GLP, hacen que los cambios de filtros de combustible se reduzcan en un 90%, en relación con un vehículo diésel.

Además, los motores de diésel, actuales, requieren sistemas de depuración de gases (AdBlue) o sistemas de recirculación de gases de escape (válvula AGR); estos son imprescindibles para la reducción de contaminantes. Sin embargo, dichos sistemas ocasionan un alto índice de averías.

La eliminación de los anteriores sistemas en el motor de GLP reduce las exigencias mecánicas en componentes como inyectores y se estima la reducción de reparaciones en hasta un 35 %.

Otros puntos de mantenimiento como filtrado de aire de admisión, sistema de refrigeración, sistemas de frenado y sistemas de amortiguamiento se mantienen en niveles similares en relación con el diésel.

Con fundamento a lo anterior, se implanta que los gastos en mantenimiento son reducidos en un 35 % en relación con vehículos de diésel. Esta consideración es propia de la investigación desarrollada y se fundamenta en recomendaciones del fabricante.

Por consiguiente, se hace referencia a la **Tabla 11** y se procede a aplicar el porcentaje de reducción. Según lo anterior el costo anual en mantenimiento para autobuses con motor de GLP es de \$250 485,36, como lo presenta la **Tabla 28**.

Tabla 28. Costo anual de mantenimiento para flota de autobuses de GLP

Costo de mantenimiento para flota de autobuses de GLP		
Flota de autobuses		165,00
Costo del mantenimiento anual para flota de autobuses diésel	Reducción de costos	Costo del mantenimiento anual para flota de autobuses de GLP
\$385 362,10	35%	\$250 485,36

Fuente: Elaboración propia (2021).

Remotorización de autobuses diésel a GLP

Consiste en el cambio del motor de un autobús, por otro de diferente tecnología con algunas modificaciones requeridas.

El modelo de remotorización permite a las empresas con menos recursos adaptarse a las nuevas exigencias medioambientales y acelerar la descarbonización de sus flotas, sin necesidad de realizar una gran inversión económica.

Puede ser aplicada a autobuses urbanos de entre tres y diez años de antigüedad, para de esta manera aprovechar sus últimos años de vida útil con un combustible limpio.

El motor serie AVG de la empresa BEGAS puede sustituir el motor de diésel sin problema; además, es compatible con las principales transmisiones o cajas de cambios disponibles en el mercado.

El costo de una remotorización completa es de aproximadamente \$66 000,00, al considerar la instalación y envío; adjunta información brindada por el fabricante (ver **Anexo M**).

Es necesario recordar que las unidades de transporte remunerado de personas en rutas no pueden tener un rango de antigüedad superior a los 15 años, contados a partir del año de su fabricación; esto, según se estipula en el Decreto 29743 o el que le sustituya (Poder Ejecutivo, 2001) y de la Ley 3503 (Asamblea Legislativa, 2018).

Esta investigación plantea la necesidad de reconsiderar cualquier decreto o ley que obstruya la remotorización de transporte público, ya que existen opciones que se adaptan a las exigencias medioambientales y económicas.

En el caso de Grupo ATD al igual que otras empresas nacionales, la antigüedad de la flota es de entre 9 y 14 años. La posibilidad de una remotorización con tecnología que garantice la reducción de emisiones sería únicamente viable si la legislación amplía la vida útil de las unidades para el uso en rutas públicas.

Este modelo facilitaría una chatarrización de vehículos programada, pues una ruta de implementación de nuevos modelos acelerada ocasiona un problema en el volumen de desechos generados.

En general se considera que es una opción funcional, que permite una transición de una manera suave a la modernidad y que, aplicada de una manera correcta, es muy funcional; razón por la cual este estudio científico de sostenibilidad expone esta solución latente.

Figura 16: Motor de GLP ECO AVG para ser usado en remotorización



Fuente: (Begas Motor, S.L., 2020)

La **Figura 16**, muestra el motor que utiliza GLP, diseñado por la compañía española BEGAS y apto para camiones y autobuses.

Enlace de autobuses de GLP con El Plan Nacional de Descarbonización

Este documento elaborado por el Gobierno de Costa Rica, pretende una ruta clave para el proceso de descarbonizar la economía para el año 2050.

Un proyecto en el transporte público colectivo que utilice GLP como combustible y con una vida útil de 15 años, puede ser útil durante una etapa de inflexión en dicho plan, además de propiciar una transición suave y económicamente accesible a los empresarios nacionales, hasta que se establezca la tecnología capaz de abolir el uso de hidrocarburos. En la actualidad no se aprecia

con claridad si la solución está en la energía eléctrica o el hidrogeno verde, por lo que es necesaria una tecnología intermedia de transición que propicie la reducción de contaminantes.

Durante la transformación del transporte público, el país debe solucionar problemas de infraestructura, producción y distribución eléctrica, estos grandes rezagos hacen necesario el uso de tecnologías alternativas y abre la puerta a tecnologías como el GLP.

Además, el cambio acelerado de una tecnología a otra en el transporte público, implica una chatarrización desmedida, lo que genera otro gran problema de contaminación. El modelo de remotorización planteado en este proyecto, sería de gran ayuda para lograr manejar correctamente dicho efecto.

En general todo lo anterior se convierte en argumento financiero sólido para utilización de tecnología transitorias como el GLP en el transporte público.

Comparativo de costos operacionales en cada tecnología expuesta

Las tecnologías de autobuses basadas en energías limpias y de bajas emisiones, como la eléctrica y el uso GLP, son expuestas y analizadas. Además, son sometidas a las condiciones de operación de la flota de autobuses de diésel de la empresa Grupo ATD, para la obtención de ingresos y costos operativos.

Se hace uso de datos obtenidos, ya sea por medio de pruebas locales o se toman experiencias implementadas en otros países. Toda la información recolectada se traslada al campo donde se requiere la implementación de la nueva tecnología.

Se recurre al método de análisis diferencial para comparar las alternativas de autobuses que ofrece el mercado y determinar cuál es más viable, desde el punto de vista económico.

Únicamente se analizan ingresos y costos diferenciales para cada tecnología expuesta, de manera que los costos iguales entre ellas son ignorados y de igual manera los ingresos financieros relacionados a la operación o cobro de pasajes.

El proyecto tendrá una duración de 15 años, debido al rango de antigüedad permitido para que los autobuses operen en una ruta pública, de acuerdo con la legislación vigente en Costa Rica. Lo anterior no significa que esa sea la vida útil del vehículo, ya que una vez que se concluya el

proyecto, es posible obtener valores de desecho por estos, puesto que pueden ser empleados en otras actividades como transporte de estudiantes o trabajadores, entre otros.

El costo diferencial más significativo es la adquisición de la flota, como se aprecia en la **Tabla 7**, **Tabla 15** y **Tabla 23**. Este varía de acuerdo con la tecnología que se vaya a utilizar y se suma el costo de la infraestructura específica requerida, por ejemplo: las estaciones de carga o estaciones de servicio de combustible.

Lo anterior es conocido como costo de inversión, para lo cual se utiliza un crédito empresarial a una tasa del 5,75 % a 15 años plazo; se adjunta información brindada por banco estatal consultado, (ver **Anexo P**).

Posteriormente, a partir del año 1 y durante el resto de años que dure el proyecto, se genera un costo, denominado servicio de deuda, que corresponde al pago de intereses y amortización, sobre la deuda adquirida. Este no varía y es el mismo monto cada año.

Los costos fijos diferenciales como: combustibles, lubricantes, mantenimiento, son sumados y se agrega un 2 % adicional correspondiente a la inflación anual. Es importante dejar claro que, la inflación se toma en cuenta a partir del año 2.

Por consiguiente, los servicios de deuda junto con los costos diferenciales dan como resultado el total de costos anuales de operación. El **Apéndice A**, **Apéndice B** y **Apéndice C**, presentan los rubros correspondientes a la utilización de diésel, energía eléctrica y GLP, respectivamente.

Debido a que los vehículos pueden ser utilizados para otras actividades una vez concluido el proyecto, se comercializan o se venden generando ingresos; a lo anterior se le denomina ingresos por rescate.

De acuerdo con varias páginas de venta de vehículos consultadas, el ingreso diferencial por rescate para los autobuses de diésel puede andar alrededor de \$13 097,07 por unidad.

Algo muy particular sucede con la tecnología eléctrica, pues al ser muy reciente es difícil encontrar referencias de mercado por precios de autobuses usados. Sin embargo y para efectos investigativos, se utiliza el 25 % de su valor inicial, debido a la vida útil que ofrece el fabricante (ver **Anexo F**). Otra particularidad sucede con la batería, ya que, al remplazarse en el año 10, estará a media vida cuando el proyecto finalice; por esta razón se le ha otorgado un precio de recuperación del 20 % de su valor inicial.

Para los vehículos impulsados por GLP se estima una recuperación del 15% debido a que sufren menos desgaste que las unidades de diésel.

Una vez conocidos los ingresos diferenciales por valores de desecho, se estima la diferencia de estos contra los costos operativos, para poder obtener el flujo neto de efectivo correspondiente a cada año (ver **Apéndice A**, **Apéndice B** y **Apéndice C**).

Cada flujo de efectivo originado por la inversión es traído o trasladado a un valor actual neto mediante la **Ecuación 7**, que se presenta a continuación.

Ecuación 8: Valor actual neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \frac{Fn_1}{(1+k)^1} + \frac{Fn_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Fn_m}{(1+k)^m}$$

Fuente: (Jiménez Garro, 2020)

Donde:

- I_0 = Inversión inicial del proyecto.
- F_n = Flujo de efectivo neto cuantificado anualmente.
- k = Costo de financiamiento del proyecto.

La **Tabla 29**, ofrece la inversión inicial que demanda la implementación de cada modelo tecnológico y el VAN correspondiente.

Tabla 29. Inversión requerida vs. valor actual neto

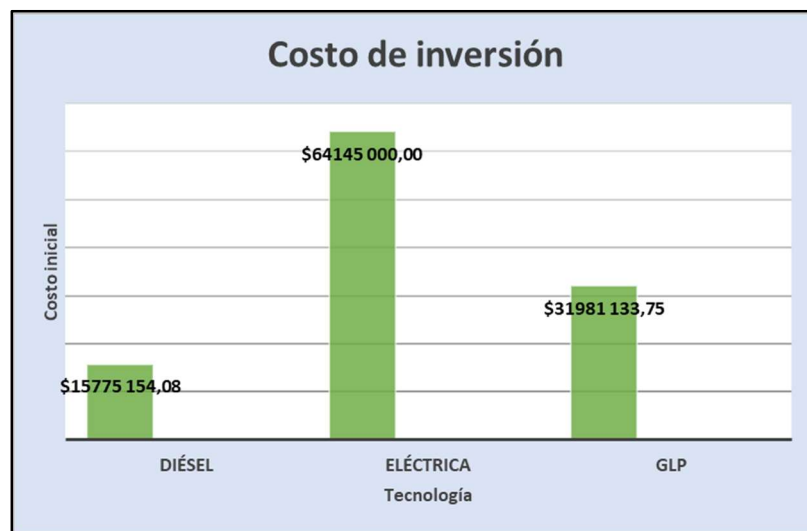
Inversión vs valor actual neto		
Tecnología	Costo de inversión	Valor actual neto (VAN)
Diésel	\$15 775 154,08	-\$84 399 828,13
Eléctrica	\$64 145 000,00	-\$89 498 568,00
GLP	\$31 981 133,75	-\$70 747 304,04

Fuente: Elaboración propia (2021).

