

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Análisis de la implementación del primer bus eléctrico en el sistema de
corredores complementarios de la Av. Javier Prado**

Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil

AUTOR

Jorge Luis Maguiña Maza

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, marzo, 2022

RESUMEN

La presente investigación tiene como enfoque de estudio el análisis de los efectos, oportunidades y mejoras de servicio que generará la implementación del primer bus eléctrico en el sistema de transporte público peruano. Asimismo, realiza una comparativa económica entre la implementación de sistemas de abastecimiento convencionales y eléctricos con el objetivo de evaluar la factibilidad de una posible electrificación completa de todo el sistema de transporte.

En ese sentido, el bus eléctrico en estudio se encuentra implementado en el servicio 201 de los corredores complementarios de la Av. Javier prado, siendo este uno de los principales ejes troncales del transporte público de la ciudad de lima, ya que con sus 275 unidades vehiculares trasporta a aproximadamente 165000 usuarios por día.

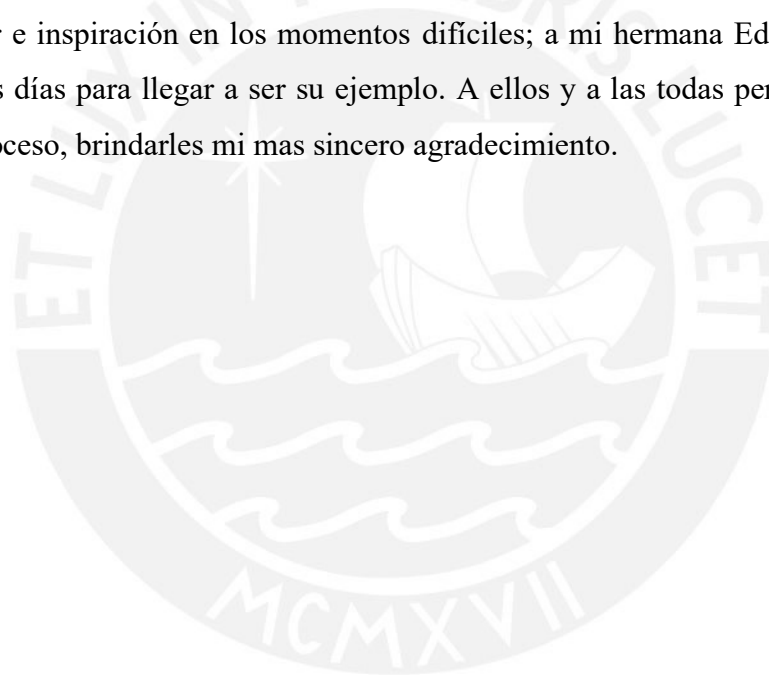
Debido a lo innovador del tema en estudio se determinó que la investigación debía tener carácter cualitativo. En consecuencia, se pudo contar con amplia información documentada sobre diversos ejemplos de electrificación de transporte público en el mundo. Asimismo, como parte de la investigación, se logró recopilar información complementaria sobre las energías alternativas, funcionamiento, consumos y rendimientos de vehículos eléctricos, etc.

Para el desarrollo de este proyecto, se optó por el uso de casos de electrificación representativos y socioeconómicamente similares al Perú, con el objetivo de obtener resultados mas precisos. De esta manera, se logró definir a los países de China, Colombia y chile como ideales para ser la base de la investigación.

Finalmente, según los resultados obtenidos se pudo determinar que la electrificación del transporte público representaría un gran avance tecnológico en el Perú, el cual traería beneficios sociales, económicos y ambientales. Asimismo, se verifico que la implementación de sistemas de abastecimiento eléctricos seria económicamente factible en el Perú, sin embargo, depende mucho del apoyo del sector privado, el mercado de vehículos eléctricos y su implementación en el sistema de transporte público.

AGRADECIMIENTOS

La finalización del presente proyecto de investigación me genera un enorme sentimiento de satisfacción personal y gratitud por las personas implicadas en el desarrollo personal y profesional obtenido a lo largo de mi etapa universitaria. En ese sentido, agradecer a mi asesor, Félix Cabrera, por su disposición, tiempo e inspiración por la ingeniería en mi etapa de estudiante y tesista; al Hormigón Armado, por demostrarme que una facultad puede llegar a ser una familia; al Destru de ingeniería, por enseñarme el significado pasional que implica ser ingeniero civil de la PUCP; a mis abuelos, Lourdes y Ovidio, de quienes sus ojos de orgullo siempre serán mi más grande premio; a mi tío Ausver, por siempre estar a pesar de la distancia; a mi madre Elizabeth, quien con mucho amor y esmero me enseñó el significado de ser extraordinario y persistente; a mi padre Máximo; por enseñarme el valor del trabajo, ser mi modelo a seguir e inspiración en los momentos difíciles; a mi hermana Edith; por quien me supero todos los días para llegar a ser su ejemplo. A ellos y a las todas personas que fueron parte de este proceso, brindarles mi mas sincero agradecimiento.



ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
Planteamiento del problema de investigación	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2.1 IDEA	3
1.3 PREGUNTAS	3
1.3.1 Pregunta General:	3
1.3.2 Preguntas Específicas:	3
1.4 HIPOTESIS	4
1.4.1 Hipótesis General:	4
1.4.2 Hipótesis Específicas:	4
1.5 OBJETIVOS	4
1.5.1 Objetivo General:	4
1.5.2 Objetivos Específicos:	4
1.6 JUSTIFICACION:	5
1.7 ALCANCE Y LIMITACIONES:	5
CAPÍTULO 2	7
Marco metodológico	7
2.1 GENERALIDADES:	8
2.2 CASO EN ESTUDIO:	9
2.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:	11
2.4 TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN:	11
2.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:	13
2.6 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:	13
2.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS:	14
2.8 HERRAMIENTAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS:	14
CAPÍTULO 3	16
Impactos del bus eléctrico en el transporte publico	16
3.1 LA CONTAMINACION AMBIENTAL Y EL TRANSPORTE PÚBLICO:	17
3.2 LA CONTAMINACION POR EL TRANSPORTE PUBLICO PERUANO:	18
3.3 ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA EL TRANSPORTE PUBLICO:	19
3.3.1 Vehículos híbridos:	19
3.3.2 Vehículos eléctricos basados en baterías:	20

3.3.3 Vehículos eléctricos basados en pilas de combustible de hidrogeno:.....	21
3.3.4 Vehículo con motor de combustión de hidrogeno:.....	21
3.4 COMPARACION ENTRE EL BUS ELECTRICO Y CONVENCIONAL:	23
3.5 FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS BUSES ELECTRICOS:.....	27
3.6 BENEFICIOS POSIBLES POR LA IMPLEMENTACION DE BUSES ELECTRICOS EN EN PERU:	30
3.6.1 Comparación Ambiental:	30
3.6.2 Comparación Económica:	34
3.6.2.1 Comparativa de precios de compra:	34
3.6.2.2 Ahorro económico en los buses eléctricos:.....	35
3.6.2.3 Estrategias económicas de implementación:	36
3.6.3 Comparación Social	36
CAPÍTULO 4	38
Comparativa económica entre infraestructuras del transporte eléctrico y convencional	38
4.1 EL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN EL PERÚ:	39
4.1.1 Sistema de transporte de buses rápidos en el Perú:.....	40
4.1.2 Costos directos de la infraestructura del sistema de transporte público:	41
4.1.3 Costos indirectos de la infraestructura del sistema de transporte público:	42
4.2 INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE ELÉCTRICO:.....	44
4.2.1 Clasificación de las estaciones de carga según el tipo de servicio:	45
4.2.1.1 Servicio de abastecimiento privado:	45
4.2.1.2 Servicio de abastecimiento público:	46
4.2.1.3 Servicio de abastecimiento Semi público:.....	47
4.2.2 infraestructura de las estaciones de carga para el transporte público eléctrico:.....	48
4.2.2.1 Cargadores:	49
4.2.2.2 Conectores:	52
4.2.2.3 Elementos de instalación:	53
4.2.3 Costos directos e indirectos de la infraestructura del sistema de transporte público eléctrico:	54
4.2.3.1 Diseño de las terminales de carga eléctrica:	55
4.2.3.2 Área requerida para las terminales de carga eléctrica:.....	55
4.2.3.3 Características primordiales de la infraestructura eléctrica:	56
4.2.3.4 Costo total de la infraestructura eléctrica:	60
4.3. COMPARATIVA ECONOMICA ENTRE LA INFRAESTRUCTURA CONVENCIONAL Y ELECTRICA:.....	63
CAPÍTULO 5	67
Conclusiones y recomendaciones	67

5.1 CONCLUSIONES:	68
5.2 RECOMENDACIONES:	69
BIBLIOGRAFÍA	70



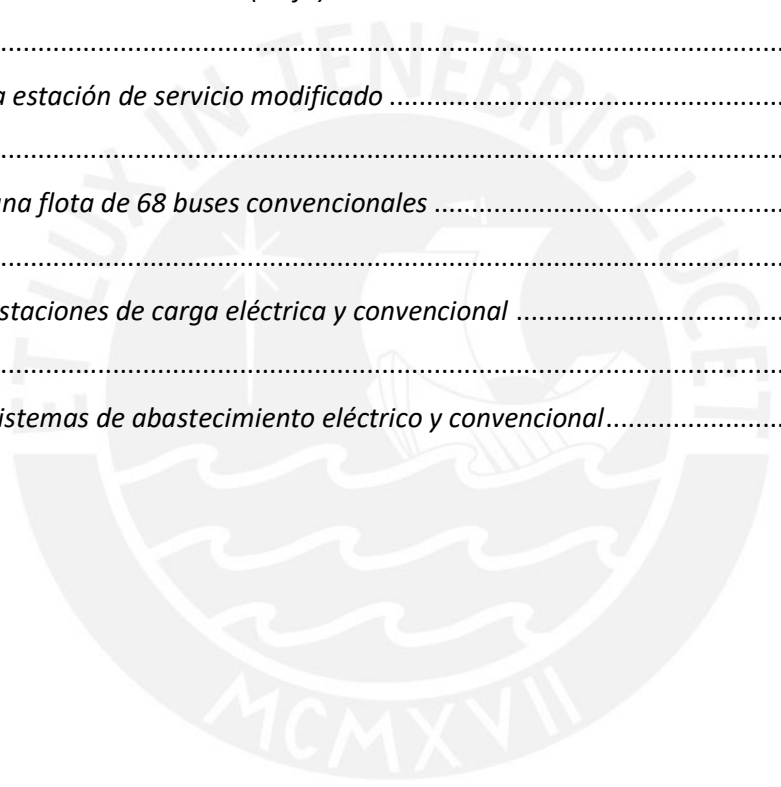
INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo – Planteamiento del problema.....	8
Figura 2: Servicio 201, principal servicio del Corredor Rojo	9
Figura 3: Servicio 201, recorrido del bus eléctrico en la ruta del corredor rojo	10
Figura 4: Diagrama de flujo – Investigación documental	12
Figura 5: Autonomía de los vehículos eléctricos actuales basados en baterías	21
Figura 6: Proyección del mercado de buses urbanos para el año 2020	22
Figura 7: Emisiones de CO ₂ ahorradas por la implementación de buses eléctricos.....	24
Figura 8: Cantidad de dinero ahorrada por la implementación de buses eléctricos en CSS	24
Figura 9: Comparación de costos acumulados entre el bus eléctrico y el bus convencional	24
Figura 10: Estaciones de carga para vehículos eléctricos en el continente europeo	45
Figura 11: Estaciones de carga privadas para vehículos eléctricos	46
Figura 12: Estaciones de carga públicas para vehículos eléctricos	46
Figura 13: Estaciones de carga semipública dentro de C.C. la Marina -Viña del Mar	47
Figura 14: Cargador tipo pie de poste, marca BYD con modulo DTU	50
Figura 15: Cargador tipo Pantógrafo.	51
Figura 16: Baterías eléctricas extraíbles de los buses eléctricos	51
Figura 17: Cargador inductivo utilizado en ciudad de Brunswick, Alemania	52
Figura 18: Características de los conectores tipo 4 y CCS.....	53
Figura 19: Esquema de instalación para estaciones de carga de buses eléctricos.....	54
Figura 20: Diseños de terminales de carga eléctricos	55
Figura 21: Centro de operaciones monobloque.....	57
Figura 22: Centro de transformación	58
Figura 23: Diagrama de contador principal para terminales de carga eléctrica	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	25
<i>Comparación de precios entre los buses Convencionales, Híbridos y Eléctricos</i>	25
Tabla 2	27
<i>Medidas adoptadas por distintos países en favor de los vehículos eléctricos</i>	27
Continuación Tabla 2	28
<i>Medidas adoptadas por distintos países en favor de los vehículos eléctricos</i>	28
Tabla 3	31
<i>Ahorro en toneladas por año, según el tipo de contaminante (China)</i>	31
Tabla 4	32
<i>Ahorro en toneladas por año, según el tipo de contaminante (China) – análisis individual</i>	32
Tabla 5	32
<i>Comparación de ahorro de gases contaminantes, según el número de vehículos implementados (China)</i>	32
Tabla 6	33
<i>Ahorro en millones de toneladas por año, según el tipo de contaminante (Colombia)</i>	33
Tabla 7	33
<i>Ahorro en millones de toneladas por año, según el tipo de contaminante (Colombia) – análisis individual</i>	33
Tabla 8	33
<i>Ahorro en toneladas por año, según el tipo de contaminante (Perú) – análisis individual</i>	33
Tabla 9	34
<i>Comparación de precios de buses eléctricos y convencionales</i>	34
Tabla 10	48
<i>Tiempos de carga según la conexión existente</i>	48
Tabla 11	53
<i>Potencias normalizadas para estaciones de carga eléctrica</i>	53
Tabla 12	60
<i>Especificaciones técnicas Cargador BYD EVA 080KI</i>	60
Tabla 13	60
<i>Costo total del centro de seccionamiento</i>	60
Tabla 14	61
<i>Costo total del centro de transformación</i>	61

Tabla 15	61
<i>Costo total de cuadros eléctricos</i>	61
Tabla 16	62
<i>Costo total de conductores eléctricos</i>	62
Tabla 17	62
<i>Costo total de una terminal eléctrica</i>	62
Tabla 18	63
<i>Costo total para una flota de 68 buses eléctricos</i>	63
Tabla 19	64
<i>Costo total de una estación de servicio (Grifo)</i>	64
Tabla 20	64
<i>Costo total de una estación de servicio modificado</i>	64
Tabla 21	65
<i>Costo total para una flota de 68 buses convencionales</i>	65
Tabla 22	65
<i>Comparativa de estaciones de carga eléctrica y convencional</i>	65
Tabla 23	66
<i>Comparativa de Sistemas de abastecimiento eléctrico y convencional</i>	66





CAPÍTULO 1

Planteamiento del problema de investigación

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo de la civilización humana se encuentra amenazado por importantes problemas ambientales, siendo los principales el calentamiento global y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El origen de ambos problemas, aunque suene irónico, proviene del propio desarrollo humano previamente mencionado. Asimismo, la magnitud de estos problemas tiene una estrecha relación con los procesos industriales de producción y consumo que se tuvieron y se tienen hasta la fecha (Barrientos, et al., 2019).

En este contexto, el sector de transporte es una de las principales fuentes de contaminación a nivel global, puesto que ocupa el segundo lugar entre el top de emisiones de GEI, debido a que en las dos últimas décadas se viene teniendo un incremento significativo en las emisiones de CO₂ particularmente, lo cual es resaltante en comparación a las demás fuentes de contaminación (Grütter, 2015).

En consecuencia, es necesario tomar acciones para evitar el deterioro paulatino e irreversible del planeta, por lo que es lógico buscar alternativas y soluciones para mitigar las principales fuentes de contaminación. En ese sentido, es importante enfocarse en la implementación energías renovables que reemplacen a las convencionales que actualmente se usan. En consecuencia, para el caso particular del sector transporte se debe buscar modelos energéticos des carbonizados, que garanticen cero emisiones de GEI que puedan afectar nuestro medio ambiente (A. Expósito et al., 2019).

Finalmente, Según Mitchell (2007) la industria automotriz tendrá una evolución radical en los próximos 10 años en comparación al ciclo pasado, debido a que los vehículos híbridos, eléctricos y autónomos se presentan como alternativas de solución ecológica y eficiente para el problema de contaminación actual producido por el sector transporte. Asimismo, según Grütter (2014), las estadísticas indican que el número de buses destinados al transporte público en países en vía de desarrollo (nótese Perú como ejemplo), tienen una tendencia creciente, proyectándose que un 80% del volumen total será utilizado por los mismos entre 2020 y 2025. Es por ello que es necesaria la implementación de tecnologías limpias (buses híbridos y eléctricos), con el objetivo de combatir los problemas ambientales presentes en nuestra sociedad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

1.2.1 IDEA

El transporte público y privado actual representa una de las principales fuentes de contaminación ambiental debido a los motores a combustión que utilizan. En ese sentido, la electrificación de estos vehículos es la solución más eficiente, ecológica y viable a escoger. En este contexto, aparecen diversas preguntas entorno a esta nueva tecnología, tales como: ¿los vehículos eléctricos producen cero emisiones de CO₂?, ¿Será el costo de mantenimiento mucho menor al de los vehículos convencionales?, ¿Se podrá utilizar la infraestructura existente para su correcto funcionamiento?, etc.

En consecuencia, este proyecto de investigación tiene como enfoque absolver las preguntas antes mencionadas y brindar a la sociedad información acerca de esta nueva tecnología que viene incursionando en nuestro país.

1.3 PREGUNTAS

1.3.1 Pregunta General:

- ¿De qué manera influirá el primer bus eléctrico del corredor complementario de la Av. Javier Prado en el funcionamiento e infraestructura del sistema de transporte público y en la sociedad limeña actual?

1.3.2 Preguntas Específicas:

- ¿Cuáles son los impactos positivos que presenta la implementación del primer bus eléctrico de la flota del corredor complementario de la avenida Javier Prado, ubicada en la ciudad de lima?
- ¿Qué tan costosa será la infraestructura para el funcionamiento de buses eléctricos en comparación con los buses convencionales, ambos destinados para el servicio de transporte público?

1.4 HIPOTESIS

1.4.1 Hipótesis General:

- El primer bus eléctrico del corredor complementario de la Av. Javier prado representa un avance tecnológico importante en el sistema de transporte público, el cual influirá desde el ámbito energético hasta el ámbito social, sin la necesidad de una nueva infraestructura debido a que la actual es ideal para su funcionamiento.

