



**Propuesta para la sustitución del combustible Diésel en los vehículos de
transporte de pasajeros**

Trabajo de investigación presentado en satisfacción parcial de los
requerimientos para obtener el grado de Magíster en Gestión de la Energía
por:

Jesús Jhon Aldana Rivera

Enrique Javier Cornejo Sueldo

Amy Wind Grajeda León

Yenny Margot Reyes Vivas

Programa de la Maestría en Gestión de la Energía

Lima, 10 de mayo de 2022

Este trabajo de investigación

Propuesta para la sustitución del combustible Diésel en los vehículos de transporte de pasajeros

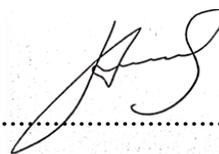
ha sido aprobado.



.....
Carlos Aguirre Gamarra (Jurado)



.....
Guillermo Lecarnaque Molina (Jurado)



.....
Fidel Edgard Amesquita Cubillas (Asesor)

Universidad ESAN

2022

Dedico esta tesis a mi familia, en especial a mi madre, por todo su apoyo en cada etapa de mi vida.

Jesús Jhon Aldana Rivera

Dedico esta tesis a mi madre, que desde el cielo estaría orgullosa por este logro, a mis hijos, por ser ellos mi motivación permanente y a Úrsula, mi amada compañera, por apoyarme incondicionalmente.

Enrique Javier Cornejo Sueldo

A mi padre Germán, mi mayor inspiración, quien hoy me da las fuerzas para seguir adelante. A mi madre Carmen y hermana Gianella, por su apoyo incondicional en cada uno de mis pasos.

Amy Wind Grajeda León

Dedico esta tesis a mi amado esposo y compañero de vida, por su gran amor hacia mí, por estar siempre conmigo, apoyándome, dándome ánimos y consejos. A mis queridos hijos Jennifer y Gonzalo, por su comprensión y por su apoyo en todo momento, cuando lo necesitaba siempre estaban conmigo. A mi madre, por su amor incondicional y por sus oraciones para que siempre me vaya bien.

Yenny Margot Reyes Vivas

Índice

Currículo Vitae de los Autores	19
Capítulo I: Introducción	40
1.1. Planteamiento del Problema	41
1.2. Formulación del Problema.....	44
<i>1.2.1. Problema General.....</i>	<i>44</i>
<i>1.2.2. Problemas Específicos</i>	<i>44</i>
1.3. Objetivo General.....	44
1.4. Objetivos Específicos	44
1.5. Justificación	45
1.6. Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	46
1.7. Metodología de Estudio	47
<i>1.7.1. Investigación de gabinete.....</i>	<i>48</i>
<i>1.7.2. Encuestas a empresas de transporte.....</i>	<i>48</i>
<i>1.7.3. Entrevistas al panel de expertos</i>	<i>48</i>
Capítulo II: Marco Teórico	49
2.1. Cambio Climático	49
2.2. Efecto Invernadero en el Perú.....	50

2.3. Emisiones de GEI por Sectores en el Perú	51
2.4. El Combustible Diésel	53
2.4.1. <i>Características</i>	54
2.4.2. <i>Legislación en el Perú</i>	54
2.5. El Gas Natural (GN)	55
2.5.1. <i>Características y Propiedades del GN</i>	59
2.5.2. <i>El Gas Natural y sus Variantes</i>	60
2.5.3. <i>La Legislación en el Perú</i>	67
2.6. Vehículos Eléctricos	68
2.6.1. <i>Tipos de Vehículos Eléctricos</i>	69
2.6.2. <i>Características Técnicas de los Vehículos Eléctricos</i>	72
2.6.3. <i>Cargadores para los Vehículos Eléctricos</i>	74
2.7. Kit de Conversión de buses diésel a eléctricos y buses GN a eléctricos.	79
Capítulo III: Marco Contextual – Transporte Público En El Perú	82
3.1. Transporte	82
3.2. Transporte Público en el Perú.....	83
3.3. Transporte Público en Lima Metropolitana.....	84
3.3.1. <i>Transporte a Diésel</i>	84
3.3.2. <i>Transporte a Gas Natural</i>	87

3.3.3. <i>Transporte Eléctrico</i>	92
Capítulo IV: Metodología	99
4.1. Descripción de la Estrategia para el Desarrollo de la Tesis.....	99
4.2. Descripción del Caso de Estudio	101
4.3. Descripción de la Línea Base	101
4.4. Estrategia para el Desarrollo de la Alternativa de Bus a Gas Natural	102
4.5. Estrategia Para el Desarrollo de la Alternativa de Bus Eléctrico	106
4.6. Estrategia para la Determinación de la Mejor Alternativa	109
4.7. Estrategia para Viabilizar la Sustitución del Combustible Diésel	110
Capítulo V: Evaluación de Alternativas	111
5.1. Universo para el Desarrollo de la Tesis	111
5.1.1. <i>Área de Estudio</i>	111
5.1.2. <i>Criterio de Pareto</i>	112
5.1.3. <i>Determinación de la Muestra Estadística</i>	112
5.2. Determinación del Caso de Estudio.....	120
5.3. Línea Base: Buses Diésel para su Conversión a GN o Eléctrico.....	124
5.4. Alternativa Bus a Gas Natural	126
5.4.1. <i>Evaluación Privada</i>	127
5.4.2. <i>Evaluación Social</i>	139

5.5. Alternativa a Bus Eléctrico	148
5.5.1. <i>Evaluación Privada</i>	149
5.5.2. <i>Evaluación Social</i>	160
5.6. Determinación de la Mejor Alternativa	167
5.7. Transición Energética para la Sustitución del Combustible Diésel.....	170
Capítulo VI: Análisis de Actores	173
6.1. Fase 01 y 02: Identificar y construir el cuadro de actores.	173
6.2. Fase 03 y 04: Posicionar a los actores tomando en cuenta sus objetivos estratégicos y jerarquizar a cada actor.	174
6.3. Fase 05: Analizar la estructura de influencia directas e indirectas entre los actores y calcular la relación de fuerza	175
6.4. Fase 6: Integrar las relaciones de fuerza en el análisis de las convergencias y divergencias entre los actores	176
6.5. Fase 7: Formular las recomendaciones estratégicas producto del análisis llevado a cabo, asimismo las interrogantes claves con una mirada al futuro.	178
Capítulo VII: Discusión de Resultados	180
Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones	185
8.1. Conclusiones.....	185
8.2. Recomendaciones	186

Bibliografía	187
Anexos	194

Lista De Tablas

Tabla 1 <i>Parámetros de Composición del GN</i>	59
Tabla 2 <i>Reporte mensual de cromatografía de gas</i>	60
Tabla 3 <i>Factor de corrección a Precios Sociales y emisiones de CO₂</i>	105
Tabla 4 <i>Parámetros para la Evaluación Social</i>	105
Tabla 5 <i>Precios sociales en la Evaluación Social</i>	106
Tabla 6 <i>Valores de los parámetros a utilizar</i>	113
Tabla 7 <i>Empresas encuestadas y cantidad de buses de transporte urbano</i>	114
Tabla 8 <i>Datos generales empresas de transporte público</i>	119
Tabla 9 <i>Criterios de las empresas encuestadas</i>	120
Tabla 10 <i>Calificación de las empresas encuestadas</i>	121
Tabla 11 <i>Presupuesto de Infraestructura para los Buses a GN</i>	127
Tabla 12 <i>Presupuesto de la conversión del Buses Diésel a GN</i>	128
Tabla 13 <i>Presupuesto de la Inversión Total para la alternativa de Buses a GN</i>	128
Tabla 14 <i>Costos de Operación y Mantenimiento de la Alternativa de Buses a GN</i>	129
Tabla 15 <i>Ingresos de la alternativa N° 1: Buses a GN</i>	130
Tabla 16 <i>Inversiones de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	131
Tabla 17 <i>Costos operativos de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	131
Tabla 18 <i>Flujo de caja económico de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	131

Tabla 19 <i>Valores antes de la simulación de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	132
Tabla 20 <i>Limites mínimo y máximo (%) bajo encuestas DELPHI a expertos</i>	133
Tabla 21 <i>Resumen de valores de las variables de entrada de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	134
Tabla 22 <i>Resultados de la simulación para Buses a GN</i>	139
Tabla 23 <i>Presupuesto de la Inversión Total a Precios Sociales de Buses a GN</i>	140
Tabla 24 <i>Costos de Operación y Mantenimiento a Precios Sociales de Buses a GN</i>	140
Tabla 25 <i>Costo de Tiempo de Viaje por Pasajeros en Buses a GN</i>	141
Tabla 26 <i>Costo por Emisiones de CO₂ en Buses a GN</i>	144
Tabla 27 <i>Costo por Pasajeros Heridos y Fallecidos en Buses a GN</i>	144
Tabla 28 <i>Beneficios Sociales por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses a GN</i>	145
Tabla 29 <i>Beneficios Sociales Totales en Buses a GN</i>	147
Tabla 30 <i>Flujo Económico a Precios Sociales de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	147
Tabla 31 <i>Valores a Precios Sociales de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	148
Tabla 32 <i>Presupuesto de Infraestructura para los Buses a Eléctricos</i>	149
Tabla 33 <i>Presupuesto del cambio de motor de Buses Diésel a Eléctricos</i>	150
Tabla 34 <i>Presupuesto de la Inversión Total para la alternativa de Buses Eléctricos</i>	150
Tabla 35 <i>Costos de Operación y Mantenimiento de la Alternativa de Buses Eléctricos</i>	151
Tabla 36 <i>Ingresos de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	152

Tabla 37 <i>Inversiones de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	152
Tabla 38 <i>Costos operativos de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	153
Tabla 39 <i>Flujo de caja económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	153
Tabla 40 <i>Valores antes de la simulación de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	154
Tabla 41 <i>Limites mínimo y máximo (%) bajo encuestas DELPHI a expertos</i>	155
Tabla 42 <i>Resumen de valores de las variables de entrada de la alternativa N° 1: Bus a GN156</i>	
Tabla 43 <i>Resultados de la simulación para Buses Eléctricos</i>	160
Tabla 44 <i>Presupuesto de la Inversión Total a Precios Sociales de Buses Eléctricos</i>	161
Tabla 45 <i>Costos de Operación y Mantenimiento a Precios Sociales de Buses Eléctricos</i>	161
Tabla 46 <i>Costo de Tiempo de Viaje por Pasajeros en Buses Eléctricos</i>	162
Tabla 47 <i>Costo por Pasajeros Heridos y Fallecidos en Buses Eléctricos</i>	163
Tabla 48 <i>Beneficios Sociales por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses Eléctricos</i>	164
Tabla 49 <i>Beneficios Sociales Totales en Buses Eléctricos</i>	165
Tabla 50 <i>Flujo Económico a Precios Sociales de la alternativa N° 2: Bus Eléctricos</i>	166
Tabla 51 <i>Valores a Precios Sociales de la alternativa N° 2: Bus Eléctricos</i>	167
Tabla 52 <i>Variables Sociales para determinar la sensibilidad del VAN Social</i>	169
Tabla 53 <i>Costos Totales Acumulados a Precios Sociales</i>	171
Tabla 54 <i>Títulos largos y cortos de los actores</i>	174

Tabla 55 <i>Ahorro económico por la reducción de las Emisiones de CO₂ en Buses a Eléctricos considerando Fuente de EEUU (Anexo 22)</i>	184
Tabla 56 <i>Valores a Precios Sociales en Bus Eléctricos considerando Fuente de EEUU (Anexo 23)</i>	184

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Porcentaje de Emisiones por Sector</i>	51
Figura 2 <i>Inventarios nacionales de GEI – Sin UTCTS</i>	52
Figura 3 <i>Entrada en comercialización de los combustibles diésel</i>	55
Figura 4 <i>Distribución de GNL en Europa (Proyecto LNG Blue Corridors en Europa)</i>	56
Figura 5 <i>Tanque de GNC en vehículos de transporte público Corredor rojo</i>	61
Figura 6 <i>Tanque de GNC en camiones de carga pesada</i>	61
Figura 7 <i>Tipos de cilindros</i>	62
Figura 8 <i>Autobús de transporte turístico a GNL</i>	64
Figura 9 <i>Autobús LiAZ-5292 LNG del Grupo GAZ Group de Rusia</i>	64
Figura 10 <i>Tanque de GNL</i>	65
Figura 11 <i>Tanque de GNL – Funcionamiento</i>	66
Figura 12 <i>Esquema de un bus de pasajeros eléctrico</i>	71
Figura 13 <i>Tipo de tecnología de cargadores y esquema de carga</i>	74
Figura 14 <i>Cargador tipo enchufe o plug utilizado por empresa STP</i>	76
Figura 15 <i>Pantógrafo utilizado en ciudad de St Moritz, Suiza</i>	77
Figura 16 <i>Cargador inductivo utilizado en ciudad de Brunswick, Alemania</i>	78
Figura 17 <i>Tecnología de los cargadores existentes</i>	79
Figura 18 <i>Kit de conversión de buses diésel a GN</i>	79

Figura 19 <i>Kit de conversión de buses GN a eléctricos</i>	80
Figura 20 <i>Antigüedad de la flota y uso de combustibles en el transporte público en Lima</i>	85
Figura 21 <i>Esquema de transporte del Metropolitano</i>	89
Figura 22 <i>Plano de recorrido del Metropolitano</i>	90
Figura 23 <i>Buses del Corredor Rojo serán convertidos al gas natural con el programa Ahorro GNV</i>	91
Figura 24 <i>Red básica aprobada para el sistema de transporte por tren eléctrico en Lima</i>	93
Figura 25 <i>Resultados del proyecto piloto Lima e-bus – ENEL X</i>	95
Figura 26 <i>Primer bus de transporte eléctrico en corredor amarillo – ENEL X</i>	96
Figura 27 <i>Diagrama de las alternativas de los buses a Diésel</i>	99
Figura 28 <i>Universo del mercado de transporte urbano de pasajeros en Lima</i>	100
Figura 29 <i>Diagrama de opciones para el Desarrollo de la Alternativa de Buses a Gas Natural</i>	102
Figura 30 <i>Diagrama de la evaluación económica para los buses a GN</i>	103
Figura 31 <i>Diagrama de las opciones para el Desarrollo de la Alternativa de Buses Eléctricos</i>	107
Figura 32 <i>Diagrama de la evaluación económica para los buses eléctricos</i>	108
Figura 33 <i>Ruta de la empresa ETUCHISA</i>	123
Figura 34 <i>Escenario base de buses con motor Diésel</i>	125

Figura 35 <i>Demanda de Pasajeros por día de ETUCHISA en el horizonte del proyecto (30 años)</i>	125
Figura 36 <i>Distribución triangular del Ingreso Anual de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	135
Figura 37 <i>Distribución triangular de la Inversión Total de la alternativa N° 1: Bus a GN</i> ..	135
Figura 38 <i>Distribución triangular del Costo Operativo Total de la alternativa N° 1: Bus a GN</i>	136
Figura 39 <i>Histograma del VAN económico para Bus a GN</i>	137
Figura 40 <i>Histograma del TIR económico para Bus a GN</i>	137
Figura 41 <i>Histograma de la Razón B/C económico para Buses a GN</i>	138
Figura 42 <i>Confiabilidad</i>	143
Figura 43 <i>Distribución triangular del Ingreso Anual de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i> .	156
Figura 44 <i>Distribución triangular de la Inversión Total de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	157
Figura 45 <i>Distribución triangular del Costo Operativo Total de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	157
Figura 46 <i>Histograma del VAN económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	158
Figura 47 <i>Histograma del TIR económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	158
Figura 48 <i>Histograma de la Razón B/C económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico</i>	159
Figura 49 <i>Sensibilidad del VAN Social para la Alternativa de Buses Eléctricos</i>	170

Figura 50 <i>Costos Incrementales a Precios Sociales para Buses Diésel, GN y Eléctricos</i>	171
Figura 51 <i>Posicionamiento y jerarquización de los actores</i>	174
Figura 52 <i>Matriz de influencias directas e indirectas</i>	175
Figura 53 <i>Balance Neto de las Influencias</i>	176
Figura 54 <i>Gráfica de convergencias entre los actores</i>	176
Figura 55 <i>Gráfica de divergencias entre los actores</i>	177
Figura 56 <i>Proyecciones de Precios de los Energéticos en EEUU (2022-2050)</i>	181
Figura 57 <i>Costos Incrementales considerando Fuente de EEUU (EIA, Marzo 2022) para Buses Diésel, GN y Eléctricos</i>	182
Figura 58 <i>Matriz energética en el Perú</i>	183

Lista de Anexos

Anexo 1. Balanza Comercial de Hidrocarburos y Biocombustibles	194
Anexo 2. Cronograma de instrumentos normativos vinculados a la calidad de combustibles	195
Anexo 3. Tipos de cilindros	196
Anexo 4. Cronograma de instrumentos normativos vinculados a la calidad del GN	197
Anexo 5. Comparación entre los VE, HEV y FCV	198
Anexo 6. Distribución de corredores	199
Anexo 7. Encuesta 1	200
Anexo 8. Encuesta 2	201
Anexo 9. Tabulación de resultados encuesta 1	202
Anexo 10. Tabulación de resultados encuesta 2	203
Anexo 11. Fotografías.	204
Anexo 12. Flujo de caja económico de la Alternativa de Buses a GN	207
Anexo 13. Flujo de caja económico de la Alternativa de Buses eléctricos	208
Anexo 14. Costos incrementales de la Alternativa de Buses a GN	209
Anexo 15. Costos incrementales de la Alternativa de Buses eléctricos	210
Anexo 16. Costos incrementales Acumulados de las Alternativas versus la línea base	211

Anexo 17. Proyección de precios de los energéticos: diésel, gas natural y electricidad en los Estados Unidos de Norteamérica (Periodo: 2022 a 2051)	212
Anexo 18. Emisión de CO2 por tipo de vehículo en el sector transporte	213
Anexo 19. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO2 en los buses a Diesel	216
Anexo 20. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO2 en los buses a GN	217
Anexo 21. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO2 en los buses eléctricos	218
Anexo 22. Emisiones de Combustibles del Sector Transporte en California, gCO2/MJ219	
Anexo 23. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO2 en los buses eléctricos considerando Fuente de EEUU (CARB)	220

Currículo Vitae de los Autores

Jesús Jhon Aldana Rivera

Profesional con más de 10 años de experiencia en áreas de Operaciones de hidrocarburos líquidos y gas natural. Especialista en supervisión y planeamiento en labores de Integridad Mecánica y Mantenimiento de Equipos de la Industria de Hidrocarburos. Desarrollador Planes de Inspección Basada en Riesgos (RBI) e implementador de Planes de Inspección mediante software de gestión de activos.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Aguaytía Energy del Perú

Empresa peruana, operadora del lote 31C ubicada en el departamento de Ucayali, realiza extracción de gas natural y condensados, provee de gas natural a la Central Térmica de Termoselva y abastece de GLP al mercado de Pucallpa. Actualmente tiene una producción de 30MMSCF de gas natural y 6900 barriles / mes de condensado. Con ingresos anuales de 20MM USD.

Jefe de Integridad de Activos

Enero 2021 – Actualidad

Gestión de los servicios y compras referentes al área de Gestión de Integridad de Activos. Administración de contratos referentes a la gestión de integridad de los ductos de Aguaytía Energy, así como de los activos estáticos de las 2 plantas de procesamiento de gas y condensado. Implementador de la Inspección Basada en Riesgo para activos de todas las instalaciones, desarrollador de los elementos de PSM respecto a Integridad Mecánica.

3 reportes directos – reporte al Gerente de Operaciones.

GIE S.A.

Compañía peruana, de servicios de ingeniería a empresa peruanas sobre temas referentes a integridad mecánica. Con ingresos anuales de 2MM USD.

Ingeniero Sr de Integridad Mecánica **Setiembre 2015 – Diciembre 2020**

Promotor, desarrollador y ejecutor de Proyectos de Integridad Mecánica según RBI. Implementación de software de gestión de activos (Meridium, GE).

Especialista en determinación de mecanismos de daño así como en evaluación de aptitud para el servicio de equipos de proceso (Intercambiadores de calor, reactores, separadores, aeroenfriadores, tuberías de proceso, válvulas de seguridad, bombas, compresores, turbinas, etc). en refinerías, petroquímicas, plantas de tratamiento de crudo, planta de tratamiento de gas nacionales

5 reportes directos - reporte al Gerente de Proyecto.

Ingeniero Jr de Integridad Mecánica **Octubre 2013 – Agosto 2015**

Inspector ASNT de tanques, recipientes y tuberías de proceso.

Validación y evaluación de defectos según API B31G en oleoductos y gaseoductos en Pluspetrol Perú Norte y PERU LNG.

Revisión de información de diseño, diagramas PFD, PID, y procesamiento de circuitos de corrosión en refinerías, revisión de informes de inspección. Recopilación de datos de proceso y datos de diseño. Traducción de procedimientos de inspección (inglés- español y portugués - español).

2 reportes directos - reporte al Gerente de Proyecto.

FORMACIÓN PROFESIONAL

ESAN GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS

2019 - actualidad

Maestría en la Gestión de la Energía

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

2007 – 2011

Ingeniero Químico

OTROS ESTUDIOS

- Inspector API 653 – American Petroleum Institute diciembre 2019.
- Inspector API 580 – American Petroleum Institute setiembre 2020.
- Asset Performance Management User Meridium Meridium - junio 2016.
- Análisis de Falla por corrosión en la Industria – PUCP setiembre 2015.

Enrique Javier Cornejo Sueldo

Profesional con más de 15 años de experiencia en áreas de Operaciones, con capacidad para identificar y proponer oportunidades innovadoras en la gestión de energía. Experiencia desde la concepción del proyecto hasta la entrega al consumidor final, que incluye actividades y prácticas coordinadas y sistematizadas para el manejo óptimo de los sistemas de activos, con altos estándares de calidad, seguridad y medio ambiente principalmente en el sector hidrocarburos y generación de energía. Capacidad para mejorar y organizar áreas administrativas y procesos. Orientado a resultados y conocimientos variados como normativa y reglamentación. Nivel intermedio de inglés.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Compañía Cálida – Gas Natural de Lima y Callao S.A.

Empresa peruana, que tiene la concesión del Estado para diseñar, construir y operar el sistema de distribución de gas natural en Lima. Su principal accionista es el Grupo Energía Bogotá, con ingresos anuales de US\$ 308 MM

Responsable de nuevos negocios

Mayo 2019 – Agosto 2020

Gerencé el proyecto de estaciones dedicadas a gas natural comprimido, desarrollé el modelo de soluciones energéticas a la industria, gestioné la ingeniería, adquisiciones, construcción y entrega a operación y mantenimiento; con lo cual logré conseguir ahorros en la consecución del proyecto de hasta el 30% del valor total.

Participé en la identificación de contactos relevantes y segmentación de consumidores para identificar y priorizar oportunidades del portafolio de marcas (productos y servicios), base de la estrategia de portafolio.

Contribuí al cambio de la matriz energética del país en los proyectos de innovación energética, autogeneración y cogeneración, visitas a proveedores / talleres en Barcelona - España y Shanghái - China con la finalidad de identificar, reconocer y compilar nueva tecnología, para brindar soluciones energéticas en LGN: Líquidos de Gas Natural.

4 reportes directos – reporte al Director de Operaciones.

Subgerente de Mantenimiento

Abril 2015 – Abril 2019

Planifiqué y gestioné el mantenimiento de la infraestructura de la concesión de distribución de gas natural, el plan de prevención de daños, emergencias e integridad de ductos, consiguiendo ahorros de hasta el 20% Anual del presupuesto OPEX.

Fomenté los aprendizajes en el personal de la subgerencia, de acuerdo con su potencial, perfil, preferencias y expectativas, consiguiendo finalmente mejorar el clima laboral (GPTW), el trabajo en equipo y el rendimiento del área.

Desarrollé la estrategia para la Gestión de las Emergencias (Creación, formación de área de emergencias y nuevos esquemas para la atención integral y oportuna de los requerimientos de los consumidores), logrando una mayor eficiencia en la respuesta de atención de emergencias.

Desarrollé e implemente la estrategia de ejecución de los mantenimientos descentralizando la sede central en bases operativas, consiguiendo un 60% de ahorro en los recursos humanos, materiales y activos de la compañía.

Negocié con clientes industriales “Generadores Eléctricos” y coordiné operaciones para definir los acuerdos del servicio, con lo que logramos niveles del cumplimiento y satisfacción del cliente del 98%.

7 reportes directos/53 indirectos - reporte al Director de Operaciones.

Supervisor de Estaciones

Mar 2005 – Mar. 2015

Comisioné y realicé la puesta en servicio de estaciones de servicio a gas natural y clientes del sector industrial de generación eléctrica; planifiqué los mantenimientos a los equipos de odorización, cromatografía y calidad de gas interacción con los interventores y administradores de contrato, programación de los mantenimientos preventivos y correctivos de la infraestructura del sistema de distribución a gas natural.

20 reportes directos - reporte al Jefe de Operación y Mantenimiento.

Compañía Engie Energía del Perú

Compañía de generación eléctrica con 23 años en el mercado peruano, con centrales de generación en 4 regiones del país (Lima, Moquegua, Pasco y Áncash) con una capacidad total de 2,496 MW, forma parte del grupo ENGIE de Francia, con ingresos anuales ajustados de US\$ 536 MM.

Mantenedor y Analista de Predictivo

Enero 2000 – Diciembre 2004

Participé en las etapas de construcción, comisionado y puesta en operación de turbinas a vapor, generadores de vapor a carbón y equipos auxiliares, asimismo en la elaboración del programa de mantenimiento predictivo a través del análisis vibracional.

Compañía Souther Cooper Corporation

Compañía minero - metalúrgica de clase mundial, es uno de los productores de cobre más grandes del mundo. En el Perú las operaciones de minado, fundición, y refinación están ubicadas en los departamentos de Tacna, Arequipa y Moquegua, con ingresos anuales de US\$ 6,65 miles de MM.

Mantenedor Mecánico Planta de Fuerza

Abril 1997 – Diciembre 1999

Participé en los mantenimientos preventivos y mayores “overhaul” de turbinas a vapor; autoderivadas a diésel, generadores de vapor “calderos acuotubulares”, plantas de agua

(desalinizadoras, desmineralizadoras y potables) y equipos auxiliares (ventiladores, compresores y bombas de alimentación).

FORMACIÓN PROFESIONAL

ESAN GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS	2019 - actualidad
Maestría en la Gestión de la Energía	
ESCUELA DE DIRECCIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA	2017
Programa en Competencias Gerenciales	
UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTROYA	2009 – 2013
Ingeniero Industrial	
TECSUP	1994 – 1996
Técnico en Maquinaria de Planta	

OTROS ESTUDIOS

- Programa de formación de portavoces – Media training octubre 2019.
- Gestión de portafolio y proyectos (Modelo de maduración y creación de valor) – Grupo Energía de Bogotá mayo 2018.
- Taller de Negociación Cambridge International Consulting abril 2016.
- Curso de especialización en Hidrocarburos y Derecho dictado por la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía octubre 2015.
- Interpretación de las Normas (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001) Bureau Veritas mayo 2015.

- Curso Liderazgo (Comunicación de Impacto, Liderando equipos efectivos, negociación y creatividad e innovación INNOVADES agosto 2014.
- Gestión de Integridad de Tuberías de Transporte ASME B31.8S – Enginzone 2012.
- Gestión de Integridad de Tuberías de Transporte ASME B31.8S – Enginzone 2012.
- Gestión de Tuberías de Transporte y Distribución ASME B31.8– Enginzone 2011.

Amy Wind Grajeda León

Profesional con experiencia en el sector de los biocombustibles y alimentos, sus etapas de producción y comercio local e internacional. Experiencia en la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura y Plan HACCP. Estudiante de intercambio en la UNAM, MX y en la OU, EEUU. Nivel avanzado de inglés.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

HPO - Heaven Petroleum Operators S.A.

Primera Planta de Producción Industrial y comercialización nacional e internacional de Biocombustibles y Glicerina USP.

Jefe de Aseguramiento de la Calidad

Mayo 2022 – Actualidad

Participar como inspector del Comité de la Calidad y en el desarrollo de Manual de Calidad. Asegurar el cumplimiento de los procedimientos de desviaciones, quejas, devoluciones, retiros, reprocesos, recuperaciones y retrabajos, control de cambios, administración de riesgo, autoinspecciones y auditoria entre otros. Asegurar que se realice la capacitación inicial y permanente al personal involucrado con todas las etapas de manufactura, mantenimiento, control de calidad, aseguramiento de la calidad, almacenamiento y distribución de la glicerina. Asegurar que todos los documentos de trazabilidad provenientes de la manufactura, el control de calidad y el despacho de un lote hayan sido completados y verificados por los supervisores calificados de las áreas correspondientes. Asegurar la liberación de un lote al mercado una vez revisado el cumplimiento de la documentación del registro de manufactura.

Coordinador de Logística Comercial

Diciembre 2020 - Abril 2022

Hacer charla de inducción y entrega de EPPs al personal nuevo de logística comercial. Elaboración de procedimientos y formatos de registro de recepción de materia prima y despacho de la Planta de Biodiesel. Coordinación de la entrega del Biodiesel a los clientes locales, mediante camiones cisterna. Control y seguimiento del volumen de biodiesel certificado y despachado.

Asistente de Producción**Junio 2019 - Noviembre 2020**

Hacer charla de inducción y entrega de EPPs al personal nuevo de producción. Elaboración de procedimientos y formatos de registro de producción, despacho, mantenimiento, limpieza y seguridad industrial de la Planta de Refinación de Glicerina USP. Capacitación permanente al personal de manufactura y despacho según los procedimientos elaborados bajo los principios de Buenas Prácticas de Manufactura. Control documentario. Realización de auditorías internas y seguimiento de las no conformidades. Supervisión del cumplimiento de las BPM.

Asistente de Logística**Enero 2018 - Mayo 2019**

Generación de órdenes de compra, coordinación y seguimiento de la entrega de equipos y materiales con proveedores locales y de importación. Coordinación de contratos para la exportación de Glicerina USP. Elaboración del procedimiento de compra y aprobación de proveedores de insumos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UNAM equipadas para la evaluación petrofísica de las rocas almacenadoras y productoras de hidrocarburos.

Asistente de Laboratorio**Junio 2001 - Febrero 2010**

Realización de mediciones petrofísicas básicas en núcleos de roca y pruebas de desplazamiento. Caracterización de rocas a escala de laboratorio realizando pruebas de presión capilar,

porosidad, permeabilidad y de desplazamiento haciendo uso de productos químicos para la recuperación mejorada de hidrocarburos. Elaboración de informe de actividades y formatos de registro.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

El Centro de Investigación y Desarrollo Cultural de Petrolero de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la UNI es el órgano técnico que promueve las investigaciones relacionadas con las especialidades de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica.

Asistente de Investigación

Junio 2001 - Febrero 2010

Participación en el proyecto “Tratamiento de Remoción de Parafinas usando Químicos Biodegradables en Campos Maduros en el Perú” – Análisis del comportamiento de la formación de parafinas bajo diferentes concentraciones de un surfactante. Encargada de realizar las pruebas de laboratorio y los informes mensuales presentados al Área de Investigación en la Universidad Nacional de Ingeniería acerca del avance del proyecto, solicitudes realizadas y resultados de los ensayos de laboratorio.

- Co-autor del paper “Testing of Environmental Friendly Paraffin Removal Products”. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/181162-MS. Presentado en el SPE Latin America and Caribbean Heavy and Extra Heavy Oil Conference, 19-20 October, Lima, Peru. Co-autores: PhD Armacanqui, J. Samuel (CITEEL), Ing. Fatima Eyzaguirre, L. (UNI), Ing. Viera, M. R. (UNI), Flores, M. G. (UNI), Zavaleta D. Ernesto (UNI), Camacho F. E. (UNI), Amy W.(UNI).

FORMACIÓN PROFESIONAL

ESAN GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS

2019 - Actualidad

Maestría en Gestión de la Energía

Especialización en Gestión de Gas e Hidrocarburos

Especialización en Gestión del Sector Eléctrico

COLEGIO DE ECONOMISTAS DEL PERÚ 2021

Diplomado Especializado en Gestión de Proyectos con Ms Project

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA 2018

Especialización en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO 2016

Caracterización Dinámica de Yacimientos

Evaluación de Proyectos en Ciencias de la Tierra

Recuperación Secundaria Mejorada

Administración de Seguridad Industrial y Protección Ambiental

Simulación Matemática de Yacimientos

UNIVERSITY OF OKLAHOMA, EEUU 2017

Natural Gas Processing

Principles of Organization and Management

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA 2012 - 2017

Bachiller en Ciencias con Mención en Ingeniería de Petróleo y Gas Natural

OTROS ESTUDIOS

Universidad de Barcelona y Funseam: X Simposio Académico Internacional Funseam: Green Opportunities for the Energy Sector 2022

Universidad Nacional Agraria La Molina: BPM, POE, POES, PLAN HACCP - Implementacion y Auditoria 2021

Instituto Científico del Pacífico: Curso Excel Financiero	2021
Esan Graduate School of Business: International Week	2019
Pontificia Universidad Católica Del Perú – Instituto Confucio: Chino Mandarín	2018
Universidad Nacional de Ingeniería – CEPS: Microsoft Excel, Microsoft Word, Microsoft Power Point	2017
Universidad Nacional de Ingeniería: Saphir (Pruebas de Presión)	2017
Universidad Nacional de Ingeniería: Prosper (Diseño de Pozo)	2017
Consejo Departamental De Lima – CIPP: Saphir (Pruebas de Presión)	2017
Universidad Nacional de Ingeniería: CMG (Simulación de Reservorios)	2017
SPE – Sección Lima: Curso: “Interpretación de Registros en Pozo Entubado”	2017
Universidad Nacional de Ingeniería – FIPP: Curso: “Gestión y Evaluación de Proyectos”	2017
Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM: Matlab (Programación)	2016
ICPNA: Ingles Americano, GMAT (560/800), TOEFL iBT (90/120)	2016
Universidad Nacional de Ingeniería – CEPS: AutoCAD (Design Software)	2016

EXPERIENCIA DE VOLUNTARIADO Y/O CAPACITACIONES

- Trabajo de Alto Riesgo, Seguridad Salud en el Trabajo y Medio Ambiente 2022
- Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Determinación de Controles
- Manejo de Extintores 2022
- Grupo HPO Corp. – Formador Interno 2022
- Grupo HPO Corp. – Brigada de Evacuación 2019

Yenny Margot Reyes Vivas

Profesional con más de 25 años de experiencia en las áreas de Operación y Comercialización, con experiencia en todo el proceso de comercialización del servicio de energía eléctrica.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Empresa de Electricidad del Perú S.A. – ELECTROPERÚ S.A.

Empresa Estatal de derecho privado que tiene como objetivo dedicarse a las actividades propias de la generación, transmisión por el sistema secundario de su propiedad y comercialización de energía eléctrica, con el fin de asegurar el abastecimiento oportuno, suficiente, garantizado y económico de la demanda de energía, de acuerdo a lo dispuesto en la legislación vigente.

Analista de Estudios Energéticos

2005 – Actualidad

Conocimiento y aplicación de la regulación de tarifas del Sector Eléctrico Peruano.

Conocimiento y aplicación de las tarifas y precios de los SST del Sector Eléctrico Peruano.

Análisis y aplicación de la regulación de tarifas de suministro de electricidad y de tarifas y precios de Sistemas de Transmisión.

Representante de ELECTROPERÚ ante el COES en el Comité de Transferencias para verificar lo relacionado a las obligaciones de ELECTROPERÚ para el pago de los Sistemas Secundarios de Transmisión y Sistemas Complementarios de Transmisión.

Análisis de flujos de energía del Sistema Eléctrico Nacional.

Coordinación con el COES para la determinación de los pagos correspondientes a ELECTROPERÚ por el uso de los SST asignados a la generación, conforme a lo dispuesto en la regulación vigente.

Determinar las tarifas en barra reguladas por OSINERGMIN en las barras aguas abajo de las barras referenciales del SEIN.

Elaborar proyectos de demandas a ser propuestos a la Oficina de Asesoría Legal, para reclamar los montos adeudados de las empresas por: a) resarcimientos de las empresas asignadas por el COES como responsables de interrupciones de conformidad a la NTCSE, b) Cobros indebidos por algunas empresas titulares de transmisión.

Asistente de Operaciones

1997 – 2005

Análisis y simulaciones de flujo de carga y análisis de estabilidad del SEIN.

Aplicación de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos -NTCSE- (DS-020-97-EM):

- Determinación de los parámetros de calidad en puntos de entrega de los clientes de ELECTROPERÚ S.A.
- Elaboración de informes técnicos al OSINERG: informe consolidado de mediciones para el control de calidad del producto; informe semestral de las compensaciones a los clientes por interrupciones por rechazos de carga por mínima frecuencia.
- Evaluación mensual de compensaciones por regulación primaria de frecuencia y valorización de transferencias de energía reactiva (Aporte al Fondo de Compensación Reactiva) que corresponde asumir a ETEVENSA en las transferencias del COES.