Es importante recordar que no son considerados ingresos financieros relacionados a la operación, como el cobro de pasajes; según lo anterior, los VAN se expresan en negativo. Por consiguiente, entre más bajo sea el VAN, más rentabilidad tendrá el proyecto o, visualizado desde otra perspectiva, tendrá costos más bajos de operación.

A continuación, en el **Gráfico 1** se muestra el costo inicial que requiere la puesta en marcha de cada tecnología. Según lo anterior un proyecto basado en diésel tiene un menor costo inicial, seguido del GLP y por último el transporte eléctrico.

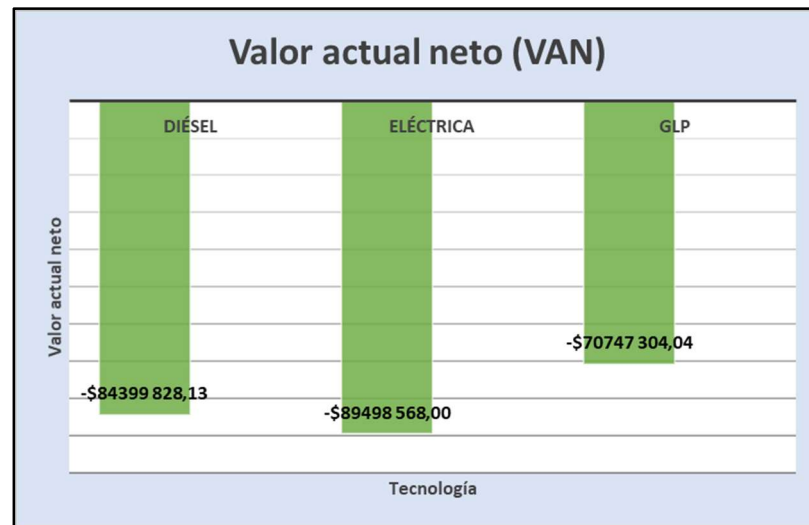
Gráfico 1. Costo de inversión inicial para cada tecnología



Fuente: Elaboración propia (2022).

El **Gráfico 2** indica el VAN correspondiente a cada uno de los vectores energéticos analizados. Por consiguiente, el transporte eléctrico es el que tiene la mayor demanda de costos diferenciados, seguido del diésel y la utilización de GLP.

Gráfico 2. Valor actual neto para cada tecnología



Fuente: Elaboración propia (2022).

El análisis diferencial correspondiente a autobuses eléctricos (ver **Apéndice B**), incluye, a partir del año 10, la adquisición de baterías nuevas; esto representaría un nuevo costo por de \$16 500 000,00 y se crea un servicio de deuda adicional, ya contemplado en el cálculo del VAN.

Cálculo de huella de carbono, en función de los factores de emisiones, relacionados con cada vector energético

Uno de los beneficios de utilizar energías limpias es la reducción de la huella de carbono. Para su cálculo, es importante conocer el consumo de la actividad, durante el tiempo que dure el proyecto.

La **Tabla 30** ofrece el consumo para cada uno de los vectores energéticos considerados en la investigación, durante los 15 años que dura el proyecto.

Tabla 30. Consumo de la actividad

Consumo durante el desarrollo del proyecto (15 años)		
Flota de autobuses		165
Vector energético	Años	Cantidad
Diésel (l)	15	61 662 507,90
Energía eléctrica (KWh)	15	110 830 680,00
GLP (l)	15	50 457 895,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

La huella de carbono es el resultado de multiplicar cada uno de los anteriores consumos por el correspondiente factor de emisión; para su cálculo, se utiliza la **Ecuación 1**:

Ecuación 9: Cálculo de la huella de carbono

$$\text{Huella de Carbono} = \text{Dato actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Fuente: (Oficina Española de Cambio Climático, 2016)

Es importante indicar que el dato de la actividad corresponde al consumo total de la operación.

Los factores de emisión de gases de efecto invernadero, son los avalados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para el año 2020; se adjuntan tablas utilizadas (ver **Anexo Q**, **Anexo R** y **Anexo S**).

El factor para cada uno de los gases de efecto invernadero se multiplica por el potencial de calentamiento global correspondiente (ver **Anexo T**), el resultado da en kg CO₂ eq / l.

Basado en lo anterior, la **Tabla 31** y la **Tabla 32** indican el factor que corresponde al diésel y al GLP, además de los kg CO₂ eq / l.

Tabla 31. Factores de emisión para el diésel

Factores de emisión para el diésel			
Gases de efecto invernadero	Factores de emisión	Potencial de calentamiento global	kg CO₂ eq / l
CO₂	2,6130000	1	2,6130000
CH₄	0,0001490	21	0,0031290
N₂O	0,0001540	310	0,0477400
Factor de emisión			2,6638690

Fuente: Elaboración propia (2022).

Tabla 32. factores de emisión para el GLP

Factores de emisión para el GLP			
Gases de efecto invernadero	Factores de emisión	Potencial de calentamiento global	kg CO₂ eq / l
CO₂	1,6110000	1	1,6110000
CH₄	0,0015835	21	0,0332535
N₂O	0,0000051	310	0,0015810
Factor de emisión			1,6458345

Fuente: Elaboración propia (2022).

Para la electricidad, el factor de emisión varía anualmente, debido a efectos climáticos que influyen y hacen necesario la utilización de hidrocarburos para la generación. Por ejemplo, una sequía severa y prolongada disminuye el recurso hídrico y afecta directamente la producción hidroeléctrica.

El último factor publicado por el IMN es del año 2019 (ver **Anexo U**). La **Tabla 33** brinda el factor correspondiente para la electricidad.

Tabla 33. Factor de emisión para la electricidad

Factores de emisión para la electricidad	
	kg CO₂ eq / KWh
Factor de emisión para el año 2019	0,0365000

Fuente: Elaboración propia (2022).

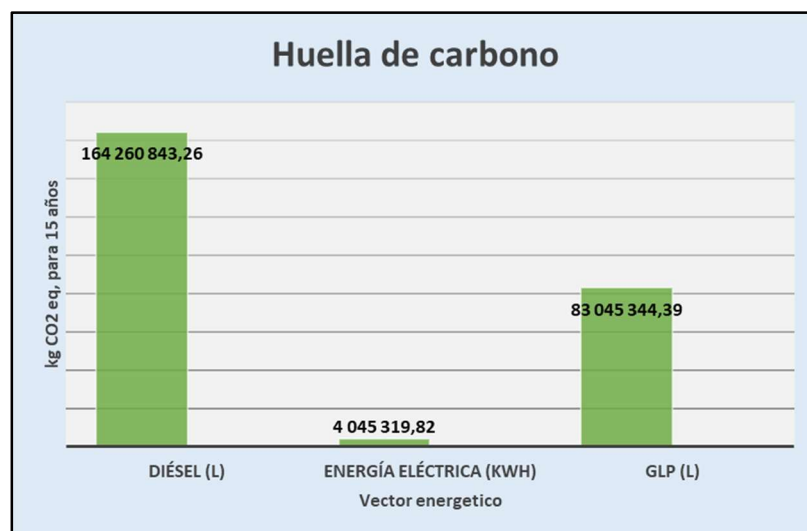
Conforme a la anterior información y de acuerdo con **Tabla 30**, se obtiene la huella de carbono que corresponde a cada vector energético estudiado para la investigación; la **Tabla 32**, brinda los kg CO₂ eq que propiciaría una operación durante 15 años.

Tabla 34. Huella de carbono para cada vector energético

Huella de carbono correspondiente a cada vector energético estudiado			
Vector	Consumo	Factor de emisión	Huella de carbono (kg CO₂ eq)
Diésel (l)	61 662 507,90	2,6639	164 260 843,26
Energía eléctrica (KWh)	110 830 680,00	0,0365	4 045 319,82
GLP (l)	50 457 895,00	1,6458	83 045 344,39

Fuente: Elaboración propia (2022).

Seguidamente, el **Gráfico 3** representa la huella de carbono resultante del proyecto. Tomado como referencia el diésel, la electricidad tiene las emisiones más bajas, seguido del uso de GLP.

Gráfico 3. Huella de carbono para cada vector energético

Fuente: Elaboración propia (2022).

Comparativo de beneficios económicos ambientales para cada tecnología

Una externalidad es un efecto secundario, positivo o negativo, consecuencia de una actividad productiva. La utilización de energías limpias o que produzcan menos emisiones en el transporte público, reduce la huella de carbono, lo cual, desde el punto de vista ambiental, es una consecuencia o externalidad positiva.

Si se considera la variable ambiental, es posible la obtención de beneficios económicos propiciados por la reducción de la huella de carbono.

Los beneficios van desde el financiamiento del proyecto por medio de un fondo, hasta la venta de créditos o bonos de CO₂ eq. Lo anterior es un mecanismo internacional para reducir las emisiones y el calentamiento global.

En resumen, las empresas que no emiten o que reducen sus emisiones se ven beneficiadas y hacer pagar a las que emiten más de lo permitido.

Es importante considerar que un crédito de carbono es igual a una tonelada de CO₂ eq que se elimina de la atmósfera.

Este estudio científico propicia la obtención de ingresos, al ofrecer, en el mercado internacional, las toneladas de CO₂ eq que no se emiten, mediante la sustitución del diésel como combustible para las flotas de autobuses urbanos.

Se toma de referencia las emisiones producto de la operación de los autobuses de diésel de la compañía Grupo ATD. La diferencia en la reducción, debido a la utilización de electricidad o GLP, corresponde a las toneladas que se pueden comercializar.

Según la **Tabla 35** la utilización de electricidad facilita 160 215,52 tCO₂ eq para la venta y el GLP por su parte 81 215,50 tCO₂ eq.

Tabla 35. Toneladas de CO₂ eq resultantes del reemplazo del diésel durante 15 años

Toneladas de CO ₂ resultantes del reemplazo de diésel			
Vector de energía limpia utilizado	Emisiones de vector (tCO ₂ eq)	Emisiones del diésel (tCO ₂ eq)	Reducción de huella de carbono (tCO ₂ eq)
Energía eléctrica (KWh)	4 045,32	164 260,8433	160 215,52
GLP (l)	83 045,34	164 260,8433	81 215,50

Fuente: Elaboración propia (2022).

De acuerdo con la Bolsa de Londres, la tCO₂ eq se cotizará en \$57,74 para diciembre del 2022; se adjunta información de plataforma financiera consultada (ver **Anexo V**).

Con el conocimiento de las emisiones disponibles para la venta y el precio en el mercado mundial, la **Tabla 36** presenta los ingresos económicos que ser perciben por la venta de créditos de carbono, según el vector energético utilizado.

Tabla 36. Ingreso por venta de créditos de carbono

Ingreso por venta de créditos de carbono.			
Vector de energía limpia utilizado	Créditos disponibles para la venta	Precio de crédito según Bolsa	Ingreso total
Energía eléctrica (KWh)	160 215,52	\$57,74	\$9 250 844,32
GLP (l)	81 215,50	\$57,74	\$4 689 382,90

Fuente: Elaboración propia (2022).

De acuerdo con la anterior externalidad, es posible replantear el **Apéndice B** y el **Apéndice C**, se incluye un nuevo ingreso diferencial, por servicios ecosistémicos que varía el flujo neto de efectivo, para cada caso. Por consiguiente, se obtienen nuevos VAN (ver **Apéndice D** y **Apéndice E**).