1.4.2 Hipótesis Especificas:

- La implementación del bus eléctrico en la ruta del corredor complementario de la avenida Javier Prado, generará impactos positivos en los principales ámbitos: económico, social y ambiental.
- La infraestructura necesaria para el funcionamiento de buses eléctricos en el transporte público tendrá de un costo similar al de la infraestructura convencional.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General:

- Analizar el efecto que tendrá en la sociedad y en el sistema de transporte público la implementación del primer bus eléctrico del corredor complementario de la Av. Javier Prado.

1.5.2 Objetivos Específicos:

- Identificar los impactos positivos que generará la implementación del primer bus eléctrico en la ruta del corredor complementario de la avenida Javier Prado, en los ámbitos: económico, social y ambiental.
- Comparar el costo de la infraestructura existente para transporte público convencional, con el costo de la infraestructura necesaria para el transporte público eléctrico.

1.6 JUSTIFICACION:

El proyecto de investigación planteado describe el uso de nuevas tecnologías como una solución viable a uno de los principales problemas de la sociedad, la contaminación ocasionada por el sistema de transporte público, lo cual le brinda una relevancia social importante. Asimismo, se afirma que posee relevancia de valor teórico, puesto que el estudio brinda información acerca de un sistema de transporte público nunca antes utilizado en nuestra sociedad.

Finalmente, Este proyecto tendría valor práctico, dado que sirve de base para posteriores estudios acerca de la factibilidad de la implementación de los vehículos eléctricos en la sociedad peruana.

1.7 ALCANCE Y LIMITACIONES:

El presente proyecto de investigación gira entorno al análisis de los efectos causados por la implementación del primer bus eléctrico en el transporte público peruano, específicamente en la ruta del corredor complementario de la Avenida Javier Prado, y en una comparación económica sobre las infraestructuras necesarias que necesitan los sistemas de transporte convencional y eléctrico.

En ese sentido, se busca obtener la mayor información posible sobre los países que lograron implementar vehículos eléctricos dentro de sus sistemas de transporte público, por un tema de semejanza social y económica se priorizaran los países sudamericanos. Asimismo, se buscará obtener información acerca de lo que significó la implementación inicial del sistema de transporte público peruano convencional y se analizará su situación actual.

Por otro lado, debido a que el presente trabajo se viene desarrollando bajo los efectos de la pandemia mundial producida por el COVID-19 no se podrá realizar el trabajo de campo proyectado inicialmente. Sin embargo, se conoce que se posee con suficiente información literal para realizar una investigación de corte eminentemente documental, con la cual se podrán obtener resultados precisos en base a otros casos representativos.

Finalmente, es importante señalar que todos los resultados presentes en este documento serán obtenidos en base a países sudamericanos que tienen contextos similares con el Perú y tuvieron éxito en la electrificación de sus sistemas de transporte, debido a que se busca contar con resultados similares ante un posible caso real de implementación de vehículos eléctricos en el sistema de transporte nacional.





CAPÍTULO 2

Marco metodológico

2.1 GENERALIDADES:

El marco metodológico descrito por Tamayo y Tamayo (2012) se define como “Un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento”, la importancia de este conocimiento se encuentra en la obtención de respuestas a las diversas preguntas e hipótesis formuladas durante el planteamiento del problema.

Asimismo, Arias (2012) señala que el marco metodológico refiere a todo procedimiento que comprende diferentes fases, los cuales se emplean para la resolución y formulación de preguntas de investigación. En este sentido, se comprueba la importancia y la estrecha relación de los planteamientos iniciales con el marco metodológico.

Según estas definiciones, se puede entender que el marco metodológico es un componente vital de todo proyecto de investigación, debido a que en este incurren todos los procesos necesarios para llegar a los resultados y respuestas de los planteamientos iniciales.

Finalmente, se presenta el diagrama de flujo correspondientes al capítulo 1 “planteamiento del problema”, el cual representa el proceso previo al desarrollo del marco metodológico.

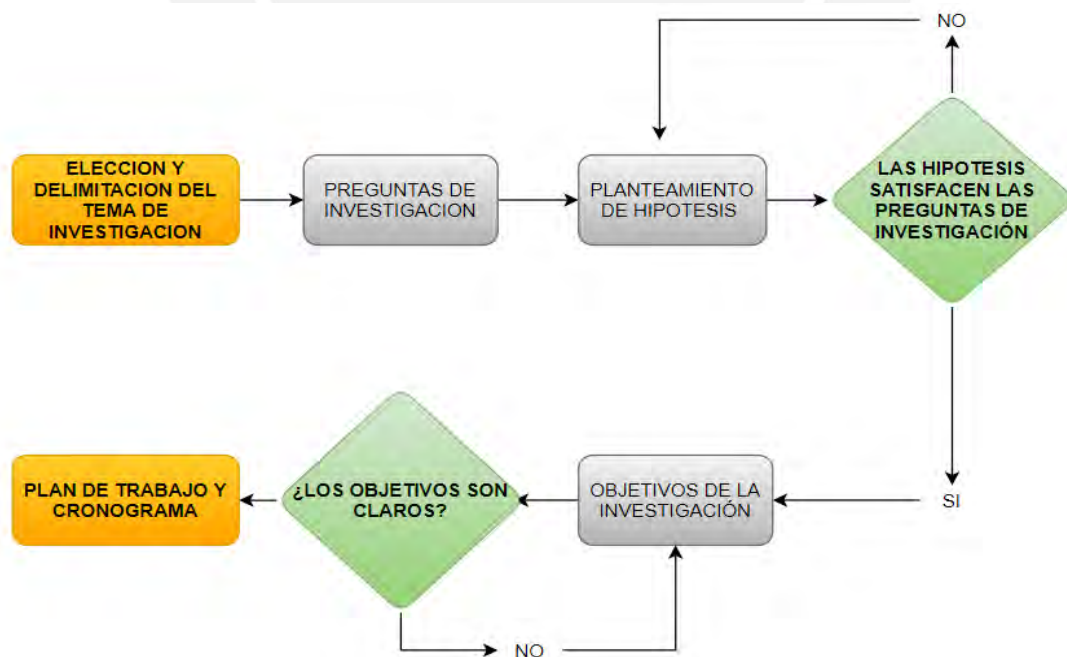


Figura 1: Diagrama de flujo – Planteamiento del problema

Fuente: Elaboración propia

2.2 CASO EN ESTUDIO:

El caso en estudio que incentivo el desarrollo de este proyecto de investigación se centra en el análisis de la implementación del primer bus eléctrico en la ruta del corredor complementario de la Avenida Javier Prado.

El corredor complementario de la avenida Javier Prado, comúnmente conocido como corredor rojo, es un sistema de transporte público masivo que brinda servicio en tres principales avenidas de la ciudad de Lima (Javier Prado, La Marina y Elmer Faucett). Este sistema de corredores cuenta con seis clases de servicios, que cubren su eje troncal alternando paraderos según la naturaleza del servicio. En ese sentido, este sistema cuenta con más de 40 paraderos exclusivos, iniciando en el Paradero de la Av. La marina ubicada en el distrito de San Miguel, Hasta el último paradero ubicado en la Av. Ceres en el distrito de Ate (Corredor Rojo, 2020).

Finalmente, este sistema cuenta con más de 770 colaboradores en sus filas, los cuales trabajan con una flota de 275 buses de alta capacidad (80 pasajeros), que transportan diariamente un aproximado de 165000 personas diariamente (Corredor Rojo, 2020).



Figura 2: Servicio 201, principal servicio del Corredor Rojo

Fuente: <https://www.protransporte.gob.pe/wp-content/uploads/2019/05/SERVICIO-201.jpg> (Visitado 05/09/2020)

El bus eléctrico, sobre el que gira el tema de esta investigación, fue implementado en el servicio principal del Corredor rojo, el servicio 201, teniendo como principales características la capacidad de pasajeros que los bus convencionales, recarga rápida de sus baterías y una autonomía de 364km. Asimismo, este proyecto tendrá una duración de 2 años, donde se podrá recabar toda la información pertinente para la creación de líneas de transporte publico 100% electrificadas (ENEL PERU, 2019).

Finalmente, es importante mencionar que la realización de este proyecto fue gracias a la cooperación estratégica del estado peruano, mediante Protransporte, junto con compañías privadas ligadas al ámbito energético como Global Sustainable Electricity Partnership (GESP), Hydro - Québec y Enel X (ENEL PERU, 2019).

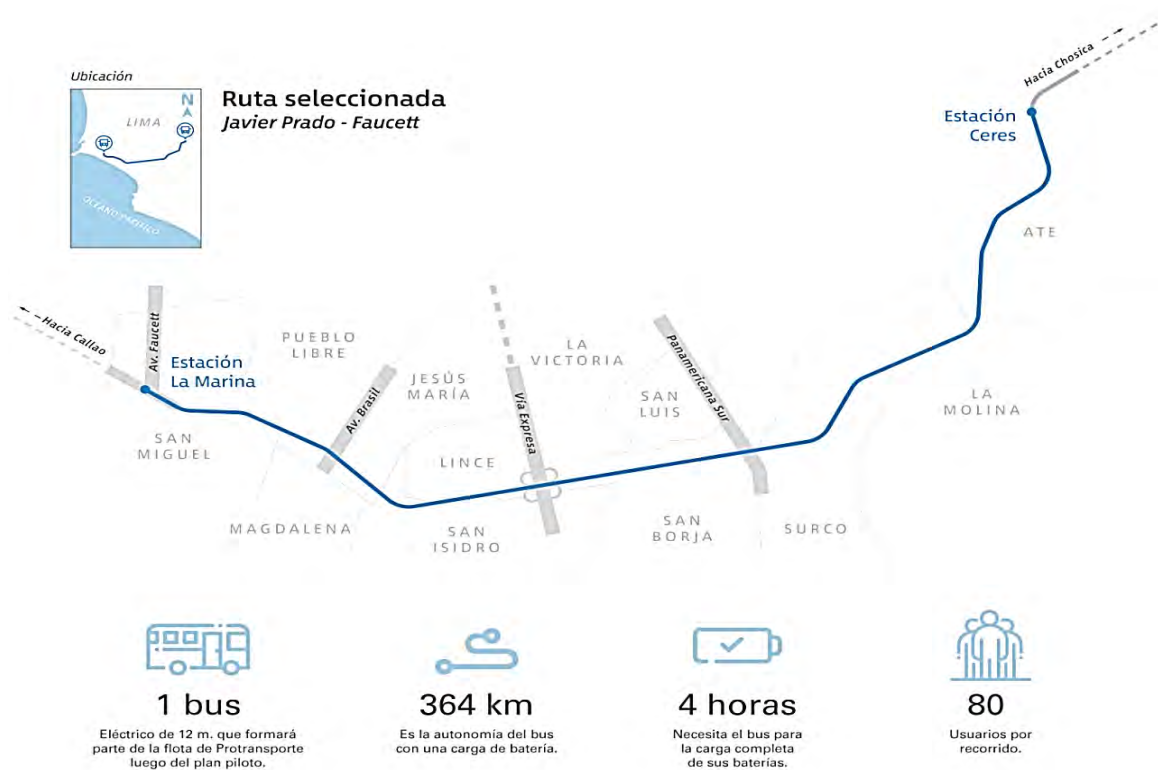


Figura 3: Servicio 201, recorrido del bus eléctrico en la ruta del corredor rojo

Fuente: <https://www.enel.pe/> (Visitado 05/09/2020)

2.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

Dado que los objetivos del proyecto de investigación se centran en el análisis de los efectos que tendrá la implementación del primer bus eléctrico en la sociedad y en el sistema de transporte público peruano, se procederá a realizar un diseño de investigación no experimental de carácter transversal, puesto que se considera que existe un sustento teórico suficiente para desarrollar este tema de manera eficaz. Asimismo, por la naturaleza innovadora del proyecto en cuestión, se optó por una investigación de carácter exploratorio.

Según Hernández-Sampieri et al., (2014) se indica que la investigación no experimental refiere a una investigación que se focaliza en la observación de los fenómenos estudiados en su ambiente natural, sin realizar ningún tipo de alteración o manipulación intencional en dicho proceso. Asimismo, los mismos autores señalan que el diseño de una investigación Transversal refiere a toda aquella investigación que describe, estudia y analiza a un fenómeno o variable en un determinado momento.

En conclusión, se define que una investigación de carácter exploratorio es toda aquella investigación que realiza una exploración inicial acerca de un fenómeno o variable (Hernández-Sampieri et al., 2014). En consecuencia, los mismos autores afirman que este tipo de carácter de investigación es común en temas innovadores o poco conocidos, puesto que representan un preámbulo para otros diseños de investigación.

2.4 TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN:

Debido a la pandemia mundial producida por el virus COVID-19, el contexto que asola este proyecto de investigación es bastante particular. En ese sentido, se optó por realizar una investigación eminentemente documental, la cual se complementará con el método de síntesis bibliográfica, lo cual significa que la base fundamental de esta investigación se encuentra en el estudio y revisión exhaustiva de material bibliográfico de temas similares.

Asimismo, Avellaneda (2007) define a la investigación documental como una herramienta básica que ayuda al investigador a relacionarse de manera eficaz con su investigación, mediante la revisión y análisis de diversas fuentes bibliográficas y estudios previos relacionados al tema en cuestión. De igual manera, el mismo autor señala que una investigación documental realizada correctamente conlleva a la obtención de resultados precisos y con validez científica para las preguntas de investigación inicialmente planteadas, en un contexto definido.

Asimismo, Del Rincón et al., (1995) señala que la investigación documental se puede definir como una estrategia de exploración de metodologías, técnicas y métodos de estudio de proyectos previos que guardan relación con el tema que se encuentra en estudio. De igual manera, el propio autor asegura que, sin una investigación documental adecuada, es imposible obtener resultados o conocimientos de cualquier tema en estudio.

Finalmente, se presenta el diagrama de flujo compuesto por los pasos que se seguirán en el desarrollo del presente proyecto de investigación para la recolección, selección y análisis de datos, con el objetivo de obtener resultados que satisfagan nuestros planteamientos iniciales. Asimismo, en la parte final se generarán conclusiones y recomendaciones según la naturaleza de los resultados obtenidos.

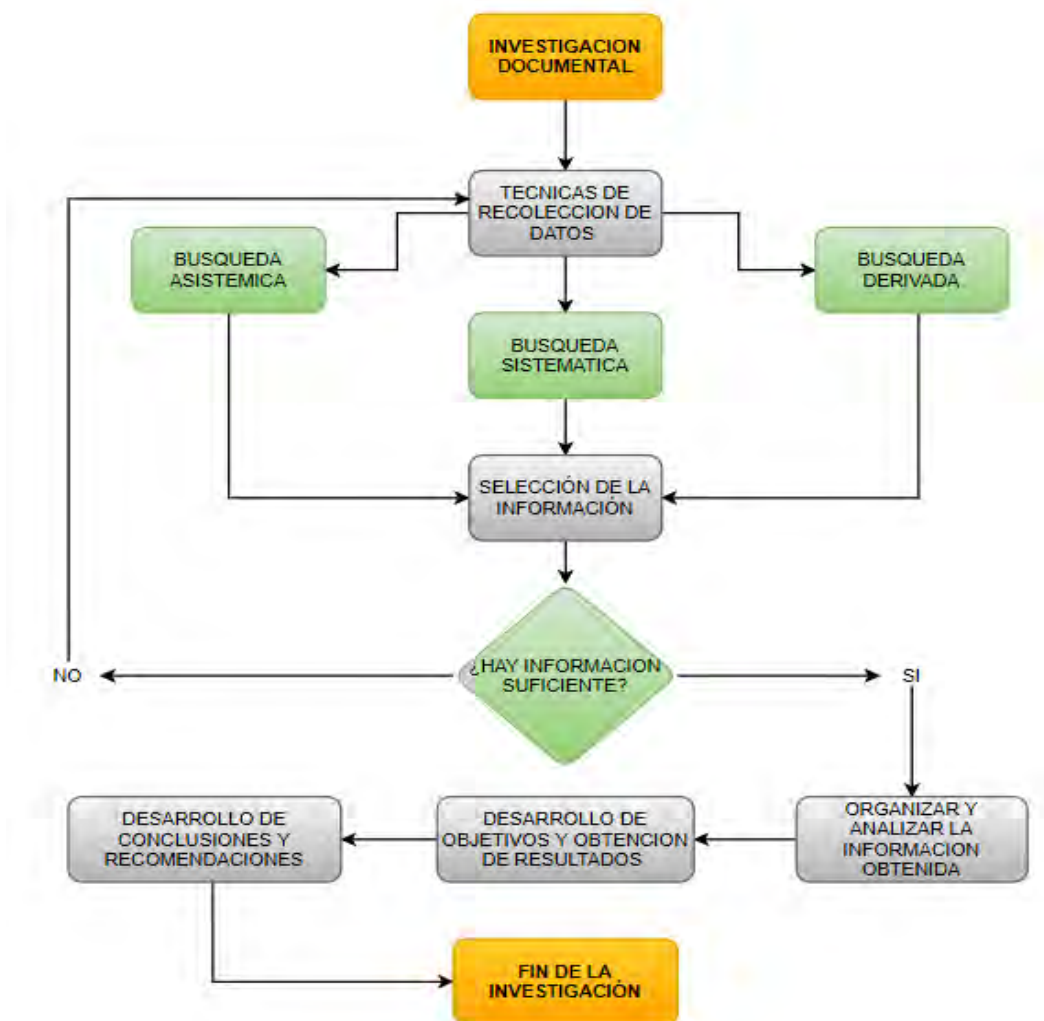


Figura 4: Diagrama de flujo – Investigación documental

Fuente: Elaboración propia

2.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

Según Falcon y Herrera (2005), la técnica de recolección de datos puede ser definida como una serie de diversos procedimientos que se realizan en los proyectos de investigación con el objetivo de obtener información sobre el tema elegido. Asimismo, el mismo autor indica que la aplicación de este tipo de técnicas debe ser respaldada por un adecuado instrumento de recolección de datos.

En el presente proyecto de investigación se optó usar la sistematización bibliográfica como técnica de recolección de datos. Asimismo. Siguiendo las recomendaciones de Avellaneda (2007) y Cabrera (2019) se usará la búsqueda sistemática, asistémica y derivada como una serie de estrategias para abarcar y analizar de manera eficiente la información obtenida acerca del tema en estudio.

En primer lugar, La búsqueda sistemática será realizada en motores de búsqueda y plataformas digitales como Google Académico, recursos en línea del sistema de bibliotecas de la PUCP, repositorio digital de Tesis PUCP, etc. Asimismo, la obtención de información en las plataformas mencionadas, se realizará mediante búsquedas de temas relacionados (Revistas de investigación, tesis relacionadas, etc.) y palabras clave (Motores de búsqueda).

En segundo lugar, La búsqueda asistémica representará toda aquella información relacionada al tema de estudio que ira apareciendo sin un plan de búsqueda previamente planteado. En ese sentido, la información que se podría obtener de esta estrategia de búsqueda podría provenir de diarios, entrevistas de televisión o radio, videos en YouTube, etc.