Universidad Nacional del Callao – UNAC

Profesora contratada titular en la FIEE

1996 – 1998

Cursos dictados:

- Análisis de Sistemas de Potencia II
- Análisis de Estabilidad de Sistemas de Potencia
- Alta Tensión

FORMACIÓN PROFESIONAL

ESAN GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS Maestría en la Gestión de la Energía	2019 – actualidad
UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Diplomado en Gestión y Regulación del Sector Eléctrico	2017
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA Estudios de Post Grado en Sistemas de Potencia	1993 – 1994
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ Ingeniera Electricista	1985 – 1990
OTROS ESTUDIOS	
Instituto Cultural Peruano Norteamericano – Huancayo Inglés - Nivel avanzado concluido	1989-1991

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad el Perú requiere de la importación de combustibles para cubrir la demanda interna del sector transporte, lo que ocasiona que la balanza comercial muestre valores negativos; por otro lado, a nivel internacional el uso del GN se ha convertido en un combustible alternativo al diésel, debido a que es más económico, más amigable con el medio ambiente y con el avance de la tecnología, proporciona mayor autonomía. Asimismo, con relación a la tecnología de buses eléctricos, esta ha venido evolucionando en el tiempo, lo que ocasiona que sea más asequible su compra, teniendo entre sus principales ventajas, la no emisión de gases de efecto invernadero, mejorando con ello la calidad del aire y por consiguiente la salud de la población.

El presente trabajo de tesis propone un cambio de la matriz energética a fin de lograr una transición del uso de combustible diésel a otras alternativas en el transporte público de pasajeros. Para tal efecto se plantean los siguientes objetivos específicos:

Evaluar la rentabilidad del combustible diésel y sus alternativas para el transporte de pasajeros (rentabilidad económica).

Evaluar el impacto ambiental y sus alternativas para el transporte de pasajeros.

Evaluar la sostenibilidad social y sus alternativas para el transporte de pasajeros.

Seleccionar la alternativa que permita sustituir el combustible diésel en el transporte de pasajeros.

En la primera parte, se define la metodología, la cual consiste en estudiar un fenómeno dentro de una muestra representativa, definida bajo el criterio de Pareto, para nuestro caso son los buses de transporte de pasajeros de combustible diésel categoría M3. Luego de ello, en gabinete se investiga y recolecta información de las tecnologías de buses a GN y baterías eléctricas, sus características, aplicaciones y tipos de vehículos de transporte de pasajeros, posteriormente se realiza bajo la técnica e instrumento de recolección de datos, visitas a las instalaciones de las empresas, realizando encuestas a un total de 18 empresas de transporte de pasajeros, de las cuales, 8 empresas respondieron el cuestionario de preguntas.

En la segunda parte, se analiza la información de las 8 líneas de buses de transporte público que transitan en las zonas norte, centro y sur de la ciudad de Lima, para luego de ello, bajo la aplicación de ciertos criterios como horarios, tipo de flota, cantidad de flota, pasajeros por día y longitud de recorrido, seleccionar la empresa que formará parte del estudio, siendo la Empresa de Transportes Unidos el Chino S.A. (ETUCHISA), la que formará parte de nuestro caso de estudio y línea base para establecerla como nuestro universo de demanda de pasajeros, costos y gastos para su operación.

En la tercera parte, con la información (costos y gastos, de diseño, permisología, procura de equipos, instalación, conversión, supervisión, comisionados y puesta en operación de la infraestructura para los buses) obtenida a partir de encuestas a la empresa de transporte de pasajeros ETUCHISA, entrevistas a expertos y la información recolectada de las tecnologías y

costos, se determina en términos económicos y sociales, los indicadores VAN, TIR y Beneficio-Costo para las dos alternativas de conversión : buses a GN y buses eléctricos de la flota de 209 buses de ETUCHISA.

En la cuarta parte, se realizó una simulación de Montecarlo aplicado a las dos alternativas, con el propósito de obtener una solución robusta, disminuyendo el riesgo en la toma de decisiones, mediante el uso de escenarios probabilísticos, en función de un rango de variación de las variables de entrada (Ingreso anual, inversión total y costos operativos). Este proceso se realizó mediante la aplicación del software @Risk, cuyos resultados nos indican si los indicadores económicos son viables.

Posteriormente, de las alternativas evaluadas se concluye que la propuesta para la sustitución del combustible diésel en los vehículos de transporte de pasajeros, es técnica y económicamente factible, sustentado en lo siguiente:

Con relación a la rentabilidad del combustible diésel y sus alternativas para el transporte de pasajeros (evaluación privada), se concluye que los buses a GN son más rentables que los buses eléctricos, mientras que los buses eléctricos son más rentables cuando se realiza una evaluación social.

Con relación a la evaluación del impacto ambiental y las alternativas que estamos planteando para cambiar el combustible de los buses a diésel, concluimos que existe una mayor

reducción de emisiones de CO₂ de los buses eléctricos comparados con los buses a combustible GN.

Con respecto a la sostenibilidad social y sus alternativas para el transporte de pasajeros, concluimos que existe una mayor reducción del tiempo de viaje y una reducción del número de accidentes (reducción de heridos y fallecidos en el transporte urbano de pasajeros) al optar la alternativa de buses eléctricos.

Por último, de las alternativas evaluadas para la conversión de los buses diésel, la alternativa más rentable para un período a 30 años es la de los buses eléctricos, considerando la evaluación privada y los beneficios sociales, sin embargo, si consideramos solamente la evaluación privada los buses a GN son más rentables.

Finalmente, se analiza a los diferentes grupos de interés (Ministerios, productores de combustible, comercializadores), para ello se ha utilizado la herramienta MACTOR, a fin de visualizar las tendencias dominantes y los pros y en contra en la consecución de los objetivos.

A continuación, mencionamos los siguientes resultados obtenidos:

Las convergencias más importantes que se han detectado se dan entre las siguientes entidades gubernamentales: MINEM, MINAM y MTC, debido a que son ellos los responsables de realizar coordinaciones estrechas, políticas públicas integradas para que de esta manera se elabore el plan estratégico para la transición energética de los buses de transporte de pasajeros con combustible diésel a GN y/o baterías eléctricas.

Por otro lado, existe una divergencia entre las entidades gubernamentales MINAM, MEF MINEM y MTC con los productores - comercializadores de diésel, ya que al existir nuevas imposiciones regulatorias camino hacia la transición energética, relacionadas a la calidad y emisión de contaminantes, se verán afectados en sus volúmenes de producción y con ello una disminución de sus márgenes de ganancias.

Resumen elaborado por los autores

Capítulo I: Introducción

La presente tesis, consiste en elaborar una propuesta de sustitución del combustible diésel en los de buses de transporte de pasajeros, es decir, evaluar la transición energética hacia otras alternativas como el Gas Natural (GN) y/o buses eléctricos, esto debido a que en la actualidad, en el Perú la matriz energética está compuesta por combustibles convencionales tales como el petróleo y sus derivados: gasolina, gas licuado del petróleo y otros, los mismos que son importados, ya que la producción en el Perú no abastece a la demanda nacional, generando con ello que la balanza comercial tenga resultados negativos.

Así también, el sector transporte, por sus elevadas cantidades de consumo de combustibles diésel, es uno de los principales contribuyentes al problema del cambio climático, como consecuencia, la atmósfera recibe periódicamente elevados volúmenes de gases de efecto invernadero (GEI) que aceleran el proceso de calentamiento global y generan problemas para la salud de sus habitantes. Este hecho, sumado con la futura escasez del petróleo, hace que el uso de vehículos de transporte de pasajeros diésel se convierta en una opción cada vez menos viable.

En la búsqueda de alternativas que nos permitan reducir los altos índices de contaminación y la importación de combustibles fósiles perjudiciales para la balanza comercial, el presente trabajo de investigación, aborda la posible transición del uso del diésel a otros combustibles menos contaminantes que son más amigables con el medio ambiente, para ello, se ha obtenido información de parte de entidades estatales tales como La Autoridad de Transporte

Urbano para Lima y Callao (ATU), el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), concesionarios de transporte presentes en el Perú y de los registros del sistema SCOP publicados por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN).

Por consiguiente, este trabajo de investigación tiene la finalidad de buscar alternativas de sustitución del combustible diésel por otras tecnologías existentes en el transporte de pasajeros como son: los buses de transportes de pasajeros a GN y/o buses de transporte de pasajeros a baterías eléctricas.

1.1. Planteamiento del Problema

De acuerdo con la Constitución Política del Perú, la Ley Orgánica de Hidrocarburos (LOH) y el Reglamento para la Comercialización de Combustibles, existe libertad de precios en el mercado nacional de combustibles, es decir, estos se fijan por la oferta y demanda. Sin embargo, siendo el Perú un país importador de combustibles líquidos, la variación de los precios en el mercado local es resultado directo del comportamiento de los precios en el mercado internacional.

Cabe señalar que, para determinar el precio final de éstos en el mercado nacional, los comercializadores mayoristas toman como referencia los precios que Osinergmin publica semanalmente en su página web. Asimismo, dicho Organismo estima que los precios de venta al consumidor final se componen de la siguiente manera (Osinergmin, 2015):

- El 66% está constituido por el Precio Ex Planta (o sea, el precio del mayorista, como es el caso de Petroperú).
- Los impuestos comprenden un 26%.
- El otro 8% está asociado al margen de las Estaciones de Servicio.

Es necesario mencionar que en el Perú, en el año 2019, la producción fiscalizada de petróleo crudo fue de 51 millones de barriles, siendo la zona de la selva la región más productiva, con 38.5 millones de barriles al año (equivalente a 105 488 barriles por día), produciendo el 75% del petróleo crudo del país, en segundo lugar la costa con 9.05 millones de barriles al año (24 805 barriles diarios), produciendo el 18% del petróleo crudo del país y el resto es extraído del zócalo continental, por medio de plataformas en el mar, que producen 3.44 millones de barriles al año (equivalente a 9 429 barriles diarios) (Perú Petro, 2019).

Sin embargo, dicha producción no cubre nuestra demanda interna, la misma que se traduce en importaciones del diésel y derivados de petróleo, conforme se aprecia en la anexo 1, en la que, para el año 2019 se tuvo un déficit de la balanza comercial del diésel y derivados (GLP/Propano/Butano) igual a 11 692.9 miles de Barriles, debido a que, las exportaciones totales fueron de 2 620,8 miles de Barriles, mientras que las importaciones totales fueron de 14 313.7 miles de Barriles.

Por otro lado, el consumo de diésel genera emisiones bajo la forma de humo negro (carbono negro) que tienen un fuerte impacto en el calentamiento global y en la contaminación del aire

ocasionando que se deteriore cada vez más la salud humana, algunos estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) indican que cada año se producen unos 7 millones de muertes prematuras, a su vez se produce pérdida de millones de años de vida saludable (AVS). En los niños se presenta una disminución en el desarrollo anatómico y funcional de los pulmones, generando infecciones y agravamiento de enfermedades respiratorias como el asma. Mientras, en los adultos, las enfermedades cardiovasculares como cardiopatía isquémica y los accidentes cerebrovasculares, son las principales causantes de muerte prematura debido a la contaminación del aire exterior.

A pesar de lo mencionado, el sector de transporte de pasajeros en el Perú (buses de transporte público, urbanos, interprovinciales y camiones) representa un gran consumo de diésel, su desabastecimiento comprometería al transporte público y la actividad industrial y a los usuarios que se trasladan utilizando este tipo combustible, asimismo, la escasez del combustible, produciría un desabastecimiento y encarecimiento de la cadena de suministro de productos alimenticios, agropecuarios y productos intermedios.

Ante esta disyuntiva de un crecimiento de las importaciones de diésel, la dependencia de los precios del mercado internacional y la creciente contaminación ambiental, se hace necesaria la sustitución de este combustible, para ello planteamos a través de esta investigación comparativa, cuál de las tecnologías de buses de transporte de pasajeros es la más idónea y adecuada para sustitución del mencionado combustible.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la propuesta que permita sustituir el combustible diésel en el transporte de pasajeros de manera sostenible en el Perú?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Es rentable para el Perú continuar con el uso de diésel como combustible en el transporte de pasajeros?
- b. ¿Es ambientalmente amigable para el Perú continuar con el uso de diésel como combustible en el transporte de pasajeros?
- c. ¿Es socialmente factible para el Perú continuar con el uso de diésel como combustible en el transporte de pasajeros?
- d. ¿Qué alternativas técnicas y económicas de solución, permitirían reemplazar el uso del combustible diésel como combustible en el transporte de pasajeros?

1.3. Objetivo General

Proponer la alternativa que permita la sustitución del combustible diésel en el transporte de pasajeros.

1.4. Objetivos Específicos

- a. Evaluar la rentabilidad del combustible diésel y sus alternativas para el transporte de pasajeros (rentabilidad económica).

- b. Evaluar el impacto ambiental y sus alternativas para el transporte de pasajeros.
- c. Evaluar la sostenibilidad social y sus alternativas para el transporte de pasajeros.
- d. Seleccionar la alternativa que permita sustituir el combustible diésel en el transporte de pasajeros.

1.5. Justificación

En la actualidad, el Perú requiere de la importación de combustibles para cubrir la demanda interna del sector transporte, lo que genera que la balanza comercial muestre valores negativos, esta condición es posible revertirla si las autoridades, entidades y otros organismos trabajan en un cambio de la matriz energética, es decir una transición energética del combustible diésel usado en los vehículos de transporte de pasajeros a otras alternativas como el GN o baterías eléctricas, este paso sería muy importante para dejar de depender de la importación de combustibles.

Por otro lado, en el mundo el uso del GN se ha convertido en un combustible alternativo al diésel, la tecnología para vehículos de transporte público ya se encuentra desarrollada, teniendo la ventaja de ser más ecológico y económico comparado con el uso de combustible diésel.

Asimismo, la tecnología de vehículos eléctricos ha venido evolucionando en el tiempo, los gobiernos centrales y locales en América Latina, están adoptando por los vehículos de

transporte de pasajeros eléctricos, ya que entre sus principales ventajas es que no representan emisiones a la atmosfera, mejorando, en definitiva, la calidad del aire.

Según CIDATT (2020) la contaminación en Lima es generada en un 70% por el parque vehicular obsoleto y la mala calidad de los combustibles, más aun, señala que el combustible más usado en el Perú es el diésel con una participación de 54% en el transporte urbano, por otro lado, existen compromiso del gobierno peruano con las Naciones Unidas y alineado al Acuerdo de Paris que menciona una reducción del 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Finalmente, en el Perú, desde que se inició con la producción del GN de Camisea a la actualidad, esta industria se ha venido desarrollando a grandes pasos. El 2010 se construyó la planta de licuefacción de GN en San Vicente de Cañete (Pampa Melchorita) de la empresa Perú LNG, en donde el gas pasa por diferentes procesos que permiten disminuir su volumen y ocupar menos espacio en tanques y reservorios. Posteriormente a ello, el GN se exporta a otros mercados externos y también se comercializa a diferentes concesiones del sur y norte de nuestro país, como también a los nuevos proyectos de estaciones de servicio a través de la empresa Shell Perú encargada de su comercialización.

1.6. Alcances y Limitaciones de la Investigación

El alcance de la presente tesis, contempla una evaluación para la conversión de motores a GN y/o baterías eléctricas, de los buses de transporte de pasajeros de la empresa ETUCHISA que actualmente utilizan combustible diésel y se encuentran en buenas condiciones operativas.

Se plantea 2 alternativas de sustitución del combustible diésel: la conversión total de su flota hacia el GN y la conversión de su flota a buses eléctricos, para ello se realiza una evaluación privada, social y un análisis de sensibilidad para determinar cuál es la mejor alternativa en términos económicos y sociales, todo ello para un periodo de 30 años.

Además, se considera las facilidades por las autoridades correspondientes para la inclusión de carriles segregados y exclusivos que permitirá la reducción del tiempo de viaje y disminución de la tasa de accidentes de los buses convertidos a GN y/o baterías eléctricas.

Por otro lado, no se considera escenarios de subsidios monetarios por parte del Estado para la reducción de impuestos y aranceles a la importación de componentes para la conversión de los buses, ni tampoco excepciones de tarifas diferenciadas ni peajes y parqueos.

Finalmente, no se considera escenarios de interrupción debido a hechos extraordinarios como desastres naturales, guerras, conflictos o problemas globales tales como el impacto de la pandemia COVID-19.

1.7. Metodología de Estudio

Para obtener los resultados, se realizó un trabajo de gabinete de recolección de información de las tecnologías existente, una investigación cualitativa mediante entrevistas a expertos y encuestas a las principales empresas de transporte de pasajeros urbanos de la ciudad de Lima.

1.7.1. Investigación de gabinete

El trabajo de gabinete se realizó para el procesamiento y análisis de la data recolectada de las encuestas, información técnica, trabajos de investigación, páginas webs de las diferentes tecnologías de motores que operan a GN y a baterías eléctricas.

1.7.2. Encuestas a empresas de transporte

Mediante instrumentos para la recolección de datos (cuestionario de preguntas) a los conductores y propietarios de empresas de transporte de pasajeros de la ciudad de Lima, llevadas a cabo en el segundo semestre de 2021, se obtuvo información sobre consumos de combustible, cantidad de pasajeros y buses, entre otros datos relevantes necesarios para establecer una línea base de los vehículos de transporte de pasajeros a combustible diésel.

1.7.3. Entrevistas al panel de expertos

Mediante esta técnica, se obtuvo información con la cual se determinó los valores mínimos y máximos de los ingresos, la inversión total y los costos de operación y mantenimiento a precios privados. Esto con el fin de realizar un análisis de sensibilidad para la presente investigación.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Cambio Climático

El cambio climático es un problema a nivel mundial que supone muchos riesgos principalmente para los países menos desarrollados, el aumento de temperaturas y desarrollo de fenómenos meteorológicos extremos, ha generado el desarrollo de enfermedades crónicas, que están asociadas a la contaminación en el agua y aire.

El Perú no es ajeno a esta contaminación, ya que existen viviendas que aún utilizan biomasa (leña, champa, bosta, carbón) para cocinar y, cuyos contaminantes productos de la combustión, tienen efectos negativos en la salud.

Con respecto al transporte público de pasajeros, el combustible usado es en mayoría el diésel, la OMS declaró que el humo que producen los motores que funcionan con combustible diésel causa enfermedades crónicas respiratorias. Adicionalmente, es sabido que el humo negro, tiene un fuerte impacto en el calentamiento global.

Finalmente, una contribución importante para evitar que estos cambios severos del clima, influyan negativamente en el aire que respiramos, son los proyectos relacionados a un transporte limpio, es decir proyectos de sustitución del combustible diésel por una mejor alternativa hacia una transición energética sostenible.

2.2. Efecto Invernadero en el Perú

Tal como lo indica el Ministerio de Ambiente (MINAM), en su Informe de *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú* nuestro país es responsable de un porcentaje mínimo de Gases de Efecto Invernadero (GEI), 0.4% del 100% de GEI mundial, sin embargo, está en el tercer puesto de vulnerabilidad a los riesgos climáticos; asimismo, el MINAM señala que en las últimas tres décadas, hemos perdido un 22% de la superficie de nuestros glaciares, que corresponden al 71% de los glaciares tropicales del mundo.

Para ello es necesario tomar acciones relacionadas a contrarrestar nuestra vulnerabilidad:

Restaurar el ecosistema: este es un aspecto fundamental ya que, al restaurar nuestros mares, ríos, lagunas y bosques, estos absorberán grandes cantidades de carbono y de esta manera revierten el efecto invernadero

Apoyo a la Agricultura: A diferencia de la industria alimentaria del sector de las carnes y embutidos que generan una gran cantidad de emisiones y contaminación del agua, los pequeños agricultores locales emplean practicas sostenibles, de restauración de la tierra y apoyo a sus poblaciones cercanas.

Promoción de las energías renovables: Apostar por proyectos de energía eólica, solar, biomasa que permitan descarbonizar la generación de electricidad.

Hacerle frente a los contaminantes climáticos: Existen dos tipos de contaminantes si los clasificamos por su tiempo de vida el CO₂ es aquel que siempre ha permanecido en la atmosfera

y así lo seguiremos teniendo, pero aquellos contaminantes que tienen vida corta como carbono negro (hollín), el metano, el ozono y los hidrofluorocarbonos (refrigerantes) son los que podemos combatirlos a través un control efectivo, políticas y regulaciones por parte de los Estados, que fomenten la transición energética de reemplazo del diésel en el transporte público a otras tecnologías de GN y baterías eléctricas.

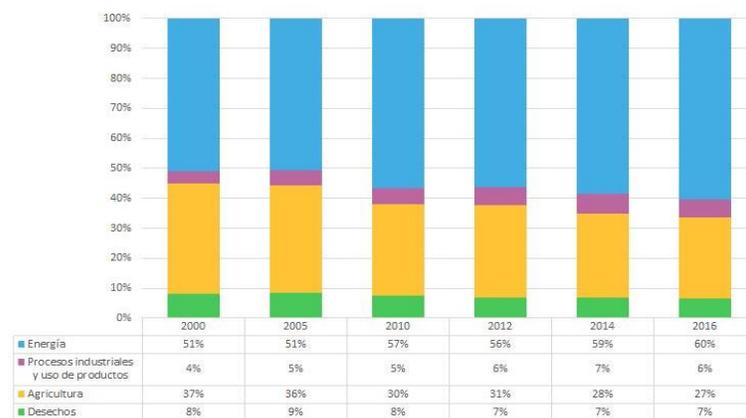
2.3. Emisiones de GEI por Sectores en el Perú

Bajo la Ley Marco sobre el Cambio Climático (Ley N° 30754) y el Decreto Supremo N° 013-2014-MINAM el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) ha venido elaborando el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) los años 2016, 2014, 2012, 2010, 2005, 2000 y 1994.

El INGEI, permite identificar los sectores con mayor cantidad de emisiones para la toma de decisiones y promover esfuerzos para la gestión efectiva. El Estado a través de sus entidades es el responsable de desarrollar las estrategias, políticas, planes proyectos y programas para reducir las emisiones y encaminarnos hacia un futuro con carbono neutral. En las figuras 1 y 2, se identifican los sectores con mayor incidencia en la generación de emisiones.

Figura 1

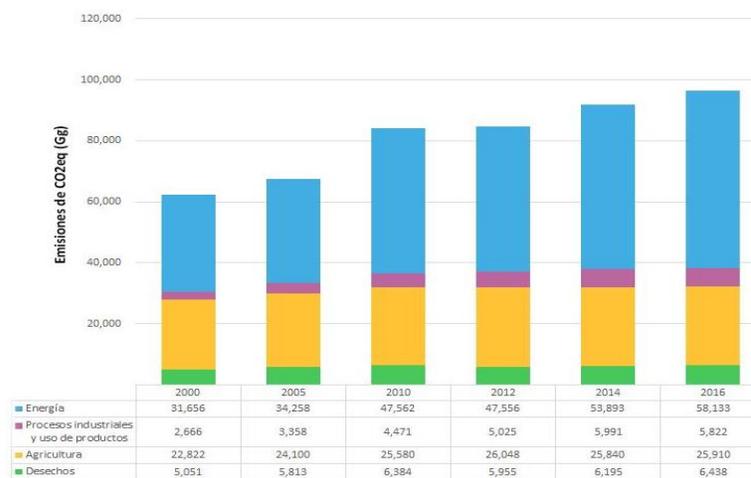
Porcentaje de Emisiones por Sector



Fuente: Ministerio de Ambiente (2016)

Figura 2

Inventarios nacionales de GEI – Sin UTCTS



Fuente: Ministerio de Ambiente (2016).

2.4. El Combustible Diésel

El combustible diésel, se obtiene a partir de la destilación y la purificación del petróleo crudo, es un hidrocarburo en estado líquido con una densidad de alrededor de 850 kg/m³ y está compuesto por un 75% de hidrocarburos saturados o parafínicos, y un 25% de hidrocarburos aromáticos. La fórmula química más común es C₁₂H₂₆ (12 átomos de C por 26 de H).

Es de uso frecuente en motores de combustión interna del transporte público de pasajeros, por su alto rendimiento que ofrece ya que, al tener una autoignición a muy elevadas temperaturas, permite tener una alta relación de compresión, desarrollando gran potencia.

Sin embargo, el contenido de azufre que contiene el combustible diésel y que se expulsa al medio ambiente una vez combustionado en los motores, produce una alta contaminación, razón por la cual se han implementado medidas de contención como los catalizadores, filtros, mezclas con biodiésel y otras que permiten minimizar su poder de contaminación.

En la actualidad, la normativa peruana medioambiental, emitidos mediante Decretos Supremos (DS) y/o Resoluciones Ministeriales (RM), exige no solo un contenido volumétrico del 5% de biodiesel (B100), un biocombustible fabricado a partir de recursos renovables (aceites vegetales o animales), sino que también, que el contenido de azufre no supere las 50 partes por millón.

En el Perú, este combustible se comercializa como diésel B5 y diésel B5 S-50, ambos compuestos por una mezcla de diésel N° 2 y 5% en volumen de B100.

2.4.1. Características

El diésel B5 y B5 S-50, cumplen con las especificaciones de la Norma Técnica Peruana actualmente vigente y las principales pruebas internacionales estándares (ASTM, D975 y SAE J313).

Este combustible se caracteriza por un alto número de cetano, brindando calidad de encendido, arranque rápido y ruido reducido del motor. Además, con un bajo contenido de azufre proporciona una protección contra el desgaste de los motores.

2.4.2. Legislación en el Perú

En nuestro país, se ha mejorado la calidad de los combustibles, disponiendo que progresivamente sean libres de plomo y reduciendo su contenido de azufre. Esto se implementó con la finalidad de frenar el perjuicio contra la salud pública como resultado de su quema.

Cabe señalar que el año 1998 se inicia este proceso, con la prohibición de la venta de gasolina 95 octanos y propuso la reducción gradual en la Gasolina de 84 octanos, con la finalidad de eliminar el tetraetilo de plomo (TEP) de los combustibles, debido a que la emisión de las partículas de plomo por la combustión afectan a la salud humana.

En nuestros días, la norma vigente es el Decreto Supremo N° 025-2017-EM, donde se establece que la comercialización de gasoholes, gasolinas de 95, 97 y 98 octanos; diésel deben ser realizados con un contenido de azufre inferior a 50 partes por millón.

En el anexo 2 se pueden ver con más detalle algunas de las normas más importantes. De manera similar, la siguiente figura muestra la línea de tiempo del progreso de la calidad y entrada en comercialización de los combustibles diésel:

Figura 3

Entrada en comercialización de los combustibles diésel



Fuente: Ministerio de Ambiente (2021).

2.5. El Gas Natural (GN)

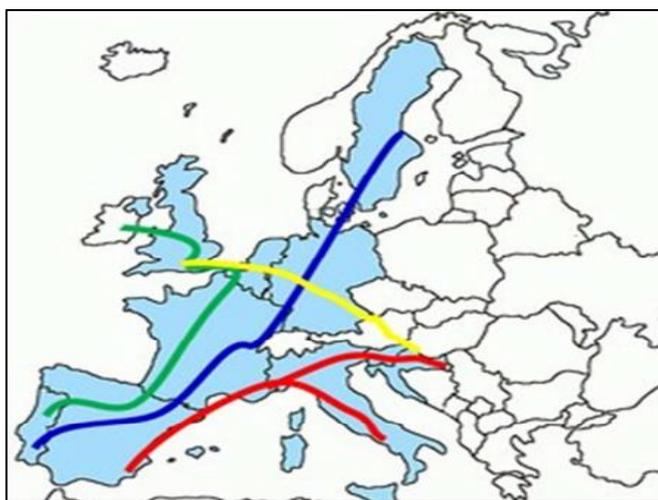
El GN, un hidrocarburo formado por una mezcla de gases ligeros, principalmente por metano, es un combustible económico, limpio y seguro, ya que ante una fuga se disipa rápidamente; por ello tiene múltiples usos a nivel domiciliario, comercial, industrial, vehicular y en las plantas de generación eléctrica.

En la actualidad el uso del GN en Europa, Asia y Estados Unidos se ha convertido en un combustible alternativo al diésel. La tecnología de los motores a Gas Natural Comprimido (GNC), en vehículos ligeros y buses de transporte de pasajeros, y Gas Natural Licuefactado (GNL), en el transporte pesado y de largas distancias, ya se encuentra desarrollada.

En Europa existe una gran experiencia con relación al transporte de vehículos, con el combustible GN, el llamado corredor azul que cuenta con 04 vías que unen el Mediterráneo (rojo), Atlántico (verde), Sur y Norte (azul) y Este y Oeste (amarillo) y los países de Bélgica, Croacia, Francia, Alemania, Irlanda, Italia, Portugal, Eslovenia, España, Suecia, Holanda y Reino Unido (NGVA Europe, 2018).

Figura 4

Distribución de GNL en Europa (Proyecto LNG Blue Corridors en Europa)



Fuente: NVGA Europe (2018)

En el Perú, existen esfuerzos para continuar con el desarrollo del GN, la Concesionaria Gas Natural de Lima y Callao (CALIDDA), concretó su proyecto de la estación de servicio en el distrito de Puente Piedra, luego de firmar el acuerdo de suministro con la comercializadora Shell, obtener las autorizaciones de la Dirección General de Hidrocarburos (DGH) y finalmente, la firma de contrato con el Grupo Espinoza (GESA). Con esta estación buscarán abastecer del combustible GNL a los vehículos de transporte interprovincial que transiten entre Lima y el norte del país.

Asimismo, por el norte del Perú se encuentra la concesionaria Gases del Pacífico (QUAVII) que de igual manera viene trabajando en una Estación de servicio de GNL en la ciudad de Trujillo, con lo cual se completaría un circuito llamado *Corredor Verde* que lo que buscaría es la creación de mercado, para que las diferentes empresas de transporte inicien con la transformación de su flota para adaptarla al combustible GNL.

Según lo mencionado por Riquel Mitma de la Universidad ESAN (Alfaro, 2019), el 45% de la producción de gas natural de Camisea, es para exportación y el 55% se destina para el mercado interno, de este volumen interno el 90% es para generación eléctrica, el 4% para GNV, el 4% para para industrias y comercios y solamente el 2% para viviendas.

Según señaló la Asociación de Grifos y Estaciones de Servicio del Perú (AGESP), existen 323 grifos dispensadores de GNV en todo el país, de los cuales 287 se encuentran en Lima y Callao; y los 36 restantes, en el interior del Perú.

Por otro lado, se viene incentivando a que las empresas concesionarias de transporte en Lima (el corredor Rojo y corredor Amarillo) del Grupo Perú Bus cuenten con estaciones de servicio de GNC exclusivas en sus terminales (patios de estacionamiento), para con ello tengan la facilidad de abastecerse de combustible a su momento de llegada y no tener interferencias durante su ruta.

Adicionalmente, el MINEM a través del *Programa Ahorro GNV* (Ministerio de Energía y Minas, 2021) acelerará la transformación de motores diésel, gracias a la financiación de conversión de buses de transporte de pasajeros a GNV, que formará parte del Fondo de Inclusión Social Energético (FISE).

En Lima, ya existe una gran cantidad de talleres de conversión certificados y estaciones de servicios para el abastecimiento de GN. Esto gracias a que parte del programa FISE financia la conversión de motores diésel por uno a GNV con tecnología EURO V o superior, asegurando una mejora de la eficiencia una mejor calidad ambiental.

El proceso de conversión de un vehículo de GNV, consiste en una preinspección (revisión de la compresión del motor y análisis de gases) presentación de la documentación (DNI, SOAT, tarjeta de propiedad y otros), aprobación de la entidad crediticia, internación del vehículo a un taller de conversión y finalmente la revisión por una entidad certificadora en la cual se verifica si la conversión fue correcta, si utilizaron los equipos autorizados y si cuenta

con el chip el cual contiene datos del auto, equipos autorizados, talleres de conversión y porcentaje de recaudo que varían de acuerdo a la entidad financiera.

2.5.1. Características y Propiedades del GN

El GN es un compuesto formado por una mezcla de hidrocarburos ligeros que varían según el yacimiento madre. Su principal componente es el metano (C1), con una proporción del 79% al 97% de su composición; mientras que los otros son el etano (C2), propano (C3), butano (i-C4, n-C4), pentano (i-C5, n-C5), hexano, heptano y octano (C6+), nitrógeno (N₂) y dióxido de carbono (CO₂).

En la tabla 1, se muestran los parámetros de la composición de GN a condiciones estándar.

Tabla 1

Parámetros de Composición del GN

Parámetros de Composición	Unidades (a condiciones estándar)
Máximo de partículas sólidas de diámetro ≤ 5 micrones; y libre de gomas, aceites, glicoles y otras impurezas	22.5 kg/Millón m ³
Máximo de sulfuro de hidrogeno	3 mg/m ³
Máximo de azufre total	15 mg/m ³
Máximo de dióxido de carbono	3.5 mg/m ³
Máximo de gases inertes (nitrógeno y otros gases diferentes al dióxido de carbono)	6% de su volumen
Máximo de agua en estado líquido	0 mg/m ³
Máximo de vapor de agua	65 mg/m ³
Máxima temperatura	50°C
Contenido calorífico bruto	Entre 8 Kcal/m ³ y 10.300 Kcal/m ³

Fuente: El Peruano (1999)

La tabla 2 muestra la composición de GN del lote 88 (gas de Camisea) utilizado en la distribución del Departamento de Lima y Provincia Constitucional del Callao.

Tabla 2

Reporte mensual de cromatografía de gas

Composición del GN	Volumen en %
N2	1.1232
C1	89.7522
CO2	0.2559
C2	8.8150
C3	0.0533
IC4	0.0001
NC4	0.0003
IC5	0
NC5	0
C6+	0
Poder calorífico MJ/m ³	39.8109
Gravedad específica	0.6054

Fuente. Elaboración propia desde consulta al Centro de Operaciones de Calidda (2022).

2.5.2. El Gas Natural y sus Variantes

Las variantes del gas natural están asociadas por el estado en que se encuentran, el llamado GN se encuentra en estado gaseoso y es el que se distribuye por redes de ductos, el GNL es el que se encuentra en estado líquido y se comercializa en cisternas criogénicas

destinadas para este fin y finalmente el GNC o llamado también GNV (Gas Natural Vehicular) es el gas que se encuentra comprimido a altas presiones y se transporta en cisternas.

a. El Gas Natural Comprimido (GNC)

El GN se comprime y almacena en tanques de alta presión (generalmente 200-250 bar), se denomina GNC. Este combustible se utiliza para uso vehicular liviano, transporte público y pesado, por ser más económico y más respetuoso con el medio ambiente, se considera una alternativa sostenible a los combustibles líquidos.

Figura 5

Tanque de GNC en vehículos de transporte público Corredor rojo



Fuente: MINEM.

Figura 6

Tanque de GNC en camiones de carga pesada



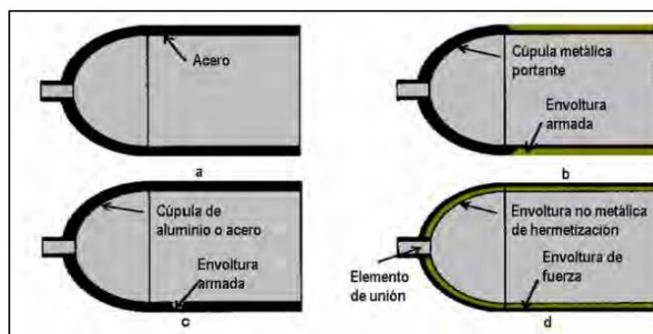
Fuente: MINEM.

a) Tipos de Cilindros de GNC

En la actualidad existen normas (NPT 111.013 y 111.017), que enumeran los requisitos mínimos de diseño y la inspección para tanques de almacenamiento. Existen diferentes tipos de cilindros que se mencionan en la anexo 3.

Figura 7

Tipos de cilindros



Fuente: Rojas (2014)

b) Funcionamiento de un motor a GNC

Estos vehículos a GNC cuentan con un único motor que funcionan con un proceso de combustión interna, utilizando GN como fuente de energía. Debido a la combustión completa, quedan pocos residuos en los inyectores y válvulas, lo que facilita la limpieza del motor y reduce los problemas de obstrucción de los inyectores. Esta condición junto con su estructura molecular, es una de las principales razones de la producción de menos contaminantes en comparación con el diésel, la gasolina o el GLP.

En cuanto a los ciclos de reacción, éstos son cortos porque para que el motor de combustión interna inicie el ciclo de arranque, es necesario que se forme una mezcla de aire y combustible. Asimismo, esta reacción requiere de energía externa para producir una reacción de combustión, que normalmente se lleva a cabo mediante una bujía, donde el encendido por chispa suele ser mucho más rápido que en los motores convencionales.