La **Tabla 37**, brinda la inversión inicial requerida para la implementación de cada modelo, además del VAN correspondiente que determina la viabilidad de cada proyecto. Lo anterior considerado los servicios ecosistémicos.

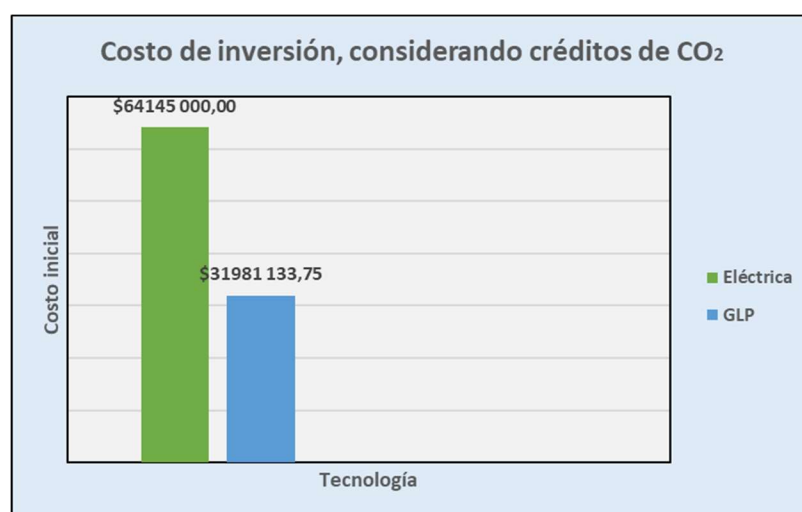
Tabla 37. ingresos por venta de créditos de carbono

Inversión vs valor actual neto, considerando ingreso por venta de créditos de carbono		
Tecnología	Costo de inversión	Valor actual neto (VAN)
Eléctrica	\$64 145 000,00	-\$80 429 112,78
GLP	\$31 981 133,75	-\$66 149 869,82

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el **Gráfico 4** se observa el costo inicial requerido, para la implementación de cada una de las tecnologías analizadas.

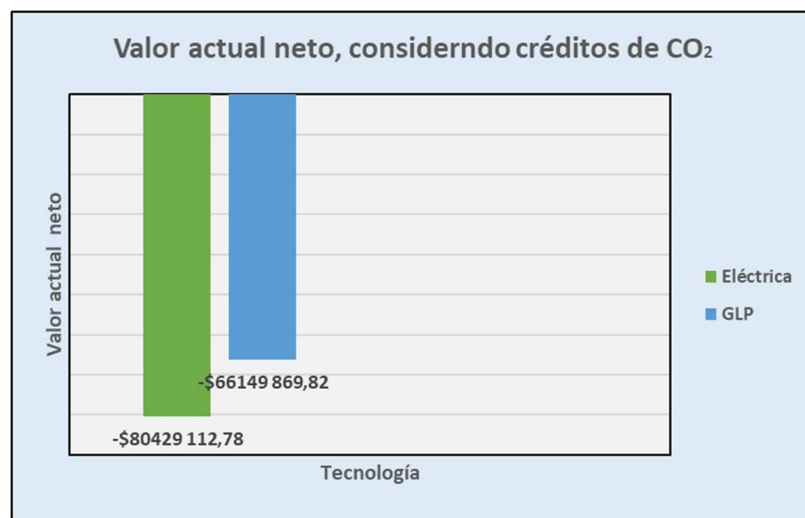
Gráfico 4. Costo de inversión requerida, considerando la venta de créditos de carbono



Fuente: Elaboración propia (2022).

A continuación, el **Gráfico 5** indica el VAN resultante de la implementación de cada tecnología en el transporte público, considerando la venta de emisiones de CO₂ eq. El menor valor es que propicia un proyecto económicamente más viable. Hay que destacar que solamente se utilizan ingresos diferenciales (como venta de emisiones y valores de rescate); se dejan por fuera ingresos por concepto de cobro de pasajes, por no ser relevantes para la valoración del proyecto.

Gráfico 5. Valor actual neto para cada tecnología, al considerar la venta de créditos de carbono



Fuente: Elaboración propia (2022).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En este trabajo se determinó la conveniencia para que las compañías dedicadas al transporte público remunerado emigren al uso del GLP, por ser una tecnología económicamente sostenible. Se requiere de una inversión inicial más baja para la adquisición de la flota y equipos, costos diferenciales de operación menores en relación con el diésel y a la energía eléctrica; además propicia la reducción de emisiones de CO₂ al ambiente.
- Una vez finalizada la presente investigación se pudieron establecer los costos diferenciales de operación. Según lo anterior, la flota eléctrica presentó costos operativos de \$108 101 509,17, mientras que la operación con transporte de GLP \$75 430 373,30; es mejor, incluso, que el transporte tradicional de diésel, donde los costos llegaron a \$86 518 472,19.
- Se logró determinar, mediante esta investigación, que el uso de energías limpias, como los autobuses eléctricos, requiere de una inversión inicial de \$64 145 000,00. Además, se debe considerar que para el décimo año de haber iniciado el proyecto, será necesario el reemplazo de las baterías de la flota; esto conlleva a una nueva inversión de \$16 500 000,00. Por otra parte, el monto inicial requerido para la utilización de un parque automotor que produzca niveles bajos de emisiones, como es el uso del de GLP, requiere de \$31 981 133,75, en el año cero. En general si una flota de diésel tiene un costo inicial de \$15 775 154,08, reemplazarla por vehículos que operen con GLP es económicamente más viable que sustituirla por vehículos eléctricos.
- En esta investigación se concluyó que el uso del GLP es económicamente sostenible con el VAN que correspondió a -\$66 149 869,82, mientras que el uso de la electricidad dio como resultado un VAN -\$80 429 112,78. Además la utilización de combustibles tradicionales como diésel propició un VAN de -\$84 399 828,13; se convierte así en la tecnología con los costos operativos más altos.
- En esta tesis se estableció cuál de los vectores energéticos analizados, ofrece mayores beneficios para reemplazar el diésel. Mediante el cálculo de la huella de carbono, se determinó, que el volumen de diésel utilizado por la flota, en 15 años,

produce 164 260,8433 tCO_{2eq}, al considerar el mismo periodo de tiempo, pero con vehículos que utilicen GLP como combustible, el nivel de emisiones baja a 83 045,34 tCO_{2eq}. Por su parte, si la sustitución se realiza con vehículos eléctricos, la huella de carbono correspondiente a la operación será de 4 045,32 tCO_{2eq}; esto representa una mejora abrumadora con relación al diésel. Consecuentemente a lo anterior, los ingresos por servicios ecosistémicos para el uso de la corriente eléctrica son \$9 250 844,32, mientras que el GLP propiciaría \$4 689 382,90; nada despreciable si se contempla la reducción de costos diferenciales de operación que ofrece esta tecnología.

- Esta investigación concluyó en que la construcción de un sistema de carga para una flota de vehículos eléctricos es compleja y costosa, en relación con la infraestructura requerida para el abasto de GLP. Mientras que un sistema completo para recarga eléctrica instalado tiene un costo de \$1 445 000,00; una estación de servicio capaz de abastecer el mismo número de unidades costaría \$136 262,75.
- En este trabajo se presentó el modelo de remotorización de vehículos de diésel a GLP como una opción viable y económica que permite a las empresas con menos recursos adaptarse a las nuevas exigencias medioambientales y acelerar la descarbonización de sus flotas, sin necesidad de realizar una gran inversión económica. Se plantea la importancia de reconsiderar cualquier decreto o ley de la República, que obstruya la remotorización de transporte público por tecnologías que produzcan bajas emisiones.
- Se estableció el ligamen entre el uso del GLP en el transporte público y el Plan Nacional de Descarbonización, de manera que un proyecto con este combustible propicia una transición suave en el cambio de tecnología durante una etapa de inflexión, además se convierte en una excelente ruta para la chatarrización controlada.

Recomendaciones

Consecuente a los resultados propiciados por la presente investigación, se brindan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda desarrollar un plan piloto de transporte público en el país, con autobuses que funcionen con GLP para conocer datos de rendimiento en condiciones reales.
- En lo relacionado con el cálculo de costo para establecer comparaciones entre tecnologías de vehículos, se debe considerar únicamente costo diferencial, ignorando todos los que son iguales entre ellas.
- Para determinar costos relacionados con la inversión inicial requerida para la implementación de una tecnología específica de autobuses, es importante investigar en manuales de fabricantes, sobre la vida útil del sistema como tal y cada una de sus partes. Existe la posibilidad de que variantes de este tipo afecten el proyecto y propicien la necesidad de nuevas inversiones, en algún punto de su desarrollo.
- Respecto a la viabilidad de un proyecto que involucre autobuses, se recomienda hacer una investigación previa, para determinar posibles valores de rescate de los equipos utilizados; de esta forma determinaría cuál será el ingreso por desecho una vez que dicho proyecto concluya.
- Durante el análisis de tecnologías de autobuses, es importante considerar las externalidades que podrían ser desde el punto de vista ambiental o económicas mediante la generación de ingresos.
- Investigar sobre sistemas para carga de vehículos eléctricos que no requiera de inversiones altas para su implementación en sitio.
- Respecto a la remotorización, llevar a cabo pruebas de forma experimental. La finalidad es determinar si es justificable desde el punto de vista económico y ambiental la modificación de cualquier decreto o ley de la República que la impida.
- La investigación relacionada a la construcción de una estación de carga eléctrica y la reconversión de una estación de abasto de diésel a GLP, quedada abierta para

futuros trabajos relacionados a los temas desarrollados que puedan enriquecer la presente tesis.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

Descripción

El presente trabajo de investigación busca analizar costos diferenciales e ingresos, relacionados con la operación y el uso de tecnologías de autobuses, basadas en energías limpias o que sean ambientalmente favorables. Específicamente la energía eléctrica, mediante el uso de vehículos eléctricos y el GLP con la utilización de motores que utilicen este combustible gaseoso. De acuerdo con los resultados obtenidos para cada caso, una de estas tecnologías sería la recomendada para el reemplazo de los vehículos convencionales que utilizan diésel; lo anterior debido a sus altos costos de operación, relacionados con el precio del producto y crecientes niveles de emisiones contaminantes.

La idea principal de este análisis es determinar cuál de las tecnologías propuestas es la conveniente para recomendar a las empresas autobuseras emigrar a una de ellas. Esto, de manera que los costos requeridos hagan el proyecto económicamente viable y que los resultados ambientales procedentes de la reducción de huella de carbono sean beneficiosos para el ambiente y propicien la generación de ingresos diferenciales, sin comprometer el desarrollo del servicio brindado a los usuarios. La empresa Grupo ATD dedicada al transporte colectivo remunerado, fue la elegida como modelo, está ubicada en el cantón de Desamparados, provincia de San José y desarrolla sus actividades en estas localidades.

Propuesta

La investigación se inició tomando en cuenta la flota de vehículos a diésel con los que cuenta la empresa Grupo ATD, compuesta de 165 unidades de las cuales 150 son utilizadas cada día. Se estableció que cada vehículo recorre 159,69 km por día consumiendo 87,91 l en promedio.