Finalmente, La búsqueda derivada de información significará la recolección y análisis de resultados de diversos estudios que sirvieron de base para la creación de nuestras principales fuentes de información, las cuales fueron recomendadas en primera instancia para este estudio.

2.6 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

Según Falcon y Herrera (2005), los instrumentos de recolección de datos se definen como toda aquella herramienta que se utiliza para la obtención, almacenamiento o registro de información acerca del tema en estudio. Asimismo, este tipo de instrumentos de recolección pueden ser físicos o digitales.

Por la naturaleza de la investigación documental, se decidió usar las fichas bibliográficas y fichas de trabajo como instrumentos de recolección de datos, puesto que representan una gran ayuda en el momento de construir la narrativa del tema de investigación. En ese sentido, las fichas de trabajo que se usarán serán las fichas de resumen, de cita textual y de paráfrasis.

2.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS:

Por la naturaleza cuantitativa de gran parte de los datos que se recolectaran, se decidió usar la estadística descriptiva como la técnica de procesamiento de datos adecuado para este tipo de casos, puesto que mediante gráficas, tablas comparativas y medidas de resumen nos brindara una manera clara para realizar la comparación de la información adquirida.

Asimismo, para los datos con gran influencia literal o cualitativa se seguirá la recomendación brindada por el autor Hernández-Sampieri et al., (2014), el cual señala que los procedimientos de recolección y análisis de datos son procesos paralelos, por lo que se debe emplear una organización de datos mediante el análisis de documentos, registros y otros materiales, con el objetivo de absolver las interrogantes de naturaleza cualitativa presentadas en el planteamiento inicial del problema de investigación.

2.8 HERRAMIENTAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS:

Según Tamayo y Tamayo (2012) las herramientas de procesamiento de datos, son todos aquellos objetos físicos que permiten obtener y registrar la información acerca del tema en estudio.

En ese sentido, para brindar de un orden establecido a nuestro avance en el proyecto usaremos la herramienta de Microsoft Project para realizar cronogramas de avance y monitorear que no exista atrasos en todo el proceso de investigación.

Asimismo, el proyecto de investigación planteado requiere diversos cuadros y gráficos comparativos para contrastar resultados entre los buses convencionales de motor a combustión y los buses eléctricos, es por ello que se utilizara el programa de Microsoft Excel. De igual manera, usaremos el programa Microsoft Word para la redacción y estructuración de todo el proyecto de investigación,

Finalmente, usaremos el programa de Adobe Acrobat Reader para al análisis y selección de información de diversas fuentes de información. Asimismo, usaremos este programa para presentar la versión final de este proyecto de investigación.





CAPÍTULO 3

Impactos del bus eléctrico en el transporte público

3.1 LA CONTAMINACION AMBIENTAL Y EL TRANSPORTE PÚBLICO:

Actualmente los problemas ambientales representan una de las principales amenazas para el desarrollo de la humanidad. Este problema viene siendo arrastrado a lo largo de cientos años de actividades antrópicas, las cuales tuvieron y tienen actualmente un impacto directo sobre el medio ambiente (Barrientos, et al., 2019). Asimismo, Barrientos et al., (2019) citan a Perman & Cols (2003), quienes señalan que a pesar de que la contaminación ambiental es un daño colateral producido por las actividades humanas, este es inevitable, puesto que toda actividad antrópica, ya sea de consumo o de producción, genera el producto deseado y un desecho, el cual es producto de la metamorfosis que sufrió el material basal.

En consecuencia, a lo largo del siglo pasado se comenzó a observar estragos progresivos en el medio ambiente y, debido a ello, se comenzó a brindar especial (y tardía) atención a este problema (Nordhaus, 1992). En ese sentido, el caso particular de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) presenta un crecimiento alarmante en el volumen de sus emisiones, el cual proviene de la falta de vida vegetal para realizar la fotosíntesis y los fenómenos naturales catastróficos que asolan a gran parte de la humanidad (el niño, la niña, etc.), los cuales facilitan la aparición de anomalías en el ciclo global del carbono, generando problemas en el proceso de regeneración de nuestra atmosfera a lo largo del tiempo (Sonnemann & Grygalashvily, 2013).

Asimismo, según el IPCC (2001^a, 2014) la acumulación de CO₂ en la atmosfera crece de manera alarmante debido al aumento gradual de las emisiones a través de los años y al largo tiempo de vida atmosférica que estas poseen. De la misma manera, la misma fuente señala que este problema generaría para el año 2100 un aumento global de la temperatura superficial de la tierra, el cual oscilaría entre 37 y 38°C.

En este sentido, según Expósito et al., (2019) se conoce que los sectores energéticos y de transporte son los principales responsables de las emisiones de GEI, obteniendo un porcentaje del 50% del volumen total de emisiones entre las principales fuentes de contaminación. En ese contexto, los mismos autores refieren que es necesario la aparición de nuevas tecnologías, como energías renovables y motores eléctricos, que reemplacen los modelos de combustión que actualmente operan en estas industrias.

Asimismo, según Barrientos et al., (2019) citando al IPCC (2001b:490), se señala que la contaminación ambiental se puede reducir, si se toman ciertas políticas reguladoras (políticas de impuestos y subsidios a las empresas contaminantes, permisos de emisión negociables, etc.),

políticas de incentivos a nuevas tecnologías, normas y estándares (vehículos eléctricos, centrales hidroeléctricas, etc.) y políticas de investigación y desarrollo.

En el caso del sector transporte, según Grütter (2014), el crecimiento acelerado de sus emisiones de CO₂ a la atmósfera en los últimos 20 años, genera preocupación en las entidades mundiales, debido a que, según las estadísticas, la emisión de CO₂ para el año 2015 era de 700Mt y posee una tasa de crecimiento del 50% hasta el año 2030. Por otro lado, según el mismo autor centrándose en el transporte público, refiere que existe una oportunidad única de usar nuevas tecnologías, específicamente en la implementación de buses eléctricos, para mitigar la contaminación producida por los buses del transporte público y, al mismo tiempo, aportar en el desarrollo a los países del tercer mundo, puesto que son estos países los principales adquirentes de buses convencionales con motor a combustión en el mundo (80% del total de buses en el mundo para el año 2020).

3.2 LA CONTAMINACION POR EL TRANSPORTE PUBLICO PERUANO:

Los sistemas de transporte público en los países en vías de desarrollo, como el Perú, generan problemas de contaminación importantes. Es por ello que el Banco Mundial desde 1996 recomienda a todos los Gobiernos optar por sistemas eficientes y sostenibles (Martínez, 2017).

El problema de contaminación según William et al., (2004) es que en los países en vías de desarrollo existe un patrón común, todos poseen altos los niveles de concentración de material particulado debido al excesivo uso de combustibles como el diésel. Es por ello que el mismo autor ratifica lo señalado por el Banco mundial al referir que se debe investigar e implementar alternativas energéticas sostenibles, las cuales puedan generar tecnologías vehiculares innovadoras.

En consecuencia, en el Perú se buscó alternativas de combustibles limpios como el gas natural vehicular (GNV) y el gas líquido de petróleo (GLP), los cuales tienen un valor económico asequible en el mercado peruano debido a los diversos proyectos de inversión realizados por el gobierno peruano en la explotación de los recursos energéticos mencionados, tales como la refinería de Talara o el gasoducto del Sur (Gobierno Peruano, 2004).

Asimismo, según Bustamante (2013), se optó por producir variantes de los combustibles comúnmente usados. En ese sentido, se produce etanol en base a la caña de azúcar para posteriormente combinarla con un 7.8% de gasolina, lo cual asegura una amortización

importante en la contaminación producida por este combustible. De igual manera, el mismo autor señala que para el caso del biodiesel, este se elabora en base a la palma aceitera, la cual es producida en un 35% del total en el Perú, que al juntarla con un 5% de diésel generan un combustible más ecológico.

Sin embargo, el combustible ampliamente dominador en el apartado del transporte público es el gas natural, debido a que los sistemas de buses rápidos, como el metropolitano y los corredores complementarios, funcionan en base a este (Martínez, 2017).

Finalmente, la Defensoría del Pueblo (2008) señala que para optimizar el sistema de transporte público es necesario reducir el número de buses, en especial los informales, por buses de mayor tamaño y que utilicen combustibles limpios (GNV o similares). Asimismo, la misma fuente señala que es necesario reemplazar las empresas de transporte pequeñas por empresas medianas para evitar la informalidad en nuestro sistema de transporte público.

3.3 ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA EL TRANSPORTE

PUBLICO:

En la actualidad el transporte público se encuentra dominado por buses con motores Diesel, GNC (Gas Natural Comprimido) o GNL (Gas Natural Licuado), los cuales tienen una participación activa en el problema de contaminación previamente explicado. En base a este problema se desarrollan opciones ecológicas y sostenibles representadas principalmente por los buses híbridos y eléctricos (Grütter, 2014).

En ese sentido, según Aláez et al., (2010) existen cuatro tecnologías potenciales que podrían sustituir a los motores de combustión interna, los cuales son:

3.3.1 Vehículos híbridos:

Los vehículos híbridos son aquellos que cuentan con dos tecnologías para su funcionamiento, la convencional (motor a combustión) y la ecológica (motor eléctrico) (Aláez et al., 2010). Asimismo, los mismos autores señalan que esta tecnología se divide en tres tipos, los cuales se diferencian principalmente por el modo de obtención de energía eléctrica y el rango de autonomía en el modo puramente eléctrico, los cuales son:

- Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV):

Estos vehículos obtienen la energía eléctrica directamente de la red de abastecimiento, mediante un sistema de baterías que es abastecido con un puerto de carga enchufable. Asimismo, generan energía eléctrica mediante el freno regenerativo del vehículo y el exceso de energía producido por el motor a combustión. Finalmente, este tipo de tecnología garantiza el rango de autonomía del vehículo, en el modo eléctrico, de entre 30 a 40 km.

- **Hybrid Electric Vehicle (HEV):**

Este tipo de vehículos, a diferencia de los PHEV no cuentan con un puerto de carga enchufable, por lo que obtienen la energía eléctrica únicamente del uso de los frenos regenerativos del vehículo y del exceso de producción de energía del motor a combustión. En consecuencia, generan menor energía eléctrica que los vehículos PHEV, lo cual se ve reflejado en el bajo rango de autonomía con el que cuenta (menor a los 5 km).

- **Range Extender (RE):**

Este tipo de vehículos, a diferencia de los dos anteriormente mencionados, usa el motor eléctrico como sistema principal de propulsión y usa el motor a combustión para generar energía eléctrica, obteniendo un sistema de recarga continua en el vehículo a lo largo de la marcha. De igual manera, el rango de autonomía eléctrica es indefinido, debido a su movilidad depende exclusivamente del motor eléctrico.

3.3.2 Vehículos eléctricos basados en baterías:

Según señalan Aláez et al., (2010) citando a Kromer, M.A. & Heywood (2007) esta clase de vehículos usa paquetes de baterías cargadas con energía eléctrica como principal fuente de propulsión en toda su matriz, estas baterías de ion-Litio generan de 1.4 a 2 veces el poder de las otras alternativas planteadas. Asimismo, debido a los constantes avances que existen en su campo, a los sostenibles y ecológicos que demuestra ser esta tecnología y al desarrollo de baterías más eficientes, económicas y de mayor autonomía a lo largo de los años, diversos expertos en el campo señalan que esta tecnología será la que reemplazará a la tecnología convencional de los vehículos con motores a combustión.

Modelo	Autonomía (km)
Tesla Model S	539
Tesla model 3	500
Tesla Model X	475
Chevy Bolt	383
Nissan Leaf	350
Renault Zoe	300
Volkswagen e-Golf	300
Hyundai Ioniq	250
BMW i3	200
Kia Soul	200

Figura 5: Autonomía de los vehículos eléctricos actuales basados en baterías

Adaptado de Expósito & Ortega (2019)

3.3.3 Vehículos eléctricos basados en pilas de combustible de hidrogeno:

La tecnología usada en este tipo de vehículos es relativamente nueva y funciona en base a energía eléctrica generada por reacciones químicas en una pila de combustible, esta energía es producida al unir átomos de hidrogeno con átomos de oxígeno en cantidades específicas. Sin embargo, los mismos autores señalan que si bien esta tecnología tiene la capacidad de reemplazar en su totalidad a los motores a combustión, posee problemas importantes en el almacenamiento de sus componentes, como el hidrogeno, lo que representa un obstáculo importante en el desarrollo e implementación de esta alternativa.

3.3.4 Vehículo con motor de combustión de hidrogeno:

Según señalan Aláez et al., (2010), este tipo de tecnología es la que posee mayor similitud con la tecnología convencional, puesto que ambos usan motores a combustion. Sin embargo, esta tecnología tiene una amplia superioridad en características ecologicas en comparacion a la tecnología convencional, puesto que el hidrogeno al ser un combustible limpio no genera ninguna emision de gases de efecto invernadero. Por otro lado, es importante señalar que

presenta los mismos problemas de almacenamiento de hidrogeno dentro de su sistema de propulsion al igual que los vehiculos basados en pilas de combustible de hidrogeno.

Sin embargo, según Grütter (2014) es importante conocer el rendimiento real de cada una de estas opciones frente a las opciones dominantes para determinar si estas nuevas tecnologías están en la capacidad de reemplazarlas.

El mercado de buses de transporte público se encuentra en un incremento progresivo en los últimos años, puesto que anteriormente contaba con 16 millones de buses en el año 2010, siendo los principales usuarios de estos buses los países de China (17%), Corea (12%), Estados unidos (6%) y Rusia (4%) y se proyectaba que para el año 2020 llegaría a los 20 millones de buses (Grütter,2014).

Asimismo, Frost & Sullivan (2013), refiere que las nuevas tecnologías tendrán un papel fundamental en el transporte público futuro, debido a que según sus proyecciones, los buses Híbridos y Eléctricos contarán con un 15% de participación para el 2020. De igual manera, el mismo autor refiere que se venderán aproximadamente 27000 buses Híbridos y Eléctricos para el mismo año.

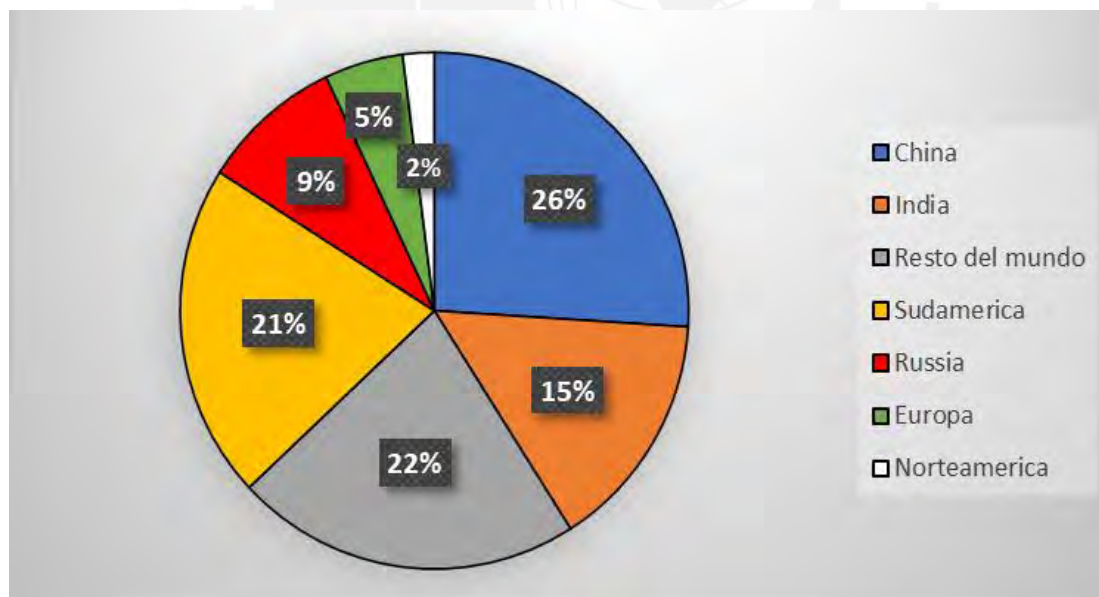


Figura 6: Proyección del mercado de buses urbanos para el año 2020

Adaptado de Frost & Sullivan (2013)

Finalmente, Grütter (2014) señala que la importancia de estas nuevas tecnologías radicara en la demostración de la capacidad de servicio que tienen en los países con mayor demanda de buses convencionales para el transporte público, tales como China, India, Países

sudamericanos, etc. Asimismo, el mismo autor señala que es esperable que la industria de fabricantes chinos domine la manufacturación de los buses Híbridos y Eléctricos, con diversas marcas como Kinglong, BYD, Foton etc.

3.4 COMPARACION ENTRE EL BUS ELECTRICO Y CONVENCIONAL:

La historia de los automóviles posee tres grandes eras: la era del vapor, la era de la gasolina y la era de la electricidad. En ese sentido, los grandes avances tecnológicos en cuanto a energías renovables y eficientes desarrollados en los últimos años permiten evolucionar nuestros vehículos convencionales a vehículos híbridos y eléctricos, los cuales ayudarán a lograr mejorar los estándares de calidad, comodidad, performance y conexión con el medio ambiente (Delgado & Alejandro, 2018).

Asimismo, según Guerrero-prado et al., (2015), se conoce que en la ciudad de Cali el servicio intensivo del transporte público convencional generaba efectos negativos sobre la sociedad, entre los cuales destacan los efectos sobre la salud, medio ambiente y aumento del índice de accidentabilidad.

En consecuencia, los mismos autores optaron por realizar un estudio comparativo entre el funcionamiento de los buses eléctricos y los buses convencionales, enfocándose en tres puntos importantes: la demanda actualizada del transporte público, la definición de una ruta específica para realizar la simulación y finalmente la aplicación del programa SUMO (Simulación of Urban MObility) para realizar las simulaciones necesarias y lograr cuantificar datos como el consumo de combustible, el porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero, el costo por recorrido, etc.

Los resultados de este estudio señalan que el reemplazo del 30% de los buses convencionales por buses eléctricos representaría un ahorro considerable en emisiones de gases de efecto invernadero, siendo aproximadamente 16 millones de toneladas de CO₂ al año (Guerrero-prado et al., 2015). Asimismo, los mismos autores refieren que existe un ahorro económico importante, puesto que en un lapso de tiempo de 5 años y con un recorrido anual de 100,000 km por año, el bus eléctrico presenta un ahorro en combustible de aproximadamente 228,333.75 \$ en comparación del bus convencional.