Cabe señalar que en el caso de conversión de vehículos livianos de gasolina a GNV, deberán contar con al menos dos tanques de combustible y dos bocas entrada: una para gasolina y la del gas. Además, dado que el GNC es esencialmente metano, es menos denso que el aire, por lo que, en caso de fuga de los tanques de almacenamiento, se dispersará y disipa con bastante facilidad.

b. El Gas Natural Licuado (GNL)

El GNL es GN que ha sido procesado, está compuesto principalmente por metano (CH_4), pero a diferencia del GNC, este se transporta en estado líquido a presión atmosférica y $-162\text{ }^\circ\text{C}$. Además, se utiliza como combustible para vehículos y/o en sistemas que transportan gas a través de cisternas de GNL (gasoductos virtuales).

Figura 8

Autobús de transporte turístico a GNL



Fuente: GMS Interneer (2022)

Figura 9

Autobús LiAZ-5292 LNG del Grupo GAZ Group de Rusia



Fuente: GAZ (2021)

a) Características del Tanque GNL

Los tanques de GNL son dispositivos criogénicos especiales para bajas temperaturas, y cada tanque consta de dos recipientes concéntricos. La interior está hecha de acero inoxidable niquelado y la exterior es de acero al carbono. La cámara intermedia de aislamiento se llena con polvo de perla o al vacío.

Figura 10

Tanque de GNL



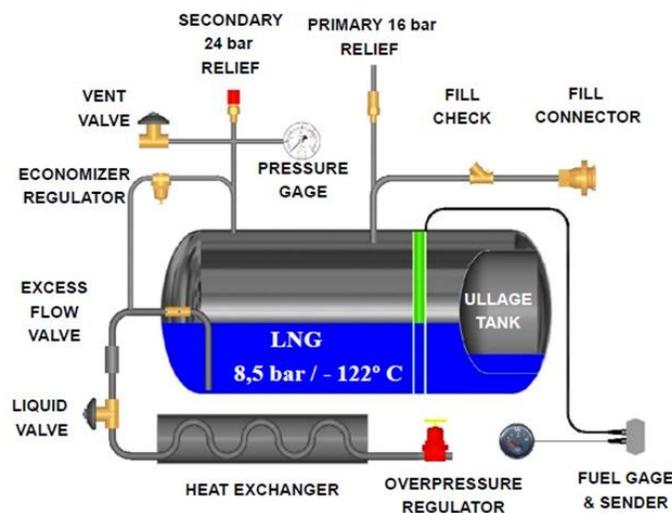
Fuente: Ballesta (2018)

b) Funcionamiento de un motor a GNL

Este sistema funciona de manera similar a un vehículo equipado con GNC o inyección indirecta de gas, con la diferencia de que el GNL debe vaporizarse. El GNL almacenado en el tanque es líquido a -162°C y unos 15 bar. Al salir del tanque, ingresa al intercambiador de calor y cambia a la fase gas. En esta etapa, la presión del gas natural cae, las impurezas se eliminan y se bombean al colector de admisión del motor de combustión.

Figura 11

Tanque de GNL – Funcionamiento



Fuente: Fesmire (n/d)

2.5.3. La Legislación en el Perú

El Estado Peruano, para reducir el impacto negativo en la salud y el medio ambiente, ha ido promoviendo el uso de combustibles menos contaminantes, como es el GN.

En ese sentido, desde la promulgación de la Ley Orgánica de Hidrocarburos N° 26221, del 20-08-1993, se han estado publicando normativas y reglamentos para el uso eficiente del GN en sus presentaciones de GNC y GNL.

En la actualidad, el D.S. N° 010-2021-EM, es uno de los más recientes donde dictan medidas para asegurar la continuidad del abastecimiento de GN.

En el anexo 4 se detallan las disposiciones relacionadas con la promoción del uso del GN.

2.6. Vehículos Eléctricos

En la actualidad, se ha incrementado notablemente la preocupación por el impacto medio ambiental de las emisiones de CO₂ de camiones y vehículos de combustibles fósiles.

Con el fin de poder revertir los daños medio-ambientales que ocasionan estos tipos de vehículos, una alternativa de solución a este problema es el uso de vehículos eléctricos para disminuir los altos índices de contaminación.

Cabe señalar que el transporte eléctrico tiene muchos beneficios, conforme detallamos a continuación:

- *Disminución de la Contaminación:* Perú apuesta por el transporte masivo eléctrico, como muestra la Línea 1 del Metro de Lima. Esta nueva forma de transporte público mejora la calidad del aire, y ya que muchas ciudades superan los límites establecidos por la OMS, esto es algo muy importante. Por ejemplo, los vehículos eléctricos no emiten CO₂, pero los autobuses a diésel emiten una media de 7.2 toneladas de CO₂ al mes.
- *Energías renovables:* El transporte, a través de la electricidad, está asociado al uso de energía renovable, que proviene de las nuevas tecnologías que se vienen desarrollando y que están permitiendo sustituir en buena parte los medios de transporte que más contaminan. Estas son: la energía solar, eólica e hidráulica.
- *Ahorro económico:* Los gastos que se ocasionan al realizar el mantenimiento del transporte convencional a base de combustibles provenientes de hidrocarburos, es mayor

que los gastos que se realizan a los eléctricos, 3 000 piezas menos en promedio, siendo más fáciles de mantener. Al elegir un transporte eléctrico, tal como el tren eléctrico, un scooter o bicicleta eléctrica, se ahorrará más del 50% de lo que gasta normalmente.

- *Reducción del ruido:* Los vehículos eléctricos, coadyuvan de manera muy responsable en la reducción de contaminación sonora. Ya que los autos con esta tecnología no funcionan con motores de combustión interna, se reduce el ruido hasta en un 40%.

Por consiguiente, la implantación de los vehículos de transporte de pasajeros eléctricos al mercado resulta un proceso indetenible por el bien sustentable de nuestro planeta, por lo que a continuación exponemos toda la información que corresponde para conocer las características y tipos de vehículos.

2.6.1. Tipos de Vehículos Eléctricos

Un vehículo eléctrico es capaz de convertir la energía de la batería en energía mecánica, lo que permite que el vehículo en cuestión se mueva. Muchas empresas alrededor del mundo están apostando por la implementación de proyectos sustentables, en nuestro país las empresas ENGIE y ENEL Perú vienen fomentando el uso de este tipo de vehículos la cual ayudan a proteger el medio ambiente de las emisiones de CO₂.

Entre los tipos de vehículos eléctricos que se comercializan a nivel mundial tenemos los siguientes:

a. Los vehículos híbridos eléctricos (HEV)

Los HEV son unidades que constan de dos motores, un motor eléctrico y un motor de combustión interna. La característica principal es el ahorro de energía y mínimas emisiones, pueden trabajar con el motor eléctrico en serie (a baja velocidad), en paralelo o en combinación con otros motores (asistente de aceleración), también existe el frenado regenerativo porque recarga la batería sin utilizar una toma de corriente.

b. Los vehículos híbridos eléctricos enchufables (PHEV)

Los PHEV también cuentan con un motor eléctrico y un motor a combustión que pueden operar en serie, combinados o en paralelo; con la diferencia de que las baterías permiten mayores alcances de recorrido. Sus baterías pueden ser recargadas por un motor de combustión interna o eléctricamente como una conexión convencional doméstica con características definidas.

c. Los vehículos de celda de combustible (FCV)

Los FCV pueden ser propulsados por más de un motor eléctrico, lo mismos que obtienen la energía de baterías o de los supercapacitores que son cargados a través de celdas de combustible, estas se comportan como generadores eléctricos que utilizan hidrógeno. Su comercialización a gran escala aún se encuentra en desarrollo.

d. Vehículo eléctrico de autonomía extendida (EREV)

Los EREV contienen un motor eléctrico que produce movimiento y un motor de combustión que sirve como fuente secundaria de energía a fin de funcionar como un generador

interno que recarga la batería permitiéndole aumentar su autonomía. También se recarga su batería a través de la conexión a la red.

e. Los vehículos eléctricos (VE)

Los VE utilizan la energía química almacenada en una o más baterías recargables, funcionan con un motor eléctrico y recargan las baterías cuando se conectan a la red. Estos garantizan una conducción de cero emisiones, totalmente ecológica y respetuosa con el medio ambiente.

Su autonomía varía según el modelo del vehículo que se trate, cabe señalar además que los avances en la tecnología de las baterías hacen que la autonomía aumente cada año, por lo que es una buena opción para el transporte de pasajeros. El anexo 5 presenta las principales características de los vehículos VE, HEV y FCV y la figura 12 muestra un diagrama esquemático de un bus eléctrico de pasajeros.

Figura 12

Esquema de un bus de pasajeros eléctrico



Fuente: Alée (2017)

2.6.2. Características Técnicas de los Vehículos Eléctricos

La principal característica de los vehículos eléctricos es la batería, esto se debe a que de la batería depende su capacidad de almacenamiento, autonomía, potencia, seguridad, precio, velocidad de recarga y vida útil del vehículo.

Cabe señalar que ha habido una evolución bastante notable de las baterías desde las más antiguas de plomo-ácido o níquel-hierro hasta las actuales baterías de iones de litio, que independientemente de su composición química tienen una autonomía mejorada.

Actualmente, existen numerosos tipos de baterías disponibles en el mercado para la operación de los vehículos eléctricos, tales como:

a. Baterías de Plomo-ácido:

Estas baterías utilizan un ánodo de plomo y en el cátodo, un electrolito ácido. Son las baterías tradicionales que a pesar de contener materiales tóxicos poseen un fácil ciclo de reciclaje. Ocupan mucho espacio y son pesados, pero duran mucho tiempo y son de bajo costo.

b. Baterías de Níquel-Cadmio (NiCd):

Estas baterías utilizan una solución acuosa básica como cátodo y ánodo de níquel. Dado que son caras y el cadmio es un metal muy tóxico, es necesario aumentar la eficiencia en el reciclado de estas baterías. Sin embargo, poseen una larga vida útil (2 o 3 veces mayor a la de plomo-ácido).

c. Baterías de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH):

Estas baterías utilizan un ánodo de níquel e hidrógeno en forma de hidruro metálico en el cátodo. A pesar de su baja disponibilidad y precio mucho más alto comparado con los otros tipos, se sabe que estos almacenan de dos a tres veces el peso equivalente de níquel cadmio.

d. Baterías de Iones de litio (Li-ion):

Las baterías de iones de litio son las más actuales y la tecnología de este tipo de batería es la más dominante debido a sus nuevos materiales ligeros que permiten una mayor densidad

energética. Sin embargo, la disponibilidad de este tipo de baterías es prácticamente nulas y con precios bastantes altos, además son muy vulnerables a sobrecargas.

Como se puede ver, la batería de iones de litio es por el momento la tecnología más prometedora. Con esta tecnología se han logrado valores de almacenamiento de energía y potencia muy por encima del resto de tecnologías. Además, ofrecen una mayor durabilidad y la estabilidad química y térmica de los iones de litio hace que sean más seguras.

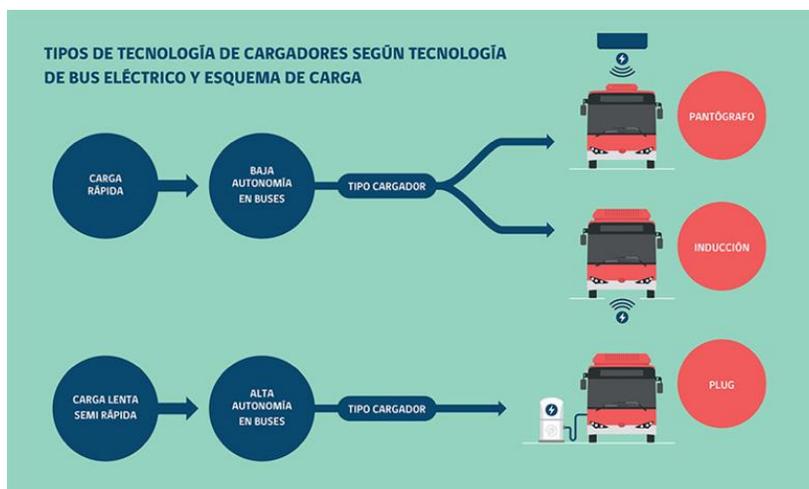
2.6.3. Cargadores para los Vehículos Eléctricos

Los cargadores más apropiados para los vehículos eléctricos de transporte de pasajeros son las que cuentan con las tecnologías conductivas, es decir, la transferencia eléctrica se realiza mediante el contacto de un conductor. Sin embargo, como programas piloto, en Europa se puede apreciar cargadores con tecnología inductiva (sin contacto).

En la figura 13 se aprecia los esquemas de cargas para los buses eléctricos, tales como: a) de carga rápida o de oportunidad, que son instalados en estaciones específicas y los vehículos recargan sus baterías cuando están detenidos (cuando descargan insumos, cuando están detenidos en los semáforos o cuando suben o bajan pasajeros) y b) de carga lenta o semi rápida conocida también como de carga nocturna, que se instalan en los terminales de los vehículos, generalmente ocurren en las noches o cuando no están en servicio.

Figura 13

Tipo de tecnología de cargadores y esquema de carga



Fuente: Ministerio de Energía de Chile (2018).

A continuación, se describe los tipos de cargadores utilizados para la recarga de las baterías de los automóviles eléctricos:

a. Cargador tipo Plug-in

Actualmente, es el cargador más popular y más utilizado debido a su gran autonomía. La tecnología Plug-in ha ido evolucionando a tal punto que ahora diversos fabricantes apuestan por la uniformidad entre ellos.

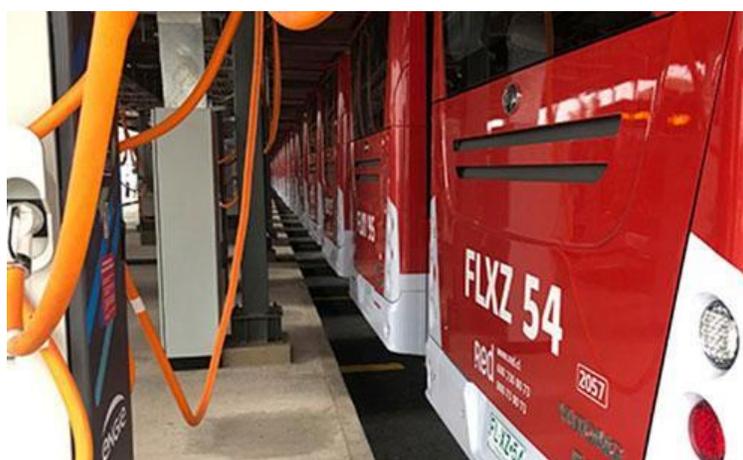
El sistema *plug-in* de carga rápida permite recargar el 80% de una batería en tan solo media hora, acortando los tiempos de sus predecesores.

Adicionalmente, a diferencia de los cargadores por inducción, los cargadores con sistema Plug-in no requieren de lugares específicos en la ciudad y su instalación no necesita una estructura de construcción compleja. Los requerimientos de niveles de potencia serán el

resultado de la cantidad de cargadores instalados en una estación, estos pueden ser desde los 40 kW, hasta los 200 kW.

Figura 14

Cargador tipo enchufe o plug utilizado por empresa STP



Fuente: Ministerio de Energía de Chile (2018).

b. Cargador tipo Pantógrafo

Este tipo de cargador está en etapas iniciales de comercialización por lo que se encuentra en zonas específicas; cuenta con una tecnología que permite gestionar la autonomía con menor cantidad de baterías, lo que implica tener un vehículo más liviano y con menos costo de inversión. Sin embargo, debido a los inconvenientes de obra civil– eléctrica (se requiere espacio para ser instalados), permisos, seguridad y aceptación de la sociedad, no están teniendo mucha acogida.

Este tipo de cargadores se instalan en algunos paraderos con tiempos de carga de las baterías de 3 a 5 min. (carga rápida) y de carga lenta que se encuentran en terminales o estaciones cargan las baterías en media hora.

Figura 15

Pantógrafo utilizado en ciudad de St Moritz, Suiza



Fuente: Ministerio de Energía de Chile (2018).

c. Cargador por Inducción

El desarrollo de este tipo de cargador no ha crecido desde el año 2014, año que fue implementado, en Alemania, en 7 paraderos. Los modelos más eficientes ofrecen una carga más eficiente y rápida.

Para acceder a este tipo de carga, se requiere que los automóviles estén diseñados para el uso de esta tecnología inalámbrica.

Asimismo, se sabe que existe un vehículo adecuado para este tipo de cargadores, desarrollado en Corea del Sur por el KAIST, que se carga inalámbricamente utilizando inducción electromagnética mientras se encuentra en movimiento, esto desecha la necesidad de detener el bus en una estación de carga y no requiere de pantógrafo.

Los cargadores inductivos son poco utilizados ya que su aún se encuentran en desarrollo tecnológico haciéndolos menos asequibles económicamente.

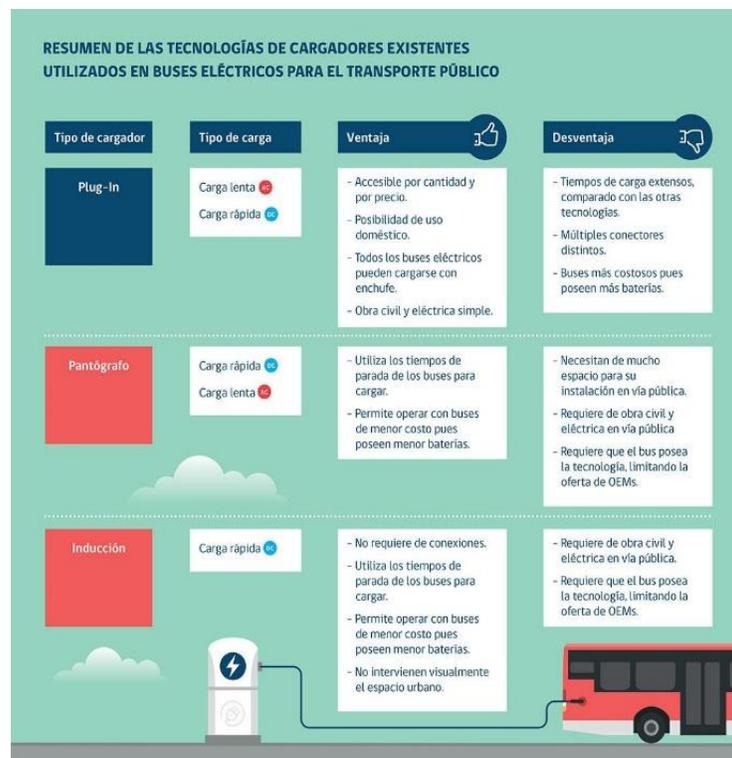
Figura 16

Cargador inductivo utilizado en ciudad de Brunswick, Alemania



Fuente: Ministerio de Energía de Chile (2018).

En la figura 17, se presenta un resumen de las tecnologías de los cargadores existentes utilizados en los buses eléctricos para el transporte de pasajeros, indicando las ventajas y desventajas de éstos.

Figura 17*Tecnología de los cargadores existentes*

Fuente: Ministerio de Energía de Chile (2018).

2.7. Kit de Conversión de buses diésel a eléctricos y buses GN a eléctricos.

Existen diversos proveedores que han desarrollado un sistema para convertir autobuses diésel a GN a precios accesibles. En la Figura 18 se muestra el kit de conversión de estos buses.

Figura 18*Kit de conversión de buses diésel a GN*

▪ Ejemplo de Conversión de Camión Clase 6:

USD	
Converted Engine	\$16,000
CNG gas tanks	\$6,000
Labor	\$6,000
Cost to customer	\$28,000

▪ Camión con un consumo de 3,800 litros de diesel al mes

- Diesel a \$11.08 (noviembre) son \$42,104 por mes de gasto en combustible
- PVP del gas natural 50% del diesel - ahorros \$21,052/mes

ROI 18 meses

▪ Los ahorros anuales de una flota de 100 camiones serían > \$25 MDP

▪ Para Camiones más grandes, generadores, locomotoras o botes su conversión cuesta más, pero ofrecen un ROI similar.




▪ La conversión del motor es como un overhul.

Pasos para la conversión

- Desensamble de motor
- Revisión y remplazo de componentes.
- Instalar Pistones de baja compresión para GN
- Instalar válvulas y asientos de válvulas para alta temperatura.
- Modificar cabeza de cilindros para instalación de bujías

- Ensamble de motor.

- Instalar sensores (Omnitek).
- Instalar inyectores de combustible
- Instalar sistema de ignición.
- Instalar tanques para GN
- Calibración






Fuente: Ojeda Ortiz (2014).

Asimismo, también diversos proveedores ya han desarrollado un sistema para convertir autobuses diésel a eléctricos y/o buses GN a eléctricos, ambos de forma rápida y económica. En la figura 19, se aprecia el kit de conversión.

Figura 19

Kit de conversión de buses GN a eléctricos

Product Description

Whole System testing In China.

Complete electric vehicle kit includes: traction motor, motor controller, VCU ,PDU/DCAC*2 /DCDC Integrated Controller , D Board ,Wiring harness ,Pedal, Gear Panel , Low voltage distribution Unit,Power Switch,Ignition lock.

Rawsuns
Power Generation and Population Solutions



Fuente: Rawsuns Technology (2022).

Capítulo III: Marco Contextual – Transporte Público En El Perú

3.1. Transporte

El transporte urbano consiste en un conjunto de modos y acciones, que permiten acercar a las personas a sus viviendas, centros salud, lugares donde laboran, colegios, universidades y otros, y estos van desde caminar, andar en bicicleta, hasta usar vehículos motorizados como motos, automóviles, buses y sistemas ferroviarios o metros.

La clasificación básica de estos modos puede ser organizada en tres niveles, basada en el tipo de operación y uso:

- *El transporte privado:* El cual consiste en vehículos de propiedad privada operados por propietarios para su uso personal, generalmente en la vía pública. Los modos más comunes son peatón, bicicleta y automóvil privado.
- *El transporte para tránsito o de alquiler:* Este tipo de transporte es proporcionado por los operadores en las ciudades y está disponible para los usuarios que los contratan para viajes individuales o múltiples, por ejemplo, los taxis y colectivos menores (combis y custer de transporte).
- *El tránsito urbano:* El tránsito masivo o transporte público, incluye sistemas que están disponibles para uso de todos los usuarios que pagan la tarifa establecida, por lo general realizan operaciones en rutas y horario preestablecidos, incluyen buses, metros y trenes regionales

La relación entre el transporte y el desarrollo económico se ha discutido desde siempre. En algunos casos, la inversión en transporte parece ser el catalizador del crecimiento económico, mientras que, en otros, es este último el que ejerce presión sobre las inversiones en el transporte (Achour y Belloumi, 2016). Los mercados de transporte y las redes de infraestructura de transporte relacionadas son clave para promover un desarrollo más equilibrado y sostenible, en particular mejorando el acceso y las oportunidades para las clases sociales desfavorecidas (Youngson, 2013).

3.2. Transporte Público en el Perú

Según los resultados de la Encuesta Lima Cómo Vamos (2020), el transporte público en Lima es el más utilizado, el año 2019 la encuesta registro un 65.3% de usuarios de la población de Lima que utilizan el transporte público colectivo los cuales comprenden: buses, custer, combis, colectivos, metropolitano, corredores complementarios y el metro de Lima.

De acuerdo, a la encuesta esto ha venido evolucionando en el tiempo y en gran parte por un incremento en el uso de los buses, corredores y metro de Lima, lo cual es un indicativo que la población encuentra en estos medios de transporte comodidad, seguridad, confianza en que llegará a su destino y económica para su bolsillo.

3.3. Transporte Público en Lima Metropolitana

El principal problema que enfrentan las ciudades de nuestro país es el deficiente sistema de transporte que poseen. Esto se debe a que, durante mucho tiempo, la gestión del transporte fue orientada a favor del transporte privado y no se presentaron propuestas que promuevan la movilidad sostenible. Esto ocasionó el desarrollo de transporte de mala calidad, con una deficiente organización y un mal manejo de flujos viales y peatonales, el mayor porcentaje de deficiencia en el transporte se observa en la ciudad de Lima, por presentar mayor densidad demográfica.

Analizando la situación actual del transporte en Lima encontramos una menor productividad, debido a los largos lapsos de tiempo requeridos para transportarse y numerosos transbordos para llegar de un lugar a otro. En consecuencia, los usuarios que no viven en la proximidad de sus áreas de trabajo o estudio, sufren de una notable disminución de calidad de vida, por los altos tiempos utilizados en el transporte.

Asimismo, este deficiente transporte público produce un mayor impacto ambiental por las elevadas emisiones de gases de efecto invernadero y problemas de salud de la población del parque automotriz.

3.3.1. Transporte a Diésel

En la actualidad, la ciudad de Lima supera los 10 millones de habitantes (INEI, 2022). Las principales empresas de transporte que vienen brindando los servicios de movilidad urbana

de acuerdo a las rutas establecidas por la ATU, son un total de 365 empresas de transporte (Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao, 2020). Siendo estas empresas grandes consumidores de combustibles fósiles entre diésel y gasolina, y como consecuencia, la importación de este combustible es alto a fin de cubrir la demanda.

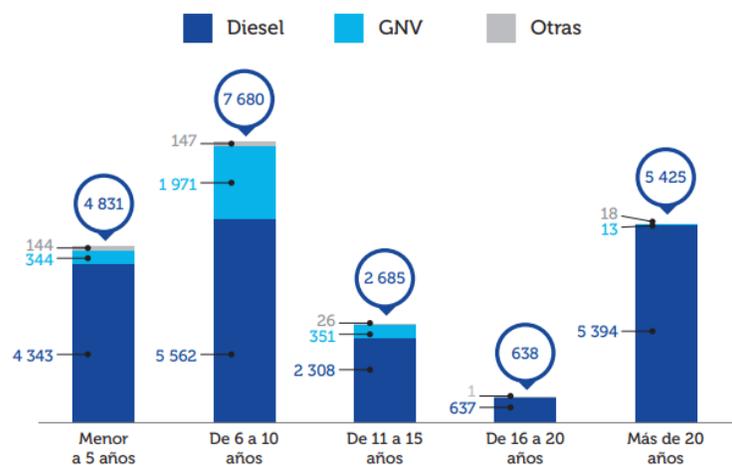
Debido a que el 70% de la contaminación en Lima es causada por el envejecimiento de las flotas y la mala calidad del combustible (CIDATT, 2020), se debe fomentar un cambio hacia el uso de autobuses urbanos libres de carbono. Para ello debemos reducir los contaminantes atmosféricos dañinos, mediante el despliegue de motores libres de humo negro en el transporte público urbano para proteger la salud y el cambio climático.

En cuanto a la antigüedad y uso de combustible del parque automotor, el 29% de la flota habilitada tiene más de 15 años de antigüedad; asimismo, el 89% de la flota opera con diésel; sin embargo, en la flota de más de 15 años, la participación del diésel se incrementa a 99,5%.

Con respecto a la normativa, el artículo 25 del Reglamento Nacional de Administración de Transporte establece un máximo de 15 años para los vehículos de servicio público. Sin embargo, esta puede ser extendida por los gobiernos locales hasta por cinco (5) años más (Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao, 2020).

Figura 20

Antigüedad de la flota y uso de combustibles en el transporte público en Lima



Fuente: ATU (2021)

Asimismo, con la finalidad de que los usuarios de Lima y Callao puedan utilizar un transporte que incluya beneficios como la seguridad, modernidad, accesibilidad y que además sean ecoamigables, la ATU estableció un estándar del bus patrón a combustible diésel, estableciendo especificaciones técnicas de las nuevas unidades.

Entre las características que tendrán estos vehículos están rampas y plataformas, conexión a internet mediante wifi, cargadores de equipos móviles, ventilación eficiente, aire acondicionado (de ser necesario), rack para bicicletas, entre otras. Asimismo, se establece que estos vehículos deberán medir de largo: 9, 12, 18 metros (buses articulados) y 27 metros (buses de doble acoplamiento), con una capacidad de 40 a 250 pasajeros, y se espera que el Bus Patrón a diésel deberá tener un mínimo 300 km de autonomía de recorrido.

3.3.2. Transporte a Gas Natural

En la actualidad, en el mercado internacional, existen diferentes fabricantes de modelos de camiones de carga con tecnología GNL como IVECO, SCANIA, MAG, VOLVO, quienes desplazaron al 100% al combustible diésel por el GNL y otros que realizaron una simbiosis entre diésel, GNC, GNL y aditivos.

En Lima y Callao, más de 250 mil vehículos, en su mayoría livianos, han sido convertidos a GNV (Editora Perú, 2019). Sin embargo, la posibilidad de lograr un mayor uso del GNV en el transporte público está atada a la formalización del mismo. Para incentivar el cambio hacia este combustible es necesario que se otorguen concesiones de rutas, pues antes de una inversión de esta naturaleza, las empresas de transporte deben conocer si podrán mantenerse en circulación.

Según información de la Asociación de Concesionarios de Transporte Urbano (ACTU), la velocidad de los buses que circulan en los corredores es actualmente 9 Km/h en promedio, con la implementación de los corredores segregados y exclusivos esta velocidad se incrementaría a 20 Km/h. En la actualidad un bus del corredor rojo demora en promedio dos horas y 15 minutos en recorrer en hora punta la Av. Javier Prado (desde la Av. La Molina en Ceres hasta la Av. La Marina) con un carril exclusivo esta ruta la podría realizar en 1 hora y 10 min, disminuyendo el tiempo casi a la mitad y esto a su vez permitiría incrementar el número de vueltas de los buses. Asimismo, la administración del corredor rojo Allin Group está por

implementar una estación de GNC, en su patio de estacionamiento de Ate Vitarte para alimentar de GN a los buses y de esta manera aprovechar de la disposición de su flota disponer de mayor tiempo en ruta (El Comercio, 2019).

Cabe señalar que se ha firmado un convenio de colaboración interinstitucional entre la ATU y el MINEM a fin de promover la conversión de motores diésel de vehículos M2 y M3 a GNV, gracias al Programa BonoGas Vehicular. Para ello, los transportistas deben cumplir ciertos requisitos como el que su vehículo tenga una ruta autorizada, no tenga de más de 8 años y libre de multas (Ministerio de Energía y Minas, 2021)

Adicionalmente, es necesario mencionar que con la finalidad de lograr que los usuarios de Lima y Callao cuenten con un sistema integrado de transporte público, amigable con el medio ambiente y que dispongan de un servicio de calidad, la ATU prepublicó el Proyecto de Estándar de Bus Patrón que estableció un estándar del bus patrón a GNV, en el que se prevé que tenga una autonomía mínima de 250 km (Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao, 2021).

Asimismo, como parte del plan de masificación del uso del GN, el transporte público Metropolitano implementó, a partir del año 2006, el transporte por buses utilizando como combustible el GN, entre estos servicios tenemos:

a. El Metropolitano

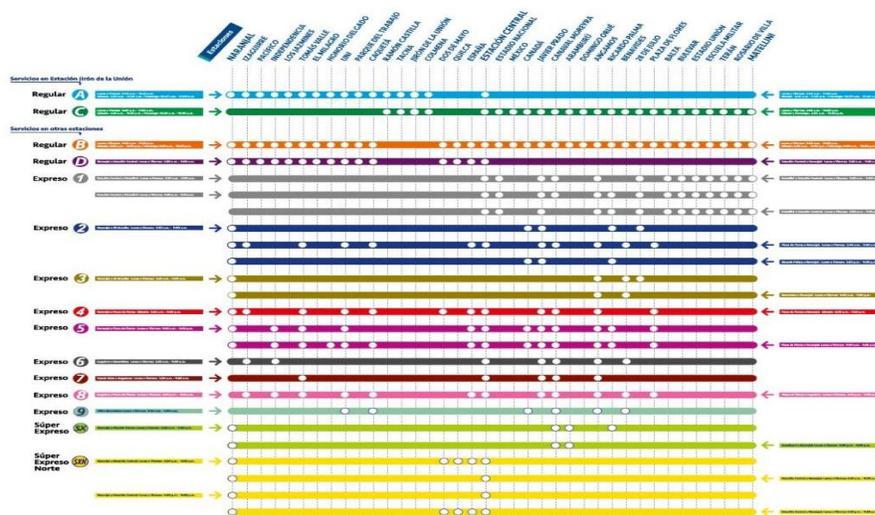
El servicio del Metropolitano cuenta con buses articulados con combustible GNC que circulan por corredores exclusivos, convirtiéndose en un sistema integrado de transporte.

Su construcción inicia el año 2006 y su operación comercial comenzó el 28 de julio del año 2010 por etapas, actualmente esta cubre una ruta de sur a norte y recorre 16 distritos de la ciudad desde Chorrillos hasta Carabayllo (Wikipedia, 2022). Su ruta actual es de 26 kilómetros y cuenta con 38 estaciones, beneficiando al alrededor de 0.7 millones de ciudadanos diariamente. Adicionalmente cuenta con rutas alimentadoras en las zonas sur y norte.

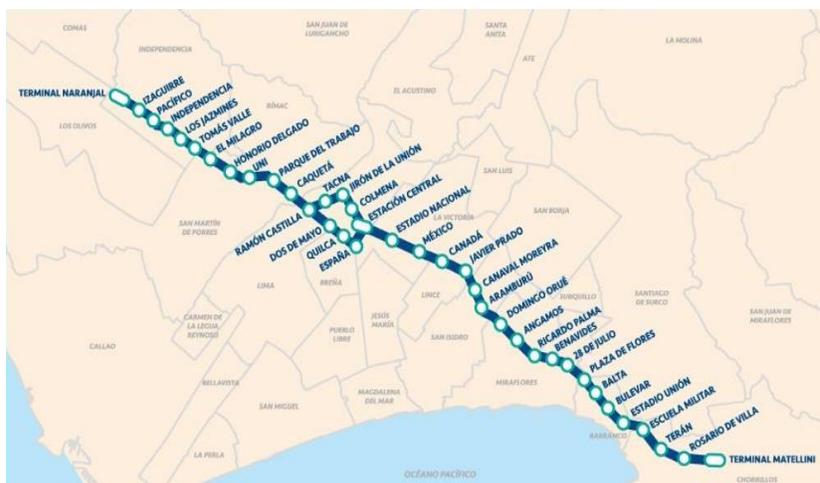
En la figura 21 se muestran el esquema de transporte del Metropolitano y en la figura 22 se aprecia el plano del recorrido incluyendo los paraderos.

Figura 21

Esquema de transporte del Metropolitano



Fuente: Protransporte (2019)

Figura 22*Plano de recorrido del Metropolitano**Fuente: Protransporte (2019)*

b. Corredores complementarios

Estos corredores adicionales forman el sistema de transporte público, promovido por la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML), y aún están en implementación. Su objetivo es reducir el número de líneas existentes, renovar las flotas, eliminar vehículos antiguos e integrarlos con otros sistemas de transporte como el Metropolitano y Metro. El 26 de julio de 2014 entró el primer corredor, el «Corredor Azul», que va desde Tacna, Inca Garcilaso de la Vega (ex Wilson) hasta la Arequipa.

Actualmente, hay 5 corredores, cada uno con un color diferente. En el anexo 6 se detalla cómo se distribuyen a lo largo de algunas de las vías más transitadas de la ciudad.

El MINEM, a través del programa Ahorro GNV, financiará la conversión al GNV de buses de transporte de pasajeros del denominado Corredor Rojo, que recorre una de las arterias principales de la ciudad de Lima, la Av. Javier Prado y conecta los distritos de Ate, La Molina y San Miguel.

El programa, que forma parte del Fondo de Inclusión Social (FISE), financiará el cambio de la tecnología del motor diésel a uno de GNV, lo que permitirá asegurar una mayor eficiencia y rentabilidad, en beneficio de los usuarios y empresas concesionarias.

Figura 23

Buses del Corredor Rojo serán convertidos al gas natural con el programa Ahorro GNV



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2021)

3.3.3. Transporte Eléctrico

Los vehículos eléctricos, como se dijo anteriormente, no producen emisiones de contaminantes locales, por ello son una de las mejores alternativas de uso desde el punto de vista ambiental, ya que contribuyen con la disminución de los impactos en la calidad del aire, mejora de la salud de los usuarios y población en general y contribuye con la mitigación del cambio climático, así como también, reducen la contaminación sonora.

Los compromisos climáticos del Perú, en el marco del Acuerdo de París, incluyen una serie de Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs), entre ellas se encuentra el Transporte Urbano Sostenible del Perú (TRANSPerú), con el que se busca reducir el costo social de la congestión, impulsado la introducción de cambios estructurales como la promoción de infraestructura adecuada, creación de una estructura institucional sólida, entre otros. Adicionalmente, se desarrolló en NAMA TransEléctrico, que tiene la finalidad de preparar el sector energía para el cambio del servicio de transporte de pasajeros hacia la tecnología eléctrica (Lefevre et al., 2021).