Una vez analizados los costos de operación y los ingresos diferenciales, se calculó el flujo neto de efectivo para cada año y se determinó un VAN de -\$84 399 828,13. Importante indicar que no se consideraron ingresos financieros, relacionados con la recolección de pasajes, por no ser relevantes para la medición de la viabilidad del proyecto.

Posteriormente se consideró someter autobuses eléctricos a las mismas condiciones de la flota actual de diésel y además tomar en cuenta la información brindada por el Plan Piloto de

Electrificación del Transporte Público. Se determinó que un vehículo eléctrico para un recorrido de 159,69 km consumió 158,00 kWA y necesitó de 1,6 horas para cargar su batería al 100%; consecuentemente el flujo neto de efectivo para este proyecto concluyó con un VAN de -\$80 429 112,78.

Finamente se establecieron las mismas condiciones de operación, pero con autobuses de GLP. Al no haber referencias con la implementación o uso de esta tecnología en Costa Rica en autobuses, se investigó con empresas en otros países. Esto permitió conocer experiencias implementadas con éxito, además de tecnologías nuevas desarrolladas con rendimientos de hasta 2,22 km/l. Una vez conocida la anterior información se realizó el análisis para esta tecnología y el flujo neto de efectivo durante los 15 años que abarcó el proyecto, dio un VAN de -\$66 149 869,82.

Una vez estudiadas los diferentes modelos abarcados por la investigación, se concluyó que el uso del GLP es el proyecto más viable desde el punto de vista económico, además se utilizaron los ingresos generados por la disminución de huella de carbono que se propició.

El menor valor VAN correspondió a la tecnología que requirió de menores gastos diferenciales y, por ende, el proyecto con más viabilidad.

Referencias bibliográficas

- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación introducción a la metodología científica 6ª Edición*. Caracas - República Bolivariana de Venezuela: Editorial Episteme. Obtenido de file:///C:/Users/ESTEBAN/Downloads/FidiasG.Arias.ElProyectedelInvestigacin6ta.Edicin.pdf
- Arieu, A. (7 de diciembre de 2017). *Un modelo de análisis diferencial para nuevos proyectos asistenciales*. Obtenido de Liked In: <https://es.linkedin.com/pulse/un-modelo-de-an%C3%A1lisis-diferencial-para-nuevos-proyectos-agustin-ariieu#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20diferencial%20es%20un,entre%20hacer%20y%20no%20hacer>.
- Asociación Europea del GLP . (2011). *Más allá de la red de gas*. Bruselas, Bélgica: Asociación Europea del GLP . Obtenido de <https://www.liquidgaseurope.eu/images/publications/mas-alla-de-la-red-de-gas.pdf>
- Begas Motor, S.L. (2020). *EUROVI LGI ECO AVG SERIES*. Bizkaia: Begas Motor, S.L. Obtenido de www.begasmotor.com
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal , G. E. (2007). *INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Bogota: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2006). *INGENIERÍA ECONÓMICA Séptima edición*. México DF: McGRAW-HILL. Obtenido de https://www.academia.edu/36908450/INGENIERIA_ECONOMICA_LELAND_BLANK_ANTHONY_TARQUIN_7MA_ED_
- Bosques, J. (2019). *Electricidad Básica*. Terminium. Obtenido de http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf
- ÇENGEL, Y., & BOLES, M. (2012). *TERMODINÁMICA*. México, D.F: McGRAW-HILL. Obtenido de <http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodin%C3%A2mica/Material%20Did%C3%A1tico/Livro%20-%20Cengel/Termodinamica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf>
- Cerdas Ramírez , P. (2019). *Movilidad sostenible en Costa Rica: Utopía o realidad*. CEGESTI Gestión Municipal. Obtenido de https://municipal.cegesti.org/articulos/articulo_%2025_270519.pdf
- Conant , J., & Fadem, P. (2011). *Guía comunitaria para la salud ambiental*. Berkeley, California, EE.UU.: Hesperian. Obtenido de https://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap23.pdf
- Energía y Sociedad. (2020). *Tipología de vehículos eléctricos*. Obtenido de Energía y Sociedad: <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/>

- FACUA. (2007). *El Transporte Público Guía del Consumidor 2007*. Almería: FACUA. Obtenido de <https://www.facua.org/es/guia.php?Id=77>
- Fernandez Espinoza, S. (2010). *Los Proyectos de Inversión*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.
- Flores, R. (2010). *Consumos Energéticos y Sector Transporte en Costa Rica*. Tecnología MOPT. Obtenido de <https://revista.mopt.go.cr>
- Frey, R. (2022). *Estaciones de Servicio de GLP con venta al público en Febrero 2022*. Obtenido de <https://www.glpautogas.info/es/gasolineras-bombas-estaciones-servicio-gas-licuado-vehicular-glp-autogas-lp.html>
- Global, AC&A. (2017). *Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible para el Área Metropolitana de San José (PIMUS)*. San José: Gensler. Obtenido de https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/09/PIMUS_INFORME-EJECUTIVO.pdf
- Gobierno de Costa Rica. (2018-2050). *Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050*. San José: Gobierno de Costa Rica. Obtenido de <https://cambioclimatico.go.cr/plan-nacional-de-descarbonizacion/#:~:text=Costa%20Rica%20lanz%C3%B3%20su%20Plan,claves%20y%20estas%20estrategias%20transversales>.
- Google Earth. (2021). *El globo terráqueo más detallado del mundo*. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- ICE. (2021). *Plan Piloto de Electrificación del Transporte Público, Recargas de buses: experiencias y recomendaciones*. San José: ICE.
- Ingeniería, Consultoría y Formación. (2021). *Combustibles de Gas Alternativos para Vehículos*. Obtenido de Ingeniería, Consultoría y Formación: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn96.html>
- Iniesta López, Á. (2015). *Vehículo eléctrico: ¿Una opción de futuro en los sistemas eléctricos?* Leganés: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23352/TFG_Alvaro_Iniesta_Lopez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Meteorológico Nacional. (2020). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero*. San José: Decima edición .
- Investing.com. (2022). *Futuros emisiones de carbono - Dic 2022 (CFI2Z2)*. Obtenido de <https://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>
- Jiménez Garro, M. (2020). *“Estudio de prefactibilidad para sustitución de flotilla vehicular de motor de combustible fósil a vehículos eléctricos en ThyssenKrupp Elevadores S.A Costa Rica.”*. Cartago, Costa Rica: TECNOLÓGICO DE COSTA RICA. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11500>

- Lara, J. F. (20 de julio de 2021). *Buses eléctricos en plan piloto gastan cinco veces menos que unidades de diésel*. Obtenido de <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/video-buses-electricos-en-plan-piloto-gastan-cinco/ZNZPAEJQCZF5BI66NPDB5RQZGQ/story/>
- MOPT. (2011). *Plan Nacional de Transportes de Costa Rica*. San José: MOPT. Obtenido de <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/df4601bd-cd1e-4b94-b641-b43742af812c/Autobuses-espacio-publico.pdf?MOD=AJPERES#:~:text=El%20sistema%20de%20autobuses%2C%20es,en%20casi%20en%20su%20totalidad.&text=En%20su%20forma%20actual%20el,deterioro%20t%C3%A9cnico>
- Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar*. México: PEARSON EDUCACIÓN,. Obtenido de <http://www.indesgua.org.gt/wp-content/uploads/2016/08/Carlos-Mu%C3%B1oz-Razo-Como-elaborar-y-asesorar-una-investigacion-de-tesis-2Edicion.pdf>
- Muñoz Tavella, J. (25 de Noviembre de 2021). *Flujo de caja neto: ¿en qué se diferencia de los otros flujos de caja?* Obtenido de AGICAP: <https://agicap.com/es/articulo/flujo-de-caja-neto-definicion-como-calcularlo/>
- Oficina de Tecnologías Vehiculares. (2015). *Energy Efficiency & Renewable Energy*. US: US Department of Energy. Obtenido de https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hpev_spanish.pdf
- Oficina Española de Cambio Climático. (2016). *Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y para la Elaboración de un Plan de mejora de una organización*. Madrid, España: Ministerio para la Transición Ecológica. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/ca/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm34-178893.pdf
- PG&E. (2020). *Elegir e instalar una estación de carga*. Obtenido de https://www.pge.com/es_US/residential/solar-and-vehicles/options/clean-vehicles/electric/charger-options/electric-vehicles-charging-pge.page
- Rafael Morales, M. Y., & Hernández Guzmán, A. (2014). *Caracterización de un Motor de Combustión Interna con Dos Tipos de Combustible*. Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>
- RECOPE. (2019). *Manual de productor 2019*. San José: RECOPE. Obtenido de <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2019/06/Manual-de-Productos-2019.pdf>
- Rojas , A. (2019). *Diseño para la Instalación de una Electrolinera de carga Rápida para Vehículos Eléctricos con Alimentación Solar*. Aranjuez: Universidad Internacional de las Americas.
- Sáenz Ojeda, G. (2017). *Estudio Teórico de la Aplicación de Gases Licuados de Petróleo (GLP) en Unidades de Potencia de Vehículos Híbridos para Transporte Público*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85876/Estudio%20te%3b%3rico%20de%20la%20aplicaci%3b%3n%20de%20Gases%20Licuados%20de%20Petr%3b%3leo%20%28GLP%29%20en%20unidades%20de%20potencia%20de%20veh%3adculos%20h%3adbridos%20para%20transporte%20p%3>

- Sanz Arnaiz , I. (2015). *ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN Y EL IMPACTO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ECONOMÍA EUROPEA*. Madrid, España: Universidad Pontificia. Obtenido de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/3803/TFG001112.pdf>
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf
- Sustainable Mobility for All. (2021). *Movilidad eléctrica sostenible: Componentes esenciales y recomendaciones de políticas*. Sustainable Mobility for All. Obtenido de https://www.sum4all.org/data/files/buildingblocksandpolicyrecommendations_spanish.pdf
- Valverde Araya, F. J. (2021). *DISEÑO DE SISTEMA IDÓNEO PARA EL SECADO DE GRANOS DE CAFÉ EN COSTA RICA, CUYO FUNCIONAMIENTO PARTA DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES*. San José, Costa Rica: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS.

ANEXOS

Anexo A Relación de litros de diésel vs. kilómetros realizados para el año 2019

Búsqueda de nuevas tecnologías para autobuses.

Gabriel Bermudez <gestionambiental@grupoadcr.com> 24 de diciembre de 2021, 13:46
 Para: Esteban Vargas Arguedas <servie.vargas@gmail.com>

Buenas tardes Esteban

En este momento no tengo datos actualizados, pero la información del año 2019 me da de que en ese periodo se consumieron 4 110 833,86 litros de combustible para recorrer un total de 7 467 768,46 kilómetros.

Espero que esa información le dé al menos una referencia.

Saludos y feliz navidad.