Figura 7: Emisiones de CO₂ ahorradas por la implementación de buses eléctricos

Adaptado de Guerrero-prado et al., (2015)

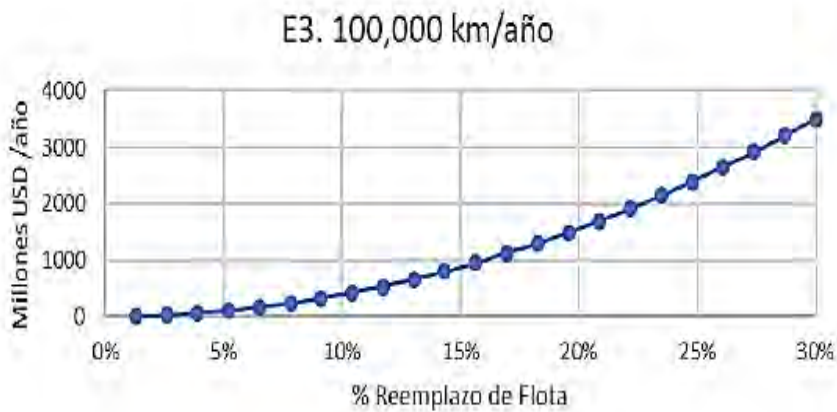


Figura 8: Cantidad de dinero ahorrada por la implementación de buses eléctricos en CSS

Adaptado de Guerrero-prado et al., (2015)

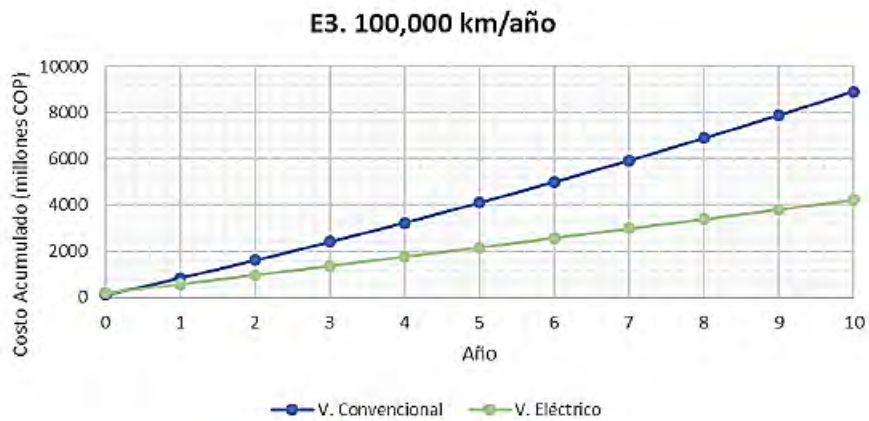


Figura 9: Comparación de costos acumulados entre el bus eléctrico y el bus convencional

Adaptado de Guerrero-prado et al., (2015)

Por otro lado, el estudio realizado por Delgado & Alejandro, (2018) sobre el sistema de transporte masivo en Chile, señala que el sistema de transporte público basado en buses tiene unos 2'500,000 usuarios diariamente, los cuales buscan un servicio de calidad que sea sustentable, ecológico y económico. Lamentablemente, este sistema se encuentra basado en buses convencionales con motor a combustión, los cuales brindan el servicio de transporte público sin satisfacer las necesidades básicas de los usuarios, debido a que empeoran cada vez más según transcurre el tiempo y generan costos más elevados en mantenimiento según la cantidad de kilómetros recorridos a lo largo de los años que se encuentren en servicio.

En consecuencia, esta situación obliga a las empresas de transporte público, como Metbus en el caso de Chile, a buscar opciones más eficientes y sostenibles que puedan revertir esta situación, es por ello que los buses eléctricos se presentan como la opción más viable y de mayor eficiencia (Delgado & Alejandro, 2018).

De igual manera, a pesar de que los buses eléctricos poseen un costo inicial elevado (de 1.5 a 3 veces el costo del bus convencional), tendrán un ahorro significativo a futuro, pues los costos de mantenimiento y energía representan una mínima fracción de su contraparte convencional (Guerrero-prado et al., 2015).

Tabla 1:

Comparación de precios entre los buses Convencionales, Híbridos y Eléctricos

Mercado	Diesel Convencional	Híbrido	Eléctrico	Costo adicional Híbrido	Costo adicional Eléctrico
China	\$60,000-\$90,000	\$125,000-\$200,000	\$280,000-\$350,000	115%	420%
India	\$75,000-\$110,000	\$175,000-\$225,000	\$325,000-\$410,000	130%	300%
Rusia	\$130,000-\$180,000	\$245,000-\$325,000	\$400,000-\$500,000	85%	190%
América Latina	\$200,000-\$225,000	\$280,000-\$340,000	\$410,000-\$500,000	45%	115%
Resto del Mundo	\$100,000-\$350,000	\$195,000-\$500,000	\$300,000-\$700,000	55%	120%
Europa	\$250,000-\$350,000	\$420,000-\$510,000	\$575,000-\$680,000	55%	110%
Norte América	\$300,000-\$400,000	\$485,000-\$540,000	\$595,000-\$690,000	45%	85%
Promedio	\$200,000	\$330,000	\$480,000	65%	140%

Adaptado de Frost & Sullivan (2013)

Asimismo, Guerrero-prado et al., (2015) señala que los buses eléctricos son perfectos para posibles escenarios de tráfico vehicular, lo cual es común en países en vía de desarrollo, debido a que el bus eléctrico no consume energía mientras se encuentra sin desplazarse, además no genera ninguna clase de contaminación ni ruidos en este tipo de situaciones. Por otro lado, los mismos autores refieren que más allá de un ahorro económico y ambiental, los buses eléctricos representan un importante impacto positivo en la sociedad, puesto que aportan una mayor calidad en la salud pública al generar menor contaminación auditiva (debido a que los motores eléctricos son mucho más silenciosos).

Finalmente, el caso más representativo respecto de transporte público eléctrico se encuentra en China con dos de las flotas activas más grandes en el mundo, las de Shenzhen y Zhengzhou, las cuales operan desde el 2011 y poseen un incremento significativo en sus unidades vehiculares hasta la actualidad, llegando a los 1300 buses eléctricos (Grütter, 2015). Asimismo, según el mismo autor, estas ciudades se hicieron cargo de la construcción de la infraestructura necesaria para el funcionamiento de este sistema de buses, implementando puntos de carga a lo largo de sus recorridos establecidos, los cuales les permite tener una carga rápida de aproximadamente 2.5 horas con una autonomía de 120km.

La adquisición de estos buses eléctricos representa un acto ejemplar de cooperación interorganizacional del gobierno central, local y empresas privadas operadoras de esta tecnología, puesto que el costo total de estos buses fue fraccionado entre estas tres entidades, teniendo las dos primeras un 25% de participación y la última un 50%, lo cual amortiza el costo elevado de los buses eléctricos y los vuelve una buena inversión (Grütter, 2015). Asimismo, el mismo autor señala que en el caso de Zhengzhou, con el uso de 110 unidades vehiculares eléctricas, existe un ahorro de 1000 toneladas de CO₂, 10 toneladas de NO_x y 0.1 toneladas de material particulado. Por otro lado, en el caso de Shenzhen, con el uso de 1300 unidades vehiculares eléctricas, existe un ahorro de 27000 toneladas de CO₂, 200 toneladas de NO_x y 2 toneladas de material particulado.

Finalmente, el mismo autor citando a la IGES database (2014) menciona que existe un ahorro del 45% en términos de emisiones de GEI y que este gran avance logrado por China fue desarrollado a pesar de que el factor de carbono que tienen, basado en el margen combinado (CM) que describe el promedio de CO₂ producido al momento de generar energía eléctrica para estos buses, es de 0.89, lo cual la ubica encima del promedio mundial.

3.5 FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS BUSES

ELECTRICOS:

Según Grütter (2014), A pesar de las diversas ventajas que posee los buses eléctricos, tales como cero emisiones de GEI, bajo costo operativos en los recorridos de transporte, etc. Es importante recalcar que el costo de estos vehículos representa aproximadamente el doble de valor que el de los buses convencionales. Asimismo, poseen una tasa de disponibilidad más baja, pues al ser una tecnología en pleno desarrollo, el número de fabricación y disponibilidad de repuestos es limitado.

Sin embargo, Grütter (2014) coincide con Barrientos et al., (2019), en que existen diversos países (Reino Unido, Suiza, etc.) y entidades que brindan oportunidades de financiamiento por carbono y políticas de incentivo para esta clase de tecnologías innovadoras, como NAMA, CTF, Global Environment Facility, etc.

En ese sentido, Solís (2018) refiere que diversos países europeos tomaron distintas medidas a favor del desarrollo e implementación de los vehículos híbridos y eléctricos en sus territorios, centrándose en la reducción y excepción de impuestos, entre los casos más destacados se pueden mencionar:

Tabla 2

Medidas adoptadas por distintos países en favor de los vehículos eléctricos

PAIS	Exento o con descuentos en los impuestos de circulación, registro o matrícula	Exento o con descuentos a las corporaciones que usan vehículos eléctricos	Existe Programas de apoyo a la implementación de vehículos ecologicos	Existe bonos economicos por compra o actualizacion de un vehiculo electrico	Características Especificas
Austria	X	X			Se aplica un dcto al IVA a todo vehiculo con cero emisiones de GEI
Bélgica	X	X		X	
Chipre	X				
Polonia	X				
República Checa	X				
Dinamarca	X		X		Esta medida se encuentra aplicada hasta el 2020
Francia	X	X	X	X	El programa de financiación aporta hasta 4000 euros por la renovación de un vehículo diesel por uno eléctrico
Letonia	X	X			los vehículos eléctricos cuentan con la tarifa mas baja por inspecciones vehiculares.

Adaptado de Solís (2018)

Continuación Tabla 2

Medidas adoptadas por distintos países en favor de los vehículos eléctricos

PAIS	Exento o con descuentos en los impuestos de circulación, registro o matrícula	Exento o con descuentos a las corporaciones que usan vehículos electricos	Existe Programas de apoyo a la implementacion de vehiculos ecologicos	Existe bonos economicos por compra o actualizacion de un vehiculo electrico	Caracteristicas Especificas
Luxemburgo	X		X		Poseen el impuesto mas bajo de circulación y se benefician con una degravacion fiscal de 5000 euros en su impuesto de registro
Malta	X				
Países Bajos	X	X			Medidas adoptadas hasta el 2021
Portugal	X				
Rumania	X		X	X	Existe un programa que que brinda bonos de hasta 10000 euros por la adquisicion de veijhiculos electricos.
Eslovaquia	X				Poseen la tasa de impuetsno mas baja de Europa, solo33 euros
Eslovenia			X	X	los Bonos economicos inician en 4500 euros hasta los 7000 Euros
España	X		X		
Suecia	X	X	X		Los vehiuos electricos estan excentos de toda clase de impuestos por un periodo de 5 años
Reino unido	X	X	X		Los vehiuos electricos estan excentos de toda clase de impuestos en su primer año de uso

Adaptado de Solís (2018)

Sin embargo, existen algunos países europeos que aún no presentan medidas de impulso a esta nueva tecnología, a pesar de que tienen un mercado activo de vehículos eléctricos, entre los cuales se encuentran Croacia, Estonia y Lituania (Solís, 2018).

Por otro lado, según Freile (2016) existen algunos casos representativos en Sudamérica, en los que diversos programas gubernamentales y privados tienen la intención de introducir esta nueva tecnología en sus sistemas de transporte, entre los más representativos se pueden mencionar:

- Uruguay:

En Uruguay, luego de diversos estudios realizado por el Ministerio de Industria, Energía y Minas, se implementó una red de taxis eléctricos en la ciudad de Montevideo, la cual demostró poseer diversas ventajas en comparación de los taxis basados en motores a combustión. En ese sentido, para que su implementación fuera posible, el

poder ejecutivo de este país apoyo al proyecto al liberar de impuestos de arancel a los vehículos eléctricos por el plazo de dos años.

- Colombia:

Colombia es de los países sudamericanos con el mayor avance en cuanto sostenibilidad ambiental en su sistema de transporte. En ese sentido, en busca de nuevas tecnologías para su mejora continua, el gobierno de Colombia creó el decreto 677, el cual se centró en la necesidad de desarrollar la movilidad eléctrica para favorecer el sistema de transporte público en Bogotá. De esta manera, con el apoyo del poder ejecutivo y de las secretarías de ambiente y movilidad, se logró implementar una flota inicial de 50 vehículos eléctricos para el programa de BIOTAXIS, el cual facilita a cualquier conductor de vehículos a combustión de realizar el cambio de su unidad por una unidad eléctrica.

- Ecuador:

En Ecuador, la empresa privada Renault instó a las autoridades gubernamentales de brindarle una oportunidad al transporte eléctrico, con el argumento de las múltiples ventajas económicas y ambientales que esta tecnología posee. En consecuencia, esta empresa privada brindó un vehículo eléctrico a la empresa pública de correo de Ecuador para demostrar todos sus beneficios.

En ese sentido, Guerrero-prado et al., (2015) señala que el uso de los vehículos eléctricos representa una oportunidad para que las políticas medioambientales se vean reflejadas en objetos útiles y eficientes, con el objetivo de formar conciencia en las generaciones futuras respecto al cuidado del medio ambiente.

Asimismo, la transición a esta nueva tecnología, brinda la oportunidad a todos los países en vía de desarrollo a realizar alianzas con empresas del campo energético y empresas de transporte eléctrico, para amortizar y volver rentable este nuevo tipo de transporte, tomando de ejemplo el caso de China (Grütter, 2015).

Finalmente, es importante señalar que todas las personas merecen un sistema de transporte público digno y de calidad, que sea amigable con la naturaleza y a su vez eficiente en su funcionamiento (Delgado & Alejandro, 2018).

3.6 BENEFICIOS POSIBLES POR LA IMPLEMENTACION DE BUSES ELECTRICOS EN EÑ PERU:

La implementación del bus eléctrico en el transporte público peruano, representaría la materialización de las políticas ambientales propuestas debido a la crisis generada por la emisión indiscriminada de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la formación de conciencia ambiental de los últimos años por parte de los países sudamericanos.

Asimismo, según lo señalado por Grütter (2014) coincidiendo con el Banco mundial (1996), es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías para optimizar las actuales, hasta el punto de volverlas sostenibles, siendo la opción más viable la implementación de buses híbridos y eléctricos en los sistemas de transporte público del mundo.

En consecuencia, según los objetivos planteados al inicio de esta investigación, se realizará una comparativa numérica entre los buses convencionales y los buses eléctricos, en los aspectos ambientales, económicos y sociales, para comprender la factibilidad y posibles beneficios que representará la implementación de la tecnología eléctrica en el transporte público peruano.

3.6.1 Comparación Ambiental:

En primer lugar, el sistema de transporte basado en buses convencionales se caracteriza por el problema de contaminación que genera al ponerse en funcionamiento, esto es evidenciado por las altas emisiones de GEI al usar los combustibles fósiles que requieren sus motores, causando un excesivo nivel de concentración de material particulado en el ambiente.

Por otro lado, si bien es cierto que existen alternativas más limpias de combustibles para este tipo de buses convencionales, como el etanol, biodiesel, GNV, GLP, etc. Diversos autores como Grütter (2014) y Aláez et al., (2010) ratifican que, a pesar de la existencia de una amortización considerable en la contaminación emitida por estos vehículos, estos siguen teniendo una participación activa dentro del problema, por lo que solo se generaría una solución transitoria.

Lamentablemente, una gran parte de estos vehículos se encuentra en Sudamérica, como se puede observar en el grafico estadístico de la figura 6 presentada por Frost & Sullivan (2013). De igual manera, las proyecciones indican que en esta parte del continente se puede llegar a la adquisición del 21% del total de buses convencionales para este año. Sin embargo, esta estadística es bastante debatible puesto que la crisis en la economía mundial, causada por

pandemia del COVID-19, estanco el proceso de producción de estos vehículos y no se llegó al porcentaje proyectado por el autor mencionado.

En segundo lugar, en el caso de los vehículos eléctricos, se puede concluir que una de las principales características de su fuente principal de energía, las baterías de Ion-Litio, es que se garantiza que el vehículo genere cero emisiones de GEI al ambiente. Asimismo, esta clase de vehículos es ideal para escenarios de tráfico de los países sudamericanos, puesto que no gasta energía ni emite ningún tipo de contaminante mientras el vehículo se encuentra en estado estático con el motor encendido.

De igual manera, según lo señalado por Aláez et al., (2010), se vienen desarrollando otras tecnologías basadas en el mismo concepto de cero emisiones para los buses de transporte público, tales como buses eléctricos basados a pilas de combustible de hidrogeno o los vehículos con motor a hidrogeno. Sin embargo, estas alternativas no llegan a ser viables actualmente, puesto que aún no logran un avance considerable en su desarrollo como para considerarlos como opciones viables.

Para obtener evidencia numérica en el tema ambiental y lograr una comparativa cuantificable entre los buses convencionales y eléctricos, el presente proyecto evaluara los estudios mencionados en el subcapítulo 3.3, los cuales fueron realizados en los países de Colombia, Chile y China.

Por un lado, el caso de china es cuantificable para el caso peruano, pues brinda una posible proporción entre los parámetros contaminantes establecidos (CO_2 , NO_x y Material particulado). Sin embargo, el ahorro de los gases contaminantes no llega a ser el máximo posible, debido a que sus unidades vehiculares eléctricas solo recorren 2000 km anualmente.

Tabla 3

Ahorro en toneladas por año, según el tipo de contaminante (China)

Caso	unidades vehiculares	CO₂	NO_x	Material particulado
Zhengzhou - China	110	1000	10	0.1
Shenzhen - China	1300	27000	200	2

Fuente: Elaboración propia basada en Grütter (2014)

Tabla 4

Ahorro en toneladas por año, según el tipo de contaminante (China) – análisis individual

Caso	unidades vehiculares	CO₂	NO_x	Material particulado
Zhengzhou - China	1	9.09	0.09	0.0009
Shenzhe - China	1	20.77	0.15	0.0054

Fuente: Elaboración propia basada en Grütter (2014)

Asimismo, es observable que el ahorro de gases contaminantes es directamente proporcional con el número de buses eléctricos implementados en las líneas de transporte público. En ese sentido, se puede concluir que, en el caso de Shenzhen, el ahorro de GEI aumenta en comparación con Zhengzhou, debido a que posee una mayor cantidad de buses implementados en sus rutas de transporte.