A fin de cumplir los compromisos, en el Perú se están tomando medidas para descarbonizar el sector del transporte, la que se evidencian en varios planes y estrategias, que incluyen: (i) Plan Energético Nacional 2014-2025, que aborda la necesidad de expandir la tecnología VE para conseguir eficiencia energética en el transporte; (ii) Plan Estratégico Sectorial Multianual 2016-2021 del MINEM, que identifica la *migración masiva a vehículos*

eléctricos para el transporte; y (iii) el DS N° 022-2020-EM del MINEM para promover la inversión en infraestructura y el desarrollo del mercado de vehículos eléctricos, como un paso clave para habilitar el entorno para la adopción de la tecnología de vehículos eléctricos en Perú.

Asimismo, de acuerdo al *Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030* (Consejo Nacional de la Competitividad y la Formalización, 2019), el Perú, al 2030, alcanzará los siguientes hitos de electromovilidad:

- Proyectos piloto descentralizados para 2021.
- Normas técnicas peruanas para estaciones de carga al 2025.
- Autobuses eléctricos operando en Lima, Arequipa y Trujillo al 2030.

En la ciudad de Lima, tenemos los siguientes medios de transporte eléctrico de pasajeros:

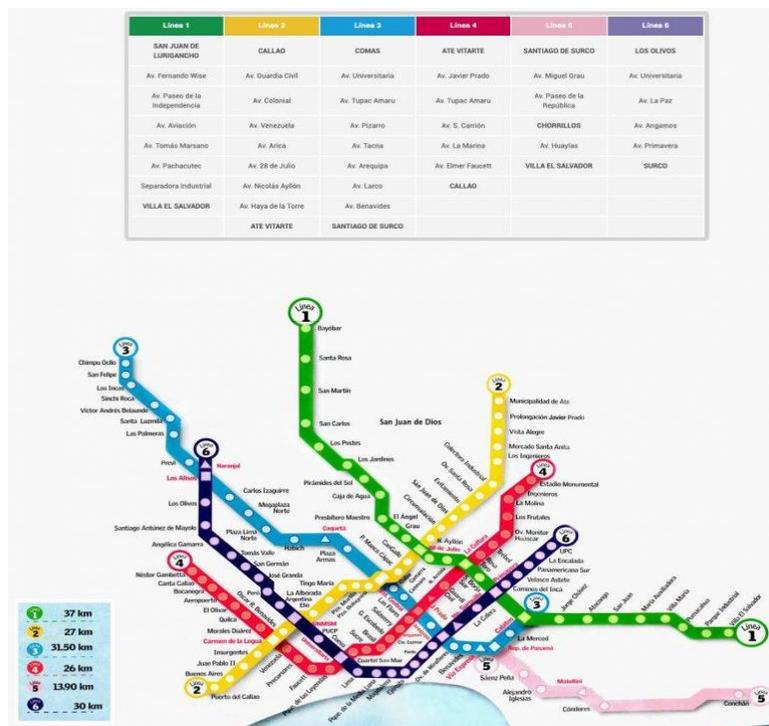
a. Metro de Lima

En la ciudad de Lima actualmente se cuenta con la Línea 1 del Metro de Lima, un modo de transporte masivo eléctrico que está transportando diariamente a más de 550 mil personas llegando a movilizar a 15 millones de personas al mes.

En el futuro de acuerdo al D.S. N° 059-2010-MTC, se prevé que para el año 2050 Lima contará con 7 líneas, conforme se puede apreciar en la figura 24:

Figura 24

Red básica aprobada para el sistema de transporte por tren eléctrico en Lima



Fuente: Mapa de Lima (2020).

Asimismo, el MINEM, viene planteando una serie de medidas a fin de incentivar el uso de unidades de transporte público eléctrico, lo cual permitirá ahorrar en el mantenimiento del vehículo, traerá beneficios en la salud de las personas y no generará contaminación ambiental.

b. Corredores Complementarios

Los corredores complementarios son un sistema de transporte público promovidos por la MML que se encuentra en proceso de implementación.

De las líneas de los corredores, en la actualidad ya se tienen implementados en etapas de prueba, buses eléctricos, como mencionaremos a continuación:

c) Corredor Rojo: San Miguel - Ate / Lince - La Molina (flota a diésel, GN y baterías eléctricas)

En noviembre de 2021, ENEL X presentó los resultados de su primer bus piloto llamado *Lima E-bus*, los resultados de su estudio piloto después de 6 meses de operación concluyeron que el impacto en emisiones de CO₂, contaminación sonora y costos de mantenimiento fueron positivos (ENEL, 2021).

Como se menciona en el informe, los grandes beneficios es que contribuyen en la reducción de los gases de efecto invernadero y los contaminantes atmosféricos que en otros vehículos de transporte son descargados por el tubo de escape.

En la actualidad las pruebas aún continúan, el objetivo es recolectar toda la data necesaria en un año calendario, con la finalidad de estudiar los impactos de la estacionalidad y normalizar la data extraída con el contexto COVID-19, esta fase complementaria permitirá estudiar el rendimiento operativo del e-bus.

Figura 25

Resultados del proyecto piloto Lima e-bus – ENEL X



Nota. Revista Energía (2021).

d) Corredor Amarillo: San Martín de Porres - Surco (flota a diésel y GN)

La empresa ENEL X, manifestó en noviembre de 2019, que tiene un bus eléctrico disponible para el corredor amarillo y estaba a la espera de las aprobaciones de la ATU, el bus a donar para esta ruta será de las BYD y contará con aire acondicionado, wifi y cargadores para telefonía móvil.

Asimismo, el bus en su trayecto recogerá información para la elaboración del informe de replicabilidad, este estudio servirá para la implementación de nueva flota para que de esta manera se encamine a una transición energética con movilidad eléctrica.

Figura 26

Primer bus de transporte eléctrico en corredor amarillo – ENEL X



Fuente: Corredor Amarillo (2019).

De acuerdo a los resultados iniciales de evaluación de un bus eléctrico promovido por ENEL (2021) en Lima se resume:

... el impacto medio ambiental fue positivo, pues se evitó emisiones de CO₂ y se redujo la contaminación sonora, así como el costo de mantenimiento... Durante los primeros seis meses de operaciones del bus, este evitó la emisión de 24 toneladas de CO₂, en comparación con un autobús diésel y 35 toneladas frente a un autobús de GNV. Por otro lado, el estudio comprobó que el e-bus emite menos ruido frente a los buses diésel. La reducción del ruido se produce tanto al interior como en el exterior del bus: durante la aceleración hay una reducción de ruido de 6dBA, mientras que los pasajeros pueden experimentar una reducción del ruido interior de hasta 10dBA. En relación a los costos de operación, en una comparación preliminar se demostró un ahorro de 28 USD/día, en comparación con el gasóleo, y de 10 USD/día, en comparación con el GNC. A lo largo

de un mes, el ahorro de costes de un e-bus puede ascender a unos 840 USD/mes (frente a gasóleo) o 300 USD/mes (frente a GNC). Asimismo, se estima que habrá un ahorro de costos durante la vida útil del e-bus: 30% menos que el diésel y 17% menos que el GNC.

Capítulo IV: Metodología

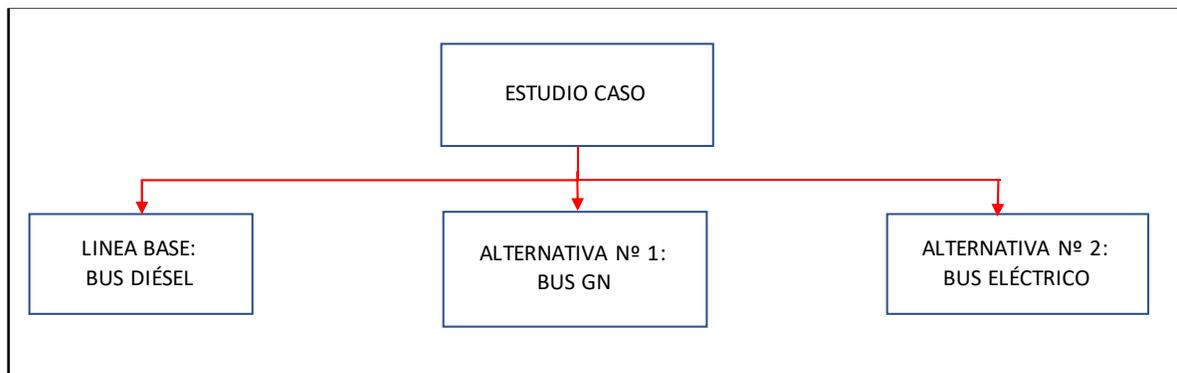
4.1. Descripción de la Estrategia para el Desarrollo de la Tesis

El parque automotor en la ciudad de Lima, es un gran consumidor de combustible diésel que en su mayoría es de importación, lo que ocasiona que la balanza comercial muestre valores negativos, por otro lado, a nivel internacional el uso del GN se ha convertido en un combustible alternativo al diésel, debido a que es más económico y amigable con el medio ambiente, se suma a ello la tecnología de los buses eléctricos que ha venido evolucionando en el tiempo, lo que ha generado que sea más asequible su compra, entre sus principales ventajas es la no emisión de gases de efecto invernadero.

En el presente estudio se evalúa la alternativa de modificar los buses a diésel del transporte público por buses que operen a GN o baterías eléctricas, para ello realizaremos un estudio caso, cuya información será considerada como nuestra línea base para posteriormente evaluar las posibles alternativas según como se muestra en la figura 27.

Figura 27

Diagrama de las alternativas de los buses a Diésel



Fuente: Elaboración propia

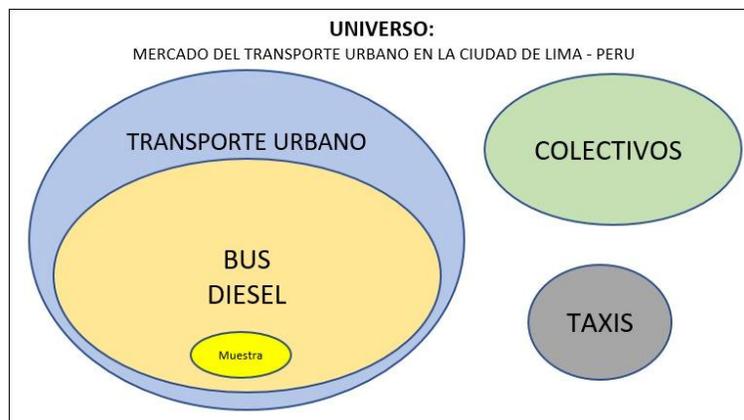
Para obtener nuestro universo de estudio se considera la información consignada en la ATU relacionada a los buses no Concesionados que prestan el servicio de transporte público regular de personas en Lima y Callao, a la fecha se cuenta con 365 empresas autorizadas, 510 rutas autorizadas y 22 296 vehículos habilitados, de los cuales, 8415 vehículos son buses categoría M3 (Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao, 2020).

Con nuestro universo definido y a fin de que la información a recoger en campo sea representativa, se encontrará el tamaño de la muestra, teniendo en cuenta los siguientes criterios: análisis de Pareto y muestra estadística.

La figura 28 esquematiza el universo del mercado del transporte urbano de pasajeros en la ciudad de Lima incluyendo nuestra muestra representativa.

Figura 28

Universo del mercado de transporte urbano de pasajeros en Lima



Fuente: Elaboración propia

4.2. Descripción del Caso de Estudio

Para definir el caso de estudio, de las empresas encuestadas se elegirán aquellas o aquella que cumpla con lo siguiente:

- amplia cobertura de ruta geográfica (amplio recorrido)
- horario de cobertura (mínimo 18 horas/día)
- uniformidad en tipología de la flota (marca, modelo y combustible)
- cantidad de buses
- cantidad de pasajeros por día

4.3. Descripción de la Línea Base

En las encuestas, se realizará la recolección de datos para posteriormente en gabinete obtener la información de lo siguiente:

- demanda de pasajeros

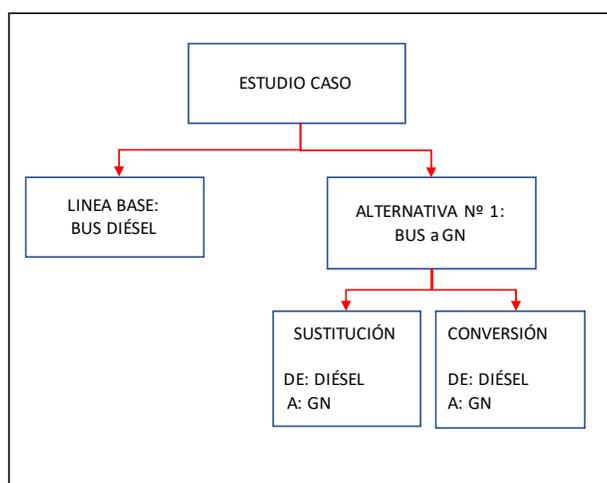
- oferta de flota de vehículos
- consumo y costo de combustible
- costos de mantenimiento
- precios de pasajes.
- distancias de recorrido

4.4. Estrategia para el Desarrollo de la Alternativa de Bus a Gas Natural

Para realizar la transición de buses diésel a GN según la alternativa N°1, tenemos 2 opciones a seguir. La primera sería la sustitución total del vehículo y la segunda, la conversión del vehículo en uso, conforme se muestra en la figura 29.

Figura 29

Diagrama de opciones para el Desarrollo de la Alternativa de Buses a Gas Natural



Fuente: Elaboración propia

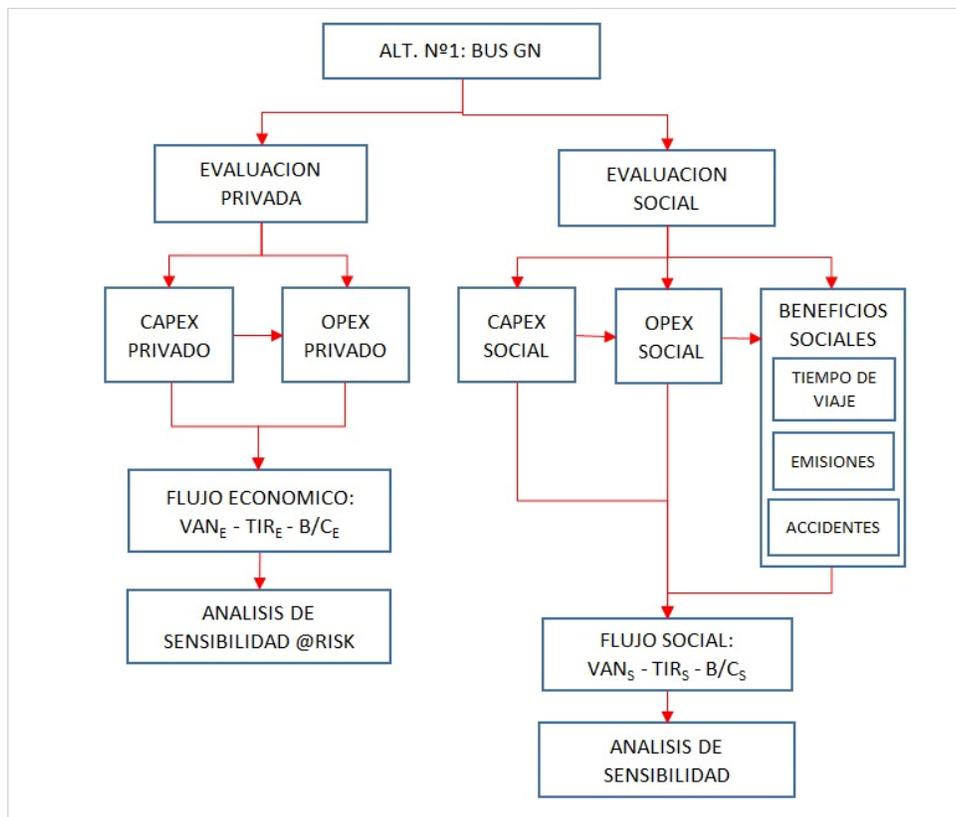
La primera opción tiene por ventaja lograr que la empresa proveedora del bus a GN asuma la responsabilidad total de la garantía de operación de los vehículos que se van a adquirir. Su principal desventaja es el elevado costo de inversión.

La segunda opción tiene por ventaja que el costo de inversión para la conversión del motor diésel a GN es menor. Su principal desventaja es que la empresa de transporte deberá asumir la garantía de operación de los vehículos convertidos.

Una vez definida la alternativa con menor costo de inversión, a continuación, se realizará la evaluación económica del proyecto, la cual involucra una evaluación privada y social, de acuerdo al diagrama mostrado en la figura 30.

Figura 30

Diagrama de la evaluación económica para los buses a GN



Fuente: Elaboración propia

En la evaluación privada, se considera un flujo económico, a precios de mercado, que toma en cuenta los costos CAPEX de sustitución/conversión, gastos OPEX de operación y mantenimiento, como egresos; y por parte de los ingresos la única fuente son los cobros de pasaje. Se evaluará la viabilidad económica considerando una tasa de descuento de acuerdo a la metodología del WACC. De los resultados obtenidos, se realizará un análisis de sensibilidad del

VAN, TIR y Razón B/C tomando como variables los costos privados de inversión, operación y mantenimiento e ingresos totales.

En la evaluación social, a diferencia de la evaluación privada, se realizan correcciones de los precios de mercado a precios sociales tomando los valores de la tabla 3.

Tabla 3

Factor de corrección a Precios Sociales y emisiones de CO₂

Concepto	Unidad	Nombre	Valor
Factor de Corrección de Inversión	Valor	FCInv	0.79
Factor de Corrección de Operación y Mantenimiento	Valor	FCOyM	0.75
Emisiones Directas (debido a la tracción) de CO ₂ de un Autobús	gCO ₂ /pax_km	Emis_CO2_Bus	65.00

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Asimismo, para dicha evaluación, como egresos consideramos los costos de sustitución/conversión y costos de operación y mantenimiento; y, como ingresos, los beneficios sociales (la reducción de tiempo de viajes, disminución de emisiones al medio ambiente y reducción de accidentes) tomando los parámetros de la tabla 4.

Tabla 4

Parámetros para la Evaluación Social

Concepto	Unidad	Nombre	Valor
Valor Social del Tiempo Modo de Transporte Público Urbano	Soles/Hora/ Pasajero	VST	6.5

Precio Social del Carbono	USD/ton C	Precio_Promedio_Carbono	7.17
Costo Social por Fallecimiento prematuro	PEN/pax	CU_Fallecidos	466,200
Costo Social de Heridos	PEN/pax	CU_Heridos	116,550

Fuente: Anexo N° 03: Parám evaluación social - Directiva N° 002-2017-EF/63.01. Nota Técnica Para El Uso De Los Precios Sociales En La Evaluación Social De Proyectos De Inversión 2021MEF.

Seguidamente, se evaluará la viabilidad económica considerando dos tasas de descuento social, detalladas en la tabla 5.

Tabla 5

Precios sociales en la Evaluación Social

Concepto	Unidad	Nombre	Valor
Tasa Social de Descuento (0 a 20 años)	%	TSD	0.08
Tasa Social de Descuento de Largo Plazo (21 a 30 años)	%	TSD LP	0.055

Fuente: Nota Técnica Para El Uso De Los Precios Sociales En La Evaluación Social De Proyectos De Inversión 2021MEF.

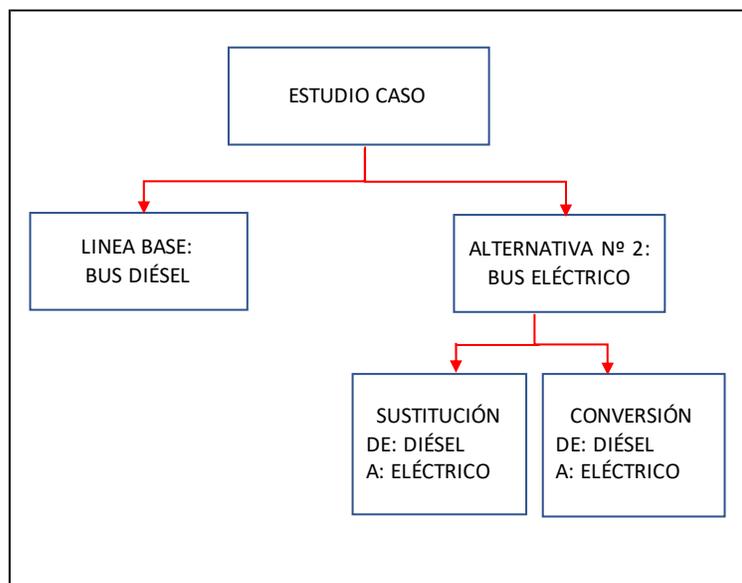
Finalmente, con los resultados obtenidos, se realizará un análisis de sensibilidad del VAN tomando como variables los beneficios sociales.

4.5. Estrategia Para el Desarrollo de la Alternativa de Bus Eléctrico

Para realizar la transición de buses diésel a buses con baterías eléctricas según la alternativa N°2, tenemos 2 opciones a seguir. La primera sería la sustitución total del vehículo y la segunda, la conversión del vehículo en uso, conforme se muestra en la figura 31.

Figura 31

Diagrama de las opciones para el Desarrollo de la Alternativa de Buses Eléctricos



Fuente: Elaboración propia

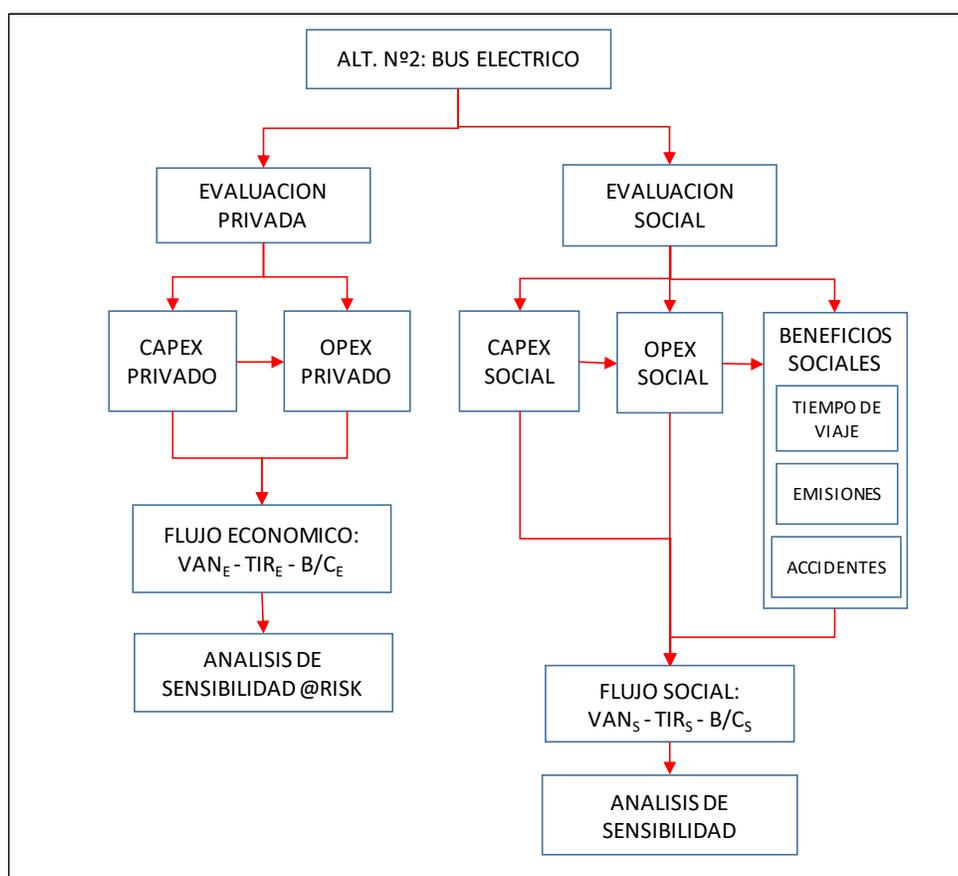
La primera opción tiene por ventaja lograr que la empresa proveedora del bus eléctrico asuma la responsabilidad total de la garantía de operación de los vehículos que se van a adquirir. Su principal desventaja es el elevado costo de inversión.

La segunda opción tiene por ventaja que el costo de inversión para conversión del motor diésel a baterías eléctricas es menor. Su principal desventaja es que la empresa de transporte deberá asumir la garantía de operación de los vehículos convertidos.

Una vez definida la alternativa, a continuación, se realizará la evaluación económica del proyecto, la cual involucra una evaluación privada y social, de acuerdo al diagrama mostrado en la figura 32.

Figura 32

Diagrama de la evaluación económica para los buses eléctricos



Fuente: Elaboración propia

En la evaluación privada, se considera un flujo económico que toma en cuenta los costos de sustitución/conversión, operación y mantenimiento, como egresos; y por parte de los ingresos la única fuente son los cobros de pasaje. Se evaluará la viabilidad económica considerando una tasa de descuento de acuerdo a la metodología del WACC. De los resultados obtenidos, se realizará un análisis de sensibilidad del VAN, TIR y Razón B/C tomando como variables los costos privados de inversión, operación y mantenimiento e ingresos totales.

En la evaluación social, se toman en cuenta como egresos, los costos de sustitución/conversión, operación y mantenimiento; y, como ingresos los beneficios sociales tales como: la reducción de tiempo de viajes, disminución de emisiones al medio ambiente y reducción de accidentes. Se evaluará la viabilidad económica considerando una tasa de descuento social emitida por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). De los resultados obtenidos, se realizará un análisis de sensibilidad del VAN tomando como variables los costos de inversión (CAPEX y OPEX).

4.6. Estrategia para la Determinación de la Mejor Alternativa

Para determinar la mejor alternativa entre la transición energética de los buses Diésel a buses que operen a GN o electricidad, primero, se calcularán los valores del indicador económico VAN (a precios privados y sociales) de ambas alternativas, tomando un horizonte de evaluación de 30 años a partir del año 2022.

Una vez obtenido este indicador, se seleccionará la alternativa con mayor VAN social ya que aquí se toman en cuenta los beneficios que obtendría la sociedad con la implementación de nuestro modelo de negocio, y finalmente, se realizará un análisis de sensibilidad que permitirá conocer si los resultados obtenidos son respaldados ante variaciones de los costos del CAPEX y OPEX.

4.7. Estrategia para Viabilizar la Sustitución del Combustible Diésel

Luego de elegir la mejor alternativa de transición, se identificará los diferentes actores que se relacionan directa o indirectamente con este proyecto, y se realizará un análisis de las similitudes, diferencias y grados de influencia en torno a la viabilidad en la implementación del proyecto.

Capítulo V: Evaluación de Alternativas

5.1. Universo para el Desarrollo de la Tesis

El alcance de la investigación comprende la zona geográfica de la ciudad de Lima, conformada por los usuarios del servicio de transporte urbano de buses de pasajeros, para determinar el caso de estudio es necesario definir los criterios para su selección:

En primer lugar, se utilizó el criterio de Pareto con la finalidad de identificar la cantidad de buses que formaran parte de nuestro caso de estudio, donde el 20% seleccionado representará el 80% restante del universo.

En segundo lugar, realizaremos una muestra estadística de un grupo de empresas de transporte urbano de buses a combustible diésel, hasta alcanzar una cantidad de buses que se encuentre dentro del rango de tolerancia establecido.

Finalmente, validaremos los datos mediante una encuesta.

5.1.1. Área de Estudio

El área de estudio es el área de influencia de la ruta de transporte urbana en Lima Metropolitana, para nuestro caso de estudio es necesario determinar la ruta de la empresa para realizar la evaluación requerida.

De acuerdo a la ATU el universo de vehículos de transporte es de 22 296, de los cuales 8 415 buses están comprendidos en el sector de vehículos de transporte urbano.

Del total de 8 415 buses, aplicando los criterios descritos anteriormente procederemos a encontrar el tamaño de la muestra y seleccionaremos a continuación la empresa o empresas que será(n) efecto de la evaluación.

5.1.2. Criterio de Pareto

Para la determinación del 20%, de la muestra representativa del universo (8 415 buses), nuestra selección sería 1 683 buses de 9m a 12m de longitud y que no cuenten con una antigüedad de más de 6 años.

5.1.3. Determinación de la Muestra Estadística

Una vez identificado el número de muestra por el criterio de Pareto, a continuación, procederemos a determinar la muestra representativa de la flota de unidades de transporte de pasajeros, utilizando la siguiente fórmula para un universo finito:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{e^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscada

N = Tamaño de la población o Universo, tomada del criterio de Pareto (1 683 buses)

Z = Parámetro estadístico que depende de N, valor de Z al 95% igual a 1.960

e = Error de estimación máximo aceptado (3%)

p = Probabilidad de que ocurra el evento estadístico (50%)

$q = (1-p)$ = Probabilidad de que no ocurra el evento estadístico (50%)

Tabla 6

Valores de los parámetros a utilizar

Parámetro	Valor
N	1 683
Z (95%)	1.960
P	50%
q	50%
e	3%
n	653

Fuente: Elaboración propia

El resultado del tamaño de muestra buscada (n), de acuerdo a lo mostrado en la tabla 6, nos indica que debemos tomar una muestra de 653 unidades de transporte, para nuestro caso de estudio consideramos un error de $\pm 2\%$ (menor que $\pm 3\%$) finalmente encontrando que la cantidad de buses que formaran parte de la investigación se encuentran entre 619 y 687 unidades.

Posteriormente, se realizó visitas a las instalaciones de las empresas, realizando encuestas a un total de 18 empresas de transporte de pasajeros, de las cuales, 8 empresas respondieron a las consultas realizadas. En la tabla 7, se detalla la relación de empresas y su respectiva cantidad de buses en actividad.

Tabla 7*Empresas encuestadas y cantidad de buses de transporte urbano*

Empresas de transporte de pasajeros	Cantidad de Buses
Empresa de transporte Urbano Chino S.A.	220
Translima S.A.	80
Trans Norcom Corporation S.A.C.	50
El Inti S.A.	30
Sol de Oro S.A.	130
La Nueva Estrella S.A.C.	50
Virgen de la Puerta S.A.	60
El Rápido S.A.	18
Total	638

Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de demanda.

Como se puede observar en la tabla 7 y de acuerdo al rango de valores encontrados en el paso anterior, la cantidad de 638 unidades de transporte se encuentra dentro del rango estimado de estudio, en consecuencia, podemos inferir que el tamaño de la muestra es representativo de la población o universo de 1 683 unidades de transporte.

A continuación, se describe a las empresas encuestadas:

a. Empresa de Transportes Urbanos los Chinos S.A. (ETUCHISA)

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 1993. Esta línea de transporte es representativa y significativa en la vida cotidiana de los ciudadanos que circulan por la carretera panamericana de Norte a Sur en Lima. Su punto de partida es en el

distrito de Villa el Salvador y su punto de llegada es en el distrito de Puente Piedra. ETUCHISA tiene asignada la línea 1802 de autobús, las cuales tienen 112 paradas y operan en el horario de las 04:00 hrs. hasta las 22:05 hrs. los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 26 000 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 725 galones de combustible al mes repartidos entre sus 220 buses, lo cual representa un gasto anual de 126 000 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es de 4 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 3.1 millones de soles por bus y un ingreso total neto de 9.1 millones de dólares al año.

b. TRANSLIMA S.A.

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 1988. Esta empresa tiene líneas que recorren sus rutas por los distritos de San Martín de Porres, Carabayllo, Chorrillos, Jesús María, Comas, San Miguel, Lima Cercado, Santiago de Surco, Los Olivos y Villa María de Triunfo. TRANSLIMA tiene asignada la línea IM21 de autobús, las cuales tienen 76 paradas y operan en el horario de las 04:00 hrs. hasta las 23:55 hrs. los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 8 000 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 290 galones de combustible al mes repartidos entre sus 80 buses, lo cual representa un gasto anual de 57 600 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es

de 3.5 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 0.85 millones de soles por bus y un ingreso total neto de 2.5 millones de dólares al año.

c. TransNorcom Corporation S.A.C.

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 2017. Esta empresa tiene una única línea que recorre desde Metro UNI (Independencia) hasta Pamplona Alta (S.J.M). Su punto de partida es en el distrito de Villa el Salvador y su punto de llegada es en el distrito de Puente Piedra. TransNorcom tiene asignada la línea 1802 de autobús, las cuales tienen 112 paradas y operan en el horario de las 04:00 hrs. hasta las 22:00 hrs. los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 4 000 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 206 galones de combustible al mes repartidos entre sus 50 buses, lo cual representa un gasto anual de 39 600 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es de 2.5 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 313 500 soles por bus y un ingreso total neto de 0.91 millones de dólares al año.

d. Empresa de Transporte y Servicios El Inti S.A.

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 1987. Cuenta con una única línea que recorre desde la avenida Corregidor / Los Fresnos (La Molina) hasta Av. Izaguirre (San Martín De Porres). El Inti opera en el horario de las 05:00 am hasta las 22:00 pm. los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 2

000 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 465 galones de combustible al mes repartidos entre sus 30 buses a GNV, lo cual representa un gasto anual de 86 400 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es de 4 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 243 200 soles por bus y un ingreso total neto de 0.71 millones de dólares al año.

e. Sol de Oro S.A.

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 1986. Esta empresa tiene dos líneas que recorren los distritos de San Martín de Porres, Santa Anita, Lima Cercado, Los Olivos y Villa El Salvador. Sol de Oro opera en el horario de las 5:00 am. hasta las 22:00 pm. los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 11 910 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 437 galones de combustible al mes repartidos entre sus 130 buses, lo cual representa un gasto anual de 82 800 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es de 2.4 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 869 440 soles por bus y un ingreso total neto de 2.5 millones de dólares al año.

f. La Nueva Estrella S.A.C.

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 2003. Tiene una única línea que va de Ancón por la Panamericana Norte - Alfonso Ugarte - Salaverry -

Panamericana Norte, hasta Ventanilla. La Nueva Estrella opera en el horario de las 5:00 am. hasta las 21:55 pm. los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 4 700 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 450 galones de combustible al mes repartidos entre sus 50 buses, lo cual representa un gasto anual de 72 000 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es de 2.8 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 400 773 soles por bus y un ingreso total neto de 1.17 millones de dólares al año.

g. Virgen de la Puerta S.A. (VIPUSA)

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 1993. Tiene 5 líneas que recorren los distritos de Ancón, Puente Piedra, San Martín de Porres, Independencia, San Borja, Comas, Lima Cercado, Santa Rosa, Los Olivos, Ventanilla. VIPUSA opera en el horario de las 04:00 am. hasta las 22:26 pm. los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 6 000 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 690 galones de combustible al mes repartidos entre sus 60 buses a GNV, lo cual representa un gasto anual de 129 600 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es de 2.3 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 419 520 de soles por bus y un ingreso total neto de 1.23 millones de dólares al año.

h. Empresa de Transportes y Servicios El Rápido S.A.

Esta empresa de transportes opera y mantiene buses en circulación desde 1993. Tiene 2 líneas que recorren los distritos de El Agustino, Carabayllo, San Martín de Porres, Independencia, Comas, Los Olivos, Villa María del Triunfo y Villa El Salvador. El Rápido opera en el horario de las 05:00 am hasta las 22:00 pm los siete (7) días de la semana. Esta empresa de transportes moviliza aproximadamente a 1 500 pasajeros por día, consumiendo alrededor de 690 galones de combustible al mes repartidos entre sus 18 buses a GNV, lo cual representa un gasto anual de 130 000 soles en combustible. El costo promedio del pasaje es de 2.8 soles, lo cual representa una recaudación mensual de 127 680 de soles por bus y un ingreso total neto de 0.37 millones de dólares al año.