Gabriel Bermúdez P
 Servicios Generales

Grupo ATD
 2259-8241 ext 102

Fuente: (Departamento de Servicios Generales, Grupo ATD, 2021)

Anexo B Tarifas en rutas para octubre 2021

TARIFAS DE SERVICIOS GRUPO ATD			
RUTA	TARIFA ANTERIOR	AUMENTO	NUEVA TARIFA
DESAMPARADOS	C280	C15	C295
ASERRI	C330	C15	C345
LOS GUIDO	C320	C15	C335
INTERSECTORIAL MORAVIA-DESAMPARADOS	SE MANTIENE EN C340		
INTERSECTORIAL SAN JUAN DE DIOS-DESAMPARADOS	SE MANTIENE EN C155		



GRUPO ATD

Desamparados - Aserrí - La Capri - Los Guido

Fuente: (Grupo ATD, 2021)

Anexo C Precio del autobús tipo urbano de diésel mara Daewoo

RV: Catalogos Digitales CRD 270 / Especificaciones crd 270 / CRD 380

1 mensaje

Manuel Villalobos <mvillalobos@daewoobuscr.com>
Para: servie.vargas@gmail.com

18 de marzo de 2021, 16:43

Estimado Esteban Vargas Arguedas :

Adjunto Catalogo y especificaciones de nuestra **Unidad Urbana CRD270 y CRD 380 Interurbanos ambos año modelo 2021.**

La idea es observe la diferencia de un Autobús Urbano de uno Interurbano.

El tipo de autobús que debe utilizar cada empresario lo determina El tipo de ruta (kilometraje, topografía, Potencia que debe tener el motor según lo solicite el CTP en Kw, entre otras características).

Los precios oscila entre los \$ 90 Mil / \$ 120 mil los Urbanos

Los precios oscila entre los \$ 145 Mil / \$ 200 mil los Inter – Urbanos.

En ambos casos dependiendo de los opcionales que les incluya.

Sin más por el momento y quedando atento a cualquier consulta.




Atentamente,

|

Sr Manuel Villalobos Céspedes

Fuente: (Daewoo Bus Costa Rica, S.A., 2021)

Anexo D Precio de autobús tipo urbano de diésel marca Volkswagen

	EUROBUS, S.A	
SCANIA		Volkswagen
24 de marzo de 2021		
		REF. 1401-21
Señor ESTEBAN VARGAS ARGUEDAS		
Presente		
Estimados Señores:		
Presentamos a su consideración la presente factura de un autobús de transporte urbano, chasis VOLKSWAGEN, modelo 17.260 OD , con carrocería MARCOPOLO TORINO G7, año 2020, con las siguientes características:		
MOTOR DELANTERO:	TURBO INTERCOOLER ELECTRONICO	
MOTOR	MAN D0836 260 HP EURO 5	
SISTEMA DE INYECCION	COMMON RAIL	
CAJA DE CAMBIOS:	MECANICA ZF6S-1010	
EJE DELANTERO:	SIFCO 6.300 KG	
EJE TRASERO:	MERITOR 11.000 KG	
REDUCCION:	5,01:1 (95 KM/H)	
SUSPENSION:	DELANTERA Y TRASERA DE BALLESTAS	
FRENOS AIRE TOTAL	CIRCUITOS INDEPENDIENTES	
SECADOR DE AIRE	AJUSTADORES AUTOMATICOS	
FRENO MOTOR:	DE CULATA MAN A LA VALVULA DE ESCAPE	
LLANTAS:	275/80XR22.5	
CARROCERIA MARCOPOLO TORINO G7, URBANO, 50 PASAJEROS, RAMPA PARA DISCAPACITADOS, ROTULOS ELECTRONICOS.		
PRECIO UNITARIO AUTOBUS LLAVE EN MANO	US\$ 110,000.00	
*Precio no incluye IVA		
CONDICIONES DE PAGO: Contado contra entrega.		
FECHA DE ENTREGA: Inmediata.		
GARANTIA DEL CHASIS Y CARROCERIA: 12 meses libre de kilometraje a partir de la fecha de inspección de entrega por EUROBUS S.A.		
Atentamente,		
		
Mauricio Álvarez Rodríguez. Asesor de Ventas		

Fuente: (Eurobus, S.A.,2021)

Anexo E Precio de los combustibles por litro

Variación de precios de los combustibles en estaciones de servicio				
Rigen a partir del: 15/01/2022		Publicado en Gaceta: 8		Alcance: 5
Producto	Precio Anterior	Precio Final	Variación	
▲ Diésel para uso automotriz de 50 ppm de azufre	611,00	611,00	▲	0,00
Gasolina RON 91	697,00	697,00	▲	0,00
Gasolina RON 95	714,00	714,00	▲	0,00
LPG (70-30)	372,00	344,00	▼	-28,00



Fuente: (www.aresp.go.cr, 2022)


Anexo F Vida útil del autobús eléctrico y de la batería

G **Guadamuz Madrigal Gerardo** <GGuadamuzM@ice.go.cr>
para Quirós, Rojas, Carolina, mí, Randall ▾ lun, 5 abr 2021, 13:17 ☆ ↶

Buenas tardes,

Abajo en color azul complemento algunas de las respuestas.

Saludos,



Gerardo Guadamuz Madrigal
Negocio Distribución y Comercialización
Gerencia Electricidad
Tel: 2000-5735
www.grupoice.com

1) La agencia de BYD me ha ofrecido algo de información de los autobuses eléctricos, sin embargo, me gustaría acceder a información un poco más técnica, por ejemplo, tiempo de carga, autonomía de la unidad, mantenimientos requeridos etc.

Puede hacer una lista de los parámetros que requiere y con mucho gusto se los facilitamos. De momento:

Tiempo de carga (completa): 3 horas aprox.

Autonomía: 250 km según ciclo sort1. La real está por determinarse.

Mantenimientos: BYD brinda plan de mantenimiento, el cual podría solicitarles directamente.

2) Con respecto a las baterías, cual es la vida útil de las mismas, de qué están hechas, en que se pueden utilizar una vez que termine su vida útil, precio.

Las baterías (en el caso específico del piloto) son BYD Iron-Phosphate Battery, la composición exacta la puede encontrar en la web. Están garantizadas por el fabricante para 8 años o 500 mil Km, pero no es que dejan de funcionar sino que tienen menos autonomía. Si se cuidan y la autonomía de la aplicación para la que se usan aguanta, pueden durar más de 8 años. Una vez que terminan su vida útil en un bus, se pueden utilizar para aplicaciones de respaldo de energía, pero esto requiere una adaptación que aún hay que desarrollar.

3) Entiendo que el autobús viene con el accesorio que sirve para su carga rápida. ¿En caso de que sea una flota de autobuses la que se debe cargar, que se necesita para hacer un punto de carga múltiple? **Puede consultar la página www.energia.minae.go.cr en la sección de información - Movilidad Sostenible donde podrá encontrar las regulaciones nacionales para vehículos eléctricos, incluyendo información sobre centros de recarga.**

4) ¿Cuál puede ser el precio de un autobús eléctrico y sus accesorios para la carga? **Los precios dependen de los diseños, tamaños, especificaciones, en ese sentido hay varias marcas y puede consultar en varias páginas internacionales como Chile y Colombia donde cuentan con modelos diferentes según sus propios criterios de rutas, operación, etc.**

5) ¿Qué mantenimiento requiere un autobús eléctrico?

El mantenimiento es mucho más simple que un bus diésel, esto en la parte del [tren motriz](#). Básicamente son líquidos refrigerantes, aceites (en cantidades muy pequeñas), revisión de los sistemas eléctricos. El resto del bus como carrocería, suspensión, etc, si es igual a uno diésel, con la ventaja de que por ejemplo los frenos se desgastan menos por la regeneración.

6) ¿Cuál es la vida útil de un autobús eléctrico?

El bus en sí depende de la marca y modelo, pueden durar hasta 20 años en promedio. Hay que tomar en cuenta que en esa cantidad de tiempo habrá que cambiar las baterías al menos una vez.

7) ¿Qué criterios se tomaron en cuenta para dimensionar y definir el modelo de autobús eléctrico que se está probando actualmente?

Consultar con GIZ.

8) ¿Bajo qué condiciones se les entregó los autobuses a las compañías que los están utilizando?

Se realizó un contrato de comodato que define las responsabilidades del operador como usuario del bus y del ICE como dueño del bus. Bajo ese esquema los buses se incorporaron a la flota de la empresa para ejecutar las pruebas.

Fuente: (Ing. Gerardo Guadamuz Madrigal, Gerencia Electricidad ICE, 2021)

Anexo G Precio de autobús eléctrico

RE: Autobuses eléctricos

www.mopt.go.cr

De: Eladio Jiménez <ejimenez@corimotors.com>

Enviado: viernes, 23 de abril de 2021 14:50

Para: Esteban Vargas Arguedas <esteban.vargas@mopt.go.cr>

Asunto: RE: Autobuses eléctricos

BUENAS TARDES

ADJUNTO INFORMACION DEL AUTOBUS 100 % ELECTRICO

PRECIO CON CARGADOR INCLUIDO \$395.000

Eladio Jiménez Jiménez.
Licitaciones.

BYD FOTON CHERY

Email: ejimenez@corimotors.com
Cel.: (506) 8877-7525
Tel.: (506) 2547-5950

www.bydauto.cr • www.fotoncr.com • www.cherycr.com

CORI MOTORS

Fuente: (Cori Motors, 2021)

Anexo H precio de cargador y batería de autobús eléctrico

RE: Autobuses eléctricos

Eladio Jiménez <ejimenez@corimotors.com>

Lun 26/4/2021 10:38

Para: Esteban Vargas Arguedas <esteban.vargas@mopt.go.cr>

Buenos días don Esteban

La estación de carga tiene un valor de \$15.000

Con respecto a la batería le comento que la misma tiene una garantía de fabricación de 5 años o 250.000 km y una vida útil superior a los 20 años

Por lo tanto un remplazo en el periodo de garantía es del 100%

El precio de cada batería hoy día anda por los \$100.000

Estamos para servirle

Eladio Jiménez Jiménez. BYD FOTON CHERY
Licitaciones.

Email: ejimenez@corimotors.com
Cel.: (506) 8877-7525
Tel.: (506) 2547-5950

www.bydauto.cr.com • www.fotoncr.com • www.cherycr.com

CORI MOTORS

Fuente: (Cori Motors, 2021)

Anexo I especificaciones técnicas de transformador tipo pedestal, marca ABB

Los transformadores tipo pedestal de ABB proporcionan protección de resistencia a la violación en un paquete compacto para sistemas de distribución subterránea de potencia

Los transformadores de montaje en pedestal de ABB brindan una construcción resistente a la violación que evita el ingreso de personal no autorizado. Los pernos, bisagras, tornillos y sujetadores no son accesibles en esta unidad segura, auto contenida

Los transformadores de montaje en pedestal usan un diseño rectangular de núcleo y bobina que es una característica distintiva de los transformadores de pequeña potencia sumergidos en líquido de ABB. Este diseño probado brinda una excelente resistencia mecánica, confiabilidad y economía de ahorro de espacio necesaria para la distribución subterránea de potencia.

Con la mayoría de las capacidades se ofrecen alternativas de fluidos incluyendo aceite mineral, silicón, R-Temp[®], y BIOTEMP[®]. El aceite mineral se especifica típicamente para aplicaciones al exterior. Cuando la inflamabilidad es una preocupación, generalmente se usan Silicón o R-Temp. El BIOTEMP se usa en cualquier parte en que todo derramamiento de líquido aislante requiere de costosos procedimientos de limpieza.