En la siguiente tabla se puede observar, en porcentaje, la diferencia de ahorro de gases contaminantes entre ambos casos, debido al número de unidades eléctricas implementadas en las flotas mencionadas:

Tabla 5

Comparación de ahorro de gases contaminantes, según el número de vehículos implementados (China)

Caso	unidades vehiculares	CO₂	NO_x	Material particulado
Zhengzhou - China	110	100%	100%	100%
Shenzhen - China	1300	228.49%	166.67%	600%

Fuente: Elaboración propia basada en Grütter (2014)

Por otro lado, en el caso de Colombia, las proyecciones presentadas para el reemplazo del 30% unidades vehiculares de la flota de la empresa MIO en Cali, se encuentran basadas en el recorrido de 100000 km por año, por cada una de las unidades existentes. En ese sentido las proyecciones arrojan un ahorro de gases contaminantes mucho mayor que los casos de china.

Tabla 6*Ahorro en millones de toneladas por año, según el tipo de contaminante (Colombia)*

Caso	unidades vehiculares	CO ₂
Cali - Colombia	325*	16

*El número de unidades pertenece al 30% del sistema integrado de transporte MIO en Cali, El tiempo (2016)

Fuente: Elaboración propia basada en Guerrero-prado et al., (2015)

Tabla 7*Ahorro en millones de toneladas por año, según el tipo de contaminante (Colombia) – análisis individual*

Caso	unidades vehiculares	CO ₂
Cali - Colombia	1	0.049

Fuente: Elaboración propia basada en Guerrero-prado et al., (2015)

En este contexto, es posible realizar una comparación individual entre los tres casos presentados, con el objetivo de obtener resultados numéricos sobre el ahorro de gases contaminantes frente a una posible implementación de buses eléctrico en el sistema de transporte público peruano, ya que todos los casos poseen el mismo proveedor de vehículos eléctricos, la empresa China BYD, por lo que es esperable contar con similares valores en los ahorros de gases contaminantes. Asimismo, es importante mencionar que la obtención de los parámetros numéricos mencionados se basará en la proporción existente del caso Zhengzhou, puesto que se apega más un escenario de introducción eléctrica para el caso de países sudamericanos.

De igual manera, se utilizó las condiciones del caso de Cali, 100000 km de recorrido anual, para obtener el parámetro del CO₂, ya que al ser un país sudamericano posee similares porcentajes de contaminación que el caso peruano.

Tabla 8*Ahorro en toneladas por año, según el tipo de contaminante (Perú) – análisis individual*

Caso	unidades vehiculares	CO ₂	NO _x	Material particulado
Perú	1	49000	4900	49

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se concluye que la implementación del bus eléctrico perteneciente al corredor complementario de la línea 201 de la Av. Javier prado, con un recorrido anual de 100000 km por año, representaría el ahorro de 49000 toneladas de CO₂, 4900 toneladas de NO_x y 49 toneladas de material particulado.

3.6.2 Comparación Económica:

Para la comparación económica, diversos autores, entre ellos Guerrero-prado et al., (2015), Grütter (2014), Barrientos et al., (2019), coinciden en que en la actualidad el costo del bus eléctrico es bastante elevado en comparación con el bus convencional. Sin embargo, afirman que es de suma importancia alentar esta nueva tecnología, con el objetivo de que en un futuro cercano este nuevo sistema de transporte público se vuelva sustentable para todos los países del mundo.

En ese sentido, se realizará una comparación objetiva sobre el costo económico actual de los vehículos eléctricos en comparación con los convencionales, teniendo como objetivo la obtención de datos acerca del ahorro económico que se puede representar la implementación de los primeros y finalmente se presentará diversas estrategias tomadas por varios países a favor de la electrificación de los sistemas de transporte público.

3.6.2.1 Comparativa de precios de compra:

Utilizando los estudios de Guerrero-prado et al., (2015), Frost & Sullivan (2013) y (Delgado & Alejandro, 2018), se pudo comprobar que el precio de compra de los buses eléctricos para el transporte público llega a alcanzar hasta el 389% del precio de los buses convencionales. En ese sentido, diversos autores justifican este elevado valor refiriendo que al ser una tecnología reciente, es normal que el precio de compra sea elevado.

Tabla 9

Comparación de precios de buses eléctricos y convencionales

Región	Bus convencional	Bus eléctrico	% de costo adicional
América Latina	\$200,000-\$225,000\$	\$410,000-\$500,000	222.22%
Europa	\$250,000-\$350,000	\$575,000-\$680,000	194.29%
Norte América	\$300,000-\$400,000	\$595,000-\$690,000	172.50%
China	\$60,000-\$90,000	\$280,000-\$350,000	388.89%
Rusia	\$130,000-\$180,000	\$400,000-\$500,000	277.78%

Sin embargo, todos los autores mencionados coinciden en que la implementación progresiva de esta tecnología en el transporte público de diversos países del mundo, tendrá un impacto positivo en el precio de los mismos, puesto que al incrementarse la demanda el precio de compra se reducirá significativamente.

3.6.2.2 Ahorro económico en los buses eléctricos:

Los casos presentados en esta investigación demuestran que, la adquisición de buses eléctricos puede ser tomada como una inversión a largo plazo, ya que de esta manera se generarían diversos beneficios económicos, debido a que los costos de energía y mantenimiento son mínimos al compáralos con los necesarios para los vehículos convencionales.

En ese sentido, el estudio realizado por Guerrero-prado et al., (2015) mencionado el subcapítulo 3.4, refiere que el funcionamiento de un bus eléctrico exclusivo para el transporte público, con una duración de 5 años y un recorrido de 100000 km por año, es posible obtener un ahorro económico de 228,333.00 dólares en temas combustible al compararlo con el bus convencional. Asimismo, el mismo autor menciona la existencia de un importante ahorro en el costo social del carbono.

Por otro lado, autores como Grütter (2014) sostienen que actualmente los buses eléctricos no cuentan con las características necesarias para ser proyectos económicamente viables, puesto que, al ser una tecnología reciente, pierden en los costos económicos de manera estrepitosa frente a sus rivales convencionales e híbridos. Sin embargo, el autor acepta que el financiamiento por carbono puede brindar un giro esencial en la industria, llegando a considerarlos buenas inversiones por parte de los países que quieran adquirirlos.

Finalmente, se concluye que, a pesar de los ahorros proyectados a lo largo de la vida útil de un bus eléctrico, el costo económico de los mismos es aún elevado, debido a que se encuentran en la etapa introductoria de su implementación en el transporte público Mundial. Asimismo, la poca variedad de fabricantes de esta clase de vehículos, en su mayoría fabricantes chinos, ralentiza la competencia de mercado, impactando de manera negativa en la evolución de su costo económico. Sin embargo, la existencia de diversas entidades y organizaciones que brindan bonos económicos a los países que optan por su implementación, podría aumentar la

demanda de los mismos y generar una caída en el precio de compra inicialmente planteado, volviéndolos asequibles.

3.6.2.3 Estrategias económicas de implementación:

Debido a la crisis ambiental que actualmente asola el mundo, entidades públicas y privadas ofrecen beneficios económicos a los países, empresas o personas que deciden optar por el uso de vehículos eléctricos.

En ese sentido NAMA, CTF, Global Environment Facility, etc brindan ayuda económica y participación activa dentro de los proyectos de transporte público que tengan como combustible base la energía eléctrica. Asimismo, diversos países europeos y sudamericanos poseen políticas de beneficio para el uso de estos vehículos dentro de sus territorios, tal como se puede observar en el subcapítulo 2 del presente estudio.

Finalmente, es importante mencionar el caso de China, como el ejemplo más representativo de cooperación interorganizacional entre empresas públicas y privadas para lograr la electrificación masiva de su sistema de transporte público. En ese sentido, la participación de corporaciones energéticas como Global Sustainable Electricity Partnership (GESP), Hydro - Québec y Enel X, con el estado peruano en la implementación del primer bus eléctrico en el sistema de corredores complementarios, brinda un panorama alentador sobre una posible electrificación futura del transporte público peruano.

3.6.3 Comparación Social

Además de las múltiples ventajas que tienen los buses eléctricos sobre los convencionales, se encuentra el valioso e inusitado aporte que brinda esta tecnología a la sociedad en temas de salud y reducción de accidentabilidad.

En ese sentido, Guerrero-prado et al., (2015) señala que en el estudio realizado en Cali se pudo verificar el impacto negativo de los buses convencionales sobre la sociedad, representados principalmente por la contaminación ambiental y auditiva que producen, aumentando la índice accidentabilidad del sistema de transporte público y generando enfermedades físicas a los usuarios, como Cáncer al pulmón, o enfermedades neurodegenerativas, como el Parkinson.

En la misma línea, Delgado & Alejandro, (2018) añade que además de los problemas mencionados anteriormente, el servicio de transporte público convencional no logra ser un servicio de calidad completa, puesto que las unidades vehiculares no llegan a satisfacer las necesidades básicas de los usuarios.

En ese sentido, se puede concluir que la implementación masiva de buses eléctricos tendría un impacto positivo en la sociedad en los puntos antes mencionados, debido a que son vehículos ecológicos con cero emisiones de GEI y cero contaminaciones auditivas, no dañarían la salud física ni mental de sus usuarios. Asimismo, Delgado & Alejandro, (2018), mencionan que las unidades vehiculares, modelo K9FE, producidas por la empresa BYD, que funcionan actualmente en Chile, cuentan con todas las nuevas tecnologías requeridas para brindar un servicio de calidad y seguridad a los usuarios finales.





CAPÍTULO 4
**Comparativa económica entre infraestructuras del
transporte eléctrico y convencional**

4.1 EL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN EL PERÚ:

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2005), el sistema de transporte público, basado en buses convencionales, posee un papel de suma importancia en la economía de la Ciudad de Lima y de la región Callao, debido a que este sistema es usado por 9.32 millones de personas diariamente.

En 1990, el transporte público peruano se desarrolló en medio de una expansión demográfica importante, la cual tenía necesidad de transporte y escasez de recursos para costearlo, debido a ello la primera etapa del transporte público se caracterizó por la informalidad producida por la nula regulación de su sistema por parte del estado (Martínez, 2017).

De igual manera, este sistema de transporte público informal era socialmente aceptado puesto que representaba una fuente de empleos para la gente de bajos recursos, sin la necesidad de apoyo económico de parte del estado (De Soto, 2000). En esa línea, según Gwilliam et al., (1996) este conjunto de transportistas improvisados e informales generaban una gran cantidad de congestión y contaminación ambiental.

En consecuencia, según Estache et al., (2004) se optó por realizar una serie de regulaciones para extirpar los agentes informales y reducir la sobreoferta existente. De igual manera, el mismo autor refiere que esta serie de medidas contribuía a generar y alentar oportunidades de negocio a una nueva organización de empresas que pudieran invertir en buses de mayor tamaño y de mejor eficiencia para reducir la congestión y contaminación ambiental.

En ese contexto, se decidió implementar un nuevo sistema de buses rápidos, los cuales eran recomendados por el Banco mundial desde 1975 debido a que este sistema era considerado como uno de los más eficientes y apropiados para todos los sistemas de transporte público (Hook, 2005). En consecuencia, Martínez (2017) menciona que, debido a la implementación de estas regulaciones, se logró erradicar 3500 vehículos que interferían con el nuevo proyecto de los buses rápidos, lo cual dio paso a la creación de sistemas de transporte público como el "Metropolitano" y "Pro- Transporte".

Asimismo, Martínez (2017) señala que se desarrollaron nuevos puntos en la legislación peruana enfocada en las vías saturadas, las cuales indican que, si las vías de transporte se encuentran en un estado de saturación evidente, las municipalidades poseen el derecho de hacerse cargo del sistema de transporte público de buses, con el objetivo de optimizar su servicio y garantizar el adecuado uso de las mismas. En ese sentido, el mismo autor indica que las entidades municipales se apoyaron en esta nueva legislación y optaron por la creación de corredores

complementarios conformados por buses convencionales de tamaño estándar de 12 m, como el corredor complementario de la Av. Javier prado, los cuales combaten la informalidad y brindan un servicio de mayor calidad a los ciudadanos en comparación con las típicas combis o custers informales.

4.1.1 Sistema de transporte de buses rápidos en el Perú:

Como se mencionó anteriormente, luego de la regularización del transporte público en el Perú (el cual llego a erradicar aproximadamente 3500 vehículos), se logró implementar un sistema de transporte publico basado en Buses rápidos de 12m de largo, los cuales brindanban un servicio formal y de mejor calidad en comparación al anterior sistema (Martínez, 2017).

Se conoce que este tipo de sistemas de transporte tiene origen en los países en vía de desarrollo de Latinoamérica, siendo su principal objetivo el implementar buses de capacidad expandida para asemejarse a una especie de trenes urbanos (Martinez,2007). Sin embargo, según el mismo autor, este tipo de sistemas debe ser comparado previamente con un sistema de trenes convencionales para comprobar su viabilidad económica y social.

Asimismo, Perera (1998) refiere que el primer estudio sobre un sistema de transporte de buses rápidos para el transporte público, se realizó en nuestro país fue en el año 1998 y fue financiado por el banco mundial, el cual planteo implementar trenes urbanos (buses de 12m) en la ruta de la Vía expresa, el cual hubiera tenido el sentido de sur a norte comenzando en la zona céntrica de Lima (ruta de 8 km) y con una proyección de generar un sistema de transporte de 67 km de recorrido.

De igual manera, Martínez (2007) cita al consejo de Transporte de Lima y Callao (1999), al referir que este sistema poseía características propias de un sistema de transporte masivo de alta capacidad, entre las cuales se podían destacar los Paraderos exclusivos para el sistema, carriles especiales y un sistema de pago digital.

Asimismo, el mismo autor cita a Protransporte (2002;2003) al referirse que en al año 2002 se decidió incluir al cono sur dentro de la ruta del nuevo sistema de transporte, por el distrito de chorrillos. De igual manera, el mismo autor refiere que posteriores estudios recomendaron limitar la ruta entre el cono Norte y cono Sur, excluyendo al cono Noreste por temas de viabilidad económica.

Según Protransporte (2004), Para el año 2004, antes del inicio de su construcción, y luego de diversos estudios realizados, se definió la ubicación de la estación central subterránea de todo el sistema de transporte debajo de la plaza Grau, a la cual se accedería mediante un túnel desde la Av. Alfonso Ugarte.

Finalmente, Martínez (2007) concluye que la implementación del Sistema de transporte de buses rápidos en el Perú, tuvo a lo largo de su proyección y construcción diversos desafíos, como la alta variación en el precio económico y social del mismo, la escasa estructura existente para el transporte público, el desequilibrio entre el incremento del parque automotor y la construcción de proyectos viales, etc.

De igual manera, el mismo autor menciona que con el pasar de los años el parque automotor seguirá aumentando y, en consecuencia, aumentaran el tráfico y la contaminación, es por ello que se necesita investigar nuevas tecnologías que ayuden a implementar sistemas de transporte publico inteligente, sostenible y eco amigables, los cuales reduzcan la contaminación generada por el transporte público implementado actualmente.

4.1.2 Costos directos de la infraestructura del sistema de transporte público:

El caso más grande y representativo del sistema de transporte publico peruano es el Metropolitano, el cual cubre la ruta desde el cono norte hasta el cono sur según Protransporte (2004).

En primera instancia, Según Martínez (2007) citando al consejo de Transporte de Lima y Callao (1999), se conoce que este proyecto contaba con características propias de un sistema de transporte común (Buses estándares a combustión de 2 puertas, carriles especiales, etc.), el cual abarcaría la totalidad de la vía expresa y el cono Noreste con un costo inicial de 21.5 millones de dólares.

Sin embargo, según Bonini et al., (2002), en el año 2002 el banco mundial decidido incrementar su aporte económico a 120 millones de dólares, con el objetivo de incrementar la magnitud del proyecto, elevándolo a un sistema de transporte masivo basado en buses rápidos, el cual tendría un servicio de mayor capacidad, calidad y eficiencia. Asimismo, el mismo autor señala que

este nuevo aporte tenía por objetivo extender la longitud del sistema a 40km, abarcando así el cono Norte y el Cono Noreste.

Sin embargo, según Martínez (2007) refiriéndose a Protransporte (2002;2003) señala que posteriores estudios indicaron que el sistema de transporte basado en buses rápidos solo debía abarcar el cono Sur, mejorando e implementando las estaciones con una mayor capacidad, plataformas elevadas (como en el caso de los trenes), carriles exclusivos para los buses y unidades vehiculares articuladas de 12 metros. De igual manera, el mismo autor menciona que estos estudios recomendaban la construcción de una infraestructura especializada en la intersección de la vía expresa y la plaza Grau, proyectándose de esta manera una estación central subterránea en esta ubicación.

En resumen, esta serie de modificaciones exclusivamente relacionadas con la infraestructura del proyecto, generó una variación importante en el costo económico, el cual se incrementó de los 21.5 millones de dólares iniciales a unos 206 millones de dólares, logrando construir 33 km de carriles exclusivos para buses rápido y demostrando la inexistencia de infraestructura vial especializada en nuestro país en ese momento (Protransporte, 2004).

Finalmente, el mismo autor señala que la financiación de este proyecto se logró con el aporte de diversas organizaciones no gubernamentales como el Banco Mundial (WD) y en Banco Interamericano de desarrollo (BID), los cuales brindaron 162 millones de dólares en conjunto y la Municipalidad Metropolitana de Lima un restante de 44 millones de dólares.

4.1.3 Costos indirectos de la infraestructura del sistema de transporte público:

Como se explicó en el punto anterior, el costo de la infraestructura del transporte público actual tuvo incrementos importantes debido a las modificaciones realizadas. Sin embargo, según Martínez (2007) refiriéndose al consejo de Transporte de Lima y Callao (1999), existieron una serie de costos sociales extras que se fueron apareciendo según se producían las modificaciones mencionadas en el proyecto.

En ese sentido, la implementación del nuevo sistema de transporte, junto con los proyectos complementarios al mismo, generaron el reemplazo de miles de unidades vehiculares informales, las cuales trabajaban anteriormente en el sector transporte por las rutas que

abarcar este nuevo proyecto. De esta forma, el costo social fue gravemente afectado, llegando a incrementarse siete veces al monto inicialmente proyectado (Protransporte, 2004).

En consecuencia, se estima que el costo social se tradujo en unos 10481 vehículos afectados, los cuales tuvieron un costo de erradicación individual de 3000 dólares por cada combi y 7000 dólares por cada bus, ambos debían contar con más de 20 años de antigüedad (Swiss Contact, 2003). Sin embargo, el mismo autor sostiene que a pesar de los 10 millones de dólares financiados por el Global Environmental Facility (GEF) para la erradicación de los vehículos afectados, solo se lograron erradicar 3500 unidades vehiculares debido a que el monto no era suficiente para cubrir la totalidad del mercado informal y que muchos transportistas prefirieron trabajar en este mercado para lograr una retribución mucho mayor a la ofrecida por las autoridades.