Tabla 8

Datos generales empresas de transporte público

EMPRESA	Línea	Partida - llegada	Longitud de la ruta (en km)	Duración aprox. del trayecto (en min)	Paradas	Horario
ETUCHISA	1802	Av. Lima (Villa El Salvador) - Ensenada (Puente Piedra	51	140	112	4:00 hasta las 22:05
	8604	El Triunfo (Villa María Del Triunfo) - Plaza Centro América (Miraflores))	19.51	61	66	0:00 hasta las 23:50
	2513	28 De Julio (Jesús María) - Oquendo (San Martín De Porres)	19,47	68	81	4:30 hasta las 22:30
TRANSLIMA	1518	Carabayllo - Jesús María	32,82	92	87	5:00 hasta las 22:00.
	7701	El Triunfo - Explanada Bajada Agua Dulce	10	56	66	5:00 hasta las 23:00.
	IM21	Izaguirre - Jorge Chávez	21,55	62	76	4:00 hasta las 23:55

Trans Norcom Corporation S.A.C.	7203	Metro Uni (Independencia) - Pamplona Alta (S.J.M)	28,64	66	52	5:00 hasta las 22:00
El Inti S.A.	2404	Corregidor / Los Fresnos (La Molina) - Izaguirre (San Martin De Porres)	34,26	91	113	5:00 hasta las 22:00
Sol de Oro S.A.	2805	Chuquitanta (San Martin De Porres) - Las Lomas (Villa El Salvador)	51	189	121	5:00 hasta las 22:00
	4204	Amauta (Ate) hasta Av. Chuquitanta (Los Olivos)	44,42	122	142	4:30 hasta las 22:10
La Nueva Estrella S.A.C.	IO47	Ancón - Panam. Norte - Alfonso Ugarte - Salaverry - Panamericana Norte - Ventanilla	70.14	205	163	5:00 hasta las 21:55
	1404	Collique (Comas) - Faraday (Ate)	34,54	91	104	5:00 hasta las 22:00
	1804	(Las Palmas (Pachacamac) - Miramar (Ancon)	72,01	188	169	5:30 hasta las 23:28
Virgen de la Puerta S.A.	8109	Zona Industrial (Ancon) - Las Palmas (Pachacamac)	76,98	196	150	4:00 hasta las 22:26
	9601	Los Cerezos (Surco) Isabel La Católica (La victoria)	36,08	94	83	5:00 hasta 21:00.
	9602	Mercado de Pachacutec (VMT) - Belisario Flores (Lince)	39,48	98	89	4:28 hasta las 22:00
El Rápido S.A.	2411	Chuquitanta (San Martin De Porres) - Huachipa (Lurigancho)	37,06	99	119	5:00 hasta las 21:30
	8105	San Benito (Carabayllo) - Tablada (Villa María Del Triunfo)	61,58	163	135	5:00 hasta las 22:00

Fuente: Elaboración propia

5.2. Determinación del Caso de Estudio

Para la elección de la empresa que va a servir como caso de estudio nos basaremos en la aplicación de los criterios mencionados en la sección 4.2, conforme se aprecia en la tabla 14.

Tabla 9

Criterios de las empresas encuestadas

Empresas de transporte de pasajeros	Recorrido (Longitud en km)	Horario	Tipo de Flota (marca y modelo)	Flota (buses)	Pasajeros /día
Empresa de transporte Urbano Chino S.A.	51.00	04:00 a 22:05	2 marcas, 2 modelos, D2	220	26 009
Translima S.A.	21.00	04:00 a 23:55	3 marcas, 5 modelos, D2	80	8 106
Trans Norcom Corporation S.A.C.	28.64	04:00 a 22:00	3 marcas, 5 modelos, D2	50	4 180
El Inti S.A.	34.26	05:00 a 22:00	3 marcas, 3 modelos, GNV	30	2 026
Sol de Oro S.A.	47.71	05:00 a 22:00	2 marcas, 4 modelos, D2	130	12 075
La Nueva Estrella S.A.C.	70.14	05:00 a 21:55	3 marcas, 4 modelos, D2	50	4 771
Virgen de la Puerta S.A.	51.82	04:00 a 22:26	2 marcas, 3 modelos, GNV	60	6 080
El Rápido S.A.	49.32	05:00 a 22:00	2 marcas, 3 modelos, GNV	18	1 520
Total	353.89			638	

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la recolección de datos, se procede a calificar del 1 al 8 (siendo 8 aquellas que cumplan mejor el criterio y 1 para las empresas que cumplan menos el criterio), para posteriormente obtener el puntaje final.

Tabla 10

Calificación de las empresas encuestadas

Empresas de Transporte de Pasajeros	Recorrido (Longitud en km)	Horario	Tipo de Flota	Cantidad de Flota (buses)	Pax/día	Puntaje Final
Empresa de Transporte Urbano Chino S.A.	6	4	6	8	8	32
Translima S.A.	1	6	4	6	6	23

Trans Norcom Corporation S.A.C.	2	3	3	4	3	15
El Inti S.A.	3	2	1	2	2	10
Sol de Oro S.A.	4	2	5	7	7	25
La Nueva Estrella S.A.C.	8	1	3	3	4	19
Virgen de la Puerta S.A.	7	5	2	5	5	24
El Rápido S.A.	5	2	2	1	1	11

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del procedimiento anterior, la empresa que obtuvo la mejor calificación es ETUCHISA, por lo tanto, esta será considerada como Caso Estudio, conforme se muestra en la tabla 10. Seguidamente detallamos las características de ETUCHISA, empresa que nos servirá como caso de estudio.

a. Amplia cobertura de ruta geográfica (amplio recorrido):

El recorrido de la empresa ETUCHISA contempla distritos desde Villa El Salvador (cono sur) hasta Puente Piedra (cono norte); además cuenta con 111 paraderos.

b. Horario cobertura:

Cuenta con horarios de operación que inician a las 4:00 a.m. y finalizan a las 10:00 pm., durante los 7 días de la semana.

c. Uniformidad en tipología de la flota:

Los buses de la flota tienen uniformidad en sus modelo, marca y uso de combustible diésel

d. Cantidad de buses:

Su flota está conformada por 220 buses, para la presente tesis se considera 209 (los restantes se encuentran en reserva para atención de contingencias).

e. Cantidad de pasajeros por día:

En promedio la empresa ETUCHISA transporta un total 9 363 200 pasajeros al año, lo que representa aproximadamente un promedio de 26 009 pasajeros-día, considerando 209 buses operativos de su total de 220 buses.

Figura 33

Ruta de la empresa ETUCHISA



Fuente: Elaboración propia

5.3. Línea Base: Buses Diésel para su Conversión a GN o Eléctrico

En la encuesta realizada en las instalaciones de la ETUCHISA, se obtuvo data necesaria para realizar los cálculos en gabinete, los cuales los mencionamos a continuación:

Demanda de pasajeros	: 26 009 pasajeros-día
Oferta de flota de vehículos	: 209
Consumo y costo de combustible	: 725 galones-mes, S/ 126 000 año
Costos de mantenimiento	: S/ 4 800 año
Precios de pasajes	: S/ 4.00 en promedio.
Distancias de recorrido	: 51 km.

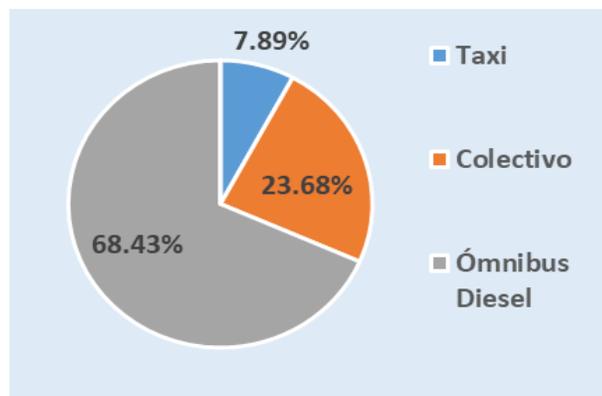
De acuerdo a los datos mencionados, la demanda de pasajeros que transitan por la ruta de ETUCHISA representa el 68.43%, lo demás es cubierto por los colectivos que cubren el 23.68% y los taxis el 7.89%, los dos últimos de acuerdo a la información recopilada en los principales paraderos (Puente Trujillo, Tacna, Puente Nuevo, Javier Prado y Puente Alipio Ponce, Mega Plaza, Plaza Lima Norte).

Por lo tanto, en la actualidad los 26 009 pasajeros-día, que representan el 68.43% de la demanda y que son atendidos por ETUCHISA (buses a combustible diésel), serán considerados como nuestro universo de demanda para ofertar una de las dos alternativas propuestas: Alternativa 1: buses a GN o Alternativa 2: buses eléctricos.

En la figura 34, se muestra que el 68.43% son atendidos por ómnibus que funcionan en su totalidad con combustible diésel y esta será considerada nuestra línea base para el estudio de conversión o sustitución de la flota.

Figura 34

Escenario base de buses con motor Diésel



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la figura 35 se observa que el horizonte de la demanda está en ascenso desde el año 2022 al año 2052 y se prevé que en los próximos 30 años se debería cubrir un total de 36 761 pasajeros por día.

Cabe señalar que el horizonte de la demanda fue determinado considerando una tasa de crecimiento anual de 1.16%.

Figura 35

Demanda de Pasajeros por día de ETUCHISA en el horizonte del proyecto (30 años)



Fuente: Elaboración propia

5.4. Alternativa Bus a Gas Natural

Debido a los menores costos de inversión y conforme a la información levantada en las encuestas, las personas encuestadas manifestaron, al no contar con acceso a un crédito de alta suma de dinero, y no contar con las garantías que corresponda, que no veían conveniente asumir gastos de sustitución de buses Diesel a buses a GN, muy por el contrario sí estaban dispuestos a asumir la inversión que correspondería a la conversión del motor diésel a GN. Por consiguiente, la alternativa seleccionada es la conversión de motores Diésel a GN.

Para esta alternativa, se realizará la evaluación económica de la conversión de los 209 buses de la flota de ETUCHISA que cubrirán el 68.43% de la demanda de pasajeros, que representan 26 009 pasajeros-día, la cual considera una evaluación privada y social.

5.4.1. Evaluación Privada

Para la evaluación privada; primero, se realiza el cálculo del CAPEX y OPEX, seguidamente, la elaboración del flujo económico; para finalmente, realizar el análisis de sensibilidad con la herramienta @Risk.

a. Determinación del CAPEX:

El CAPEX es la sumatoria de todos los costos involucrados directa e indirectamente para el diseño, permisos, financiamiento, obras, equipos, instalación, supervisión, pruebas y puesta en operación comercial, cumpliendo los estándares, reglamentos, normas, contratos, entre otros que permitan la aprobación y aceptación del usuario.

Para el caso de la presente Tesis, se ha considerado los costos de conversión de los buses diésel a buses a GN a precios del mercado. También, se está considerando los costos relacionados con los estudios e ingeniería y los costos relacionados con la inversión en infraestructura para atender a la totalidad de la flota, según se muestran en las tablas 11, 12 y 13, respectivamente.

Tabla 11

Presupuesto de Infraestructura para los Buses a GN

Concepto	Total	
	USD	PEN
Inversión en infraestructura para buses a GN	250 000	1 002 500
Costo Directo Total	250 000	1 002 500

Gastos Generales	25 000	100 250
Utilidad	37 500	150 375
Subtotal	312 500	1 253 125
IGV (18%)	56 250	225 563
Presupuesto Total	368 750	1 478 688

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Presupuesto de la conversión del Buses Diésel a GN

Concepto	Presupuesto en USD			Presupuesto en PEN		
	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal
Ómnibus a GN	50 000	209	10 450 000	200 500	209	41 904 500
Repuestos (20%)	10 000	0	-	40 100	0	-
Sist. Monitoreo y Control	15 000	0	-	60 150	0	-
Capacitación y Trámites	20 000	0	-	80 200	0	-
Subtotal			10 450 000			41 904 500
IGV (18%)			1 881 000			7 542 810
Presupuesto Total			12 331 000			49 447 310

Nota: El costo estimado para la conversión del motor diésel a motor a GN es de 50 mil dólares incluyendo el tanque criogénico de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Presupuesto de la Inversión Total para la alternativa de Buses a GN

Concepto	Presupuesto		%
	USD	PEN	

Estudios e Ingeniería	15 625.00	62 656.25	0.14
Inversión en Infraestructura	312 500.00	1 253 125.00	2.90
Buses a GN	10 450 000.00	41 904 500.00	96.96
Repuestos (20%)	-	-	0.00
Sist. Monitoreo y Control	-	-	0.00
Capacitación y Trámites	-	-	0.00
Total de Inversión	10 778 125	43 220 281	100.00

Fuente: Elaboración propia

b. Determinación del OPEX:

El OPEX es la sumatoria de todos los gastos involucrados, precios del combustible, gastos administrativos (costo del personal, servicios, alquileres) y el costo de mantenimiento.

Para el caso de la presente Tesis, se ha considerado estos gastos operativos y de mantenimiento para un periodo de 30 años. En la tabla 14 se presenta el OPEX de los buses a GN para el período del año 2022 al año 2052.

Tabla 14

Costos de Operación y Mantenimiento de la Alternativa de Buses a GN

Año	Operación			Mantenimiento			Total	
	Combustible	Personal	Total	Mantto Fijo	Mantto Variable	Otros		Total
	S/	S/	S/	S/	S/	S/		S/
2022	-	-	-	-	-	-	-	-
2023	3 534 312	1 767 156	3 534 312	1 183 977	1 420 772	176 716	2 781 464	6 315 777
2024	3 575 310	1 787 655	3 575 310	1 197 711	1 437 253	178 766	2 813 729	6 389 040
...
2052	4 938 110	2 469 055	4 938 110	1 654 242	1 985 090	246 905	3 886 237	8 824 347

TOTAL	125 955 117	99 125 266	225 080 383
--------------	--------------------	-------------------	--------------------

Fuente: Elaboración propia

c. Flujo Económico:

Para el flujo económico, hemos considerado el CAPEX y OPEX para la conversión y operación de la flota de buses de ETUCHISA para un período de 30 años. Finalmente, determinaremos el VAN, la TIR y la Razón Beneficio/Costo (B/C).

Las tablas 15, 16, 17 muestran los cálculos realizados y la tabla 18 muestra el flujo de caja económico de la alternativa N°1 para la conversión de buses Diésel a GN.

Tabla 15

Ingresos de la alternativa N° 1: Buses a GN

CONCEPTO	UND	0	1	2	...	26	27	28	29	30
Demanda Anual de pasajeros (pax)	millon pax	-	7.89	7.98	...	10.53	10.65	10.78	10.90	11.03
Precio Pasajes	US\$/pax	-	1.08	1.08	...	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Ingreso anual	MM US\$	-	8.53	8.63	...	11.38	11.52	11.65	11.79	11.92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16*Inversiones de la alternativa N° 1: Bus a GN*

CONCEPTO	UND	0	1	2	...	26	27	28	29	30
Inversión infraestructura para Bus-GN	MM US\$	-0.36	0	0	...	0	0	0	0	0
Inversión x Conversión Bus Diésel a GN	MM US\$	-	0	0	...	0	0	0	0	0
Impuestos IGV (Bus GN)	MM US\$	-2.04	0	0	...	0	0	0	0	0
Inversión total: GN		-	-	-	-	-	-	-	-	-
		13.72								

Fuente: Elaboración propia**Tabla 17***Costos operativos de la alternativa N° 1: Bus a GN*

CONCEPTO	UND	0	1	2	3	4	...	26	27	28	29	30
Combustible	MM US\$	0	0.96	0.97	0.98	0.99	...	1.27	1.29	1.30	1.32	1.33
Personal	MM US\$	0	0.48	0.48	0.49	0.49	...	0.64	0.64	0.65	0.66	0.67
Mantto Fijo	MM US\$	0	0.32	0.32	0.33	0.33	...	0.43	0.43	0.44	0.44	0.45
Mantto Variable	MM US\$	0	0.46	0.46	0.47	0.47	...	0.61	0.61	0.62	0.63	0.64
Costo Operativo Total	MM US\$	0	2.21	2.23	2.26	2.29	...	2.95	2.98	3.02	3.05	3.09

Fuente: Elaboración propia**Tabla 18***Flujo de caja económico de la alternativa N° 1: Bus a GN*

CONCEPTO	UND	0	1	2	3	4	...	26	27	28	29	30
Ingresos	MM						...					
	US\$...					
Ingreso de operación	MM	-	8.53	8.63	8.73	8.83	...	11.38	11.52	11.65	11.79	11.92
	US\$	-	8.53	8.63	8.73	8.83	...	11.38	11.52	11.65	11.79	11.92
Egreso de operación	MM	-	2.21	2.23	2.26	2.29	...	2.95	2.98	3.02	3.05	3.09
	US\$	-	2.21	2.23	2.26	2.29	...	2.95	2.98	3.02	3.05	3.09
Flujo operativo	MM		6.32	6.40	6.47	6.55	...	8.44	8.54	8.64	8.74	8.84
	US\$		6.32	6.40	6.47	6.55	...	8.44	8.54	8.64	8.74	8.84
Egresos	MM						...					
	US\$...					
Activos	MM	-11.68	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0
	US\$	-11.68	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0
Impuestos IGV (Bus GN)	MM	-2.04	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0
	US\$	-2.04	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0
Capital de trabajo (Ct)	MM	-2.21	0	0	0	0	...	0	0	0	0	2.21
	US\$	-2.21	0	0	0	0	...	0	0	0	0	2.21
Recuperación de Ct	MM						...					
	US\$...					
Flujo egresos	MM	-15.93	-	-	-	-	...	-	-	-	-	2.21
	US\$	-15.93	-	-	-	-	...	-	-	-	-	2.21
Flujo de caja económico	MM	-15.93	6.32	6.40	6.47	6.55	...	8.44	8.54	8.64	8.74	11.05
	US\$	-15.93	6.32	6.40	6.47	6.55	...	8.44	8.54	8.64	8.74	11.05

Fuente: Elaboración propia

Los valores finales del VAN, TIR y B/C se encuentran en la tabla 19, mostrando que los resultados determinísticos de la evaluación económica aplicado a la Alternativa 1 Bus a GN, son: VAN: 39.74 MMUS\$, TIR: 40.87% y B/C: 3.49.

Tabla 19

Valores antes de la simulación de la alternativa N° 1: Bus a GN

VAN económico B-GN	MMUS\$	39.74
TIR económico B-GN	%	40.87%
B/C económico B-GN		3.49

Tasa	%	12.00%
-------------	----------	---------------

Fuente: Elaboración propia

d. Análisis De Sensibilidad:

Para realizar el análisis de riesgo de la alternativa N°1, usaremos la simulación Montecarlo con la herramienta computacional @Risk 8.2. El procedimiento a seguir se describe a continuación: Primero, a partir del flujo económico de la alternativa N°1 desde el punto de vista del inversionista privado (ver tabla 18) construiremos el modelo de simulación de nuestro proyecto con variables fijas de variables entrada y salida. Las variables de entrada a usar serán el Ingreso Anual, Inversión Total y Costo de Operativo Total y las de salida, el VAN económico, TIR económico y B/C económico.

En segundo lugar, ingresando al @Risk los valores mínimo, más probable y máximo recogidas del juicio de expertos (ver tablas 20 y 21), y eligiendo una distribución triangular, generaremos las gráficas de distribución del Ingreso Anual, la Inversión Total y el Costo de Operativo Total (ver figuras 36, 37 y 38).

Tabla 20

Limites mínimo y máximo (%) bajo encuestas DELPHI a expertos

Ingreso anual	Min	Max
Víctor Ortiz	80%	115%

Rafael Reyes	85%	110%
Alfredo Sausa	80%	105%
Gustavo Ordoñez	80%	110%
Elías Tipismana	80%	120%
Promedio	81%	112%
Inversión total: GN		
Víctor Ortiz	90%	130%
Rafael Reyes	95%	120%
Alfredo Sausa	95%	130%
Gustavo Ordoñez	90%	120%
Elías Tipismana	98%	140%
Promedio	94%	128%
Costo Operativo Total		
Víctor Ortiz	95%	115%
Rafael Reyes	93%	120%
Alfredo Sausa	95%	130%
Gustavo Ordoñez	95%	115%
Elías Tipismana	90%	120%
Promedio	94%	120%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

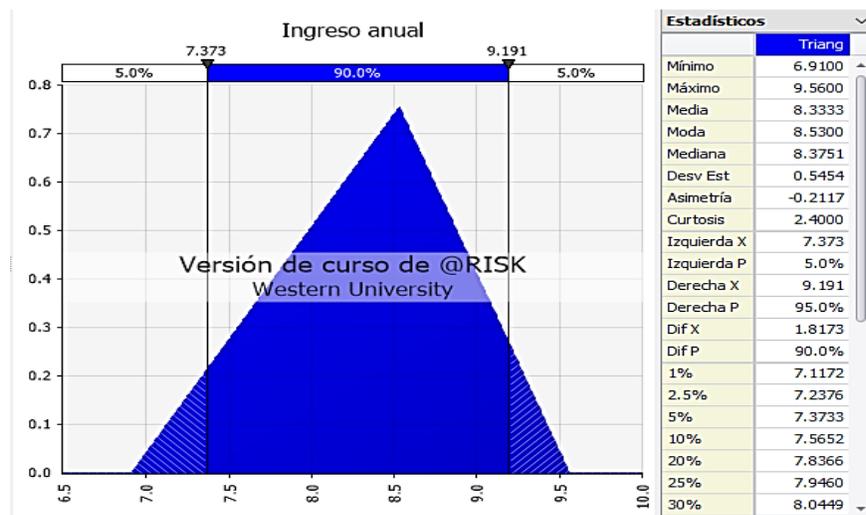
Resumen de valores de las variables de entrada de la alternativa N° 1: Bus a GN

Ingreso anual			Inversión total: GN			Costo Operativo Total		
81%	100%	112%	94%	100%	128%	94%	100%	120%
6.91	8.53	9.56	-12.84	-13.72	-17.56	2.07	2.21	2.65

Fuente: Elaboración propia

Figura 36

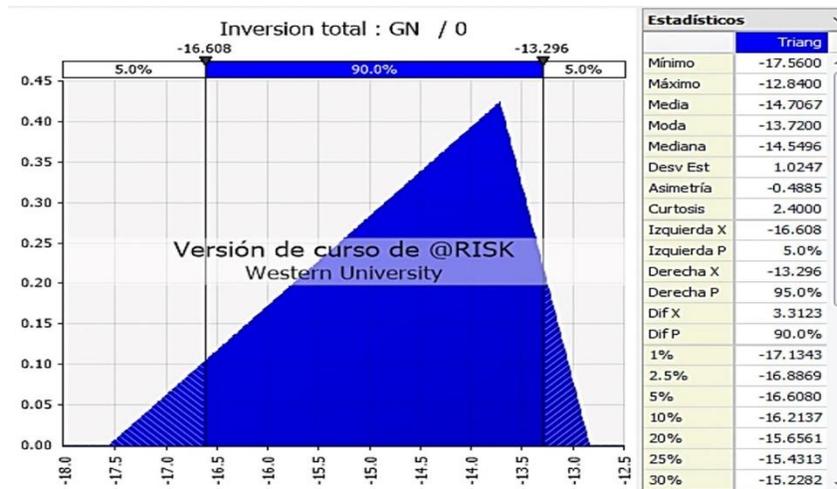
Distribución triangular del Ingreso Anual de la alternativa N° 1: Bus a GN



Fuente: Elaboración propia

Figura 37

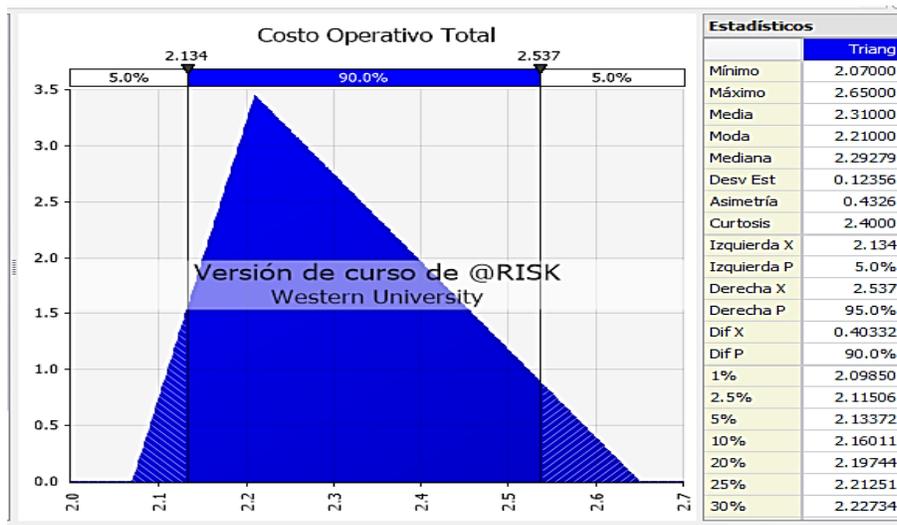
Distribución triangular de la Inversión Total de la alternativa N° 1: Bus a GN



Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Distribución triangular del Costo Operativo Total de la alternativa N° 1: Bus a GN

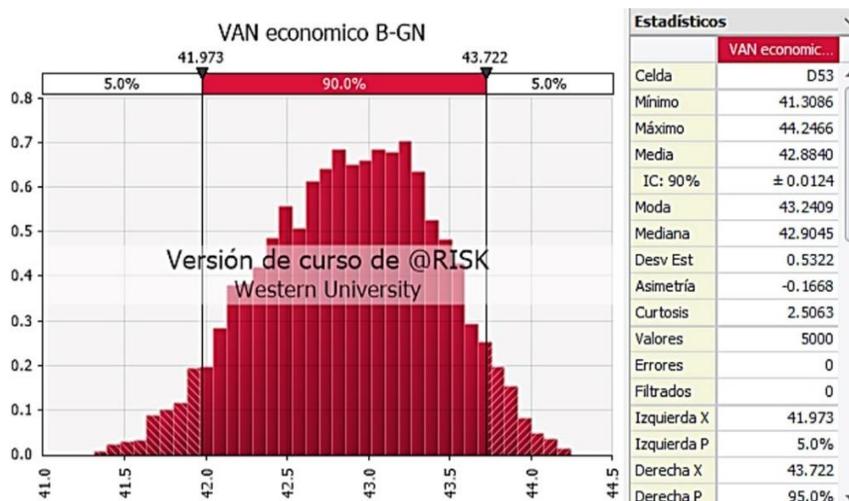


Fuente: Elaboración propia

En tercer lugar, añadiremos las variables de salida (VAN, TIR y B/C) y elegiremos que se realicen 5000 iteraciones, para obtener los histogramas de la VAN, TIR y B/C, en donde se aprecien todos los resultados generados de los valores la VAN, TIR y B/C (ver figura 39, 40 y 41).

Figura 39

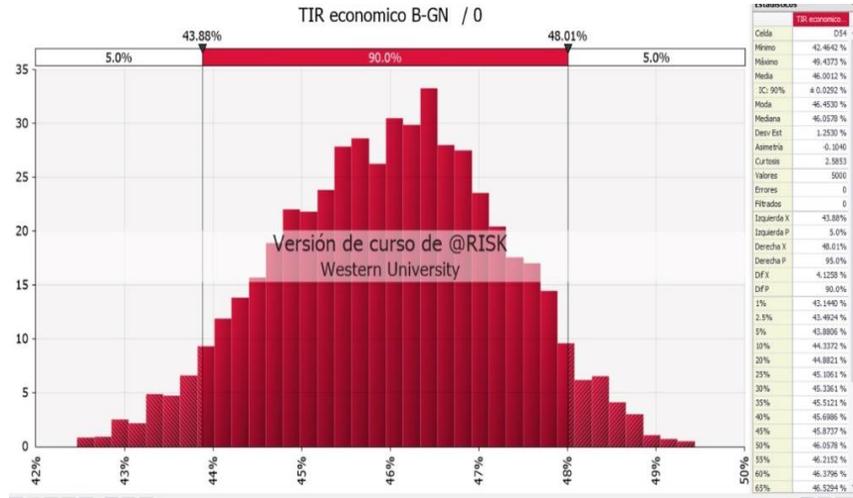
Histograma del VAN económico para Bus a GN



Fuente: Elaboración propia

Figura 40

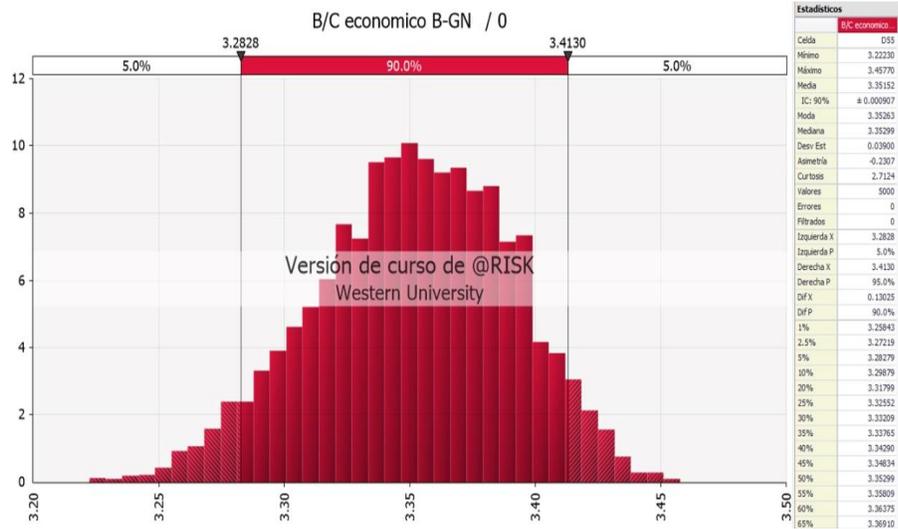
Histograma del TIR económico para Bus a GN



Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Histograma de la Razón B/C económico para Buses a GN



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la tabla 22 podemos apreciar un resumen de los resultados obtenidos del VAN, siendo estos mayores a cero, con lo cual se tiene la certeza de que el proyecto de conversión de buses Diésel a GN es viable.

Tabla 22

Resultados de la simulación para Buses a GN

		Mínimo	Máximo	Media
VAN económico B-GN	MMUS\$	41.97	43.72	42.88
TIR económico B-GN	%	43.88	48.01	46.00
B/C económico B-GN		3.28	3.41	3.35
Tasa	%			12.00

Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Evaluación Social

Para la evaluación social consideramos los beneficios sociales por la reducción de tiempo de viajes, reducción de las emisiones de CO₂, y reducción de accidentes.

a. Determinación del CAPEX a Precios Sociales:

El CAPEX del proyecto para la conversión de buses a GN a precios sociales es de S/ 34 144 022, este resultado se obtiene del CAPEX privado multiplicado por el factor de corrección de inversión igual a 0.79.

En la tabla 23 se presentan los presupuestos para la inversión en estudios, ingeniería e infraestructura y conversión de buses diésel a buses a GN a precios sociales.

Tabla 23*Presupuesto de la Inversión Total a Precios Sociales de Buses a GN*

Concepto	Precio Privado	Factor de Corrección	Precio Social
	S/		S/
Estudios e Ingeniería	62 656.25	0.79	49 498
Inversión en Infraestructura	1 253 125.00	0.79	989 969
Buses a GN	41 904 500.00	0.79	33 104 555
Total de Inversión	43 220 281		34 144 022

Fuente: Elaboración propia**b. Determinación del OPEX a Precios Sociales:**

El OPEX del proyecto para la conversión de Buses a GN a precios sociales es de S/ 168 810 287, este resultado se obtiene del OPEX privado multiplicado por el factor de corrección de operación y mantenimiento igual a 0.75. En la tabla 24 se presentan los costos de operación y mantenimiento de buses a GN a precios sociales.

Tabla 24*Costos de Operación y Mantenimiento a Precios Sociales de Buses a GN*

Año	Costos a Precios Privados	Factor de Corrección	Costos a Precios Sociales
	S/		S/
2022	-	0.75	-
2023	6 315 777	0.75	4 736 832
2024	6 389 040	0.75	4 791 780
...	...	0.75	...
2052	8 824 347	0.75	6 618 260

225 080 383

168 810 287

Fuente: Elaboración propia**c. Beneficios Sociales**

En las tablas 25, 26 y 27 se observan los costos por el tiempo de viaje de pasajeros, costo por las emisiones de CO₂ y costos de pasajeros heridos y fallecidos en buses a GN, respectivamente, estos costos fueron evaluados para a un período de 30 años. Con esto determinaremos los beneficios sociales que se apreciarán en las tablas 28 y 29.

Tabla 25*Costo de Tiempo de Viaje por Pasajeros en Buses a GN*

Año	Pasajeros Captados pax	Hora Punta		Hora Fuera de Punta		VST PEN/ hora /pax	Total S/.
		Tiempo de viaje hora	Porcentaje Captado %	Tiempo de viaje hora	Porcentaje Captado %		
2022	-	3.90	68%	3.60	32%	6.50	-
2023	7 893 178	3.90	68%	3.60	32%	6.50	195 232 653
2024	7 984 738	3.90	68%	3.60	32%	6.50	197 497 352
...
2052	11 028 277	3.90	68%	3.60	32%	6.50	272 777 319
	281 295 485						6 957 662 261

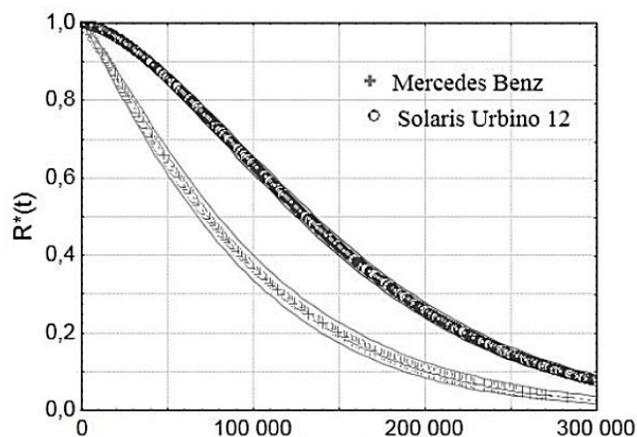
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25 se han considerado tiempos de viaje en hora punta y hora fuera de punta, esto afectado por el porcentaje de pasajeros captados y el VST_Pax (Costo del pasajero por permanecer en una unidad de transporte), da como resultante el costo social total en unidades monetarias soles.

Se ha considerado una disminución de 2.5% de disminución en el tiempo de viaje en hora punta y hasta un 10% en hora fuera de punta. Esto se debe primeramente al aumento de la confiabilidad al adquirir un motor nuevo, en la figura 42 se puede observar un estudio de la confiabilidad de un motor de bus de transporte urbano de la misma marca que el que utiliza la empresa ETUCHISA: Mercedes Benz (Rymarz et al., 2015), donde puede notarse que la confiabilidad disminuye en función al kilometraje del vehículo. Siendo la antigüedad promedio en los buses de ETUCHISA de 5 años, el millaje aproximado es de 150 000 km resulta una confiabilidad baja. Esto nos indica que los buses Diésel tendrían mayores demoras en el tiempo de viaje por mayores frecuencias de falla.

Además, si bien, en la presente investigación no se están considerando incentivos monetarios para la reducción de impuestos y aranceles a la importación de componentes para la conversión de los buses, ni tampoco excepciones de tarifas diferenciadas ni peajes y parqueos; si se considera las facilidades por las autoridades correspondientes para la inclusión de carriles segregados y exclusivos que permitirá la reducción del tiempo en los recorridos de los buses convertidos a GN o baterías eléctricas.

Tomando en cuenta lo detallado líneas arriba, se consideraron tiempos de viaje en buses a GN (3.9 y 3.6 horas) menores respecto a los buses diésel (4 horas) gracias a que habría una mayor confiabilidad por adquirir un motor nuevo y el beneficio de carriles segregados.

Figura 42*Confiabilidad**Fuente: Rymarz, 2015*

Según información de la Asociación de Concesionarios de Transporte Urbano (ACTU), la velocidad de los buses que circulan en los corredores es actualmente 9 Km/h en promedio, con la implementación de los corredores segregados y exclusivos esta velocidad se incrementaría a 20 Km/h.

En la actualidad un bus del corredor rojo demora en promedio dos horas y 15 minutos en recorrer en hora punta la Av. Javier Prado (desde la Av. La Molina en Ceres hasta la Av. La Marina) con un carril exclusivo esta ruta la podría realizar en 1 hora y 10 min, disminuyendo el tiempo casi a la mitad y esto a su vez permitiría incrementar el número de vueltas de los buses. Asimismo, la administración del corredor rojo Allin Group está por implementar una estación

de GNC, en su patio de estacionamiento de Ate Vitarte para alimentar de GN a los buses y de esta manera aprovechar de la disposición de su flota disponer de mayor tiempo en ruta

Tabla 26

Costo por Emisiones de CO₂ en Buses a GN

Año	Pasajeros Captados	Emis_CO2_Bus	Longitud media	USD/ton C	Total
	pax	gr CO2/pax-km	km	S/ /ton	S/
2022	-	52.00	55.2	28.75	-
2023	7 893 178	52.00	55.2	28.75	651 651
2024	7 984 738	52.00	55.2	28.75	659 210
...	...	52.00	55.2	28.75	...
2052	11 028 277	52.00	55.2	28.75	910,481
	281 295 485				23 223 412

Nota: Consideramos que los buses a GN emiten un 20% menos de CO₂ que los buses a Diesel

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se han considerado las emisiones de CO₂ por pasajero por kilómetro y la longitud recorrida por los buses, esto afectado por la cantidad de pasajeros captados y el USD/ton C (Costo en dólares por tonelada de carbono), da como resultante el costo social total en unidades monetarias soles. Las emisiones de CO₂ en buses a GN (52 gr CO₂/pax-km) corresponden a un 20% menos respecto a los buses diésel (65 gr CO₂/pax-km).