Rango de Producto:

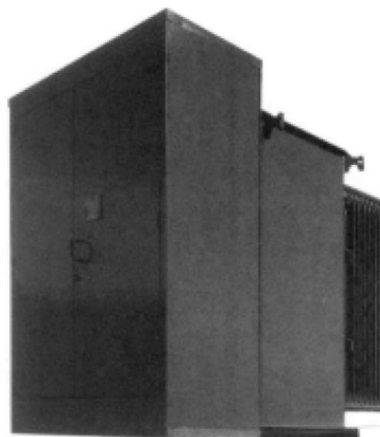
- 2500 kVA - 20.000 kVA
- Tensiones Primarias: 5 kV hasta 46 kV
- Tensiones Secundarias: 120V hasta 25 kV
- Trifásicos

Fluidos disponibles:

- Aceite Mineral
- Silicón
- R-Temp[®]
- BIOTEMP[®]

Ventajas/Beneficios del tipo de montaje en pedestal:

- Diseño rectangular de núcleo/bobina
 - Tamaño mínimo: Ahorro de espacio
 - Peso mínimo: Ahorro de energía
- Herrajes cautivos y empotrados a prueba de violación en la puerta del compartimiento de BT
- Resistente a la violación
- Sistema INSULDUR[®] de aislamiento de capas para mejoramiento térmico y resistencia mecánica
- Aislamiento de espiras DURABIL[®] - superior adhesión, resistencia a la abrasión y estabilidad térmica
- Alta eficiencia con la mejor combinación de costo inicial y bajo costo de operación



Los transformadores de montaje en pedestal de ABB se ensamblan completamente en la fábrica y se despachan como una sola pieza

Productos de Calidad...Construídos con Orgullo

Como suministrador de una sola fuente, ABB es el más grande y completo fabricante de equipos de transmisión y distribución de potencia en el mundo. Nosotros aseguramos que nuestra calidad de renombre mundial está puesta de ejemplo en cada producto que lleva nuestro nombre. Una fuerza de trabajo experimentada y dedicada asegura la calidad de nuestro trabajo y su satisfacción con nuestros productos. Nos esforzamos para excelencia operativa, bajos costos de fabricación y mínimos tiempos de entrega.

La misión de ABB es ser el líder en entregar productos de calidad y servicios para generación, transmisión y distribución de potencia, procesos industriales, tránsito de masas y control del medio ambiente que satisfagan las necesidades y requerimientos de nuestros clientes y contribuya a su éxito.

Para asegurar la satisfacción del cliente, ABB proporcionará soluciones integradas con valor agregado que están gobernadas por alta tecnología y rendimiento.

Los empleados de ABB están comprometidos para liderar las normas aplicando la combinación única de experiencia y recursos globales de la Compañía para satisfacer los objetivos sociales para un crecimiento sostenido y energía limpia.

Fuente: (Ing. Bernal Solano Granados, empresa ELMEC, 2022)

Anexo J Precio estimado para transformador tipo pedestal ABB de 5 MVA

Db 47 250 102 pad liq s.pdf

bsolano@elmecsa.com <bsolano@elmecsa.com>

21 de diciembre de 2021, 12:36

Responder a: bsolano@elmecsa.com

Para: Esteban Vargas Arguedas <servie.vargas@gmail.com>

Buenos días, si lo recibimos. Estoy tratando de conseguir algún precio de referencia, pero es algo muy difícil. No creo que no baje de \$200 000,00

Saludos



Bernal Solano Granados
Coordinador de Ingeniería

San José, Costa Rica
Tel: (506) 2251-4100 EXT 222
Fax: (506) 2251-3131
Cel: (506) 8389-8334
Apdo. Postal 32-2020 Zapote
Email: bsolano@elmecsa.com



www.elmecsa.com

Fuente: (Ing. Bernal Solano Granados, empresa ELMEC, 2022)

Anexo K Tarifa eléctrica para autobuses eléctricos

RV: Tarifas eléctrica y combustible para autobuses.

Luis Miguel Alfaro Paniagua <alfaropl@aresep.go.cr>

23 de abril de 2021, 17:09

Para: "servie.vargas@gmail.com" <servie.vargas@gmail.com>

Cc: Raquel Valerio Pizarro <valeriopr@aresep.go.cr>, Jorge Espinoza Gutiérrez <espinozagj@aresep.go.cr>, Alejandra Morales Castro <moralesca@aresep.go.cr>

Buenas tardes Esteban,

Respecto a su consulta, efectivamente existe una tarifa para los buses eléctricos, fijada por Aresep, esta tarifa (T-BE) es de **57,08 colones por kWh**. Dicha tarifa fue fijada mediante la resolución número RE-0112-IE-2020 del 5 de noviembre de 2020, en el presente correo nos permitimos adjuntarle dicha resolución.

Asimismo, esta resolución y demás documentación sobre el tema lo puede consultar bajo el expediente número ET-021-2020 en el sitio web ([SISTEMA DE CONSULTA DE EXPEDIENTES \(aresep.go.cr\)](http://SISTEMA DE CONSULTA DE EXPEDIENTES (aresep.go.cr))).

Además, en el sitio web de la Aresep se anunció esta tarifa, y puede consultarlo en el siguiente enlace ([ARESEP fija tarifa promocional de recarga en buses eléctricos - ARESEP](#)).

Por último, no existe una tarifa especial de diésel o algún otro combustible exclusiva para los autobuses, les aplica la misma tarifa definida por la Aresep para todo el país.

Saludos.



Luis Miguel Alfaro Paniagua

Inteligencia de Negocios

Intendencia de Energía

Fuente: (ARESEP, 2019)

Anexo L Ficha técnica de motor AVG propulsado por GLP

BM – AVG - GLP V8

222 kW @ 2000 rpm – 1069 Nm @ 1900 rpm

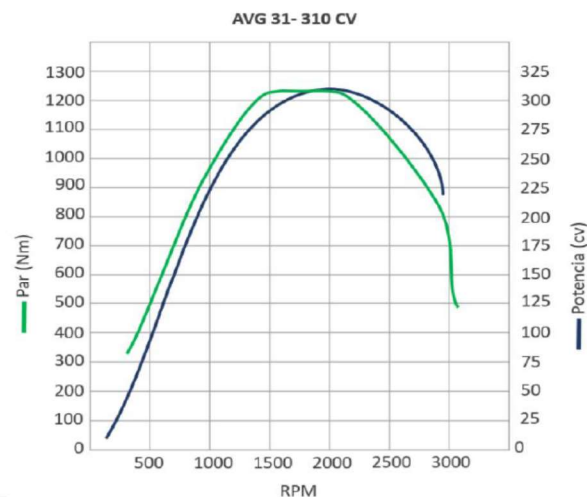
EURO VI - D

Especificaciones

Fabricante	BeGas	
Tipo de motor	AVG	
Ciclo termodinámico	GLP 4 tiempos	
Nº Cilindros y disposición	V8	
Capacidad	litros	7.2
Diámetro x Carrera	mm	104.8 x 104.8
Cilindrada	cm ³	7227
Válvulas por cilindro	2	
Accionamiento válvulas	hidráulico	
Orden de encendido	1-8-7-2-6-5-4-3	
Sistema de admisión	Sobrecargado	
Refrigerante	líquido	
Disposición del motor	longitudinal	
Ratio de compresión	10.5:1	
Sistema de inyección	Multipunto Inyección líquida	
Tipo de combustible	GLP 93% C ₃ ± 4% (Fase líquida)	
Nivel de emisiones	EURO VI - D	
Control de emisiones:	Catalizador tres vías (doble cuerpo)	
	Filtro partículas	
	Recirculación gases cárter	

Datos técnicos

Potencia máxima	kW / HP	226 / 307
A velocidad	rpm	2010
Par máximo	Nm	1115
A velocidad	rpm	1890
Velocidad máxima sin carga a máxima potencia	rpm	2900
Ralentí mínimo	rpm	900



BeGAS

AVG – GLP V8
Heavy-duty application

Fuente:(Ing. Antoni Pous Soria, empresa BEGAS, 2022)

Anexo M Precio de autobús con motor BEGAS, serie AVG

De: Esteban Vargas Arguedas <servie.vargas@gmail.com>
 Enviado el: lunes, 10 de enero de 2022 3:08
 Para: Antoni Pous <a.pous@begasmotor.com>; BeGas Motor <info@begasmotor.com>
 Asunto: Fwd: Información Autobús a GLP

Buenas noches estimado Sr. Antonio Pous:

Espero se encuentre muy bien, he intentado contactar a su compañía, para obtener información de su motor de GLP.

Realizó una investigación para mi tesis, para graduarme de Ingeniero Electromecánico.

Es muy importante la información que su compañía me pueda brindar, en relación al motor y autobuses, pues en Costa Rica existe desconocimiento de la utilización del GLP para transporte público colectivo.

Alguna consultas que tengo, son:

- 1) Se puede modificar cualquier autobús de diésel a GLP para ser usado con GLP? El trabajo que se realiza en este caso es remotorizar los vehículos, es decir, se quita el motor entero diésel y se instala un motor completamente nuevo a GLP.
- 2) De ser posible, ¿Cuál es el costo aproximado? El precio de una remotorización se encuentra en torno a los 50000€
- 3) ¿Cuál es el precio aproximado de un autobús nuevo tipo urbano para 90 personas con motor de GLP? En este apartado no tengo tanta información pero debe estimar un coste de 150000 o 200000 €
- 4) ¿Cuál es el rendimiento aproximado de un autobús con GLP, es decir cuántos kilómetros puede hacer por litro? En el caso de autobuses urbanos el consumo se encuentra en torno a los 45 L/100 km, sin embargo, los datos de consumo siempre son muy sensibles a diversos factores como el clima la orografía donde trabaje, el conductor, la calidad del combustible.
- 5) El costo del consumo de GLP de un autobús es muy parecido al de un autobús de diésel, ¿es esto cierto? En cuanto a cantidad de combustible, tal como ha indicado Vicente en un correo anterior, el Diesel consumirá menor cantidad de combustible por tener mejor rendimiento. Sin embargo, en cuanto a dinero, depende del precio del combustible en cada país, será rentable o no.
- 9) ¿Cuál es la relación del costo de mantenimiento, entre un autobús de diésel y uno a GLP? En un vehículo a GLP el mantenimiento es muy similar al de cualquier MEP. Es más barato que un diésel debido a los complicados sistemas de post tratamiento de los motores diésel actuales.

[El texto citado está oculto]

Fuente: (Ing. Antoni Pous Soria, empresa BEGAS, 2022)

Anexo N Costo de estación de carga de GLP**RV: Equipo para dispensar GLP**

Luis Urbina <luis@luisurbina.com>
Para: servie,vargas@gmail.com

3 de enero de 2022, 11:59

Buenas tardes:

A falta de más datos para poder concretar la instalación y su ubicación, considerando que el tanque fuese aéreo, el coste aproximado de dicha instalación alcanzaría los 110.000,00Euros mas I.V.A.

Un saludo y Feliz Año.

Luis Urbina

luis@luisurbina.com



Fuente: (Luis Urbina, empresa Luis Urbina, 2022)

Anexo O Mantenimiento de autobuses con motor de GLP, marca BEGAS, serie AVG

Autobuses de GLP

Carlos Gallardo <cgallardo@unvi.es>
Para: Esteban Vargas Arguedas <servie.vargas@gmail.com>

1 de diciembre de 2021, 11:06

Buenas tardes Esteban,

No es fácil responder, ya que desconozco las variables exactas – costos, precios recambios, ... - que manejaís en Costa Rica.

Espero que estas observaciones te sean útiles como argumento o para construir tu trabajo, si necesitas algo más , estoy a tu disposición.