Por otro lado, el Gobierno Peruano (2004) señala que para enfrentar los problemas de contaminación debido a los gases de efecto invernadero, diversas ciudades, entre ellas Lima, decidieron implementar combustibles más limpios, como el etanol, biodiesel, y gas natural, para el abastecimiento del transporte público (Sistemas de Buses rápidos) y privado. En ese sentido, el sistema de transporte público más representativo de Lima, el Metropolitano, fue el primer sistema integrado de transporte público en contar con el gas natural como principal fuente energética de toda su plataforma.

Sin embargo, según la misma fuente, se conoce que esta implementación representó una importante inversión económica por parte del estado peruano, debido a que se necesitaba infraestructura especializada para la explotación y el traslado de este recurso energético, la cual garantice el abastecimiento del mismo a un bajo costo económico. En ese sentido, se conoce que la última inversión realizada por el estado peruano para la construcción de infraestructura relacionada con la explotación de gas natural, la refinería de Talara (Piura) y el Gasoducto del sur (Cusco), ascienden a un total de 6.3 billones de dólares.

Asimismo, Kojima (2001) afirma que, de no implementarse un gasoducto para el traslado del gas natural, este no sería económico y no representaría una alternativa competitiva frente a otros recursos energéticos más contaminantes, por lo que se es necesario la realización de estudios de factibilidad para invertir en proyectos económicamente viables.

Finalmente, el mismo autor señala que si bien los buses de transporte público que usan gas natural emiten menor cantidad de gases contaminantes en comparación los buses convencionales, estos resultan ser mucho más caros, ya que los costos de adquisición, mantenimiento y operación sobrepasan por mucho a su par convencional.

4.2 INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE ELÉCTRICO:

Desde la introducción de la tecnología eléctrica en el campo del transporte público, existieron diversos obstáculos para su desarrollo e implementación en el sistema vehicular actual, entre todos estos problemas se destacan dos principales, la escasa infraestructura para respaldar el funcionamiento de este tipo de sistemas de transporte y la limitada autonomía de los primeros vehículos de esta nueva tecnología (Solís, 2018).

Se conoce que la infraestructura de recarga del sistema de transporte eléctrico es el eslabón que falta desarrollar para que este sistema pueda superar al transporte basado en hidrocarburos (A. Expósito et al., 2017). Sin embargo, los mismos autores señalan que la implementación de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos se encontraba estancada por el limitado número de unidades activas que existían en años pasados, por lo que resultaba económicamente inviable extender la red de servicios de recarga eléctrica.

En ese contexto, A. Expósito et al., (2017) señalaba que era necesaria la ayuda de entidades públicas y privadas para la implementación inicial de esta infraestructura, teniendo como objetivo impulsar el transporte eléctrico en los diversos sistemas de transporte público del mundo.

En ese sentido, Solís (2018) menciona que, a lo largo de los últimos años, gracias a diversos programas desarrollados por entidades públicas y privadas en favor de los vehículos eléctricos, se ha producido un avance considerable en cuanto a la implementación de infraestructura para el transporte público eléctrico, llegando a concretarse más de 4200 estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos a lo largo del continente europeo.

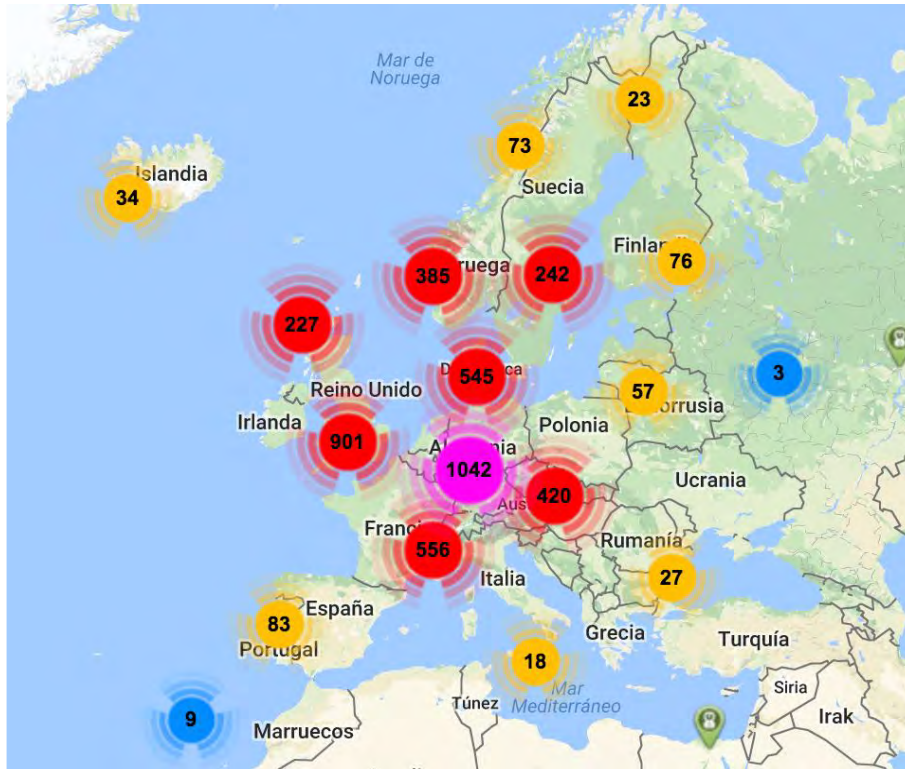


Figura 10: Estaciones de carga para vehículos eléctricos en el continente europeo

Fuente: RACE 2018.

4.2.1 Clasificación de las estaciones de carga según el tipo de servicio:

Las estas estaciones de carga, actualmente activas en Europa y Norteamérica, se dividen en tres tipos de servicio principalmente: privadas, públicas o semipúblicas.

4.2.1.1 Servicio de abastecimiento privado:

Las estaciones privadas hacen referencia a todos los puntos de carga ubicados dentro de viviendas o residencias de los usuarios de vehículos eléctricos, estos puntos de carga funcionan con un sistema simple de caja de conexión, el cual se encuentra conectado a los tomacorrientes usuales de cualquier vivienda. Este sistema de carga posee diversos beneficios, como el ser económicos y no necesitar una membresía especial de recarga. Por otro lado, uno de sus principales puntos en contra es la lentitud de su recarga, llegando a ser 10 veces más lento que la recarga en estaciones de carga rápida (Solís, 2018).



Figura 11: Estaciones de carga privadas para vehículos eléctricos

Fuente: <https://www.sialsolhome.com/blog/regulada-la-infraestructura-para-la-recarga-de-vehiculos-electricos1> (Visitado 15/09/2020)

4.2.1.2 Servicio de abastecimiento público:

Las estaciones públicas son todas aquellas estaciones que se pueden usar de forma multitudinaria, es decir, son estaciones de servicio que se dedican al abastecimiento de energía eléctrica como principal actividad económica. En ese sentido, estas estaciones pueden ser administradas por entidades públicas, como municipios, o por empresas privadas, lo cual es lo más común (Solís, 2018). Asimismo, el proceso de recarga en este tipo de estaciones es la más eficiente pues cuentan con puntos de carga rápida los cuales reducen el tiempo de espera hasta en un 400%.



Figura 12: Estaciones de carga públicas para vehículos eléctricos

Fuente: <http://forococheselectricos.com/2014/04/madrid-ibil-gic-puntos-de-recarga.html> (visitado 15/09/2020)

4.2.1.3 Servicio de abastecimiento Semi público:

Las estaciones semipúblicas se refieren a todas aquellas estaciones de carga que se encuentran dentro de negocios que no se dedican en su totalidad al abastecimiento de energía eléctrica, es decir, los puntos de carga son un complemento a la actividad económica principal. En ese sentido, este tipo de estaciones se encuentran dentro de centros comerciales, cafés, hoteles etc. Donde esta clase de servicios son pagados indirectamente por los clientes, ya sea en el consumo dentro del establecimiento o en las boletas de estacionamiento (Solís, 2018).



Figura 13: Estaciones de carga semipública dentro de C.C. la Marina -Viña del Mar

Fuente: <https://www.puertoaldia.cl/inauguran-en-vina-del-mar-dos-estaciones-de-carga-para-vehiculos-electricos-en-mall-marina> (Visitado 15/09/2020)

Finalmente, se puede observar la relación existente entre la conexión disponible y el tiempo determinado de recarga. En ese sentido, en la tabla 3 se puede observar que, para estaciones privadas, que cuentan con conexiones monofásicas de carga estándar, poseen un tiempo de carga mayor que las estaciones de carga públicas y semipúblicas, las cuales cuentan con un sistema de conexión trifásico y puntos de carga rápida y súper rápida (Freile & Robayo, 2016).

Tabla 10*Tiempos de carga según la conexión existente*

Tipo de carga	Potencia (kW)	Tensión/Amperios	Corriente	Tiempo de recarga
Carga estándar	3.7	230V, monofásica	16A, Corriente alterna	6 a 8 horas
Carga semirrápida	Hasta 20	400 v, hasta 68 A	Corriente alterna	2 a 4 horas
Carga rápida	Hasta 80	400 V, hasta 200 A	Corriente continua	15 a 30 minutos

Adaptado de Freile & Robayo (2016)

4.2.2 infraestructura de las estaciones de carga para el transporte público eléctrico:

Las estaciones de carga son centros de abastecimiento de energía eléctrica exclusivos para las unidades vehiculares que componen el transporte público eléctrico, funcionan conectando la unidad eléctrica a la red de suministro de baja tensión (Muevecela, W., 2018). En esa línea, el mismo autor indica que estos centros de carga se complementan con otros dispositivos electrónicos para cumplir diversas funciones, como Cobros electrónicos, gestión de cargas según los saldos disponibles, software de gestión, etc.

En ese sentido, Cueva (2019) refiere los principales requisitos que debe tener cualquier infraestructura de carga para buses eléctricos, que deseen prestar el servicio de transporte público:

- **Interoperabilidad:** el número de fuentes de carga del sistema debe ser proporcional a las unidades vehiculares a las cuales prestan servicio.
- **Escalabilidad:** La escalabilidad de un sistema es la capacidad que debe poseer el centro de carga de mantener la calidad y eficiencia del trabajo, cuando la flota de buses eléctricos aumente

- **Integración en la infraestructura de la ciudad:** Las obras civiles que pertenezcan al sistema de carga eléctrico deben guardar la parsimonia con las obras viales construidas anteriormente, esto incluye al sistema de paradas de buses eléctricos, al sistema de carga continua o de larga ruta de los mismos.
- **Compatibilidad a nivel de sistema con la red eléctrica:** Previo a la implementación generalizada de un sistema de transporte público eléctrico, debe existir un estudio de ingeniería eléctrica que proponga la mejor opción de abastecimiento energético para el sistema de carga de este servicio, según sean las necesidades y magnitud del mismo.

Por otro lado, Muevecela, W. (2018) señala que toda infraestructura de carga se encuentra compuesta de los siguientes elementos:

- Cargadores
- Conectores
- Elementos de instalación

Estos elementos permiten obtener la energía eléctrica de manera eficiente y económica del suministro local de energía, para lo cual el nuevo sistema debe adaptarse a los requerimientos de potencia, conexión, etc. de la red general de energía. (Muevecela, W. 2018)

4.2.2.1 Cargadores:

La clasificación según el tipo de cargador se basa en la conexión que existe entre el autobús eléctrico y la infraestructura de la estación de carga durante el abastecimiento de energía (Muevecela, W., 2018). Asimismo, según Freile & Robayo (2016) esta conexión puede ser conductiva, por reemplazo de baterías o inductiva.

a) Recarga conductiva:

Este tipo de recarga es la más usada y desarrollada en la actualidad, se asemeja a las estaciones de servicio convencionales pues posee un punto de carga fijo, el cual se conecta por medio de un cable de energía hacia el autobús eléctrico (Freile & Robayo, 2016). Asimismo, entre los sistemas más usados de recarga inductiva se tienen el sistema Pie de Poste y los cargadores tipo pantógrafo (Muevecela, 2018).

Pie de Poste:

Este sistema de carga es el más usado y desarrollado para los vehículos eléctricos en general, una de sus grandes ventajas es que se asemeja a los sistemas tradicionales de

gasolineras, ya que transmite la energía eléctrica desde puntos de carga fijos. Asimismo, para el caso de los buses eléctricos, este tipo de cargador es el elegido comúnmente para abastecer de energía a las unidades vehiculares en los garajes de las principales flotas pues cuenta con mangueras especializadas para un óptimo abastecimiento (Muevecela, W., 2018).



Figura 14: Cargador tipo pie de poste, marca BYD con modulo DTU

Fuente: Muevecela (2018)

Pantógrafo:

Este sistema de carga se asemeja a un poste de luminaria de 5 metros de altura, el cual realiza un proceso de despliegue hacia el techo del bus eléctrico para comenzar el proceso de abastecimiento, la gran ventaja de este sistema es que al ubicarse en las paradas principales realiza la recarga de energía cuando el bus se encuentra en el tiempo de espera para el ingreso de pasajeros, lo cual implica que no hay interrupción en el servicio del mismo (Muevecela, W., 2018).



Figura 15: Cargador tipo Pantógrafo.

Fuente: Muevecela (2018)

b) Recarga por reemplazo de baterías:

Este tipo de carga consiste en el reemplazo de las baterías agotadas por otras idénticas con el 100% de energía, el proceso es rápido y fue implementado en los primeros sistemas de buses eléctricos para evitar la interrupción del servicio por motivos de carga. Sin embargo, se necesita una gran inversión económica para volverla viable (Freile & Robayo, 2016).

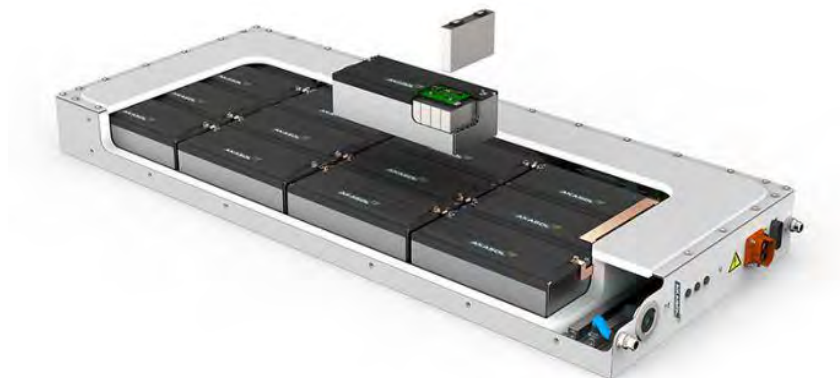


Figura 16: Baterías eléctricas extraíbles de los buses eléctricos

Fuente: imágenes Google

c) Recarga inductiva:

La recarga inductiva es uno de los sistemas de carga que se encuentra en desarrollo, permite recargar los buses eléctricos sin ninguna conexión física mediante el uso de dos bobinas magnéticas, una colocada en el asfalto y la otra en la parte inferior del bus eléctrico. Asimismo, este sistema cuenta con sensores de reconocimiento puesto que solo funcionan con las unidades vehiculares que compatibilizan con la bobina inductiva del asfalto (Muevecela, W., 2018).



Figura 17: Cargador inductivo utilizado en ciudad de Brunswick, Alemania

Fuente: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/recursos-e-informacion-tecnica/cargadores-para-buses-electricos> visitado (27/09/2020)

4.2.2.2 Conectores:

En el caso de los conectores, existe una gran diversidad de tipos y capacidades, usualmente son recomendados y abastecidos por la empresa fabricante de los buses eléctricos. Asimismo, entre los más comunes se encuentran el conector tipo 4 y el conector CCS (Muevecela, W., 2018).

En ese sentido, el conector tipo 4 o CHAdeMO fue desarrollado por TEPCO (Tokyo Electric Power Company) y trabaja con un modo de carga en base a corriente continua, soportando hasta un máximo de 62.5 KW. Por otro lado, el conector CCS es uno de los conectores más usados en el mundo, trabajando con corriente alterna al igual que el conector tipo 4. Asimismo, ambos tipos de conectores se encuentran dentro de la normativa IEC 62196-2 (A. Expósito et al., 2019).(A. G. Expósito, 2019)

Tipo de conector	Corriente máxima [A]	Tensión máxima [V]	Potencia máxima [kW]	Norma	Carga
Tipo 4 ó CHAdeMO 	200 Acc	500 Vcc	50	IEC 62196-3	Ultra-rápida
CCS ó Combo 	63 Aca trifásica 200 Acc	400 Vca trifásica 500 Vcc	50	IEC 62196-3	Rápida

Figura 18: Características de los conectores tipo 4 y CCS

Fuente: Muevecela, W., (2018)

4.2.2.3 Elementos de instalación:

Según Muevecela, W., (2018), El sistema eléctrico de las instalaciones de carga se encuentra compuesto por los siguientes elementos de instalación:

- Contador principal de servicios generales
- Dispositivos generales de mando y protección (DGMP)
- Interruptor general automático (IGA)
- Circuitos interiores de la instalación para carga del vehículo eléctrico (VE)
- Contador secundario
- Circuito o circuitos adicionales de carga del VE, individuales o colectivos

Tabla 11

Potencias normalizadas para estaciones de carga eléctrica

U. nominal	Interruptor automático de protección en origen circuito recarga	Potencia instalada	Nº máximo de estaciones de carga por circuito
230/400 V	16 A	11085W	3
230/400 V	32 A	22170 W	6
230/400 V	50 A	34641 W	9
230/400 V	63 A	43647 W	12

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

Todos estos elementos se encuentran esquematizados en la figura presentada a continuación:

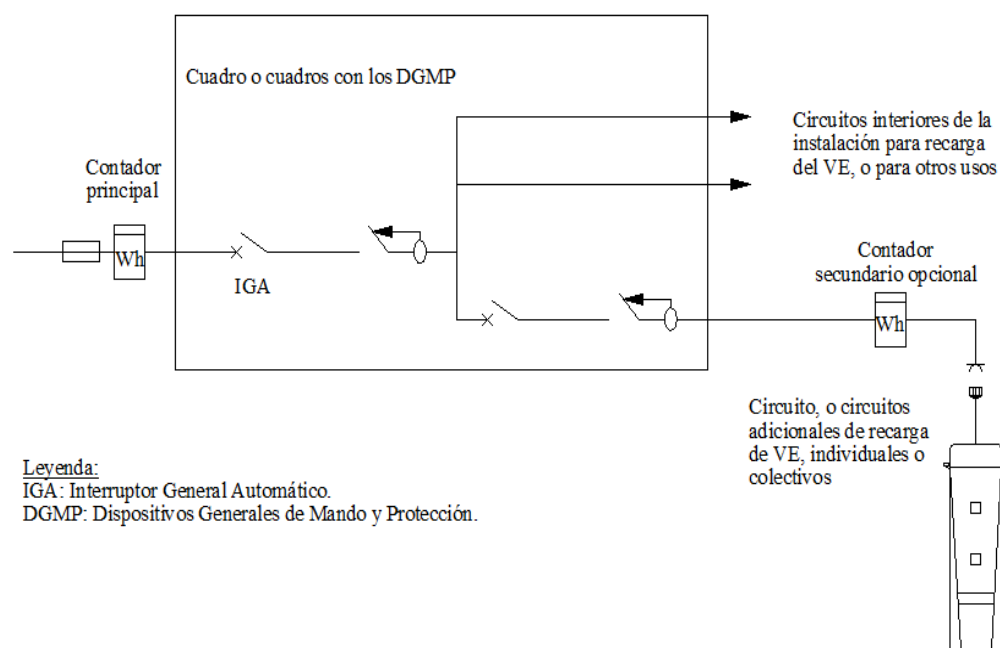


Figura 19: Esquema de instalación para estaciones de carga de buses eléctricos

Fuente: Abad et al., (2019)

4.2.3 Costos directos e indirectos de la infraestructura del sistema de transporte público eléctrico:

Para analizar el costo directo que tendría la implementación de la infraestructura de un sistema de transporte público eléctrico, basado en buses rápidos en la ciudad de Lima, el presente subcapítulo tiene como base el estudio realizado por el autor Muevecela, W., (2018) en la ciudad de Cuenca, Ecuador, para una flota de buses eléctricos de 68 unidades vehiculares.