Tabla 27

Costo por Pasajeros Heridos y Fallecidos en Buses a GN

Año	Costo por Pasajeros Heridos	Costo por Pasajeros Fallecidos	Total
-----	-----------------------------	--------------------------------	-------

	Personas Heridas pax/año	Costo Unitario de Heridos S/ /pax	Personas Fallecidas pax/año	Costo Unitario de Fallecidos S/ /pax	S/
2022	-	116 550	-	466 200	-
2023	5.70	116 550	1.6	466 200	1 410 255
2024	5.69	116 550	1.6	466 200	1 408 846
...
2052	5.54	116 550	1.55	466 200	1 369 965
					41 700 478

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27 se está considerado la cantidad de personas heridas y fallecidas promedio al año y esto afectado por el costo unitario de heridos y fallecidos (MEF, 2021) da como resultante el costo social total de Pasajeros Heridos y Fallecidos. Las personas heridas y fallecidas al año en buses a GN (5.7 y 1.6 pax al año 2023) son menores respecto a los buses diésel (9.7 y 2.6 pax al año 2023), asimismo, a lo largo de los años estamos considerando una disminución de los pasajeros heridos y fallecidos al año, esto gracias a la disminución de paraderos e intersecciones y un ordenamiento vehicular.

Tabla 28

Beneficios Sociales por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses a GN

Año	Costo Social Total s/Proyecto S/	Costo Social Total c/Proyecto S/	Beneficio Social Total S/
Ahorro de Tiempo de Viaje por Pasajeros			
2022	-	-	-

2023		205 222 618	195 232 653	9 989 964
2024		207 603 200	197 497 352	10 105 848
...
2052		286 735 208	272 777 319	13 957 889
		7 313 682 615	6 957 662 261	356 020 355
Ahorro por Reducción de Emisiones de CO2 en Buses				
2022	-	-	-	-
2023		814 564	651 651	162 913
2024		824 013	659 210	164 803
...
2052		1 138 101	910 481	227 620
		29 029 266	23 223 412	5 805 853
Ahorro por Reducción de Pasajeros Heridos y Fallecidos				
2022	-	-	-	-
2023		2 342 655	1 410 255	932 400
2024		2 340 315	1 408 846	931 469
...
2052		2 275 727	1 369 965	905 762
		69 271 042	41 700 478	27 570 564

Nota: Los costos sociales totales sin proyecto (Transporte urbano en buses diésel)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los costos sin proyecto estos fueron determinados siguiendo el mismo procedimiento detallado en las tablas 25, 26 y 27, considerando los parámetros que corresponden a los buses diésel.

Posteriormente, los beneficios totales por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses a GN, se obtienen de la diferencia de los costos sociales totales sin proyecto y los costos con proyecto (obtenido de las tablas 25, 26 y 27).

Finalmente, en la tabla 29 podemos apreciar los beneficios totales anuales que se obtienen de la sumatoria de los beneficios por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses a GN.

Tabla 29

Beneficios Sociales Totales en Buses a GN

Año	Ahorro de Tiempo de Pasajeros	Reducción de Emisiones de CO2	Ahorro por Reducción de Accidentes	Beneficio Social Total
	S/.	S/.	S/.	
2022	-	-	-	-
2023	9,989,964	162,913	932,400	11,085,277
2024	10,105,848	164,803	931,469	11,202,119
...
2052	13,957,889	227,620	905,762	15,091,271
	356,020,354	5,805,853	27,570,563	389,396,771

Fuente: Elaboración propia

d. Flujo Económico a Precios Sociales:

El flujo económico considera un período de 30 años, en la tabla 30 calculamos, primeramente, el flujo social nominal, que resulta de la diferencia entre el beneficio social total (obtenido de la tabla 29) y el costo total a precios sociales (obtenido de las tablas 23 y 24). Luego de ello, calculamos el flujo social descontado, que resulta de multiplicar el flujo social nominal por el factor de corrección a una tasa social de descuento a corto y largo plazo (8% de 0 a 20 años y 5.5% de 21 a 30 años respectivamente), para finalmente determinar el VAN.

Tabla 30

Flujo Económico a Precios Sociales de la alternativa N° 1: Bus a GN

Año	Beneficio Social Total	Costo Total a Precios Sociales	Flujo social nominal	Factor de corrección	Beneficios Sociales descontados	Costos descontados	Flujo social descontado
	S/	S/	S/		S/	S/	S/
2022	-	3 357 479	-3 357 479	1.00	-	3 357 479	-3 357 479
2023	11 085 277	19 418 153	-8 332 876	0.92	10 264 146	17 979 771	-7 715 626
2024	11 202 119	18 528 586	-7 326 467	0.85	9 604 012	15 885 276	-6 281 265
...
2052	15 091 271	6 618 260	8 473 011	0.20	3 027 973	1 327 914	1 700 059
	389 396 772	200 585 893	188 810 879		154 403 197	95 427 084	58 976 113

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, determinamos la TIR considerando el flujo social nominal, seguidamente, se calcula la Razón beneficio costo social, la cual es el cociente de los beneficios entre los costos descontados, razón que expresa la rentabilidad en términos relativos.

Finalmente, los valores finales del VAN Social, TIR Social y B/C se encuentran en la tabla 31.

Tabla 31

Valores a Precios Sociales de la alternativa N° 1: Bus a GN

VAN Social	58 976 113
TIR Social	28.42%
Razón B/C Social	1.62

Fuente: Elaboración propia

5.5. Alternativa a Bus Eléctrico

Esta alternativa considera una evaluación privada y una evaluación social y de los resultados obtenidos se realizará un análisis de sensibilidad del VAN tomando como variables el CAPEX y el OPEX.

5.5.1. Evaluación Privada

La evaluación privada considera el estudio de inversión e infraestructura y los gastos relacionados a su operación, con dicha información vamos a elaborar un flujo económico, para luego realizar el análisis de sensibilidad. Finalmente, con el propósito de tener la certeza y obtener una solución robusta realizamos el análisis de riesgo haciendo una simulación con la herramienta @Risk.

a. Determinación del CAPEX

El CAPEX es la sumatoria de todos los costos involucrados directa e indirectamente para el diseño, permisos, financiamiento, obras, equipos, instalación, supervisión, pruebas y puesta en operación comercial, cumpliendo los estándares, reglamentos, normas, contratos, entre otros que permitan la aprobación y aceptación del usuario.

Para el caso de la presente Tesis, se ha considerado los costos de conversión de los buses diésel a buses eléctricos a precios del mercado. También, se está considerando los costos relacionados con los estudios e ingeniería y los costos relacionados con la inversión en infraestructura según se muestran en las Tablas 37, 38 y 39, respectivamente.

.Tabla 32

Presupuesto de Infraestructura para los Buses a Eléctricos

Concepto	Total	
	USD	PEN
Inversión infraestructura para bus eléctrico	300 000	1 203 000

Costo Directo Total	300 000	1 203 000
Gastos Generales	30 000	120 300
Utilidad	45 000	180 450
Subtotal	375 000	1 503 750
IGV (18%)	67 500	270 675
Presupuesto Total	442 500	1 774 425

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33

Presupuesto del cambio de motor de Buses Diésel a Eléctricos

Concepto	Presupuesto en USD			Presupuesto en PEN		
	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal
	USD		USD	PEN		PEN
Bus eléctrico	180 000	209	37 620 000	721 800	209	150 856 200
Repuestos (20%)	27 000	0	-	108 270	0	-
Sist. Monitoreo y Control	15 000	0	-	60 150	0	-
Capacitación y Trámites	20 000	0	-	80 200	0	-
Subtotal			37 620 000			150 856 200
IGV (18%)			6 771 600			27 154 116
Presupuesto Total			44 391 600			178 010 316

Nota: El costo estimado para la conversión del motor Diésel a motor eléctrico es de 180 mil dólares incluyendo el juego de baterías.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Presupuesto de la Inversión Total para la alternativa de Buses Eléctricos

Concepto	Presupuesto	%
----------	-------------	---

	USD	PEN	
Estudios e Ingeniería	18 750.00	75 187.50	0.05
Inversión en Infraestructura	375 000.00	1 503 750.00	0.99
Bus Eléctrico	37 620 000.00	150 856 200.00	98.96
Total de Inversión	38 013 750	152 435 138	100.00

Fuente: Elaboración propia

b. Determinación del OPEX:

Para el caso de la presente tesis, hemos considerado el precio de la energía, gastos administrativos (costo del personal, servicios, alquileres) y el costo de mantenimiento.

En la tabla 35 se presenta el OPEX de los buses eléctricos para el período comprendido entre el año 2022 al año 2052.

Tabla 35

Costos de Operación y Mantenimiento de la Alternativa de Buses Eléctricos

Año	Operación			Mantenimiento			Total	Total
	Energía Eléctrica	Personal	Total	Mantto Fijo	Mantto Variable	Costo Regulador Transporte		
	S/		S/	S/		S/	S/	S/
2022	-		-	-		-	-	-
2023	1 105 045	552 522	1 105 045	315 727	378 873	55 252	749 852	1 854 897
2024	1 117 863	558 932	1 117 863	319 390	383 267	55 893	758 550	1 876 414
...
2052	1 543 959	771 979	1 543 959	441 131	529 357	77 198	1 047 686	2 591 645
			39 381 368				26 723 071	66 104 439

Fuente: Elaboración propia

c. Flujo Económico:

El flujo económico considera un período de 30 años, hemos considerado los ingresos, inversiones iniciales y costos operativos, para finalmente determinar el VAN, la TIR y Razón B/C. Las tablas 41, 42, 43 y 44 muestran los cálculos realizados.

Tabla 36

Ingresos de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico

CONCEPTO	UND	0	1	2	...	26	27	28	29	30
Demanda Anual de pasajeros (pax)	millón	-	7.89	7.98	...	10.53	10.65	10.78	10.90	11.03
Precio Pasajes	US\$/pax	-	1.08	1.08	...	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Ingreso anual	MM US\$	-	8.53	8.63	...	11.38	11.52	11.65	11.79	11.92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37

Inversiones de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico

CONCEPTO	UND	0	1	2	...	26	27	28	29	30
Inversión infraestructura	MM US\$	-0.46	-	-	...	-	-	-	-	-
Inversión Conversión	x MM US\$	-40.77	-	-	...	-	-	-	-	-
Impuestos IGV	MM US\$	-7.34	-	-	...	-	-	-	-	-
Inversión total		-48.57	-	-	...	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38*Costos operativos de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico*

Concepto		0	1	2	...	26	27	28	29	30
Energía Eléctrica	MM									
	US\$	-	0.30	0.30	...	0.40	0.40	0.41	0.41	0.42
Personal	MM									
	US\$	-	0.15	0.15	...	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21
Mantto Fijo	MM									
	US\$	-	0.09	0.09	...	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
Mantto Variable	MM									
	US\$	-	0.12	0.12	...	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Costo Operativo Total	MM									
	US\$	-	0.65	0.66	...	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91

Fuente: Elaboración propia**Tabla 39***Flujo de caja económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico*

Concepto		0	1	2	...	26	27	28	29	30
Ingresos	MM									
	US\$									
Ingreso de operación	MM									
	US\$	-	8.53	8.63	...	11.38	11.52	11.65	11.79	11.92
Egreso de operación	MM									
	US\$	-	0.65	0.66	...	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91
Flujo operativo	MM									
	US\$		7.88	7.97	...	10.52	10.64	10.76	10.89	11.01
Egresos	MM									
	US\$									
Activos	MM									
	US\$	-41.24	0	0	...	0	0	0	0	0
Impuestos IGV (Bus Eléctrico)	MM									
	US\$	-7.34	0	0	...	0	0	0	0	0
Capital de trabajo (Ct)	MM									
	US\$	-0.65	0	0	...	0	0	0	0	0.65
Recuperación de Ct	MM									
	US\$									
Flujo egresos	MM									
	US\$	-49.22	-	-	-	-	-	-	-	0.65
Flujo de caja económico	MM									
	US\$	-49.22	7.88	7.97	...	10.52	10.64	10.76	10.89	11.66

Fuente: Elaboración propia

Los valores finales del VAN, TIR y B/C se encuentran en la tabla 40, mostrando que los resultados determinísticos de la evaluación económica aplicado a la Alternativa 2: bus eléctrico, las cuales son: VAN: 20.08 MMUS\$, TIR: 16.97% y B/C: 1.41.

Tabla 40

Valores antes de la simulación de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico

VAN económico - Bus Eléctrico	MMUS\$	20.08
TIR económico - Bus Eléctrico	%	16.97
B/C económico - Bus Eléctrico		1.41
Tasa	%	12.00

Fuente: Elaboración propia

d. Análisis De Sensibilidad

Para realizar el análisis de riesgo de la alternativa N°2, también usaremos la simulación Montecarlo con la herramienta computacional @Risk 8.2. El procedimiento a seguir se describe a continuación:

Primero, a partir del flujo económico de la alternativa N°2 desde el punto de vista del inversionista privado (ver tabla 39) construiremos el modelo de simulación de nuestro proyecto con variables fijas de variables entrada y salida. Las variables de entrada a usar serán el Ingreso

Anual, Inversión Total y Costo de Operativo Total y las de salida serán el VAN económico, TIR económico y B/C económico.

En segundo lugar, ingresando al @Risk los valores mínimo, más probable y máximo recogidas del juicio de expertos (ver tablas 41 y 42), y eligiendo una distribución triangular, generaremos las gráficas de distribución del Ingreso Anual, la Inversión Total y el Costo de Operativo Total (ver figuras 43, 44 y 45).

Tabla 41

Limites mínimo y máximo (%) bajo encuestas DELPHI a expertos

Ingreso anual	Min	Max
Víctor Ortiz	80%	115%
Rafael Reyes	85%	110%
Alfredo Sausa	80%	105%
Gustavo Ordoñez	80%	110%
Elías Tipismana	80%	120%
Promedio	81%	112%
Inversión total: Elec.		
Víctor Ortiz	90%	110%
Rafael Reyes	95%	120%
Alfredo Sausa	90%	125%
Gustavo Ordoñez	98%	120%
Elías Tipismana	90%	130%
Promedio	93%	121%
Costo Operativo Total		
Víctor Ortiz	95%	105%
Rafael Reyes	95%	105%

Alfredo Sausa	95%	107%
Gustavo Ordoñez	90%	105%
Elías Tipismana	90%	110%
Promedio	93%	106%

Fuente: Elaboración propia

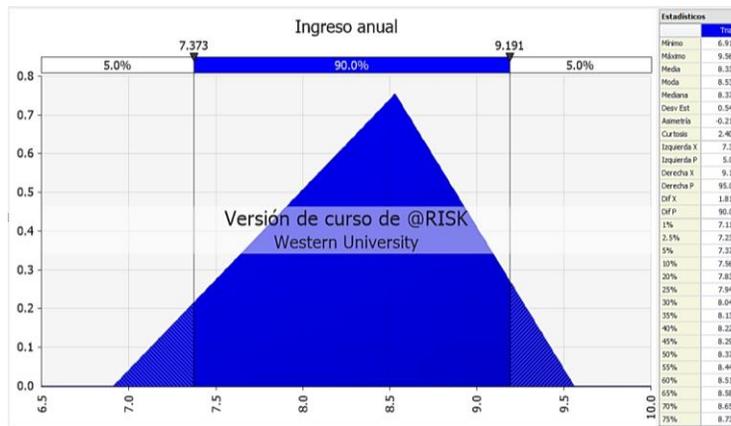
Tabla 42

Resumen de valores de las variables de entrada de la alternativa N° 1: Bus a GN

Ingreso anual			Inversión total: Eléctrico			Costo Operativo Total		
81%	100%	112%	93%	100%	121%	93%	100%	106%
6.91	8.53	9.56	-44.98	-48.57	-58.77	0.61	0.65	0.69

Figura 43

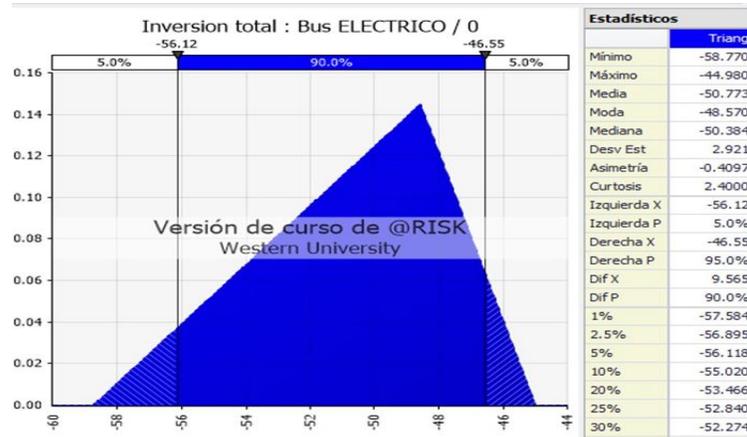
Distribución triangular del Ingreso Anual de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico



Fuente: Elaboración propia

Figura 44

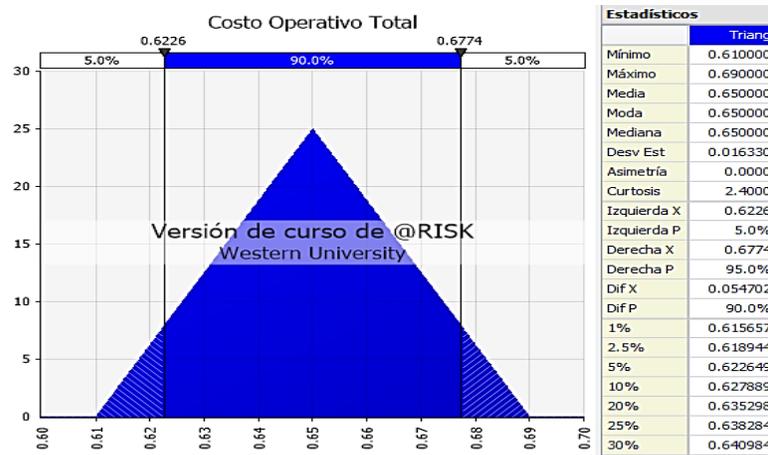
Distribución triangular de la Inversión Total de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico



Fuente: Elaboración propia

Figura 45

Distribución triangular del Costo Operativo Total de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico

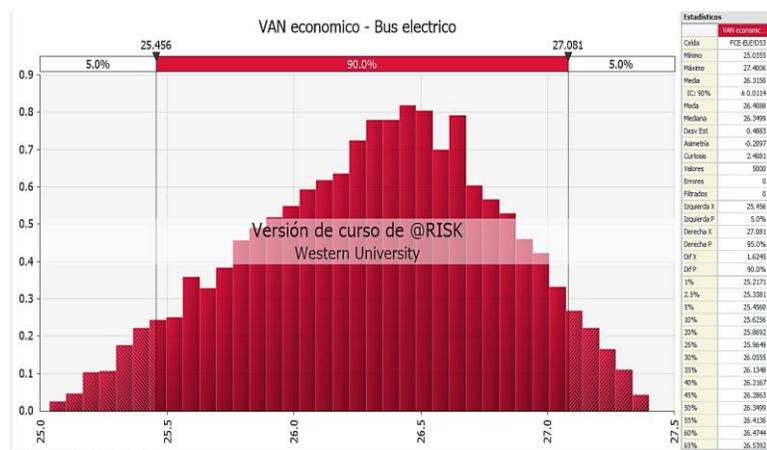


Fuente: Elaboración propia

En tercer lugar, añadiremos las variables de salida (VAN, TIR y B/C) y elegiremos que se realicen 5000 iteraciones, para obtener los histogramas de la VAN, TIR y B/C, en donde se aprecien todos los resultados generados de los valores la VAN, TIR y B/C (ver figura 46, 47 y 48).

Figura 46

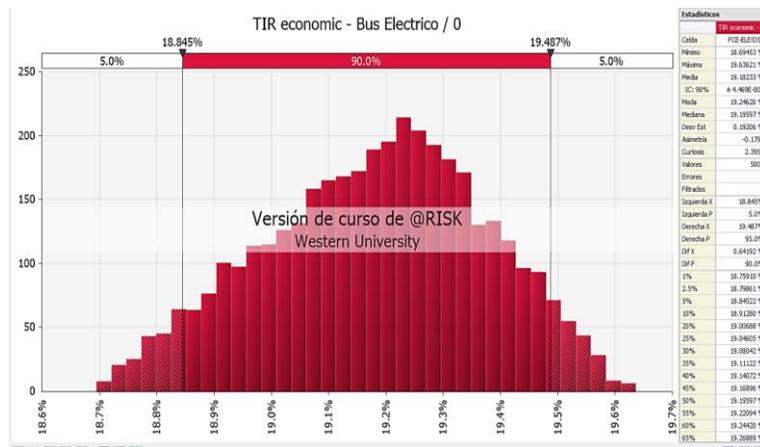
Histograma del VAN económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico



Fuente: Elaboración propia

Figura 47

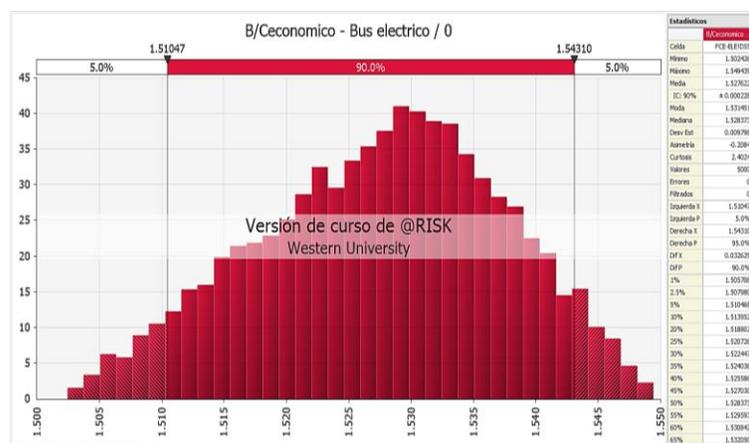
Histograma del TIR económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico



Fuente: Elaboración propia

Figura 48

Histograma de la Razón B/C económico de la alternativa N° 2: Bus Eléctrico



Finalmente, en la tabla 43 podemos apreciar un resumen de los resultados obtenidos del VAN, siendo estos mayores a cero, con lo cual se tiene la certeza de que el proyecto de conversión de buses Diésel a Eléctrico es viable.

Tabla 43*Resultados de la simulación para Buses Eléctricos*

		Mínimo	Máximo	Media
VAN económico B-Eléctrico	MMUS\$	25.46	27.08	26.32
TIR económico B-Eléctrico	%	18.84	19.48	19.18
B/C económico B-Eléctrico		1.51	1.54	1.53
Tasa	%			12

Fuente: Elaboración propia**5.5.2. Evaluación Social**

Con la finalidad de incrementar el bienestar y calidad de vida de los usuarios del transporte urbano de pasajeros y de la sociedad en general, realizaremos la evaluación social considerando los siguientes beneficios sociales:

- Reducción de las emisiones de CO₂,
- Reducción de tiempo de viajes y
- Reducción de accidentes.

Los factores a considerar para la evaluación social se mencionan en las tablas 3, 4 y 5 y han sido extraídos de entidades e instituciones del Estado.

a. Determinación del CAPEX a Precios Sociales:

El CAPEX del proyecto para la conversión de buses eléctricos a precios sociales es de S/ 120 423 759, este resultado se obtiene del CAPEX privado multiplicado por el factor de corrección de inversión: 0.79.

En la tabla 44 se presentan los presupuestos para la inversión en infraestructura y costos de conversión de buses diésel a buses eléctricos a precios sociales.

Tabla 44

Presupuesto de la Inversión Total a Precios Sociales de Buses Eléctricos

Concepto	Precio Privado	Factor de Corrección	Precio Social
	S/		S/
Estudios e Ingeniería	75 187.50	0.79	59 398
Inversión en Infraestructura	1 503 750.00	0.79	1 187 963
Bus Eléctrico	150 856 200.00	0.79	119 176 398
Total de Inversión	152 435 138		120 423 759

Fuente: Elaboración propia

b. Determinación del OPEX a Precios Sociales:

El OPEX del proyecto para la conversión de buses diésel a buses eléctricos a precios sociales es de S/ 49 578 329, este resultado se obtiene del OPEX privado multiplicado por el factor de corrección de operación y mantenimiento: 0.75.

En la tabla 45 se presentan los presupuestos para los costos de operación y mantenimiento de buses eléctricos a precios sociales.

Tabla 45

Costos de Operación y Mantenimiento a Precios Sociales de Buses Eléctricos

Año	Costos a Precios Privados	Factor de Corrección	Costos a Precios Sociales
	S/		S/

2022	-	0.75	-
2023	1 854 897	0.75	1 391 173
2024	1 876 414	0.75	1 407 310
...	...	0.75	...
2052	2 591 645	0.75	1 943 734
TOTAL	66 104 439		49 578 329

Fuente: Elaboración propia

c. Beneficios Sociales:

En las tablas 46 y 47 se observan los costos por el tiempo de viaje de pasajeros y costos de pasajeros heridos y fallecidos en buses eléctricos, respectivamente, estos costos fueron evaluados para a un período de 30 años. Y considerando que, el costo por las emisiones de CO₂ en buses eléctricos es cero, determinaremos los beneficios sociales que se aprecian en las tablas 48 y 49.

Tabla 46

Costo de Tiempo de Viaje por Pasajeros en Buses Eléctricos

Año	Pasajeros Captados pax	Hora Punta		Fuera de Hora Punta		VST_Pax PEN/ hora /pax	Total S/.
		Tiempo de viaje hora	Porcentaje Captado %	Tiempo de viaje hora	Porcentaje Captado %		
2022						6.50	-
2023	7 893 178	3.75	68%	3.55	32%	6.50	189,156,605
2024	7 984 738	3.75	68%	3.55	32%	6.50	191,350,821
...
2052	11 028 277	3.75	68%	3.55	32%	6.50	264,287,918

281 295 485	6,741,125,259
-------------	---------------

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 46 se han considerado tiempos de viaje en hora punta y hora fuera de punta, esto afectado por el porcentaje de pasajeros captados y el VST (Costo del pasajero por permanecer en una unidad de transporte), da como resultante el costo social total en unidades monetarias soles.

Similarmente a lo detallado en la Alternativa Bus a Gas Natural, se consideraron tiempos de viaje en buses a eléctricos (3.75 y 3.55 horas) menores respecto a los buses diésel (4 horas) gracias a que habría una mayor confiabilidad por adquirir un motor nuevo y el beneficio de carriles segregados.

Tabla 47

Costo por Pasajeros Heridos y Fallecidos en Buses Eléctricos

Año	Costo por Pasajeros Heridos		Costo por Pasajeros Fallecidos		Total
	Personas Heridas pax/año	Costo Unitario de Heridos S/ /pax	Personas Fallecidas pax/año	Costo Unitario de Fallecidos S/ /pax	
2022	-	116 550	-	466 200	-
2023	3.70	116 550	1.10	466 200	944,055
2024	3.70	116 550	1.10	466 200	943,112
...
2052	3.59	116 550	1.07	466 200	929,404
					27,927,516

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 47 se está considerado la cantidad de personas heridas y fallecidas promedio al año y esto afectado por el costo unitario de heridos y fallecidos (MEF, 2021) da como resultante el costo social total de Pasajeros Heridos y Fallecidos. Las personas heridas y fallecidas al año en buses eléctricos (3.7 y 1.1 pax al año 2023) son mucho menores respecto a los buses diésel (9.7 y 2.6 pax al año 2023), asimismo, a lo largo de los años estamos considerando una disminución de los pasajeros heridos y fallecidos al año, esto gracias a la disminución de paraderos e intersecciones y un ordenamiento vehicular.

Tabla 48

Beneficios Sociales por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses Eléctricos

Año	Costo Total s/Proyecto	Costo Total c/Proyecto	Total
	S/	S/	S/
Ahorro de Tiempo de Viaje por Pasajeros			
2022	-	-	-
2023	205 222 618	189 156 605	16 066 013
2024	207 603 200	191 350 821	16 252 379
...
2052	286 735 208	264 287 918	22 447 290
	7 313 682 615	6 741 125 259	572 557 356
Ahorro por Reducción de Emisiones de CO2 en Buses			
2022	-	-	-
2023	814 564	-	814 564
2024	824 013	-	824 013
...

2052	1 138 101	-	1 138 101
	29 029,266	-	29 029 266
Ahorro por Reducción de Pasajeros Heridos y Fallecidos			
2022	-	-	-
2023	2 342 655	944 055	1 398 600
2024	2 340 315	943 112	1 397 203
...
2052	2 275 727	929 404	1 346 323
	69 271 042	27 927 516	41 343 526

Nota: Consideramos que los buses Eléctricos no emiten CO2

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, los beneficios totales por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses eléctricos, se obtienen de la diferencia de los costos sociales totales sin proyecto y los costos con proyecto (obtenido de las tablas 46 y 47).

Finalmente, en la tabla 49 podemos apreciar los beneficios totales anuales que se obtienen de la sumatoria de los beneficios por Ahorro de tiempo de viaje, Reducción de emisiones y Reducción de accidentes en Buses a GN.

Tabla 49

Beneficios Sociales Totales en Buses Eléctricos

Año	Ahorro de Tiempo de Pasajeros	Reducción de gases de efecto invernadero	Ahorro por reducción de accidentes	Total
	S/.	S/.	S/.	S/.
2022		-	-	-
2023	16 066 013	814 564	1 398 600	18 279 177

2024	16 252 379	824 013	1 397 203	18 473 594
...
2052	22 447 290	1 138 101	1 346 323	24 931 714
	572 557 356	29 029 266	41 343 526	642 930 147

Fuente: Elaboración propia

d. Flujo Económico a Precios Sociales:

El flujo económico considera un período de 30 años, en la tabla 50 calculamos, primeramente, el flujo social nominal, que resulta de la diferencia entre el beneficio social total (obtenido de la tabla 49) y el costo total a precios sociales (obtenido de las tablas 44 y 45). Luego de ello, calculamos el flujo social descontado, que resulta de multiplicar el flujo social nominal por el factor de corrección a una tasa social de descuento a corto y largo plazo (8% de 0 a 20 años y 5.5% de 21 a 30 años respectivamente), para finalmente determinar el VAN.

Tabla 50

Flujo Económico a Precios Sociales de la alternativa N° 2: Bus Eléctricos

Año	Beneficios incrementales Totales	Costos Totales Precios Sociales	a	Flujo social nominal	TSD	Beneficios incrementales descontados	Costos incrementales descontados	Flujo social descontado
	S/	S/		S/		S/	S/	S/
2022	-	11,959,218		-11,959,218	1.00	-	11,959,218	-11,959,218
2023	18,279,177	60,895,586		-42,616,409	0.92	16,925,164	56,384,802	-39,459,638
2024	18,473,594	49,778,767		-31,305,173	0.85	15,838,130	42,677,270	-26,839,140
...
2052	24,931,714	1,943,734		22,987,980	0.20	5,002,399	389,999	4,612,401
	642,930,147	169,413,418		473,516,729		257,723,283	128,337,546	129,385,737

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, determinamos la TIR considerando el flujo social nominal, seguidamente, se calcula la Razón beneficio costo social, la cual es el cociente de los beneficios entre los costos descontados, razón que expresa la rentabilidad en términos relativos.

Finalmente, los valores finales del VAN Social, TIR Social y B/C se encuentran en la tabla 51.

Tabla 51

Valores a Precios Sociales de la alternativa N° 2: Bus Eléctricos

VAN Social	129 385 737
TIR Social	18.36%
Razón B/C Social	2.01

Fuente: Elaboración propia

5.6. Determinación de la Mejor Alternativa

Se ha evaluado a la empresa ETUCHISA, como caso estudio teniendo los siguientes valores de la línea base:

- Longitud del recorrido : 51 km.
- Flota : 220 unidades
- Pasajeros-día : 26 009
- Combustible : diésel
- Costo promedio de combustible : 24 dólares / MMBTU

Hallamos dos alternativas

	Alternativa 1	Alternativa 2
Descripción	Conversión de bus diésel a GN, esta alternativa considera el cambio del motor diésel a GN (kit de conversión + tanques de almacenamiento), el precio del combustible asumido es de 10 US\$/MMBTU.	Conversión de bus diésel a eléctrico, esta alternativa considera el cambio del motor diésel a eléctrico (kit de conversión + baterías eléctricas), el precio de la energía es de 50 \$/MWh.
Evaluación privada	VAN: 39.7 MMUS\$ TIR: 41% B/C: 3.49	VAN: 20 MMUS\$ TIR: 17% B/C: 1.41
Evaluación social	VAN: 57 MMUS\$ TIR: 28% B/C: 1.60	VAN: 127 MMUS\$ TIR: 18% B/C: 1.99

Comparativo Alternativa 1 y 2: De la evaluación privada, se obtuvo que la alternativa N° 1, Bus a GN, es la alternativa más rentable ya que presenta un mayor VAN privado; sin embargo, al realizar una evaluación social adicional a la privada, la alternativa N° 2, Bus Eléctrico, es la que brinda un mayor beneficio a la sociedad (mayor VAN social), por lo cual esta es la que seleccionaremos y a la cual se le realizará un análisis de sensibilidad.

Análisis de Sensibilidad (Alternativa Seleccionada): Para la alternativa seleccionada de la evaluación social, se realizaremos el análisis de sensibilidad que nos permitirá determinar los nuevos escenarios en el VAN, cuando realizamos variaciones, en un rango de +/- 20%, de los siguientes beneficios: ahorro de tiempo de viaje, reducción de emisiones de CO₂ y reducción de accidentes.

Para el caso del *ahorro de tiempo de viaje de pasajeros*, se ha considerado que la alternativa eléctrica permite disminuir los tiempos de viaje (hora punta y fuera de hora punta) con respecto a nuestra línea base (Buses diésel), en donde, el VAN social se incrementa a medida que exista un mayor ahorro de tiempo y el VAN social disminuye, cuando existe un menor ahorro de tiempo.

Para el caso de la *Reducción de Emisiones de CO₂*, debido a que los buses eléctricos no emiten gases de combustión, el VAN social calculado no sufre variaciones.

Para el caso del *ahorro por Reducción de Accidentes (pasajeros heridos y fallecidos)*, se ha considerado que la alternativa N°2 permitirá disminuir el número de pasajeros heridos y fallecidos con respecto a nuestra línea base (Buses diésel), en donde, el VAN social se incrementa a medida que exista una mayor reducción de accidentes y el VAN social disminuye, cuando existe una menor reducción de estos.

En la tabla 52 y figura 49, se aprecia lo descrito en los párrafos anteriores.

Tabla 52

Variables Sociales para determinar la sensibilidad del VAN Social

VAN social	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Ahorro de Tiempo de Viaje de Pasajeros	81.53	92.84	104.15	115.46	126.76	138.07	149.38	160.69	172.00
Emisiones de CO₂	126.76	126.76	126.76	126.76	126.76	126.76	126.76	126.76	126.76
Reducción de Accidentes	123.30	124.16	125.03	125.90	126.76	127.63	128.50	129.37	130.23

Fuente: Elaboración propia

Figura 49

Sensibilidad del VAN Social para la Alternativa de Buses Eléctricos



Fuente: Elaboración propia

5.7. Transición Energética para la Sustitución del Combustible Diésel

Con la finalidad de determinar los periodos de conversión de buses diésel a buses a GN y eléctricos, se ha generado un gráfico en donde en el eje y se presentan los costos totales acumulados (sumatoria del CAPEX y OPEX a precios sociales) mientras que en el eje x, los años del 2022 al 2052.

La tabla 53 muestra los costos totales acumulados obtenidos de la sumatoria de los CAPEX y OPEX a precios sociales para la alternativa de buses a GN (ver tabla 23 y 24 respectivamente) y los costos totales acumulados obtenidos de la sumatoria de los CAPEX y

OPEX a precios sociales para la alternativa de buses eléctricos (ver tabla 44 y 45 respectivamente).