- Gracias a la reducción en el nivel de suciedad del combustible GLP, se reduce el mantenimiento por filtrado de combustible respecto a un Diesel en un 90%.
- Gracias a la reducción de contaminantes procedentes de la combustión GLP que llegan al aceite de motor, se reduce el coste de mantenimiento del circuito (filtro y aceite) en un 30 %.
- Gracias a la eliminación de componentes de elevado índice de averías en un motor diésel (válvula AGR o sistema AdBlue) así como menores exigencias mecánicas en componentes como inyectores, se reduce gastos por futuras reparaciones en un 35%.
- Otros puntos de mantenimiento como filtrado de aire de admisión o sistema de refrigeración motor se mantienen en niveles similares.


Un saludo,

Carlos Gallardo

+34 616 150 893

Fuente: (Carlos Gallardo, empresa UNVI, 2021)

Anexo P Crédito empresarial

	Conglomerado Financiero Banco Popular y Desarrollo Comunal División Gestión Normativa			
Actividad:	Guía General de Productos de Crédito Banca de Personas, Banca de Desarrollo Social, Banca Empresarial y Corporativa, con fondos del Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD), Tarjetas de Crédito.			
Código:	DGN-GUIA-02	Versión:	30	Fecha: Diciembre 2021
GUIA				
Producto	Crédito Gestión Ambiental			
Línea de crédito	085 / 097			
Moneda	Colones / Dólares En el caso créditos en dólares se financia a personas físicas o jurídicas que se ubiquen en el sector exportador y no exportador, cuenten con capacidad financiera para afrontar devaluaciones inesperadas y que sean generadores o no generadores de bajo riesgo, según definición SUGEF 1-05.			
Sujetos de crédito	Personas Jurídicas: Instituciones del Sector Público, Organizaciones Sociales y Empresa Privada (físicas y jurídicas). Instituciones del Sector Público: Todas aquellas con presupuesto aprobado por la CGR, incluye Municipalidades. Organizaciones Sociales: Incluye aquellas representadas en la ATTBPCD. Cooperativas Asociaciones de Desarrollo y Comunales Sindicatos Colegios Profesionales			
Monto máximo por otorgar	Según Reglamento General de Crédito.			
Plazos máximos de repago	De acuerdo con el Reglamento General de Crédito, máximo hasta 240 meses según tipo de garantía.			
Período de gracia y desembolso	Período de gracia: Si lo requiere el proyecto, plan de inversión o flujo de caja. Período desembolso: Si lo requiere el proyecto, plan de inversión o flujo de caja.			
Tasa de interés	Colones: TBP + 3pp Dólares: Prime + 2.5pp <i>75,75 %</i>			
<p>Página 198 de 380 Información de Uso Interno del Conglomerado Financiero Banco Popular y de Desarrollo Comunal</p>				

Fuente: (Banco Popular, 2022)

Anexo Q Factor de emisión para combustibles (kg CO₂/l)

Combustible	Factor de emisión (kg CO ₂ /L combustible)	Incertidumbre	
		Límite inferior	Límite superior
Gasolina	2,231	4,59%	5,89%
Diesel	2,613	3,12%	3,19%
Búnker	3,101	3,57%	3,65%
Queroseno	2,541	3,83%	4,10%
LPG	1,611	8,41%	9,16%
Gasolina de avión	2,227	7,94%	23,50%
Jet fuel	2,505	4,68%	5,32%
Lubricante	2,549	11,74%	12,74%

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2020)

Anexo R Factor de emisión para combustibles (g CH₄/l)

Fuente/Combustible	Factor de emisión g CH ₄ / L Combustible	Incertidumbre	
		Inferior	Superior
Generación electricidad/Diesel	0,122	71%	191%
Generación electricidad/Bunker	0,138	78%	191%
Manufactura y construcción/Gasolina	0,111	71%	190%
Manufactura y construcción/Diesel	0,122	71%	191%
Manufactura y construcción/Bunker	0,138	78%	191%
Manufactura y construcción/LPG	0,027	72%	179%
Manufactura y construcción/Lubricante	0,104	73%	177%
Comercial e institucional/Gasolina	0,346	72%	179%
Comercial e institucional/Diesel	0,382	71%	177%
Comercial e institucional/Bunker	0,433	72%	177%
Comercial e institucional/LPG	0,139	72%	179%
Comercial e institucional/Lubricante	0,348	75%	159%
Residencial y agrícola/Gasolina	0,346	72%	179%
Residencial y agrícola/Diesel	0,382	71%	177%
Residencial y agrícola/Bunker	0,433	72%	177%
Residencial y agrícola/LPG	0,139	72%	179%
Residencial y agrícola/Lubricante	0,348	75%	159%
Transporte terrestre/gasolina/sin catalizador	1,176	74%	201%
Transporte terrestre/gasolina/con catalizador	0,907	74%	204%
Transporte terrestre/diesel/sin catalizador	0,149	62%	126%
Transporte terrestre/LPG	1,5835	ND	ND
Transporte terrestre/Lubricante	0,348	75%	159%
Todas la fuentes de combustión estacionaria/Biodiesel	0,099	ND	ND

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2020)

Anexo S Factor de emisión para combustibles (g N₂O / l)

Fuente/Combustible	Factor de emisión g N ₂ O / L Combustible	Incertidumbre	
		Inferior	Superior
Generación electricidad/Diesel	0,02442	71%	190%
Generación electricidad/Bunker	0,02769	71%	190%
Manufactura y construcción/Gasolina	0,02211	71%	190%
Manufactura y construcción/Diesel	0,02442	71%	190%
Manufactura y construcción/Bunker	0,02769	71%	190%
Manufactura y construcción/LPG	0,002745	72%	179%
Manufactura y construcción/Lubricante	0,021	73%	177%
Comercial e institucional/Gasolina	0,02211	71%	190%
Comercial e institucional/Diesel	0,02442	71%	190%
Comercial e institucional/Bunker	0,02769	71%	190%
Comercial e institucional/LPG	0,002745	72%	179%
Comercial e institucional/Lubricante	0,021	73%	177%
Residencial y agrícola/Gasolina	0,02211	71%	190%
Residencial y agrícola/Diesel	0,02442	71%	190%
Residencial y agrícola/Bunker	0,02769	71%	190%
Residencial y agrícola/LPG	0,002745	72%	179%
Residencial y agrícola/Lubricante	0,021	73%	177%
Transporte terrestre/gasolina/sin catalizador	0,116	48%	204%
Transporte terrestre/gasolina/con catalizador	0,283	71%	173%
Transporte terrestre/diesel/sin catalizador	0,154	70%	175%
Transporte terrestre/LPG	0,0051	ND	ND
Transporte terrestre/Lubricante	0,021	73%	177%
Todas la fuentes de combustión estacionaria/Biodiesel	0,0198	ND	ND

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2020)

Anexo T Potencial de calentamiento global

Potenciales de calentamiento global	
Gas	Potencial de calentamiento Horizonte: 100 años
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC 134a	1 300
HFC 152a	140
R402a	2 447
R402b	2 150
R404a	3 260
R404B	3 260
R407c	1 526
R410a	1 725
R507	3 300
R508B	10 350
ISCEON MO49	2 230
SF ₆	23 900

Fuente: (Instituto Metereológico Nacional, 2020)

Anexo U Factor de emisiones para electricidad año 2019

Año	Factor de emisión kg CO ₂ e/kWh	Incertidumbres	
		Límite inferior	Límite superior
2019	0,0365	1,37%	1,37%
2018	0,0395	ND	ND
2017	0,049	ND	ND
2016	0,0557	ND	ND
2015	0,0381	ND	ND
2014	0,1170	ND	ND

Fuente: (Instituto Metereológico Nacional, 2020)

Anexo V Precio de emisiones de carbono de Bolsa de Londres

Futuros emisiones de carbono - Dic 2022 (CFI2Z2)

 Londres ★ Añadir a cartera 

↑ 89,93 +0,69 (+0,77%)

 01/02 - Mercado cerrado. Valores en EUR ([Aviso legal](#))

Último cierre:	89,93
Compra/Venta:	89,83 / 89,88
Rango día:	87,16 - 89,94

Tipo: Materias primas Grupo: Energía
 Unidades: 1 Tonelada

↑ Compra
↓ Venta

| Anuncio | El 73.81% de las cuentas de pequeños inversores pierde dinero cuando opera con CFD de este proveedor.

Fuente: (Investing.com, 2022)

APÉNDICES

Apéndice A. Análisis diferencial para autobuses de diésel

Análisis diferencial para autobuses de diésel										
Descripción	Costos	Periodos (años)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Adquisición de flota	\$15 675 000,00	\$15 775 154,08								
Estación de servicio (diésel)	\$100 154,08									
Combustible diésel	\$3 870 137,89	\$3 870 137,89	\$3 947 540,65	\$4 026 491,46	\$4 107 021,29	\$4 189 161,72	\$4 272 944,95	\$4 358 403,85	\$4 445 571,93	
Lubricantes	\$254 237,29	\$254 237,29	\$259 322,04	\$264 508,48	\$269 798,65	\$275 194,62	\$280 698,51	\$286 312,48	\$292 038,73	
Mantenimiento	\$385 362,10	\$385 362,10	\$393 069,34	\$400 930,73	\$408 949,34	\$417 128,33	\$425 470,90	\$433 980,31	\$442 659,92	
Inflación anual	0,02									
Crédito Banco Popular	5,75									
Servicio de deuda		\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	
Total costos anuales		\$6 081 718,92	\$6 171 913,67	\$6 263 912,31	\$6 357 750,92	\$6 453 466,31	\$6 551 096,00	\$6 650 678,29	\$6 752 252,22	
Ingreso por rescate		\$2 161 016,95								
Flujo neto de efectivo		-\$3 920 701,97	-\$6 171 913,67	-\$6 263 912,31	-\$6 357 750,92	-\$6 453 466,31	-\$6 551 096,00	-\$6 650 678,29	-\$6 752 252,22	
Valor actual neto (VAN)		-\$84 399 828,13								

Análisis diferencial para autobuses de diésel							
Descripción	Periodos (años)						
	9	10	11	12	13	14	15
Adquisición de flota							
Estación de servicio (diésel)							
Combustible diésel	\$4 534 483,36	\$4 625 173,03	\$4 717 676,49	\$4 812 030,02	\$4 908 270,62	\$5 006 436,04	\$5 106 564,76
Lubricantes	\$297 879,51	\$303 837,10	\$309 913,84	\$316 112,11	\$322 434,36	\$328 883,04	\$335 460,70
Mantenimiento	\$451 513,12	\$460 543,38	\$469 754,25	\$479 149,33	\$488 732,32	\$498 506,97	\$508 477,11
Inflación anual							
Crédito Banco Popular							
Servicio de deuda	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64	\$1 571 981,64
Total costos anuales	\$6 855 857,63	\$6 961 535,15	\$7 069 326,22	\$7 179 273,11	\$7 291 418,94	\$7 405 807,69	\$7 522 484,21
Ingreso por rescate							
Flujo neto de efectivo	-\$6 855 857,63	-\$6 961 535,15	-\$7 069 326,22	-\$7 179 273,11	-\$7 291 418,94	-\$7 405 807,69	-\$7 522 484,21
Valor actual neto (VAN)							