Asimismo, Cueva Ruíz, G. H. (2019) indica que es importante considerar que, desde el punto de vista de la ingeniería civil, la diferencia principal entre las infraestructuras convencionales y eléctricas, radica principalmente en el sistema de carga que posee esta última, es decir, el transporte eléctrico puede funcionar implementando una serie de mejoras en la infraestructura actual debido a que en esencia son iguales. En ese sentido, al no desarrollar nueva infraestructura vial ni reemplazar rutas o unidades vehiculares convencionales, la presente propuesta no contara con costos indirectos relacionados a estos temas.

4.2.3.1 Diseño de las terminales de carga eléctrica:

Según Cueva Ruíz, G. H. (2019), se define una terminal de carga eléctrica como aquella zona especializada en el abastecimiento de energía eléctrica a las unidades vehiculares que componen el sistema de transporte público eléctrico. Asimismo, el autor afirma que estas terminales deben tener la capacidad de ser eficientes y escalables, debido a que el objetivo principal es la masificación de este medio de transporte y su correcto funcionamiento.

En ese sentido, Muevecela, W., (2018) refiere que para el diseño de las terminales de carga destinadas a sistemas de transporte eléctrico basadas en cargadores del tipo pie de poste, es necesario tomar una serie de factores en cuenta, como el número de unidades vehiculares a cargar, la potencia disponible, el tiempo de duración de carga, etc.

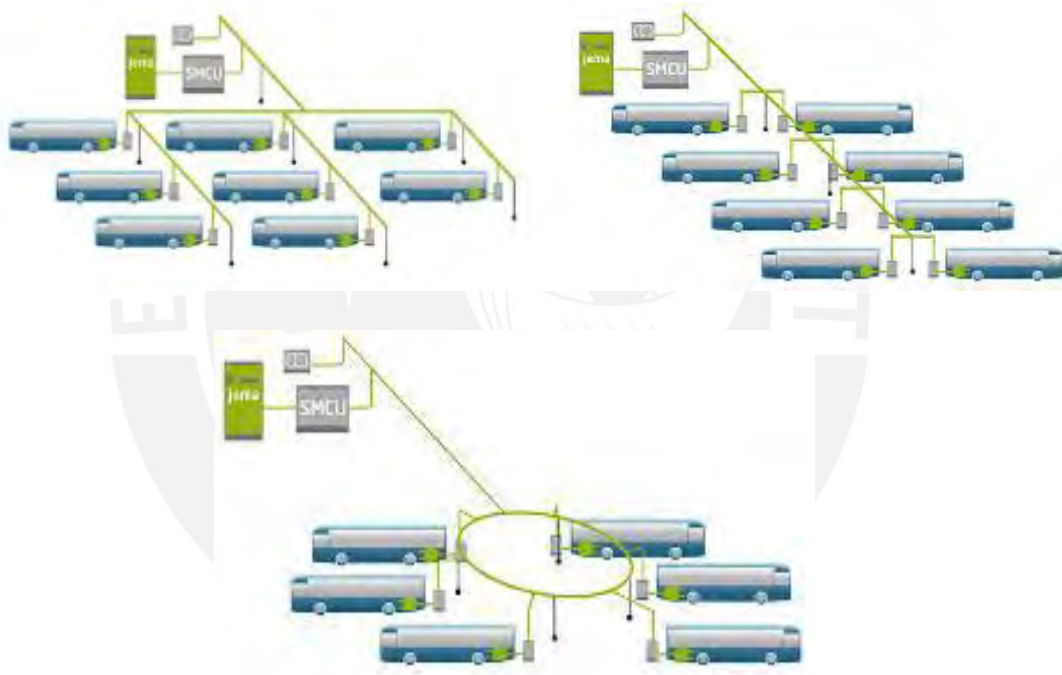


Figura 20: Diseños de terminales de carga eléctricos

Fuente: e. motion (2016)

4.2.3.2 Área requerida para las terminales de carga eléctrica:

Contando con la distribución definida, se procede a realizar el cálculo del área necesaria para una flota de 68 buses eléctricos.

En ese sentido, Muevecela, W., (2018) refiere que el área mínima necesaria para el funcionamiento eficaz de una estación de carga es aproximadamente 202.5 m², el cual abastecería de energía a un máximo de 2 autobuses. Asimismo, Según la investigación

realizada por el mismo autor, se concluyen dos opciones de configuración de área para el abastecimiento óptimo de 68 unidades vehiculares.

En primer lugar, refiere que es necesaria la creación de 6 terminales de carga eléctricas independientes, las cuales deben contar 6 puntos de carga cada una, obteniendo un área individual aproximada de entre 1215 m² a 1386 m².

En segundo lugar, refiere la creación de una única terminal eléctrica con 36 puntos de carga en su interior, obteniendo un área aproximada en el rango de 6336 m² a 7200 m².

Finalmente, el autor en mención concuerda con Cueva Ruíz, G. H. (2019) en que la primera opción es la más adecuada para la configuración de áreas, debido a que brindaría dinámica al sistema de transporte eléctrico puesto se contaría con diversos puntos de carga a lo largo de la ruta de servicio. Sin embargo, Muevecela, W., (2018), afirma que el factor determinante al escoger la configuración de área es la disponibilidad de terrenos y recursos económicos con los que se cuenten.

4.2.3.3 Características primordiales de la infraestructura eléctrica:

Muevecela, W., (2018) propone que la implementación de la infraestructura necesaria para una flota de 68 buses eléctricos, debe tener en cuenta las principales características:

a) Previsión de cargas:

La previsión de cargas sirve para evaluar la magnitud de instalación eléctrica necesaria para el óptimo funcionamiento de la infraestructura del centro de recarga de buses eléctricos. En ese sentido, para una flota de 68 buses eléctricos, usando un factor de potencia de 0.95 según las especificaciones técnicas de conversión de energía del modelo K9FE, la demanda eléctrica calculada para la infraestructura de carga es de aproximadamente 2720 KW, resultando la demanda unitaria por cada bus de 40 KW

b) Línea de distribución en Media Tensión (MT):

La red de distribución de media tensión recomendada para una flota de 68 buses eléctricos, es de 22 KV compuestas por 4 conductores, 3 de fase y uno neutro. Asimismo, el mismo autor propone acometidas compuestas de conductores aislados de media tensión de clase 25 KV, 3x240 mm² + 1x240 mm²: AC-E3x240(240) y conductores de media tensión RHV de clase 25 KV.

c) Centro de seccionamiento

El centro de seccionamiento es el equipo receptor de energía eléctrica proveniente de la acometida de la línea de distribución de media tensión, además, sirve de escudo protector para el centro de transformación, el cual posee una instalación independiente del centro de seccionamiento. Asimismo, según el mismo autor, para una flota de 68 buses se recomienda que el centro de seccionamiento haga uso de celdas RM6 instaladas dentro de un centro de operaciones monobloque de clase 24 Kv, serie ECS 24.



Figura 21: Centro de operaciones monobloque

Fuente: Schneider Electric. (2008).

d) Centro de transformación:

El centro de transformación es el equipo ubicado junto a los centros de carga, encargado del suministro de energía eléctrica, mediante el uso de transformadores, a las estaciones de carga. Asimismo, el centro de carga destinado para una flota de buses de 68 unidades, debe contar con los siguientes elementos:

- Transformador de potencia trifásico con una proporción de transformación de 22 KV/440V y una frecuencia de 60 Hz
- Puentes de conexión primarios con cables de media tensión unipolares de la clase RHZ1, aislamiento 18/30KV, sección de 95mm² y accesorios de conexión.

- Puentes de conexión secundarios con cables de media tensión unipolares de la clase RV, aislamiento 0.6/1 KV, sección de 3x240mm² y accesorios de conexión.
- Celda de línea IM de gama SM6, con dimensiones de 1.6mm de altura 375 mm de ancho y 840mm de profundidad.
- Celda de protección DM1-C de gama SM6, con dimensiones de 1.6mm de altura 750 mm de ancho y 840mm de profundidad.
- Celda de medida de tensión e intensidad GBC-2C de gama SM6, con dimensiones de 1.6mm de altura 750 mm de ancho y 1038mm de profundidad.
- Cabina prefabricada de serie EHC-4

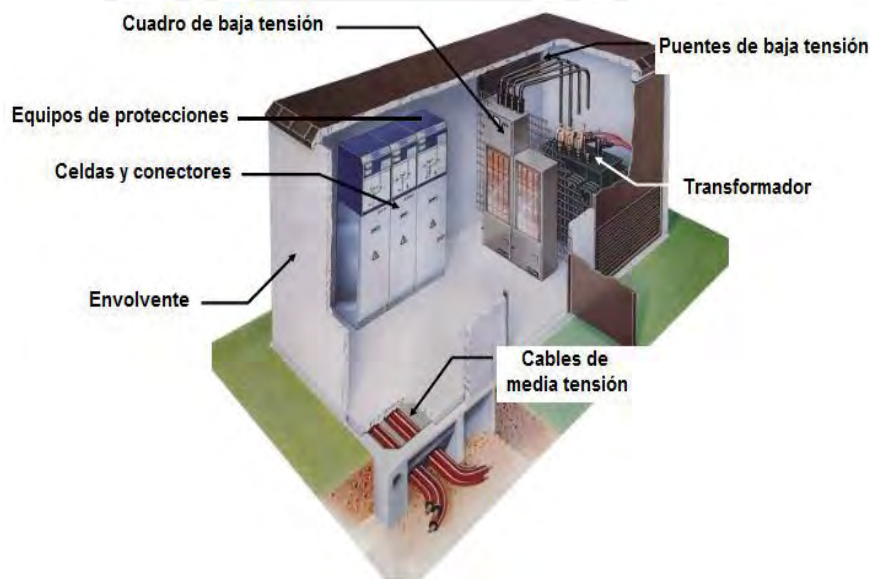


Figura 22: Centro de transformación

Fuente: IBERDROLA. (2018)

- Cuadro general de baja tensión de naturaleza trifásica de clase 440 VAC y una frecuencia de 60 Hz
- Cuadro secundario de baja tensión trifásica de clase 440 VAC y una frecuencia de 60 Hz
- Puesta a tierra de protección, destinado a las partes metálicas que componen el centro de transformación
- Puesta a tierra de servicio, destinado a los transformadores y a los seccionadores

e) Contador Principal:

El contador principal es aquel equipo electrónico que se encarga de registrar los consumos de energía por parte de las unidades vehiculares, este equipo se ubica junto a los centros de carga en la vía de tránsito.

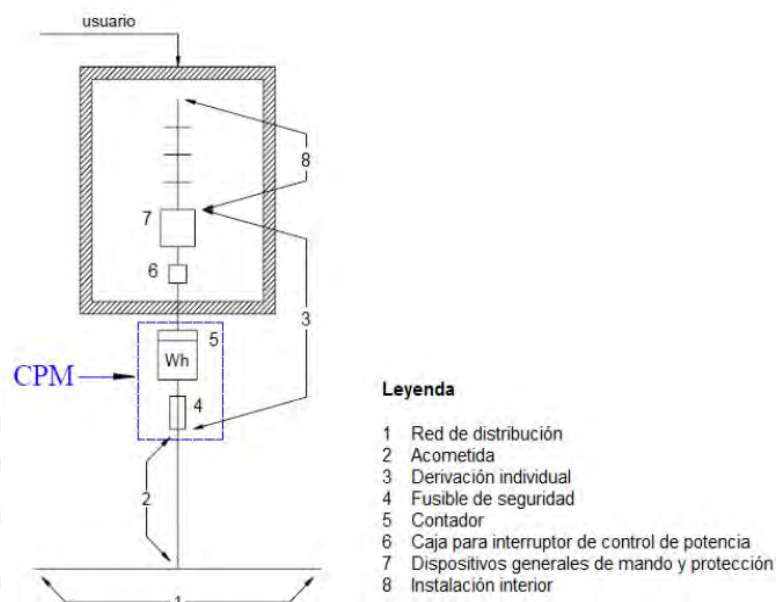


Figura 23: Diagrama de contador principal para terminales de carga eléctrica

Fuente: Cabal Ramos, N. (2017)

f) Red de distribución de baja tensión:

La red de distribución de baja tensión tiene como función la distribución directa de energía a las unidades vehiculares por medio de un contador principal, para una flota de 68 unidades vehiculares esta red posee una tensión nominal de trabajo de 440V de naturaleza trifásica. En ese sentido, esta red de distribución se encuentra compuesta por los siguientes elementos:

- Líneas principal y secundaria de baja tensión conectados a loa cuadros generales de baja tensión
- Conductores de baja tensión por el que se inclino es de tipo RV-K FOC, debido a que es un mono conductor flexible con aislación y cubierta PVC. Asimismo, se encuentra certificado por el IEC 60502-1 y el ISO 9001.
- Cargador: El tipo de cargador seleccionado es de tipo AC de la marca BYD EVA 080KI

Tabla 12*Especificaciones técnicas Cargador BYD EVA 080KI*

cargador	AC
Potencia de carga	40KW x 2
Pistola de carga	2 pistolas
Tension de carga y frecuencia	440V, 60Hz

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

4.2.3.4 Costo total de la infraestructura eléctrica:

Teniendo definidas las principales características con la que debe contar la infraestructura eléctrica y sabiendo que la principal diferencia entre las infraestructuras comparadas es el sistema de carga. Se puede realizar el cálculo del costo total de la implementación de una terminal eléctrica con 6 puntos de carga, según las principales características que debe tener la infraestructura eléctrica.

Tabla 13*Costo total del centro de seccionamiento*

EQUIPOS Y MATERIALES	UND	COSTO UNITARIO	MANO DE OBRA	HERRAMIENTAS	SUBTOTAL
Cabina prefabricada hormigón ECS-24	1	\$2,845.50	\$19.24	\$161.08	\$3,025.82
Celda RM6, 3 funciones de línea	3	\$2,947.30	\$19.71	\$59.34	\$8,920.86
Puestas a tierra, cable de 50 mm²	1	\$1,707.30	\$19.61	\$60.00	\$1,786.91
Pararrayos tipo Franklin punta múltiple	1	\$90.00	\$19.30	\$60.00	\$169.30
		\$7,590.10	\$77.86	\$340.42	\$13,902.89

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

Tabla 14*Costo total del centro de transformación*

EQUIPOS Y MATERIALES	UND	COSTO UNITARIO	MANO DE OBRA	HERRAMIENTAS	SUBTOTAL
Cabina prefabricada hormigón EHC-4	1	\$3,983.70	\$19.24	\$62.00	\$4,064.94
Transformador seco de 500 kVA	1	\$14,000.00	\$78.45	\$137.60	\$14,216.10
Juego de puentes para conexión en MT	1	\$2,000.00	\$19.61	\$100.00	\$2,119.61
Cuadro BT, salida del transformador	1	\$1,858.20	\$19.61	\$37.56	\$1,915.35
Puestas a tierra, cable de 50 mm ²	1	\$1,707.30	\$19.61	\$60.00	\$1,786.91
Pararrayos tipo Franklin punta multiple	1	\$90.00	\$19.61	\$60.00	\$169.61
		23639.2	176.13	457.16	24272.52

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

Tabla 15*Costo total de cuadros eléctricos*

EQUIPOS Y MATERIALES	UND	COSTO UNITARIO	MANO DE OBRA	HERRAMIENTAS	SUBTOTAL
Cuadro CGBT, armario metálico	1	\$1,858.20	\$19.61	\$37.56	\$1,915.35
Cuadro secundario de cargadores	1	\$1,740.30	\$19.61	\$37.56	\$1,797.42
Cuadro secundario de tomas adicionales	1	\$1,252.00	\$19.61	\$37.56	\$1,309.19
Cuadro secundario de iluminación	1	\$853.65	\$19.61	\$37.56	\$910.82
		\$5,704.15	\$78.44	\$150.24	\$5,932.78

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

Tabla 16*Costo total de conductores eléctricos*

EQUIPOS Y MATERIALES	LONGITUD (m)	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
Conductor de MT RHV Al, 240 mm²	25	\$21.08	\$527.00
Conductor de MT RHV Al, 70 mm²	10	\$6.15	\$61.50
Conductor RV-K FOC, 2/0, 67,4 mm²	12	\$14.08	\$168.96
Conductor RV-K FOC, 1/0, 53,5 mm²	32	\$11.17	\$357.44
		\$52.48	\$1,114.90

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

Luego de definir los costos de los elementos principales se realiza la tabla resumen número 11, la cual presenta el costo total unitario de una terminal eléctrica.

Tabla 17*Costo total de una terminal eléctrica*

INFRAESTRUCTURA DE TERMINAL ELECTRICA	COSTO UNITARIO
CENTRO DE SECCIONAMIENTO	\$13,903.00
CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	\$24,103.00
CUADROS ELÉCTRICOS	\$5,932.80
CONDUCTORES	\$1,114.90
TOTAL	\$45,053.70

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

De igual manera, para calcular el costo total de la infraestructura para una flota de buses de 68 unidades, se realiza la multiplicación entre el costo unitario de una terminal eléctrica y por el número de terminales requeridas, 6 en el caso de la investigación mencionada.