Tabla 53

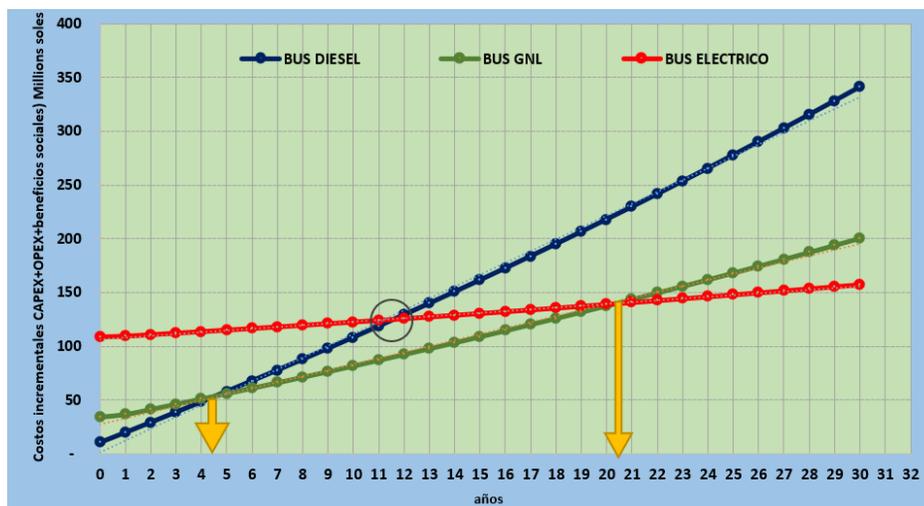
Costos Totales Acumulados a Precios Sociales

Año	Bus Diésel	Bus GN	Bus Eléctrico
2022	10 243 207	34 144 022	108 477 608
2023	19 527 806	36 512 438	109 173 194
2024	28 920 106	41 304 218	110 580 504
...
2052	341 125 888	200 585 893	157 360 351

Fuente: Elaboración propia

Figura 50

Costos Incrementales a Precios Sociales para Buses Diésel, GN y Eléctricos



Fuente: Elaboración propia

Las curvas de la figura 50, se interpretan de la siguiente manera:

Desde el año 0 al año 4.8, los buses diésel serán la alternativa más rentable, a partir del año 4.8 hasta el año 20, los buses diésel deberían ser convertidos a buses a GN, ya que la alternativa de buses a GN vendría a ser la alternativa más rentable, para finalmente, a partir del año 20 hasta el año 30, los buses a GN deberían ser convertidos a buses eléctricos, ya que la alternativa de buses eléctricos vendría a ser la alternativa más rentable.

Este comportamiento se debe a los altos costos de operación, mantenimiento y pérdidas de beneficios sociales que ocasionan que la pendiente de los buses diésel (línea azul) superan con facilidad los costos de inversión iniciales de las alternativas N° 1 y N° 2, donde los costos de operación, mantenimiento y pérdidas de beneficios sociales son menores y producen una pendiente más suave (línea roja y línea verde).

Comparando los escenarios de conversión a buses a GN o buses eléctricos, se puede observar que en 20 años la Alternativa N° 2 se vuelve más rentable, a pesar que sus costos iniciales de inversión son mayores que los costos de la Alternativa N° 1.

La evaluación a un horizonte de 30 años nos indica que la mejor alternativa es el uso de buses eléctricos (Alternativa N° 2), ello se debe a la incorporación de costos incrementales de los Beneficios Sociales, tales como: i) reducción de CO₂ (Beneficio Ambiental), y ii) reducción de tiempo de viaje, heridos y fallecidos (Beneficio Social), que en el caso de los buses eléctricos es 60% más que los buses a GN.

Capítulo VI: Análisis de Actores

El método de análisis utilizando por la herramienta MACTOR permite visualizar del conjunto de actores seleccionados, las convergencias y las divergencias, así como también visualizar las tendencias dominantes y los *pros* y *en contra* de los actores.

El método tiene 07 fases, las cuales mencionamos a continuación:

6.1. Fase 01 y 02: Identificar y construir el cuadro de actores.

Los actores identificados para nuestro caso de transición energética de vehículos de transporte con combustible diésel a GN o baterías eléctricas, son los que mencionamos a continuación:

- Productores y comercializadores de Diésel
- Productores y comercializadores de Gas Natural
- Generadores – Comercializadores de Electricidad
- Ministerio de Energía y Minas
- Ministerio de Ambiente
- Ministerio de Economía y Finanzas
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- Comercializadores de Vehículos Diésel
- Comercializadores de Vehículos a Gas Natural
- Comercializadores de Vehículos Eléctricos

En la tabla 54 detallamos el título corto con el cual identificaremos a los actores.

Tabla 54

Títulos largos y cortos de los actores

N°	Título Largo	Título Corto
1	Productores - Comercializadores de Diésel	P y C D2
2	Productores - Comercializadores de Gas Natural	P y C GN
3	Generadores - Comercializadores de Electricidad	P y C Elec
4	Ministerio de Energía y Minas	MINEM
5	Ministerio de Ambiente	MINAM
6	Ministerio de Economía y Finanzas	MEF
7	Comercializadores de Vehículos Diésel	Com_Veh D2
8	Comercializadores de Vehículos a Gas Natural	Com_Veh GN
9	Comercializadores de Vehículos Eléctricos	Com_Veh El
10	Ministerio de Transporte y Comunicaciones	MTC

Fuente: Elaboración propia

6.2. Fase 03 y 04: Posicionar a los actores tomando en cuenta sus objetivos estratégicos y jerarquizar a cada actor.

En la figura 51, posicionamos a los actores con una valoración de influencia, teniendo en cuenta la importancia del efecto sobre el actor, (0) Sin influencia; (1) Procesos; (2) Proyectos; (3) Misión y (4) Existencia.

Figura 51

Posicionamiento y jerarquización de los actores

	P y C D2	P y C GN	P y C Elec	MINEM	MINAM	MEF	Com_Veh D2	Com_Veh GN	Com_Veh EI	MTC
P y C D2	0	2	0	1	2	3	4	1	0	1
P y C GN	2	0	2	2	2	3	1	4	1	0
P y C Elec	0	2	0	2	2	3	0	0	4	0
MINEM	2	3	3	0	1	3	2	2	2	1
MINAM	3	2	4	1	0	3	3	2	3	1
MEF	3	3	3	2	1	0	2	2	3	1
Com_Veh D2	3	1	0	0	0	0	0	2	2	1
Com_Veh GN	0	2	0	1	0	1	1	0	2	1
Com_Veh EI	0	0	2	1	2	3	1	0	0	1
MTC	2	3	3	1	1	1	1	2	2	0

Fuente: Elaboración propia

6.3. Fase 05: Analizar la estructura de influencia directas e indirectas entre los actores y calcular la relación de fuerza

Los valores indicados en la figura 52 representan las influencias directas e indirectas de los actores entre ellos mismos, cuanto la valoración es mayor, es mayor la influencia sobre el otro actor.

Figura 52

Matriz de influencias directas e indirectas

	P y C D2	P y C GN	P y C Elec	MINEM	MINAM	MEF	Com_Veh D2	Com_Veh GN	Com_Veh EI	MTC	li
P y C D2	12	11	9	8	7	10	12	11	11	6	85
P y C GN	10	14	10	10	9	13	11	12	13	7	95
P y C Elec	9	9	11	8	8	12	8	8	12	4	78
MINEM	11	15	12	11	11	16	11	12	15	7	110
MINAM	13	14	13	11	11	17	13	11	17	7	116
MEF	11	14	11	11	11	17	12	12	15	7	104
Com_Veh D2	5	6	4	5	6	8	7	5	6	4	49
Com_Veh GN	6	6	7	6	7	7	6	6	7	5	57
Com_Veh EI	8	10	9	7	7	9	7	7	10	5	69
MTC	8	13	10	10	11	14	9	10	12	7	97
Di	81	98	85	76	77	106	89	88	108	52	860

Fuente: Elaboración propia

Los valores indicados en la figura 53 representan los balances netos de las influencias, el signo (+) indica que el actor ejerce más influencia y el signo (-) indica que el actor ejerce menos influencia.

Figura 53

Balance Neto de las Influencias

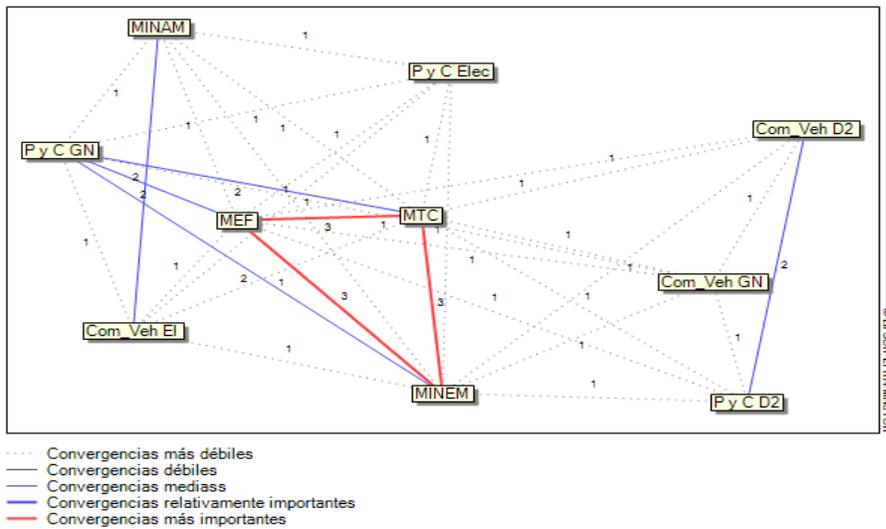
	PyC D2	PyC GN	PyC Elec	MINEM	MINAM	MEF	Com_Veh D2	Com_Veh GN	Com_Veh EI	MTC	Suma
PyC D2		1	0	-3	-6	-1	7	5	3	-2	4
PyC GN	-1		1	-5	-5	-1	5	6	3	-6	-3
PyC Elec	0	-1		-4	-5	1	4	1	3	-6	-7
MINEM	3	5	4		0	5	6	6	8	-3	34
MINAM	6	5	5	0		6	7	4	10	-4	39
MEF	1	1	-1	-5	-6		4	5	6	-7	-2
Com_Veh D2	-7	-5	-4	-6	-7	-4		-1	-1	-5	-40
Com_Veh GN	-5	-6	-1	-6	-4	-5	1		0	-5	-31
Com_Veh EI	-3	-3	-3	-8	-10	-6	1	0		-7	-39
MTC	2	6	6	3	4	7	5	5	7		45

Fuente: Elaboración propia

6.4. Fase 6: Integrar las relaciones de fuerza en el análisis de las convergencias y divergencias entre los actores

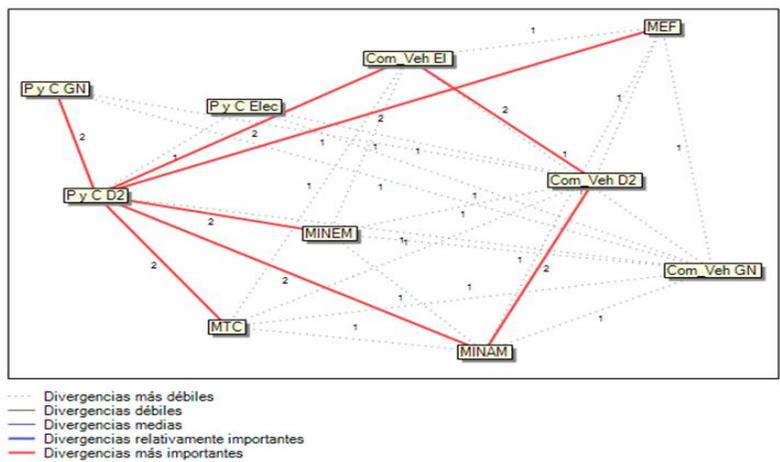
Figura 54

Gráfica de convergencias entre los actores



Fuente: Elaboración propia

Figura 55
Gráfica de divergencias entre los actores



Fuente: Elaboración propia

6.5. Fase 7: Formular las recomendaciones estratégicas producto del análisis llevado a cabo, asimismo las interrogantes claves con una mirada al futuro.

Las convergencias más importantes que se han detectado se dan entre las siguientes entidades gubernamentales: MINEM, MINAM y MTC, debido a que son ellos los responsables de realizar coordinaciones estrechas, políticas públicas integradas para que de esta manera se elabore el plan estratégico para la transición energética de los vehículos con combustible diésel a GN y/o baterías eléctricas. Así, los mencionados entes gubernamentales deben ser los líderes e impulsores para esta transición energética.

Asimismo, se corrobora que los mencionados Ministerios tienen gran influencia sobre los diferentes actores, como los productores - comercializadores de diésel y productores - comercializadores de GN, desde implementar medidas de estabilización de precios, medidas para disminución de los contaminantes y establecer estándares de calidad de los combustibles con la finalidad de mitigar los efectos nocivos de la combustión en la salud y el medio ambiente. Se mencionan estos aspectos, porque en el presente trabajo se ha demostrado el impacto de la introducción de los vehículos a GN y eléctricos en la disminución de las emisiones al medio ambiente, reducción del tiempo de viaje y disminución de accidentes.

Por otro lado, existe una divergencia entre las entidades gubernamentales MINAM, MEF, MINEM y MTC con los productores - comercializadores de diésel, ya que al existir nuevas imposiciones regulatorias camino hacia la transición energética, relacionadas a la calidad y

emisión de contaminantes, se verán afectados en sus volúmenes de producción y con ello una disminución de sus ganancias.

Finalmente, las entidades gubernamentales tienen un reto importante en establecer los lineamientos y políticas, que permitan consensuar entre los diferentes actores productores de combustibles y comercializadores de vehículos, con la finalidad de brindar un beneficio social. Esta interacción debe estar encaminada en una agenda liderada por el gobierno central debido a que las mayores divergencias también se encuentran entre los objetivos de cada ministerio; solamente así, se podrá asegurar la viabilidad política para iniciar los cambios necesarios en la normatividad nacional en general.

Capítulo VII: Discusión de Resultados

De los resultados mostrados en la sección 5.6 puede observarse que desde el punto de vista privado, la conversión más atractiva es de buses diésel a GN con un VAN de 39.7MM USD; ya que por el otro lado, la conversión de buses diésel a eléctricos, se obtiene un VAN menor (20MM USD), esto guarda relación con lo que viene sucediendo actualmente en la ciudad de Lima, con la incorporación de buses a GN en los diferentes corredores viales.

No obstante, desde el punto de vista social, la conversión más rentable es la de buses eléctricos respecto a la de gas natural, por los beneficios sociales (bajas emisiones). Frente a este escenario, se podría evaluar una intervención estatal mediante medidas para promover el cambio hacia buses eléctricos, de acuerdo a los objetivos del Plan Energético al 2050. Esto se ha reforzado mediante el análisis de actores, desarrollado en el capítulo VI, donde se ha identificado un rol preponderante las diferentes entidades del sector público.

Por otro lado, la evaluación desarrollada en el capítulo V “Transición Energética para la sustitución del Combustible Diésel”, se ha realizado en un horizonte de 30 años considerando que los precios de combustibles y la energía eléctrica no sufren cambios significativos, sin embargo, de la información recogida de la proyección de precios de los energéticos (Diésel, GN y Electricidad) de los Estados Unidos de América EIA, periodo 2022 a 2050, se observa las siguientes tendencias en la evolución de los precios:

Combustibles diésel: sube ligeramente con pendiente positiva (+) 0.1376

Combustible Gas natural: baja ligeramente con pendiente negativa (-) 0.0816

Electricidad: baja ligeramente con pendiente negativa (-) 0.1352

Figura 56

Proyecciones de Precios de los Energéticos en EEUU (2022-2050) Agencia Internacional de Energía (EIA) (Anexo17)

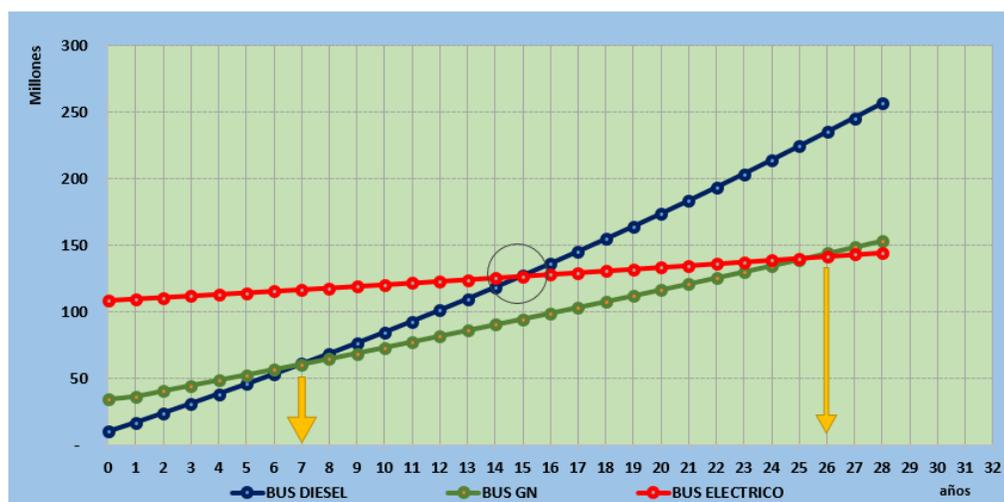


Tomando en cuenta estas variaciones en los precios, realizamos las evaluaciones para un horizonte de 28 años, obteniendo los siguientes resultados:

Desde el año 0 al año 7, los buses diésel serán la alternativa más rentable, a partir del año 7 hasta el año 26, los buses diésel deberían ser convertidos a buses a GN, ya que la alternativa de buses a GN vendría a ser la alternativa más rentable, para finalmente, a partir del año 26 hasta el año 28, los buses a GN deberían ser convertidos a buses eléctricos, ya que la alternativa de buses eléctricos vendría a ser la alternativa más rentable.

Figura 57

Costos Incrementales considerando Fuente de EEUU (EIA, Marzo 2022) para Buses Diésel, GN y Eléctricos



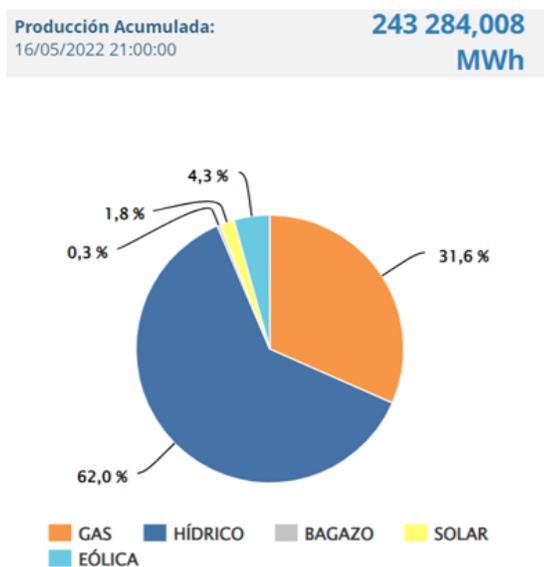
Con relación a la evaluación desarrollada en el capítulo V “Transición Energética para la sustitución del Combustible Diésel”, se ha considerado que los buses eléctricos no emiten CO₂, sin embargo, considerando la fuente de suministro de energía eléctrica que alimentarían a los buses eléctricos, para el caso del Perú, proveniente de un proceso térmico (matriz energética en el Perú a combustible GN es 31.6 % según fuente COES 2022) se está considerando emisiones de los buses eléctricos, producto del uso de esta energía de 27.07 grCO₂ /MJ (17.52 gr CO₂ /pax-km), esta información de emisiones de CO₂ es extraída del reporte CARB Emissions from transportation fuels in California, grCO₂/MJ.

En consecuencia, los ahorros por reducción de emisiones de CO₂ en buses eléctricos, disminuyen al considerar la fuente de generación a base de GN, como se puede apreciar en la tabla 55 el ahorro por reducción de emisiones de CO₂ es de S/. 21,206,338 y considerando cero emisiones era de S/. 29,029,266 y esto a su vez afecta a los indicadores del del VAN Social y TIR Social mostrados en la tabla 56, sin embargo, el proyecto de la alternativa al considerar emisiones en los buses eléctricos (27.07 gr CO₂ /MJ), sigue siendo rentable.

En el anexo 21 se presentan los beneficios económicos por reducción de emisiones de CO₂ al utilizar la electricidad como energía alternativa al diésel.

Figura 58

Matriz energética en el Perú



Fuente: COES, 2022

Tabla 55

Ahorro económico por la reducción de las Emisiones de CO₂ en Buses a Eléctricos

considerando Fuente de EEUU (Anexo 22)

Año		Pasajeros Captados	Emis_CO2_Bus	Longitud media	USD/ton C	Total
		pax	gr CO2/pax-km	km	S/ /ton	S/
2022	0	-	47.48	55.2	28.75	-
2023	1	7 893 211	47.48	55.2	28.75	595 052
2024	2	7 984 773	47.48	55.2	28.75	601 954
...
2052	30	11 028 324	47.48	55.2	28.75	831 401
						21 206 338

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56

Valores a Precios Sociales en Bus Eléctricos considerando Fuente de EEUU (Anexo 23)

VAN Social	126 764 709
TIR Social	18.12%
Razón B/C Social	1.99

Fuente: Elaboración propia

Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones en función a los Objetivos Específicos de la presente Tesis.

Con relación a la rentabilidad del combustible diésel y sus alternativas para el transporte de pasajeros (evaluación privada), se concluye que los buses a GN son más rentables que los buses eléctricos, mientras que los buses eléctricos son más rentables cuando se realiza una evaluación social.

Con relación a la evaluación del impacto ambiental y las alternativas que estamos planteando para cambiar el combustible de los buses diésel, concluimos que existe una mayor reducción de emisiones de CO₂ de los buses eléctricos comparados con los buses a combustible GN.

Con respecto a la sostenibilidad social y sus alternativas para el transporte de pasajeros, concluimos que existe una mayor reducción del tiempo de viaje y una reducción del número de accidentes (número de heridos y fallecidos en el transporte urbano de pasajeros) al optar la alternativa de buses eléctricos.

Finalmente, de las alternativas evaluadas para la conversión de los buses diésel, la alternativa más rentable para un período a 30 años es la de los buses eléctricos, considerando la

evaluación social; sin embargo, si consideramos solamente la evaluación privada los buses a GN son más rentables en el mismo horizonte de tiempo.

8.2. Recomendaciones

- El Estado deberá incentivar a través de políticas y planes de acción el cambio de la matriz de buses de combustible diésel para una reducción de las emisiones de CO₂.
- Incorporar en los estudios de investigación relacionados al cambio de matriz de combustibles en vehículos, las variables sociales, es decir, los beneficios sociales como la reducción de accidentes, reducción en los tiempos de viaje y otros.

Bibliografía

- Alée, J. (2017). *Aspectos a considerar en la tecnología de Buses* [Presentación]. Seminario "Electromovilidad en el Sistema de Transporte Público de Santiago, Santiago. <https://www.dtpm.cl/archivos/UCHILE%20-%20Aspectos%20a%20considerar%20en%20la%20tecnologia%20de%20buses%20electricos.pdf>
- Alfaro, P. (2019, noviembre 12). Problema de cantidad y distribución de los grifos con venta de GNV en Perú. *Revista Energía y Negocios*, 120. <https://revistaenergiaynegocios.com/2019/11/12/problema-de-cantidad-y-distribucion-de-los-grifos-con-venta-de-gnv-en-peru/>
- Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao. (2020). *Tecnologías limpias para el transporte público en el Perú* (p. 68). Autoridad Única de Transporte. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2020218/Tecnolog%C3%ADas%20limpias%20para%20el%20transporte%20p%C3%ABblico%20en%20el%20Per%C3%BA.pdf>
- Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao. (2021, octubre 1). *La ATU publicó las características que estandarizarán a los buses a GNV y diésel para el transporte público* [Nota de Prensa]. Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/atu/noticias/542161-la-atu->

publico-las-caracteristicas-que-estandarizaran-a-los-buses-a-gnv-y-diesel-para-el-transporte-publico

Ballesta, M. (2018, septiembre 12). Volvo FH y FM GNL, la realidad del gas. *SoloCamion.es*.

<https://solocamion.es/volvo-fh-fm-gnl-la-realidad-del-gas/>

Centro de Investigación y Asesoría de Transporte Terrestre (CIDATT). (2020, junio 25).

Estudio comparativo del uso del diésel, gas natural y energía eléctrica en vehículos de transporte de pasajeros y carga pesada en lima [Webinar para funcionarios públicos].

Estudio comparativo del uso del diésel, gas natural y energía eléctrica en vehículos de transporte de pasajeros y carga pesada en lima. <https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/07/Presentacion-Estudio-CIDATT-25Jun2020-vF.pdf>

Consejo Nacional de la Competitividad y la Formalización. (2019). *Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030* (p. 80) [Documento Resumen]. Gobierno del Perú.

https://www.mef.gob.pe/concdecompetitividad/Plan_Nacional_de_Competitividad_y_Productividad_PNCP.pdf

Corredor Amarillo. (2019, junio 26). Primer bus eléctrico para transporte público empezará a

operar en setiembre – CORREDOR AMARILLO [Nota de Prensa]. *Noticias Corredor Amarillo*. <https://corredoramarillo.pe/primer-bus-electrico-para-transporte-publico-empezara-a-operar-en-setiembre/>

- Editora Perú. (2019, septiembre 30). Preferencia por GNV en vehículos aumenta en población joven y taxis. *Andina*. <https://andina.pe/agencia/noticia-preferencia-gnv-vehiculos-aumenta-poblacion-joven-y-taxis-768146.aspx>
- El Comercio. (2019). ¿Cómo sería el transporte en Lima con carriles exclusivos para buses? *El Comercio.pe*. <https://especiales.elcomercio.pe/?q=especiales/lima-con-carriles-exclusivos-para-buses-ecpm/index.html>
- El Peruano. (1999). *D. S. N° 042-99-EM*. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/Decreto%20Supremo%20N%C2%BA%20042-99-EM.pdf
- ENEL. (2021). Enel X Perú presenta principales resultados del proyecto piloto Lima e-Bus [Nota de Prensa]. *Prensa ENEL*. <https://www.enel.pe/content/enel-pe/es/megamenu/conoce-enel/prensa/press/2021/11/enel-x-peru-presenta-principales-resultados-del-proyecto-piloto-.html>
- Fesmire, J. (n/d). *Fuel tank system schematic* [Pinterest]. <https://www.pinterest.com/pin/205828645443503796/>
- GAZ. (2021, marzo 15). El “Grupo GAZ” comenzó la producción de autobuses que operan con gas natural licuado [Nota de Prensa]. *GAZ News*. https://bo.gazglobal.com/media/news/el_grupo_gaz_comenz_la_produccion_de_autobuses_que_operan_con_gas_natural_licuado/

- GMS Interneer. (2022). Liquid Natural Gas Cylinder Tank for bus (LNG cylinder) [Página Oficial]. *LNG Equipments*. <https://www.gmsthailand.com/product/lng-bus/>
- INEI. (2022, enero 17). Lima supera los 10 millones de habitantes al año 2022 [Nota de Prensa]. *Notas de Prensa*. <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/lima-supera-los-10-millones-de-habitantes-al-ano-2022-13297/>
- Lefevre, B., Capristán, R., Chaparro, L. R., Fernandez-Baca, J., y Ascencio Rojas, R. (2021, abril 14). La movilidad eléctrica permitirá a Lima salir preparada de la crisis sanitaria para enfrentar la crisis climática [Blog]. *Banco Interamericano del Desarrollo*. <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/la-movilidad-electrica-permitira-a-lima-salir-preparada-de-la-tesis-sanitaria-para-la-tesis-climatica/>
- Mapa de Lima. (2020, enero 10). Mapa del metro de Lima. *Mapa de Lima*. <https://www.mapadelima.com/mapa-del-metro-de-lima/>
- Mechán Llontop, L. A. (2017). *Evaluación de integridad estructural de un tanque ligero de GNV aplicando simulación por elementos finitos en el marco del estándar API 579* [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9569>
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Informe Final Comisión Multisectorial. Resolución Suprema N° 129-2015-PCM*. Ministerio de Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/wp->

content/uploads/2015/12/Informe-T%C3%A9cnico-Final-CM_-_R-S-129-2015-PCM_Secretar%C3%ADa-T%C3%A9cnica-18-09-2015-vf.pdf

Ministerio de Ambiente. (2016). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2016 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010, 2012 y 2014.*

Ministerio del Ambiente. https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2021/06/INGEI_2016_Junio-2021_Final.pdf

Ministerio de Ambiente. (2021). Calidad de combustible [Blog]. *Infoaire Perú.* <https://infoaireperu.minam.gob.pe/indice-de-nocividad-de-combustible/>

Ministerio de Energía. (2018). *Tipos de cargadores para buses eléctricos* [Portal]. Plataforma de Electro movilidad - Recursos e Información Técnica. [//recursos-e-informacion-tecnica/cargadores-para-buses-electricos](https://recursos-e-informacion-tecnica/cargadores-para-buses-electricos)

Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Balance Nacional de Energía.* Ministerio de Energía y Minas.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1875333/Balance%20Nacional%20de%20la%20Energ%C3%ADa%202019.pdf>

Ministerio de Energía y Minas. (2021, diciembre 13). 74 buses del Corredor Rojo serán convertidos al gas natural con el programa Ahorro GNV [Nota de Prensa]. *Gob.pe.*

<https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/569646-74-buses-del-corredor-rojo-seran-convertidos-al-gas-natural-con-el-programa-ahorro-gnv>

- NGVA Europe. (2018). *LNG Blue Corridors* [Página Oficial]. LNG Blue Corridors.
<https://lngbc.eu/>
- Observatorio Ciudadano Lima Cómo Vamos. (2020). *Encuesta Lima Cómo Vamos 2019*.
Asociación Civil Transparencia; Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ojeda Ortiz, P. (2014). *Conversión de Motores Diesel-a-Gas Natural* [Presentación].
Conferencia MniTek. <https://docplayer.es/5194954-Conversion-de-motores-diesel-a-gas-natural-camiones-buses-y-generadores-creando-demanda-para-el-gas-natural.html>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: Materia particulada (MP2.5 y MP10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono: resumen ejecutivo*. Organización Mundial de la Salud.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/346062>
- Osinermin. (2015). *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país*. Osinermin.
https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidos-Peru.pdf
- Perú Petro. (2019). *Estadística Anual de Hidrocarburos*. Perú Petro.
<https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/f2052159-3e73-4049-bac3-bf2fc0730e45/Estad%C3%ADstica+2019.pdf?MOD=AJPERES&2019>

- Zúñiga, V. (2014). *Propuesta de las características técnicas de un vehículo eléctrico para uso privado en lima metropolitana*. Pontificia Universidad Católica del Perú
- Protransporte. (2019). *Rutas del Metropolitano* [Portal]. Metropolitano.
<http://www.metropolitano.gob.pe//conocenos/rutas/>
- Rawsuns Technology (Shantou). (2022). *Rawsun Traction Motor for Electric Vehicle Electric Truck Electric Bus Electric Boat Conversion Kit RSTM424A 130kw 500Nm 540V - Online Shopping* [Artículo de venta]. China.org.ru Wholesale Products.
<http://china.org.ru/product/62552479549>
- Revista Energía. (2021, mayo 20). Enel X Perú instalará el primer sistema de almacenamiento de energía “detrás del medidor” en Perú [Blog]. *RevistaEnergía.pe*.
<https://revistaenergia.pe/enel-x-peru-instalara-el-primer-sistema-de-almacenamiento-de-energia-detras-del-medidor-en-peru/>
- Rojas, E. (2014, agosto 22). *Proceso de Fabricación y Pruebas de Tanques GNV*.
<https://www.slideserve.com/elsu/proceso-de-fabricacion-y-pruebas-de-tanques-de-gnv>
- Wikipedia. (2022). Cono Norte (Lima). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cono_Norte_\(Lima\)&oldid=142848876](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cono_Norte_(Lima)&oldid=142848876)
- Youngson, A. J. (2013). *Economic Development in the Long Run*. Routledge.

Anexos

Anexo 1. Balanza Comercial de Hidrocarburos y Biocombustibles

Balanza Comercial de Hidrocarburos y Biocombustibles

Productos	Exportaciones (10 ³ Bls)	Importaciones (10 ³ Bls)	Saldo (10 ³ Bls)
Crudo	2 071.7	38 295.3	(36 223.6)
GN	54 715.4		54 715.4
GLP/Propano/Butano		4 052.7	(4 052.7)
Gasolinas/Naftas	15 458.7	6 682.5	8 776.3
Turbo	5 628.0	3 137.2	2 490.8
Diésel	2 620.8	10 261.0	(7 640.2)
Fuel Oil	4 960.4		4 960.4
Biocombustibles		2 342.0	(2 342.0)
Otros productos	96.1	1 187.1	(1 091.0)

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2019)

Anexo 2. Cronograma de instrumentos normativos vinculados a la calidad de combustibles

Normativa	Año	Detalle
D.S. N° 019-98-MTC	1998	Disponen eliminar del mercado la oferta de Gasolina 95 RON con plomo y reducir el límite máximo de contenido de plomo en la Gasolina 84 RON.
D.S. N° 013-2005-EM y sus modificaciones	2005	El reglamento de comercialización de Biocombustibles establece la obligatoriedad de insertar un porcentaje de alcohol carburante dentro de las gasolinas (gasohol) y de un porcentaje de biodiesel, al Diésel N°1 y N°2.
D.S. N° 061-2009-EM	2009	Establecen criterios para determinar zonas geográficas en que se podrá autorizar la comercialización de combustible diésel con un contenido de azufre máximo de 50 ppm.
R.M. N° 139-2012-MEM/DM	2012	Establecen prohibición de comercializar y usar Diésel B5 con un contenido de azufre mayor a 50 ppm en los Dptos. de Lima, Arequipa, Cusco, Puno y Madre de Dios y en la Provincia C. del Callao.
D.S. N° 009-2015-MINAM	2015	Establece la obligatoriedad de comercialización y uso de Diésel con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm en Junín, Tacna y Moquegua.
D.S. N° 038-2016-EM	2017	Establece la obligatoriedad de comercialización y uso de Diésel con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm en Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Huánuco, Huancavelica, Ica, Lambayeque y Pisco.
D.S. N° 025-2017-EM	2018	Establece la obligatoriedad de comercialización y uso de Diésel con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm en La Libertad. Asimismo, establece la obligatoriedad de comercialización y uso de gasolinas y gasoholes de alto octanaje (95/97/98 RON) con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm, a nivel nacional.

Fuente: Indicada en la columna “Instrumento normativo”,

Anexo 3. Tipos de cilindros

Tipo	Descripción
GNV - 1 Cilindro metálico	Cilindro de acero o aluminio integrante.
GNV - 2 Cilindro con recubrimiento Circunferencial	Cilindro Interno metálico con recubrimiento de materiales compuestos de resinas o fibras.
GNV - 3 Cilindro con recubrimiento	Cilindro interno metálico totalmente impregnado con recubrimiento de materiales compuestos de resinas o fibras.
Cilindro totalmente compuesto	Cilindro no metálico con recubrimiento de materiales compuestos.

Fuente: Mechán Llontop (2017)

Anexo 4. Cronograma de instrumentos normativos vinculados a la calidad del GN

Normativa	Año	Detalle
D.S. N° 006-2005-EM con las siguientes modificatorias: Decretos Supremos N° 009-2006-EM, N° 050-2007-EM, N° 038-2010-EM, Resoluciones del Consejo Directivo N° 150-2005-OS/CD, N° 162-2005-OS/CD, N° 096-2007-OS/CD y N° 604-2008-OS/CD.	2005	Reglamento para la instalación y operación de Establecimientos de Venta al Público de GNV. Con las modificaciones se publicaron procedimientos de otorgamiento de Informes Técnicos Favorables para Establecimientos de Venta al Público de GNV, Consumidores Directos de GNV y Estaciones de Servicio, Grifos y Gasocentros de GLP para uso automotor. Asimismo, incorporaron requisitos en diversos Procedimientos Administrativos de Supervisión a cargo de OSINERGMIN.
D.S. N° 043-2005-EM	2005	Asimismo, modificaron del artículo 3° del D.S. N°050-2007-EM.
D.S. N° 063-2005-EM, asimismo, con R.C.D. N° 755-2007-OS/CD	2005	Disponen que agentes de la cadena de comercialización de combustibles derivados de hidrocarburos deben proveer información sobre sus precios de venta, así como su publicación a cargo de OSINERGMIN.
D.S. N° 009-2006-EM	2006	Dictan normas para promover el consumo masivo de GN. Con la R.C.D. publicaron los Procedimientos para el otorgamiento de Informes Técnicos Favorables - ITFs de las Estaciones de Compresión, Licuefacción y de los Centros de Descompresión
R.D. N° 141-2006-EM-DGH	2006	Declaran de interés nacional el uso del gas natural vehicular y modifican el reglamento para la instalación y operación de establecimientos de venta al público de GNV.
D.S. N° 003-2007-EM	2007	Disponen medidas transitorias para proyectos de instalación de equipos y accesorios para la venta de GNV en Estaciones de Servicios.
D.S. N° 057-2008-EM	2008	Dictan disposiciones para la simplificación de procedimientos administrativos para la obtención de autorizaciones de instalación y operación de establecimientos de venta al público de gas natural vehicular.
R.C.D. N° 191-2011-OS/CD	2011	Reglamento de Comercialización de Gas Natural Comprimido (GNC) y Gas Natural Licuefactado (GNL).
R.C.D. N° 245-2013-OS-CD	2013	Se modifica anexos del Reglamento de Comercialización de Gas Natural Comprimido (GNC) y Gas Natural Licuefactado (GNL).
R.C.D. N° 025-2014-OS/CD	2014	<i>Nuevo Reglamento del Registro de Hidrocarburos</i>
R.M. N° 217-2013-MINEM	2013	Se modifican anexos de la Res. N°191-2011-OS/CD
D.S. N° 010-2021-EM	2021	Modifican Anexos del Reglamento del Registro de Hidrocarburos
D.S. N° 016-2021-EM	2021	Aprueban documento denominado <i>Programa de Promoción del Uso de GNV y Paneles Solares en las Instituciones Públicas 2013-2015</i>
D.S. N° 021-2021-EM	2021	Dictan medidas para asegurar la continuidad del abastecimiento de gas natural.