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

Apéndice B. Análisis diferencial para autobuses eléctricos

Análisis diferencial para autobuses eléctricos										
Descripción	Costos	Periodos (años)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Adquisición de flota	\$62 700 000,00	\$64 145 000,00								
Estación carga (cargadores)	\$1 445 000,00									
Reemplazo de baterías	\$16 500 000,00	\$16 500 000,00								
Energía eléctrica	\$649 842,34		\$649 842,34	\$662 839,19	\$676 095,97	\$689 617,89	\$703 410,25	\$717 478,45	\$731 828,02	\$746 464,58
Mantenimiento	\$115 608,63		\$115 608,63	\$117 920,80	\$120 279,22	\$122 684,80	\$125 138,50	\$127 641,27	\$130 194,09	\$132 797,98
Inflación anual	0,02									
Crédito Gestión Ambiental	5,75									
Servicio de deuda			\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60
Servicio de deuda, baterías										
Total costos anuales			\$7 157 449,57	\$7 172 758,59	\$7 188 373,79	\$7 204 301,29	\$7 220 547,35	\$7 237 118,32	\$7 254 020,72	\$7 271 261,16
Ingreso por rescate flota	0,25		\$15 675 000,00							
Ingreso por rescate batería	0,2		\$3 300 000,00							
Flujo neto de efectivo			\$11 817 550,43	-\$7 172 758,59	-\$7 188 373,79	-\$7 204 301,29	-\$7 220 547,35	-\$7 237 118,32	-\$7 254 020,72	-\$7 271 261,16
Valor actual neto (VAN)			-\$89 498 568,00							

Análisis diferencial para autobuses eléctricos							
Descripción	Periodos (años)						
	9	10	11	12	13	14	15
Adquisición de flota							
Estación carga (cargadores)							
Reemplazo de baterías							
Energía eléctrica	\$761 393,87	\$776 621,75	\$792 154,19	\$807 997,27	\$824 157,22	\$840 640,36	\$857 453,17
Mantenimiento	\$135 453,94	\$138 163,01	\$140 926,27	\$143 744,80	\$146 619,70	\$149 552,09	\$152 543,13
Inflación anual							
Crédito Gestión Ambiental							
Servicio de deuda	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60
Servicio de deuda, baterías			\$3 804 920,16	\$3 804 920,16	\$3 804 920,16	\$3 804 920,16	\$3 804 920,16
Total costos anuales	\$7 288 846,41	\$7 306 783,37	\$11 129 999,22	\$11 148 660,83	\$11 167 695,67	\$11 187 111,21	\$11 206 915,06
Ingreso por rescate flota							
Ingreso por rescate batería							
Flujo neto de efectivo	-\$7 288 846,41	-\$7 306 783,37	-\$11 129 999,22	-\$11 148 660,83	-\$11 167 695,67	-\$11 187 111,21	-\$11 206 915,06
Valor actual neto (VAN)							

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

Apéndice C. Análisis diferencial para autobuses de GLP

Análisis diferencial para autobuses de GLP										
Descripción	Costos	Periodos (años)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Adquisición de flota	\$31 844 871,00	\$31 981 133,75								
Estación de servicio (GLP)	\$136 262,75									
Combustible GLP	\$1 928 129,12		\$1 928 129,12	\$1 966 691,70	\$2 006 025,54	\$2 046 146,05	\$2 087 068,97	\$2 128 810,35	\$2 171 386,55	\$2 214 814,29
Lubricantes	\$177 966,10		\$177 966,10	\$181 525,42	\$185 155,93	\$188 859,05	\$192 636,23	\$196 488,95	\$200 418,73	\$204 427,11
Mantenimiento	\$250 485,36		\$250 485,36	\$255 495,07	\$260 604,97	\$265 817,07	\$271 133,41	\$276 556,08	\$282 087,20	\$287 728,94
Inflación anual	0,02									
Crédito Banco Popular	5,75									
Servicio de deuda			\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24
Total costos anuales			\$5 529 896,82	\$5 577 028,43	\$5 625 102,68	\$5 674 138,40	\$5 724 154,85	\$5 775 171,62	\$5 827 208,73	\$5 880 286,58
Ingreso por rescate	0,15		\$4 776 730,65							
Flujo neto de efectivo			-\$753 166,17	-\$5 577 028,43	-\$5 625 102,68	-\$5 674 138,40	-\$5 724 154,85	-\$5 775 171,62	-\$5 827 208,73	-\$5 880 286,58
Valor actual neto (VAN)			-\$70 747 304,04							

Análisis diferencial para autobuses de GLP							
Descripción	Periodos (años)						
	9	10	11	12	13	14	15
Adquisición de flota							
Estación de servicio (GLP)							
Combustible GLP	\$2 259 110,57	\$2 304 292,78	\$2 350 378,64	\$2 397 386,21	\$2 445 333,94	\$2 494 240,61	\$2 544 125,43
Lubricantes	\$208 515,65	\$212 685,96	\$216 939,68	\$221 278,48	\$225 704,05	\$230 218,13	\$234 822,49
Mantenimiento	\$293 483,52	\$299 353,19	\$305 340,26	\$311 447,06	\$317 676,00	\$324 029,52	\$330 510,11
Inflación anual							
Crédito Banco Popular							
Servicio de deuda	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24
Total costos anuales	\$5 934 425,98	\$5 989 648,18	\$6 045 974,82	\$6 103 427,99	\$6 162 030,22	\$6 221 804,50	\$6 282 774,27
Ingreso por rescate							
Flujo neto de efectivo	-\$5 934 425,98	-\$5 989 648,18	-\$6 045 974,82	-\$6 103 427,99	-\$6 162 030,22	-\$6 221 804,50	-\$6 282 774,27
Valor actual neto (VAN)							

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

Apéndice D. Análisis diferencial para autobuses eléctricos, con ingresos por servicios ecosistémicos

Análisis diferencial para autobuses eléctricos										
Descripción	Costos	Periodos (años)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Adquisición de flota	\$62 700 000,00	\$64 145 000,00								
Estación carga (cargadores)	\$1 445 000,00									
Reemplazo de baterías	\$16 500 000,00	\$16 500 000,00								
Energía eléctrica	\$649 842,34		\$649 842,34	\$662 839,19	\$676 095,97	\$689 617,89	\$703 410,25	\$717 478,45	\$731 828,02	\$746 464,58
Mantenimiento	\$115 608,63		\$115 608,63	\$117 920,80	\$120 279,22	\$122 684,80	\$125 138,50	\$127 641,27	\$130 194,09	\$132 797,98
Inflación anual	0,02									
Crédito Gestión Ambiental	5,75									
Servicio de deuda			\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60
Servicio de deuda, baterías										
Total costos anuales			\$7 157 449,57	\$7 172 758,59	\$7 188 373,79	\$7 204 301,29	\$7 220 547,35	\$7 237 118,32	\$7 254 020,72	\$7 271 261,16
Ingreso por rescate flota	0,25		\$15 675 000,00							
Ingreso por rescate batería	0,2		\$3 300 000,00							
Ing por serv ecosistémicos			\$9 250 844,32							
Flujo neto de efectivo			\$21 068 394,75	-\$7 172 758,59	-\$7 188 373,79	-\$7 204 301,29	-\$7 220 547,35	-\$7 237 118,32	-\$7 254 020,72	-\$7 271 261,16
Valor actual neto (VAN)			-\$80 429 112,78							

Análisis diferencial para autobuses eléctricos							
Descripción	Periodos (años)						
	9	10	11	12	13	14	15
Adquisición de flota							
Estación carga (cargadores)							
Reemplazo de baterías							
Energía eléctrica	\$761 393,87	\$776 621,75	\$792 154,19	\$807 997,27	\$824 157,22	\$840 640,36	\$857 453,17
Mantenimiento	\$135 453,94	\$138 163,01	\$140 926,27	\$143 744,80	\$146 619,70	\$149 552,09	\$152 543,13
Inflación anual							
Crédito Gestión Ambiental							
Servicio de deuda	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60	\$6 391 998,60
Servicio de deuda, baterías			\$3 804 920,16	\$3 804 920,16	\$3 804 920,16	\$3 804 920,16	\$3 804 920,16
Total costos anuales	\$7 288 846,41	\$7 306 783,37	\$11 129 999,22	\$11 148 660,83	\$11 167 695,67	\$11 187 111,21	\$11 206 915,06
Ingreso por rescate flota							
Ingreso por rescate batería							
Ing por serv ecosistémicos							
Flujo neto de efectivo	-\$7 288 846,41	-\$7 306 783,37	-\$11 129 999,22	-\$11 148 660,83	-\$11 167 695,67	-\$11 187 111,21	-\$11 206 915,06
Valor actual neto (VAN)							

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

Apéndice E. Análisis diferencial para autobuses de GLP, con ingresos por servicios ecosistémicos

Análisis diferencial para autobuses de GLP										
Descripción	Costos	Periodos (años)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Adquisición de flota	\$31 844 871,00	\$31 981 133,75								
Estación de servicio (GLP)	\$136 262,75									
Combustible GLP	\$1 928 129,12		\$1 928 129,12	\$1 966 691,70	\$2 006 025,54	\$2 046 146,05	\$2 087 068,97	\$2 128 810,35	\$2 171 386,55	\$2 214 814,29
Lubricantes	\$177 966,10		\$177 966,10	\$181 525,42	\$185 155,93	\$188 859,05	\$192 636,23	\$196 488,95	\$200 418,73	\$204 427,11
Mantenimiento	\$250 485,36		\$250 485,36	\$255 495,07	\$260 604,97	\$265 817,07	\$271 133,41	\$276 556,08	\$282 087,20	\$287 728,94
Inflación anual	0,02									
Crédito Banco Popular	5,75									
Servicio de deuda			\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24
Total costos anuales			\$5 529 896,82	\$5 577 028,43	\$5 625 102,68	\$5 674 138,40	\$5 724 154,85	\$5 775 171,62	\$5 827 208,73	\$5 880 286,58
Ingreso por rescate	0,15		\$4 776 730,65							
Ing por serv ecosistémicos			\$4 689 382,90							
Flujo neto de efectivo			\$3 936 216,73	-\$5 577 028,43	-\$5 625 102,68	-\$5 674 138,40	-\$5 724 154,85	-\$5 775 171,62	-\$5 827 208,73	-\$5 880 286,58
Valor actual neto (VAN)			-\$66 149 869,82							

Análisis diferencial para autobuses de GLP							
Descripción	Periodos (años)						
	9	10	11	12	13	14	15
Adquisición de flota							
Estación de servicio (GLP)							
Combustible GLP	\$2 259 110,57	\$2 304 292,78	\$2 350 378,64	\$2 397 386,21	\$2 445 333,94	\$2 494 240,61	\$2 544 125,43
Lubricantes	\$208 515,65	\$212 685,96	\$216 939,68	\$221 278,48	\$225 704,05	\$230 218,13	\$234 822,49
Mantenimiento	\$293 483,52	\$299 353,19	\$305 340,26	\$311 447,06	\$317 676,00	\$324 029,52	\$330 510,11
Inflación anual							
Crédito Banco Popular							
Servicio de deuda	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24	\$3 173 316,24
Total costos anuales	\$5 934 425,98	\$5 989 648,18	\$6 045 974,82	\$6 103 427,99	\$6 162 030,22	\$6 221 804,50	\$6 282 774,27
Ingreso por rescate							
Ing por serv ecosistémicos							
Flujo neto de efectivo	-\$5 934 425,98	-\$5 989 648,18	-\$6 045 974,82	-\$6 103 427,99	-\$6 162 030,22	-\$6 221 804,50	-\$6 282 774,27
Valor actual neto (VAN)							

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