Tabla 18

Costo total para una flota de 68 buses eléctricos

INFRAESTRUCTURA PARA FLOTA DE BUSES	
COSTO UNIT. DE TERMINAL	\$45,053.70
NUMERO DE TERMINALES	6
COSTO TOTAL	\$270,322.20

Adaptado de Muevecela, W., (2018)

4.3. COMPARACION ENTRE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO:

Para realizar una comparativa económica real es necesario tomar en consideración lo suscrito por el autor Cueva Ruíz, G. H. (2019) en el subcapítulo anterior, donde afirma que sin importar el tipo de energía que use el transporte público, convencional y eléctrico, este puede laborar de manera óptima con la infraestructura vial existente, ya que desde un punto de vista ingenieril ambos sistemas de transporte utilizan las mismas obras viales.

Sin embargo, el mismo autor afirma que si se tuviese la intención de evaluar el costo adicional que representaría un sistema de transporte público eléctrico, es necesario enfocarse en el sistema de carga utilizado para el abastecimiento de las unidades vehiculares.

En ese sentido, para obtener la diferencia sustancial entre ambos tipos de infraestructura, se realizará una comparación económica entre las terminales de abastecimiento de energía eléctrica y las de hidrocarburos, las cuales deberán contar con características similares para ratificar su validez científica.

4.3.1 Costo del sistema de abastecimiento convencional:

En el caso del sistema de abastecimiento convencional, se usará la investigación de Hendrickson & Hurtado (2011), quienes realizaron una evaluación financiera sobre la implementación de una estación de servicio para vehículos convencionales en Guayaquil, Ecuador.

Asimismo, el estudio en mención fue elegido para ser evaluado debido a que posee similitudes técnicas (sistema de abastecimiento de combustible) y geográficas, ya que se desarrolla en el mismo contexto regional donde se realizó la investigación de sistemas de carga para el transporte eléctrico, presente en el subcapítulo 4.2.

En ese sentido, Hendrickson & Hurtado (2011) lograron obtener los costos totales para la implementación de una estación de servicio, los cuales son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 19

Costo total de una estación de servicio (Grifo)

INFRAESTRUCTURA DE ESTACION DE SERVICIO (GRIFO)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
TANQUES	3	\$8,000.00	\$24,000.00
SURTIDORES	4	\$10,500.00	\$42,000.00
BOMBAS SUMERGIBLES	3	\$1,500.00	\$4,500.00
COMPRESOR	1	\$1,800.00	\$1,800.00
GENERADOR	1	\$14,000.00	\$14,000.00
ESTABILIZADOR	1	\$1,500.00	\$1,500.00
ELEVADORES	3	\$3,500.00	\$10,500.00
AUTOMATIZACION	1	\$25,000.00	\$25,000.00
TOTAL		\$65,800.00	\$123,300.00

Adaptado de Hendrickson & Hurtado (2011)

Antes de realizar cualquier tipo de análisis, se adaptarán los datos presentados para hacerlos comparables con el estudio de Muevecela, W., (2018). En ese sentido, se aumentará el número de surtidores de la estación de servicio para cumplir la demanda de 6 autobuses de forma simultánea.

Tabla 20

Costo total de una estación de servicio modificado

INFRAESTRUCTURA DE ESTACION DE SERVICIO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
TANQUES	3	\$8,000.00	\$24,000.00
SURTIDORES	6	\$10,500.00	\$63,000.00
BOMBAS SUMERGIBLES	3	\$1,500.00	\$4,500.00
COMPRESOR	1	\$1,800.00	\$1,800.00
GENERADOR	1	\$14,000.00	\$14,000.00
ESTABILIZADOR	1	\$1,500.00	\$1,500.00
ELEVADORES	3	\$3,500.00	\$10,500.00
AUTOMATIZACION	1	\$25,000.00	\$25,000.00
TOTAL		\$65,800.00	\$144,300.00

Adaptado de Hendrickson & Hurtado (2011)

Finalmente, se adaptará el costo obtenido para una flota de buses convencionales de 68 unidades, estableciéndose 6 estaciones de servicio a lo largo de su ruta.

Tabla 21

Costo total para una flota de 68 buses convencionales

INFRAESTRUCTURA PARA FLOTA DE BUSES	
COSTO UNIT. DE TERMINAL	\$144,300.00
NUMERO DE TERMINALES	6
COSTO TOTAL	\$865,800.00

Adaptado de Hendrickson & Hurtado (2011)

4.3.2 Comparativa de costos:

Con los resultados obtenidos en los subcapítulos 4.2 y 4.3 se procede a realizar una comparativa clara entre los costos de ambas infraestructuras. En ese sentido, se realiza un análisis individual y grupal entre ambas infraestructuras para todo el sistema de abastecimiento.

4.3.2.1 Análisis individual:

En el caso del análisis individual, se tomará en consideración a las estaciones de carga, convencional o eléctrica, que puedan brindar servicio a 6 autobuses en forma paralela.

En ese sentido se usó la tabla 20 y 17 para realizar la comparación mencionada, brindando los siguientes resultados:

Tabla 22

Comparativa de estaciones de carga eléctrica y convencional

TIPO DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA	COSTO UNITARIO	PORCENTAJE
ELECTRICA	\$45,053.70	100.00%
CONVENCIONAL	\$65,800.00	146.05%
DIFERENCIA		46.05%

Interpretando los resultados, se concluye que la implementación de estaciones de servicio convencionales para el abastecimiento de buses de transporte publico resulta un 46.05% más costosas que la implementación de estaciones de carga eléctrica.

4.3.2.2 Análisis grupal:

En el caso del análisis grupal, se realizará la comparación entre los sistemas de abastecimiento eléctrico y convencional que cuenten con la capacidad de abastecer a 68 buses de transporte público, en específico que cuenten con 6 estaciones de carga y con 6 surtidores por estación mencionada.

En ese sentido se usará los resultados obtenidos en las tablas 18 y 21, las cuales después del análisis de costo respectivo y estando teniendo como entorno países socioeconómicamente similares al Perú, se pudo obtener los siguientes resultados:

Tabla 23

Comparativa de Sistemas de abastecimiento eléctrico y convencional

TIPO DE INFRAESTRUCTURA	COSTO UNITARIO	COSTO DEL SISTEMA	PORCENTAJE
ELECTRICA	\$45,053.70	\$270,322.20	100.00%
CONVENCIONAL	\$65,800.00	\$865,800.00	320.28%
DIFERENCIA			220.28%

De la tabla 23, se puede concluir que la implementación de un sistema de abastecimiento eléctrico dentro de un sistema de transporte público convencional resulta más económico que la creación de más estaciones de servicio para esta clase de transporte. En ese sentido, se puede observar que es posible lograr un ahorro del 220.28% al implementar el sistema de abastecimiento eléctrico para un sistema de 68 unidades vehiculares.

Finalmente, se evidencia que la hipótesis inicialmente planteada en la presente investigación no es válida, ya que los resultados obtenidos en los análisis presentados brindan una diferencia considerable en cuanto a los costos de implementación de la infraestructura eléctrica, lo cual a pesar de no respaldar la hipótesis mencionada brinda un argumento sólido importante para el objetivo principal del proyecto.



CAPÍTULO 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES:

En la actualidad el transporte público eléctrico viene ganando terreno en diversos países del mundo, especialmente en Europa y Norteamérica, donde se encuentra demostrando las diversas ventajas que posee.

En ese sentido, características como poseer cero emisiones de gases de efecto invernadero, reducir de manera notable la contaminación auditiva o contar con tecnologías de última generación, perfilan esta nueva tecnología como la sucesora más probable de los vehículos con motores a combustión interna que actualmente se utilizan.

La aceptación de esta nueva forma de energía en los vehículos de transporte público es tan valorada que diversas organizaciones mundiales y países importantes vienen brindando todo tipo de apoyo económico para su pronta inserción en el transporte público y privado.

En consecuencia, diversos países de Sudamérica se encuentran en la producción de diversos proyectos de transporte público que incluyan vehículos eléctricos, con el objetivo de evaluar su rendimiento y beneficios para una posible masificación de este servicio. En particular, se pueden destacar los países de Chile y Colombia como los más avanzados, debido a que ambos cuentan unidades de buses eléctricos actualmente en servicio.

En el caso del Perú, se encuentra funcionando una unidad eléctrica en el corredor complementario de la avenida Javier Prado, como unidad de prueba para recolectar datos sobre la puesta en servicio de este tipo de vehículos. Asimismo, en los resultados del presente estudio se pudieron verificar los diversos beneficios económicos, sociales y ambientales que aportara para el sistema de transporte público limeño.

Por otro lado, se pudo comprobar que la infraestructura necesaria para el funcionamiento de los buses eléctricos, es muy similar al de la infraestructura existente para los buses convencionales, teniendo como única diferencia el hecho de que en el caso de los primeros necesitan la adaptación de los sistemas de carga para el abastecimiento de energía eléctrica,

Asimismo, la diferencia económica entre la implementación de un sistema de abastecimiento eléctrico y un sistema de abastecimiento convencional es considerable, siendo el costo total del primero la tercera parte del segundo. En consecuencia, estos resultados brindan un argumento sólido para propiciar el uso generalizado de vehículos eléctricos en el transporte público urbano.

Sin embargo, como se resaltó en los capítulos anteriores, existen algunos detalles que se deben considerar en la implementación de buses eléctricos en el transporte público, tales como el alto costo inicial de los buses eléctricos y la escasa infraestructura de transporte con la que cuenta el país actualmente.

Asimismo, el reemplazo de las unidades vehiculares tiene que estar aceptada por los consorcios de transporte con los que se trabaja actualmente, para evitar la informalidad que pudiera generar un reemplazo masivo.

5.2 RECOMENDACIONES:

En el caso del Perú, se debe aprovechar al máximo la información que viene recolectando el bus eléctrico del corredor complementario de la avenida Javier Prado, con el objetivo de obtener información real sobre el comportamiento de esta unidad en el sistema de tráfico limeño con el objetivo de optimizar e implementar el uso de esta nueva tecnología.

En ese sentido, las entidades públicas, como la alcaldía de lima y el ministerio de transportes, deberían adoptar un plan estratégico similar al de China para lograr una implementación orgánica de buses eléctricos dentro de su sistema de transporte público, mediante la búsqueda de aliados estratégicos, en particular del sector energético y de transportes, para la implementación de sistemas de carga y abastecimiento de las unidades vehiculares eléctricas. En ese sentido, es de suma importancia la negociación con estas corporaciones, ya que de lograrse que inviertan en el proyecto, se aminorarán costos y volverán el proyecto una inversión razonable a largo plazo para el estado.

Por otro lado, se puede inferir que para la satisfactoria implementación de los buses eléctricos en el transporte público peruano se necesitara un tiempo razonable. En consecuencia, es recomendable, tener una etapa de transición con otras tecnologías ecológicas como los buses híbridos.

Finalmente, la participación activa de empresas del sector energético y con conciencia ambiental como Global Sustainable Electricity Partnership (GESP), Hydro - Québec y Enel X, brindan oportunidades de mejora al sistema de transporte peruano, lo cual representa un escenario esperanzador para la electrificación de todo el sistema en un futuro cercano.

BIBLIOGRAFÍA

- Aller, R. A. (2010). Del motor de combustión interna al vehículo eléctrico: cuatro alternativas técnicas. *Economía industrial*, (377), 95-108.
- Abad Cano, R., Castelo, M. J., & Villatoro Palomar, D. (2017). *Guía de infraestructuras de carga de Vehículos Eléctricos*. Málaga: Fundación HABITEC.
- Arias, F. (2012). *Research project: introduction to scientific methodology* (5th ed.) Caracas: Espíteme
- Avellaneda García, P. (2007). *Movilidad, pobreza y exclusión social un estudio de caso en la ciudad de Lima*. Universitat Autònoma de Barcelona,.
- Bonini, A., Cordero, C., & Quijada, R. (2002). GREEN FUND SWITCHES TO SUSTAINABLE TRANSPORT. *Sustainable Transport*, (14).
- Borges, M. M., Sanz-Casado, E., & González-Valiente, C. L. (2018). A Ciência Aberta: o contributo da Ciência da Informação. VIII Encontro Ibérico EDICIC, 2017. *Bibliotecas. Anales de Investigación*, 14(2), 99-102.
- Bustamante, H.G. (2013). *Barreras para el desarrollo de la bioenergía*. Tomo VIII de Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables. Lima-Perú.
- Cabal Ramos, N. (2017). *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*. Madrid, España.
- Cabrera Vega, F. I. (2019). *Movilidad urbana, espacio público y ciudadanos sin autonomía: el caso de Lima*.
- Corredor Rojo, Servicio 201 (2020), <https://corredorrojo.pe/servicio-201/>
- Cruz, Á. R. B., Salazar, M. A. M., & Rodríguez, C. M. W. (2019). Análisis inter-temporal de la contaminación por gases de efecto invernadero. *DIGITAL CIENCIA@ UAQRO*, 12(1),60-68.
- Cueva Ruíz, G. H. (2019). *Análisis de factibilidad de implementación de buses 100% eléctricos (EBuses) para impulsar la movilidad sostenible en el sistema de transporte urbano del Distrito Metropolitano de Quito* (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).
- De Soto, H. (2000). *El misterio del capital: por qué el capitalismo triunfa en occidente y fracasa en el resto del mundo*. Basic Civitas Books.
- del Pueblo, D. (2008). Informe Defensorial N° 137: El transporte urbano en Lima Metropolitana: Un desafío en defensa de la vida. *Lima: Defensoría del Pueblo*.
- Del Rincón, D., Arnal, J., Latorre, A., & Sans, A. (1995). *Técnicas de investigación en ciencias sociales*. Dykinson.
- Delgado, M., & Alejandro, M. (2018). *CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BUSES ELÉCTRICOS BYD MODELO K9FE*.

- El Tiempo, Cali (2016) MÍO, Con apenas el 74,9 por ciento de sus buses en las vías de Cali, <https://www.eltiempo.com/colombia/cali/cantidad-de-buses-de-servicio-mio-en-cali-48998>
- ENEL, Innovación y Sostenibilidad (2019) El bus eléctrico llega a lima para revolucionar el transporte público, <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/bus-electrico-revoluciona-el-transporte-publico.html>
- Espinal, M. M. (2017). Transporte público de buses versus congestión y contaminación en Lima y Callao. *Economía*, 40(79), 47-86.
- e.motion. (2016). Unidad de control de carga inteligente. *e.motion*, 44-45. Obtenido de https://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/vehiculo-electrico/ESMKT03024L10_Trip_VE_baja.pdf
- Estache, A., & Gómez-Lobo, A. (2005). Limits to competition in urban bus services in developing countries. *Transport Reviews*, 25(2), 139-158.
- Expósito, A. G., & Ortega, J. M. M. (2019). Sistema de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico. *Economía industrial*, (411), 35-44.
- Falcón, J., & Herrera, R. (2005). Análisis del dato Estadístico. *Guía didáctica*.
- Freile Veloz, A. A., & Robayo Calle, S. A. (2016). *Estudio de factibilidad para la implementación de medios de Transporte Eléctricos en el Centro Histórico de Quito* (Bachelor's thesis, QUITO/UIDE/2016).
- Gobierno Peruano (2004). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Lima y Callao* preparado por PNUMA, CONAM, Municipalidad Metropolitana de Lima, MPC, GEA, Financiado por Gobierno de Noruega, Lima, Perú.
- Grütter, J. (2014). Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos. *Grütter Consulting*.
- Guerrero-prado, J. S., Murillo-hoyos, J., Caicedo-bravo, E. F., & Arizabaleta-moreno, G. (2015). *Vehículos Eléctricos para Flotas de Transporte Público*.
- Gwilliam, K. M., Kojima, M., & Johnson, T. (2004). *Reducing air pollution from urban transport*. Washington, DC: World Bank.
- Gwilliam, K., & Scurfield, R. (1996). *Competition in public road passenger transport* (No. TWU-24).
- Hendrickson Ramírez, L. G., & Hurtado Ramírez, F. X. (2011). *Estudio de factibilidad y evaluación financiera en base a títulos negociables aplicados para la construcción de una estación de servicios* (Bachelor's thesis).
- Hernández Sampieri, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C., & BAPTISTA LUCIO, P. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta Edición. Mcgrawhill.

- Hook, W. (2005). Institutional and regulatory options for bus rapid transit in developing countries: Lessons from international experience. *Transportation research record, 1939*(1), 184-191.
- IBERDROLA. (2018). *DOC PLAYER*. Obtenido de CENTROS DE TRANSFORMACIÓN TECNOLOGÍA GENERAL DE INSTALACIONES DE GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CLIENTES: <https://docplayer.es/41646983-Centros-de-transformacion-tecnologia-general-de-instalaciones-de-generacion-distribucion-y-clientes.htm>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate Change 2001: IPCC Third Assessment Report*. IPCC Secretariat.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 417-470). Cambridge University Press.
- Kailasam, C. Strategic analysis of global hybrid and electric heavy-duty transit bus market, Frost & Sullivan, 2013.
- Martínez, M. J. (2007). Los desafíos confrontados por los proyectos convencionales de transporte y el potencial de los sistemas inteligentes de transporte para una ciudad en desarrollo, Lima, Perú. *Revista ECIPerú, 4*(1), 4-4.
- Mitchell, W. J. (2007). Ciutats intel·ligents (Lliçó inaugural del curs acadèmic 2007-2008 de la Universitat Oberta de Catalunya). *UOC Papers: revista sobre la societat del coneixement*.
- Muevecela, W. (2018). Diseño del Sistema Eléctrico en Baja Tensión para Estaciones de Carga en Autobuses Eléctricos. *Universidad de Cuenca*.
- Nordhaus, W. D. (1992). *The'dice'model: Background and structure of a dynamic integrated climate-economy model of the economics of global warming* (No.1009). Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- Perera Diaz, F. (1998). Propuesta de Reordenamiento del Transporte en Lima y Callao. *IN Transporte Urbano y Ambiente. Bases para una Política Ambiental en el Transporte Urbano pp*, 183-188.
- Protransporte. 2004. *Presentación Dirección Ejecutiva. Noviembre 2004*. Lima
- RACE (2018). *Coche eléctrico en Europa: situación actual y cifras de ventas*. Obtenido de www.race.es/motor/conduccion-ecologica-y-eficiente/situacion-coche-electrico-europa
- Schneider Electric. (2008). *Centros de Transformación 24 kV MT/BT*. Barcelona.
- Solís O'Neill, M. D. (2018). El vehículo eléctrico, el carsharing como forma de implantarlo y el vehículo de hidrógeno. Europa.
- Sonnemann, G. R., & Grygalashvily, M. (2013). Effective CO₂ lifetime and future CO₂ levels based on fit function. *Annales Geophysicae (09927689), 31*(9).

Stocker, T. F., Clarke, G. K. C., Le Treut, H., Lindzen, R. S., Meleshko, V. P., Mugara, R. K., & Holtslag, A. A. M. (2001). Physical climate processes and feedbacks.

Tamayo and Tamayo. (2012) The Process of Scientific Research. Limusa Noriega Editors. 4th Edition Mexico.