Fuente: Indicada en la columna “Normativa”,

Anexo 5. Comparación entre los VE, HEV y FCV

	VE	HEV	FCV
Propulsión	Motor eléctrico	Motor eléctrico Motor de combustión interna	Motor eléctrico
Subsistema de almacenamiento de energía	Batería Ultra capacitor o súper capacitor	Batería Ultra capacitor o súper capacitor Combustibles fósiles	Batería Ultra capacitor o súper capacitor necesario para mejorar la densidad de potencia
Infraestructura y fuente de energía	Estaciones de carga eléctrica	Estaciones de gasolina Estaciones de carga eléctrica (PHEV)	Hidrógeno Producción de hidrógeno Infraestructura para el transporte de hidrógeno
Características	No emisiones locales Alta eficiencia energética Independiente de combustible fósil Bajo rango de manejo Alto costo inicial Comercialmente disponible	Bajas emisiones locales Alto ahorro de combustible Depende de combustible fósil Alto rango de manejo Costo mayor a vehículos MCI Comercialmente disponible	No emisiones locales Alta eficiencia energética Independiente de combustible fósil Bajo desarrollo Alto costo inicial
Desventaja	Tamaño de la batería Manejo de la batería Instalaciones de carga Costo Tiempo de vida de la batería	Tamaño de la batería Manejo de la batería Control, optimización y manejo de múltiples fuentes de energía	Infraestructura para la producción y distribución de hidrógeno Costo de celda de combustible Ciclo de vida y confiabilidad Costo

Fuente: PUCP (2014)

Anexo 6. Distribución de corredores

Corredor	Recorrido
Corredor Amarillo	Desde el distrito de San Martín hasta Surco (flota a diésel y GN)
Corredor Rojo	Por los distritos de San Miguel - Ate / Lince - La Molina (flota a diésel y GN)
Corredor Azul	Por los distritos del Rimac - Barranco /Rimac - Miraflores /Rimac - San Isidro
Corredor Morado	Por los distritos de San Juan de Lurigancho - Magdalena/San Isidro/Rimac
Corredor Verde	Entre los distritos de San Miguel hasta el Centro Histórico de Lima

Fuente: ATU (2014)

Anexo 7. Encuesta 1

Preguntas para realizar a la empresa de transporte:

1. ¿Cuántos pasajeros transporta normalmente en un viaje? (diario, semanal, mensual, anual)		
Diario	Semanal	Mensual

2. ¿Cuántos pasajeros transporta normalmente en un viaje? (diario, semanal, mensual, anual)
3. ¿Cuál es la tarifa que cobra a los pasajeros?
4. ¿Cuál es la ruta actual que cubre su empresa de transportes?
5. ¿Cuántos viajes realiza (diario, semanal, mensual, anual)?
6. ¿Qué tipo de combustible utiliza en sus vehículos?
7. ¿Cuál es su consumo de combustible (diario, semanal, mensual, anual)?
8. ¿Cuánto es el gasto que realiza en combustible (diario, semanal, mensual, anual)?
9. ¿Qué otros gastos que realiza en el transporte de pasajeros (Peaje, comida, imprevistos) (diario, semanal, mensual, anual)?
10. ¿Cuál es el gasto que realiza en el mantenimiento de los vehículos?
11. ¿Cuál y Cuánto?

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Encuesta 2

ENCUESTA PARA LAS EMPRESAS DE TRANSPORTE

- 1 Cuantos pasajeros transporta normalmente en un viaje? (diario, semanal, mensual, anual)
- | Diario | Semanal | Mensual | Anual |
|--------|---------|---------|-------|
| | | | |
- 2 ¿Cuál es la tarifa que se cobra a los pasajeros?
- _____
- 3 Cuál es la ruta actual que cubre su empresa de transportes
- _____
- 4 ¿Cuantos viajes realiza la empresa de transporte? (diario, semanal, mensual, anual)
- | Diario | Semanal | Mensual | Anual |
|--------|---------|---------|-------|
| | | | |
- 5 ¿Qué tipo de combustible utiliza en sus vehículos de transporte?
- | DIESEL | GASOLINA | GNV | ELECTRICIDAD | GNL |
|--------|----------|-----|--------------|-----|
| | | | | |
- 6 ¿Cuanto es el costo del combustible que utiliza?. Indicar el precio por galón
- _____
- 7 Cuál es su consumo de combustible en galones (diario, semanal, mensual, anual)
- | Diario | Semanal | Mensual | Anual |
|--------|---------|---------|-------|
| | | | |
- 8 Cuanto es el gasto que realiza su empresa en combustible (diario, semanal, mensual, anual)
- | Diario | Semanal | Mensual | Anual |
|--------|---------|---------|-------|
| | | | |
- 9 Que otros gastos que realiza en el transporte de pasajeros (Peaje, comida, imprevistos)
- | Diario | Semanal | Mensual | Anual |
|--------|---------|---------|-------|
| | | | |
- 10 ¿Con que frecuencia realiza el mantenimiento de los vehículos de su empresa.?
- _____
- 11 ¿Cuánto es el gasto que realiza en el mantenimiento de los vehículos de su empresa?
- _____
- 12 ¿Cual es el tiempo de vida útil de sus vehículos de transporte?
- _____

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9. Tabulación de resultados encuesta 1

EMPRESA	Unidades	Volumen combustible			Gasto en combustible			Cobro de pasajes			Gasto en mantenimiento		
		Mensual	Annual	Total anual	Mensual	Annual	Total anual	Mensual	Annual	Total anual	Mensual	Annual	Total anual
ETUCHISA	220	724,14	8689,68	1911729,6	10500	126000	27720000	7200	86400	19008000	400	4800	1056000
TRANSLLIMA	80	29	348	27840	4800	57600	4608000	72000	864000	69120000	500	6000	480000
TRANSNOR	50	206,25	2475	123750	3300	39600	1980000	21600	259200	12960000	500	6000	300000
INTI	30	465	5580	167400	7200	86400	2592000	57600	691200	20736000	650	7800	234000
SOL DE ORO	130	437	5244	681720	6900	82800		57600	691200	89856000	500	6000	780000
LA NUEVA ESTRELLA	50	450	5400	270000	6000	72000	3600000	28800	345600	17280000	300	3600	180000
VIPUSA	60	690	8280	496800	10800	129600	7776000	27000	324000	19440000	560	6720	403200
SAN NICOLAS	18	690	8280	149040	10801	129612	2333016	27000	324000	5832000	561	6732	121176

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. Fotografías.

Realización de encuestas



Bus Empresa de transporte Translima S.A.



Bus empresa de transporte Sol del Oro S.A.



Bus Empresa de Transporte Urbano Chino S.A.



Buses empresa de transporte virgen de la puerta S.A.



Anexo 14. Costos incrementales de la Alternativa de Buses a GN

Año	Beneficios Incrementales		Costos Incrementales		Flujo social		Factor de corrección con TSD = 8% (0-20) y TSD: 5.5% (21 a 30)	Beneficios incrementales descontados		Costos incrementales descontados		Flujo social descontado	
	S/	S/	S/	S/	S/	S/		S/	S/	S/	S/	S/	S/
2022	0	-	3,357,479	-3,357,479	1,000000	-	1,000000	-	3,357,479	-3,357,479	-	-3,357,479	
2023	1	11,085,277	19,418,153	-8,332,876	0,925926	10,264,146	0,925926	10,264,146	17,979,771	-7,715,626	17,979,771	-7,715,626	
2024	2	11,202,119	18,528,586	-7,326,467	0,857339	9,604,012	0,857339	9,604,012	15,885,276	-6,281,265	15,885,276	-6,281,265	
2025	3	11,320,328	4,847,364	6,472,964	0,793832	8,986,441	0,793832	8,986,441	3,847,994	5,138,447	3,847,994	5,138,447	
2026	4	11,439,920	4,903,594	6,536,326	0,735030	8,408,683	0,735030	8,408,683	3,604,288	4,804,395	3,604,288	4,804,395	
2027	5	11,560,911	4,960,475	6,600,436	0,680583	7,868,162	0,680583	7,868,162	3,376,016	4,492,146	3,376,016	4,492,146	
2028	6	11,683,317	5,018,017	6,665,300	0,630170	7,362,472	0,630170	7,362,472	3,162,202	4,200,270	3,162,202	4,200,270	
2029	7	11,807,155	5,076,226	6,730,929	0,583490	6,889,361	0,583490	6,889,361	2,961,929	3,927,482	2,961,929	3,927,482	
2030	8	11,932,441	5,135,110	6,797,331	0,540269	6,446,726	0,540269	6,446,726	2,774,340	3,672,866	2,774,340	3,672,866	
2031	9	12,059,192	5,194,677	6,864,514	0,500249	6,032,598	0,500249	6,032,598	2,598,632	3,433,966	2,598,632	3,433,966	
2032	10	12,187,425	5,254,936	6,932,489	0,463193	5,645,136	0,463193	5,645,136	2,434,052	3,211,084	2,434,052	3,211,084	
2033	11	12,317,157	5,315,893	7,001,264	0,428883	5,282,617	0,428883	5,282,617	2,279,895	3,002,722	2,279,895	3,002,722	
2034	12	12,448,405	5,377,557	7,070,848	0,397114	4,943,433	0,397114	4,943,433	2,135,502	2,807,591	2,135,502	2,807,591	
2035	13	12,581,188	5,439,957	7,141,251	0,367698	4,626,077	0,367698	4,626,077	2,000,254	2,625,823	2,000,254	2,625,823	
2036	14	12,715,522	5,503,040	7,212,482	0,340461	4,329,140	0,340461	4,329,140	1,873,571	2,455,569	1,873,571	2,455,569	
2037	15	12,851,427	5,566,876	7,284,551	0,315242	4,051,306	0,315242	4,051,306	1,754,911	2,296,394	1,754,911	2,296,394	
2038	16	12,988,919	5,631,451	7,357,468	0,291890	3,791,342	0,291890	3,791,342	1,643,767	2,147,575	1,643,767	2,147,575	
2039	17	13,128,018	5,696,776	7,431,242	0,270269	3,548,096	0,270269	3,548,096	1,539,662	2,008,434	1,539,662	2,008,434	
2040	18	13,268,742	5,762,859	7,505,883	0,250249	3,320,490	0,250249	3,320,490	1,442,150	1,878,340	1,442,150	1,878,340	
2041	19	13,411,110	5,829,708	7,581,402	0,231712	3,107,516	0,231712	3,107,516	1,350,814	1,756,702	1,350,814	1,756,702	
2042	20	13,555,141	5,897,332	7,657,809	0,214548	2,908,231	0,214548	2,908,231	1,265,262	1,642,969	1,265,262	1,642,969	
2043	21	13,700,855	5,965,742	7,735,173	0,324862	4,480,881	0,324862	4,480,881	1,938,040	2,512,841	1,938,040	2,512,841	
2044	22	13,848,270	6,034,944	7,813,326	0,307926	4,264,238	0,307926	4,264,238	1,858,314	2,405,923	1,858,314	2,405,923	
2045	23	13,997,406	6,104,950	7,892,457	0,291873	4,085,460	0,291873	4,085,460	1,781,868	2,303,592	1,781,868	2,303,592	
2046	24	14,148,284	6,175,767	7,972,517	0,276657	3,914,216	0,276657	3,914,216	1,708,566	2,205,649	1,708,566	2,205,649	
2047	25	14,300,924	6,247,406	8,053,518	0,262234	3,750,184	0,262234	3,750,184	1,638,280	2,111,904	1,638,280	2,111,904	
2048	26	14,455,346	6,319,876	8,136,470	0,248563	3,593,061	0,248563	3,593,061	1,570,886	2,022,175	1,570,886	2,022,175	
2049	27	14,611,571	6,393,186	8,218,384	0,235605	3,442,552	0,235605	3,442,552	1,506,263	1,936,288	1,506,263	1,936,288	
2050	28	14,769,619	6,467,347	8,302,272	0,223322	3,298,378	0,223322	3,298,378	1,444,300	1,854,078	1,444,300	1,854,078	
2051	29	14,929,512	6,542,368	8,387,143	0,211679	3,160,271	0,211679	3,160,271	1,384,885	1,775,386	1,384,885	1,775,386	
2052	30	15,091,271	6,618,260	8,473,011	0,200644	3,027,973	0,200644	3,027,973	1,327,914	1,700,059	1,327,914	1,700,059	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15. Costos incrementales de la Alternativa de Buses eléctricos

Año	Flujo Social sin Beneficio x Emisiones CO2													
	Beneficios incrementales		Costos incrementales		Flujo social		Factor de corrección con TSD = 8%		Beneficios incrementales descontados		Costos incrementales descontados		Flujo social descontado	
	S/	S/	S/	S/	S/	S/			S/	S/	S/	S/	S/	S/
2022	0	-	11,959,218	-11,959,218	1.000000	-	1.000000	-	-	11,959,218	-11,959,218			
2023	1	18,279,177	60,895,586	-42,616,409	0.925926	16,925,164	0.925926	16,925,164	56,384,802	-39,459,638				
2024	2	18,473,594	49,778,767	-31,305,173	0.857339	15,838,130	0.857339	15,838,130	42,677,270	-26,839,140				
2025	3	18,670,285	1,423,635	17,246,650	0.793532	14,821,074	0.793532	14,821,074	1,130,127	13,690,947				
2026	4	18,869,274	1,440,149	17,429,125	0.735030	13,869,480	0.735030	13,869,480	1,058,553	12,810,927				
2027	5	19,070,590	1,456,855	17,613,735	0.680583	12,979,123	0.680583	12,979,123	991,511	11,987,612				
2028	6	19,274,258	1,473,754	17,800,503	0.630170	12,146,052	0.630170	12,146,052	928,715	11,217,337				
2029	7	19,480,306	1,490,850	17,989,456	0.583490	11,366,571	0.583490	11,366,571	869,897	10,496,675				
2030	8	19,688,762	1,508,144	18,180,618	0.540269	10,637,225	0.540269	10,637,225	814,803	9,822,422				
2031	9	19,899,653	1,525,638	18,374,015	0.500249	9,954,781	0.500249	9,954,781	763,199	9,191,582				
2032	10	20,113,009	1,543,336	18,569,673	0.463193	9,316,215	0.463193	9,316,215	714,863	8,601,352				
2033	11	20,328,857	1,561,238	18,767,618	0.428883	8,718,698	0.428883	8,718,698	669,588	8,049,110				
2034	12	20,547,226	1,579,349	18,967,877	0.397114	8,159,586	0.397114	8,159,586	627,181	7,532,405				
2035	13	20,768,145	1,597,669	19,170,476	0.367698	7,636,404	0.367698	7,636,404	587,460	7,048,944				
2036	14	20,991,645	1,616,202	19,375,443	0.340461	7,146,537	0.340461	7,146,537	550,254	6,596,583				
2037	15	21,217,754	1,634,950	19,582,804	0.315242	6,688,721	0.315242	6,688,721	515,404	6,173,317				
2038	16	21,446,504	1,653,915	19,792,589	0.291890	6,260,030	0.291890	6,260,030	482,762	5,777,268				
2039	17	21,677,925	1,673,101	20,004,824	0.270269	5,858,870	0.270269	5,858,870	452,187	5,406,683				
2040	18	21,912,047	1,692,509	20,219,539	0.250249	5,483,469	0.250249	5,483,469	423,549	5,059,920				
2041	19	22,148,903	1,712,142	20,436,761	0.231172	5,132,168	0.231172	5,132,168	396,724	4,735,444				
2042	20	22,388,524	1,732,003	20,656,521	0.342729	7,673,195	0.342729	7,673,195	593,608	7,079,588				
2043	21	22,630,941	1,752,094	20,878,847	0.324862	7,351,923	0.324862	7,351,923	569,188	6,782,735				
2044	22	22,876,188	1,772,418	21,103,769	0.307926	7,044,165	0.307926	7,044,165	545,773	6,498,392				
2045	23	23,124,296	1,792,978	21,331,318	0.291873	6,749,350	0.291873	6,749,350	523,321	6,226,029				
2046	24	23,375,301	1,813,777	21,561,524	0.276657	6,466,930	0.276657	6,466,930	501,793	5,965,137				
2047	25	23,629,234	1,834,817	21,794,417	0.262234	6,196,381	0.262234	6,196,381	481,151	5,715,231				
2048	26	23,886,129	1,856,101	22,030,029	0.248563	5,937,202	0.248563	5,937,202	461,357	5,475,845				
2049	27	24,146,022	1,877,631	22,268,391	0.235605	5,688,912	0.235605	5,688,912	442,378	5,246,533				
2050	28	24,408,947	1,899,412	22,509,535	0.223322	5,451,050	0.223322	5,451,050	424,180	5,026,870				
2051	29	24,674,939	1,921,445	22,753,494	0.211679	5,223,177	0.211679	5,223,177	406,730	4,816,447				
2052	30	24,931,714	1,943,734	22,987,980	0.200644	5,002,999	0.200644	5,002,999	389,999	4,612,401				

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 16. Costos incrementales Acumulados de las Alternativas versus la línea base

AÑO	BUS DIESEL	BUS GN	BUS ELECTRICO
2022	10,243,207	34,144,022	108,477,608
2023	19,527,806	36,512,438	109,173,194
2024	28,920,106	41,304,218	110,580,504
2025	38,421,357	46,151,582	112,004,139
2026	48,032,822	51,055,176	113,444,288
2027	57,755,781	56,015,652	114,901,143
2028	67,591,526	61,033,669	116,374,897
2029	77,541,365	66,109,895	117,865,747
2030	87,606,623	71,245,005	119,373,891
2031	97,788,637	76,439,682	120,899,529
2032	108,088,763	81,694,618	122,442,865
2033	118,508,371	87,010,511	124,004,103
2034	129,048,845	92,388,068	125,583,452
2035	139,711,590	97,828,005	127,181,121
2036	150,498,022	103,331,045	128,797,323
2037	161,409,577	108,897,921	130,432,273
2038	172,447,706	114,529,372	132,086,189
2039	183,613,877	120,226,148	133,759,290
2040	194,909,575	125,989,007	135,451,799
2041	206,336,304	131,818,715	137,163,941
2042	217,895,583	137,716,047	138,895,943
2043	229,588,950	143,681,789	140,648,037
2044	241,417,959	149,716,733	142,420,456
2045	253,384,185	155,821,683	144,213,434
2046	265,489,220	161,997,450	146,027,211
2047	277,734,672	168,244,855	147,862,028
2048	290,122,172	174,564,731	149,718,128
2049	302,653,367	180,957,917	151,595,760
2050	315,329,924	187,425,265	153,495,172
2051	328,153,529	193,967,633	155,416,617
2052	341,125,888	200,585,893	157,360,351

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 17. Proyección de precios de los energéticos: diésel, gas natural y electricidad en los Estados Unidos de Norteamérica (Periodo: 2022 a 2051)

Report Annual Energy Outlook 2022
 Scenario ref2022 Reference
 Datekey d011222a
 Release Date March 2022

3. Energy Prices by Sector and Source																														Average
(2022 dollars per million Btu, unless otherwise noted)																														Annual
																														Change
Sector and Source	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2050-2050
Transportation																														
Diesel Fuel																														
(distillate fuel oil) / bbl	2.281	22.00	22.78	22.76	22.73	22.79	22.97	23.30	23.07	23.68	23.78	23.91	23.95	24.05	24.23	24.43	24.56	24.65	24.86	24.97	24.98	25.24	25.53	25.69	25.81	25.87	25.92	25.80	25.74	0.3%
Natural Gas 7/	14.63	13.91	13.37	12.97	12.67	12.45	12.32	12.19	12.03	12.69	12.51	12.50	12.35	12.18	12.06	11.96	11.87	11.78	11.75	11.70	11.62	11.59	11.53	11.49	11.46	11.43	11.38	11.35	11.30	0.9%
Electricity	39.64	38.36	37.18	37.21	37.52	37.69	37.71	37.74	37.58	37.67	37.76	37.87	37.93	37.51	37.23	37.01	36.79	36.59	36.43	36.23	36.05	35.79	35.55	35.39	35.22	35.00	34.83	34.66	34.44	0.4%



Las tendencias son:

Diesel: sube ligeramente, con pendiente : + 0.1376

Gas natural: baja ligeramente, con pendiente : - 0.0816

Electricidad: baja ligeramente, con pendiente : - 0.1352

Fuente: Reporte EIA (2022)

Anexo 18. Emisión de CO2 por tipo de vehículo en el sector transporte

Greenpeace

Energía 3.0

Un sistema energético basado en inteligencia, eficiencia y renovables 100%

Capítulo 3 Escenarios

3.6.3.4 Escenarios de transporte en autobús

Recogemos aquí los escenarios de autobús (transporte urbano de viajeros) en los contextos BAU y E3.0.

En el contexto BAU suponemos una hibridación creciente a partir del año 2014. La reducción del consumo de combustible alcanzable con la hibridación, consideramos que es menor en los autobuses que en los coches, pues actualmente ya están diseñados con más énfasis en la eficiencia.

En la tecnología E3.0 los autobuses son totalmente eléctricos³¹³, con consumos iniciales algo superiores que el autocar debido a las condiciones de conducción urbana³¹⁴, pero la reducción del consumo específico a lo largo del escenario es continua por no perseguir en estos vehículos un incremento en las prestaciones (innecesario en los ambientes urbanos).

Los CF en el contexto E3.0 son considerablemente superiores a los BAU, lo cual se

justifica por la existencia de un STI que involucra distintos tamaños de vehículo según la demanda de movilidad real.

El CF del contexto BAU lo suponemos menor en el autobús que en los autocares, por la mayor dificultad que habrá siempre de acoplar demanda con oferta, al emplear tamaños grandes estándar de autobús (sin STI).

Para el caso del autobús sí que hemos supuesto una gran hibridación del parque de vehículos en el contexto BAU, mientras que para los autocares no consideramos esta posibilidad en el desarrollo del escenario. Los motivos son los siguientes:

- Gran dinamismo de las empresas de transporte municipal, que en la actualidad ya están introduciendo muchas variantes encaminadas a sustituir el uso de los combustibles fósiles (biocombustibles, hidrógeno, GN, etc.).
- Requerimientos de reducción de la contaminación en ambientes urbanos, donde las

Figura 127. Autobús eléctrico. Modelo Astonbus e-city 10, de 38 asientos y 61 plazas, velocidad punta de 80 km/h, potencia nominal del motor de 80 kW, autonomía de 500 km con baterías de 230 kWh.



emisiones, más allá de su efecto global sobre el cambio climático, producen importantes impactos sobre la salud. La electrificación presenta la ventaja de eliminar totalmente la gran mayoría de estos impactos (contaminantes gaseosos, ruido), por lo que parece que tiene razones de peso para imponerse incluso en el contexto BAU.

vehículo, factor de capacidad y consumo energético por unidad de movilidad, tanto para el contexto BAU como para la tecnología E3.0. Como podemos apreciar una vez más, el potencial de ahorro asociado a la tecnología E3.0 es muy elevado, tanto por la electrificación total de los vehículos como por el incremento en el CF con el que se utilizan los vehículos. Adicionalmente, la capacidad de

De acuerdo a la información proporcionada por Greenpeace (España, 2009), las emisiones de CO₂ de un autobús (ómnibus) es: 65 gr CO₂/ pasajero-km.

La comparación por tipo de vehículo de transporte se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 5 Comparación de las emisiones directas (debidas sólo a la tracción) de CO₂ de diferentes medios de transporte

	Gramos de dióxido de carbono por pasajero y kilómetro recorrido (gCO ₂ /pkm)
Avión – corto recorrido (< 450 km) ³⁷	405
Avión – medio recorrido (< 1.600 km)	322
Avión – largo recorrido (> 1.600 km)	297
En coche solo (recorrido urbano)	320
En coche compartido (recorrido urbano)	320/número de pasajeros
En coche solo (recorrido mixto)	180
En coche compartido (recorrido mixto)	180/número de pasajeros
Autobús	65
Metro/ferrocarril urbano	26
Cercanías/tren	60
Motocicleta	93,4
A pie o en bicicleta	0

Fuente: elaboración propia

Fuente: Greenpeace (2009)

Anexo 19. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO2 en los buses a diésel

Año		Ahorro de Emisiones CO2 de Buses Diesel				
		Pasajeros Captados de Buses Diesel	Emisiones CO2	Longitud media Servicio	Precio Promedio Carbono	Total
		pax	gr CO2/pax-km	km	PEN/ton	PEN
2022	0		-	55.2	28.75	-
2023	1	7,893,211	-	55.2	28.75	-
2024	2	7,984,773	-	55.2	28.75	-
2025	3	8,077,396	-	55.2	28.75	-
2026	4	8,171,094	-	55.2	28.75	-
2027	5	8,265,878	-	55.2	28.75	-
2028	6	8,361,763	-	55.2	28.75	-
2029	7	8,458,759	-	55.2	28.75	-
2030	8	8,556,881	-	55.2	28.75	-
2031	9	8,656,140	-	55.2	28.75	-
2032	10	8,756,552	-	55.2	28.75	-
2033	11	8,858,128	-	55.2	28.75	-
2034	12	8,960,882	-	55.2	28.75	-
2035	13	9,064,828	-	55.2	28.75	-
2036	14	9,169,980	-	55.2	28.75	-
2037	15	9,276,352	-	55.2	28.75	-
2038	16	9,383,958	-	55.2	28.75	-
2039	17	9,492,812	-	55.2	28.75	-
2040	18	9,602,928	-	55.2	28.75	-
2041	19	9,714,322	-	55.2	28.75	-
2042	20	9,827,008	-	55.2	28.75	-
2043	21	9,941,002	-	55.2	28.75	-
2044	22	10,056,317	-	55.2	28.75	-
2045	23	10,172,970	-	55.2	28.75	-
2046	24	10,290,977	-	55.2	28.75	-
2047	25	10,410,352	-	55.2	28.75	-
2048	26	10,531,112	-	55.2	28.75	-
2049	27	10,653,273	-	55.2	28.75	-
2050	28	10,776,851	-	55.2	28.75	-
2051	29	10,901,863	-	55.2	28.75	-
2052	30	11,028,324	-	55.2	28.75	-

Resultado:

Considerando que el combustible Diesel es la condición base o de referencia (línea base del estudio) el resultado es: 0.00 Soles

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 20. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO₂ en los buses a GN

Año	Ahorro de Emisiones CO ₂ de Buses GN					
	Pasajeros Captados de Buses GNL	Emisiones CO ₂	Longitud media Servicio	Precio Promedio Carbono	Total	
	pax	gr CO ₂ /pax-km	km	PEN/ton	PEN	
2022	0		13.00	55.2	28.75	-
2023	1	7,893,211	13.00	55.2	28.75	162,913
2024	2	7,984,773	13.00	55.2	28.75	164,803
2025	3	8,077,396	13.00	55.2	28.75	166,715
2026	4	8,171,094	13.00	55.2	28.75	168,649
2027	5	8,265,878	13.00	55.2	28.75	170,605
2028	6	8,361,763	13.00	55.2	28.75	172,584
2029	7	8,458,759	13.00	55.2	28.75	174,586
2030	8	8,556,881	13.00	55.2	28.75	176,611
2031	9	8,656,140	13.00	55.2	28.75	178,660
2032	10	8,756,552	13.00	55.2	28.75	180,733
2033	11	8,858,128	13.00	55.2	28.75	182,829
2034	12	8,960,882	13.00	55.2	28.75	184,950
2035	13	9,064,828	13.00	55.2	28.75	187,095
2036	14	9,169,980	13.00	55.2	28.75	189,266
2037	15	9,276,352	13.00	55.2	28.75	191,461
2038	16	9,383,958	13.00	55.2	28.75	193,682
2039	17	9,492,812	13.00	55.2	28.75	195,929
2040	18	9,602,928	13.00	55.2	28.75	198,202
2041	19	9,714,322	13.00	55.2	28.75	200,501
2042	20	9,827,008	13.00	55.2	28.75	202,826
2043	21	9,941,002	13.00	55.2	28.75	205,179
2044	22	10,056,317	13.00	55.2	28.75	207,559
2045	23	10,172,970	13.00	55.2	28.75	209,967
2046	24	10,290,977	13.00	55.2	28.75	212,403
2047	25	10,410,352	13.00	55.2	28.75	214,866
2048	26	10,531,112	13.00	55.2	28.75	217,359
2049	27	10,653,273	13.00	55.2	28.75	219,880
2050	28	10,776,851	13.00	55.2	28.75	222,431
2051	29	10,901,863	13.00	55.2	28.75	225,011
2052	30	11,028,324	13.00	55.2	28.75	227,621
						5,805,878

Nota: Se considera que el bus a Gas natural, reduce un 20% del CO₂ que emite un bus a Diesel

Resultado:

Considerando el uso de Gas Natural en reemplazo del combustible Diesel, el ahorro económico estimado es: 5,805,878 Soles.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 21. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO₂ en los buses eléctricos

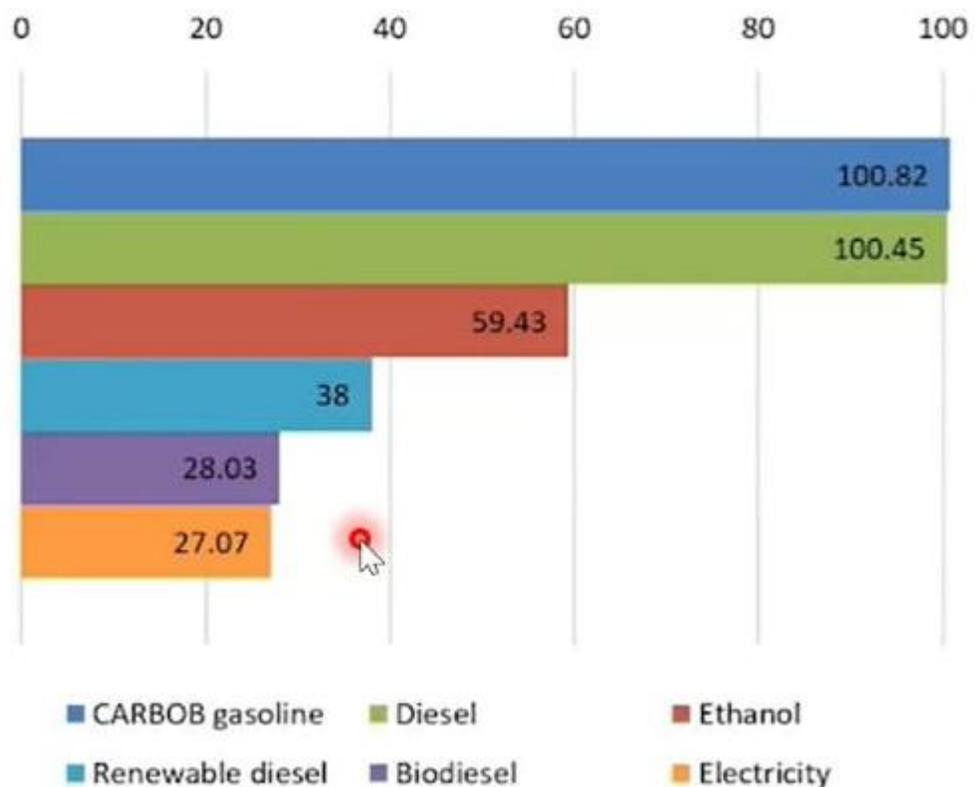
Ahorro de Emisiones CO ₂ de Buses Eléctricos						
Año		Pasajeros Captados de Buses Elec	Emisiones CO ₂	Longitud Carretera	Precio Promedio Carbono	Total
		pax	gr/pax/km	km	PEN/ton	PEN
		2022	0		65.00	55.2
2023	1	7,893,211	65.00	55.2	28.75	814,567
2024	2	7,984,773	65.00	55.2	28.75	824,016
2025	3	8,077,396	65.00	55.2	28.75	833,575
2026	4	8,171,094	65.00	55.2	28.75	843,244
2027	5	8,265,878	65.00	55.2	28.75	853,026
2028	6	8,361,763	65.00	55.2	28.75	862,921
2029	7	8,458,759	65.00	55.2	28.75	872,931
2030	8	8,556,881	65.00	55.2	28.75	883,057
2031	9	8,656,140	65.00	55.2	28.75	893,301
2032	10	8,756,552	65.00	55.2	28.75	903,663
2033	11	8,858,128	65.00	55.2	28.75	914,145
2034	12	8,960,882	65.00	55.2	28.75	924,749
2035	13	9,064,828	65.00	55.2	28.75	935,476
2036	14	9,169,980	65.00	55.2	28.75	946,328
2037	15	9,276,352	65.00	55.2	28.75	957,305
2038	16	9,383,958	65.00	55.2	28.75	968,410
2039	17	9,492,812	65.00	55.2	28.75	979,644
2040	18	9,602,928	65.00	55.2	28.75	991,008
2041	19	9,714,322	65.00	55.2	28.75	1,002,503
2042	20	9,827,008	65.00	55.2	28.75	1,014,132
2043	21	9,941,002	65.00	55.2	28.75	1,025,896
2044	22	10,056,317	65.00	55.2	28.75	1,037,797
2045	23	10,172,970	65.00	55.2	28.75	1,049,835
2046	24	10,290,977	65.00	55.2	28.75	1,062,013
2047	25	10,410,352	65.00	55.2	28.75	1,074,332
2048	26	10,531,112	65.00	55.2	28.75	1,086,795
2049	27	10,653,273	65.00	55.2	28.75	1,099,402
2050	28	10,776,851	65.00	55.2	28.75	1,112,155
2051	29	10,901,863	65.00	55.2	28.75	1,125,056
2052	30	11,028,324	65.00	55.2	28.75	1,138,106
						29,029,390

Nota: Se considera que el bus eléctrico, reduce un 100% del CO₂ que emite un bus a Diesel (Suministro: RER)

Resultados:

Considerando el uso de energía eléctrica en reemplazo del combustible Diesel, el ahorro económico estimado es: 29,029,390 Soles.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 22. Emisiones de Combustibles del Sector Transporte en California, gCO₂/MJ

Fuente: CARB.

Anexo 23. Cálculo del ahorro económico por la reducción de las emisiones de CO2 en los buses eléctricos considerando Fuente de EEUU (CARB)

Año		Ahorro de Emisiones CO2 de Buses Eléctricos				
		Pasajeros Captados de Buses Elec	Emisiones CO2	Longitud Carretera	Precio Promedio Carbono	Total
		pax	gr/pax/km	km	PEN/ton	PEN
2022	0		47.48	55.2	28.75	-
2023	1	7,893,211	47.48	55.2	28.75	595,052
2024	2	7,984,773	47.48	55.2	28.75	601,954
2025	3	8,077,396	47.48	55.2	28.75	608,937
2026	4	8,171,094	47.48	55.2	28.75	616,001
2027	5	8,265,878	47.48	55.2	28.75	623,146
2028	6	8,361,763	47.48	55.2	28.75	630,375
2029	7	8,458,759	47.48	55.2	28.75	637,687
2030	8	8,556,881	47.48	55.2	28.75	645,084
2031	9	8,656,140	47.48	55.2	28.75	652,567
2032	10	8,756,552	47.48	55.2	28.75	660,137
2033	11	8,858,128	47.48	55.2	28.75	667,795
2034	12	8,960,882	47.48	55.2	28.75	675,541
2035	13	9,064,828	47.48	55.2	28.75	683,377
2036	14	9,169,980	47.48	55.2	28.75	691,305
2037	15	9,276,352	47.48	55.2	28.75	699,324
2038	16	9,383,958	47.48	55.2	28.75	707,436
2039	17	9,492,812	47.48	55.2	28.75	715,642
2040	18	9,602,928	47.48	55.2	28.75	723,944
2041	19	9,714,322	47.48	55.2	28.75	732,341
2042	20	9,827,008	47.48	55.2	28.75	740,837
2043	21	9,941,002	47.48	55.2	28.75	749,430
2044	22	10,056,317	47.48	55.2	28.75	758,124
2045	23	10,172,970	47.48	55.2	28.75	766,918
2046	24	10,290,977	47.48	55.2	28.75	775,814
2047	25	10,410,352	47.48	55.2	28.75	784,814
2048	26	10,531,112	47.48	55.2	28.75	793,917
2049	27	10,653,273	47.48	55.2	28.75	803,127
2050	28	10,776,851	47.48	55.2	28.75	812,443
2051	29	10,901,863	47.48	55.2	28.75	821,867
2052	30	11,028,324	47.48	55.2	28.75	831,401
						21,206,338

Fuente: Elaboración propia.